

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Sessione di Laurea luglio 2025



Progettazione del circuito oleodinamico di un Vomero spalaneve

Relatore:

Massimo Rundo

Candidato:

Motto Simone

Abstract

Obiettivo di questa tesi è la progettazione e realizzazione del circuito di attuazione e controllo di un Vomero spalaneve. Il lavoro si sviluppa a partire dalla struttura di base ripresa dal progetto sviluppato nella tesi triennale intitolata "Studio di un vomero spalaneve", dalla quale vengono ripresi e approfonditi i principi di funzionamento del sistema, inizialmente descritti e contestualizzati.

Saranno inoltre presentate le tecnologie attualmente utilizzate nel settore, con l'obiettivo di delineare lo stato dell'arte e identificare le principali soluzioni disponibili sul mercato. A partire da queste informazioni, il sistema verrà implementato nel software "Simcenter Amesim", di cui verrà fornita una panoramica introduttiva utile alla fase preliminare di modellazione.

Una volta completata la modellazione della parte cinematica, l'attenzione sarà rivolta allo sviluppo del circuito idraulico, che costituisce il nucleo centrale del presente lavoro. Verranno studiati e selezionati i componenti necessari al raggiungimento degli obiettivi, sia per quanto riguarda la movimentazione comandata da parte dell'operatore, sia per il controllo automatico.

I nuovi componenti progettati saranno integrati nel modello 3D complessivo. Infine, il comportamento del sistema verrà analizzato attraverso due percorsi di prova distinti, in cui saranno valutati i principali parametri funzionali, al fine di verificarne le prestazioni rispetto agli obiettivi iniziali. In conclusione, verrà effettuata una valutazione complessiva delle prestazioni del Vomero.

Sommario

Abstract	3
Capitolo 1 - Introduzione alle macchine spazzaneve.....	8
1.Introduzione a vomeri e lame spalaneve	8
1.1 Uso e tecnologia attuale.....	8
1.2 Descrizione del problema	10
Capitolo 2 - Descrizione del sistema.....	11
2. Struttura e sistema di retroazione.....	11
2.1 Descrizione della struttura	11
2.2 Pistoni di movimento.....	15
2.3 Sistema di correzione automatica delle variazioni del manto stradale.....	16
2.4 Componenti oleodinamiche	21
Capitolo 3 - Implementazione in “Simcenter Amesim”.....	25
3. Descrizione dei blocchi	25
3.1 Introduzione al software	25
3.2 Descrizione del software.....	26
3.3 Analisi cinematica e dinamica della struttura	35
3.4 Comando rollio e beccheggio.....	45
3.5 Componenti oleodinamiche	47
3.6 Descrizione delle prove	53
Capitolo 4 - Analisi dei risultati.....	57
4. Grafici e commenti.....	57
4.1 Struttura dei risultati	57
4.2 Caso ‘salita’ a vomero: carico simmetrico.....	57
4.3 Caso ‘salita’ a vomero: carico ala destra	58
4.4 Caso ‘salita’ a vomero: carico ala sinistra.....	59
4.5 Caso ‘salita’ a lama.....	60
4.6 Caso ‘inclinato’ a vomero: carico simmetrico	60
4.7 Caso ‘inclinato’ a vomero: carico ala destra	61
4.8 Caso ‘inclinato’ a vomero: carico ala sinistra	61
4.9 Caso ‘inclinato’ a lama: carico simmetrico.....	62
4.10 Caso ‘inclinato’ a lama: carico ala destra.....	63
4.11 Caso ‘inclinato’ a lama: carico ala sinistra.....	64
Capitolo 5 - Conclusioni	65
Bibliografia.....	66

Ringraziamenti.....	66
---------------------	----

Sommario figure:

Figura 1: foto lama Garnerò [2].....	9
Figura 2: foto oscillazione laterale [3]	9
Figura 3: foto sistema di beccheggio su vomero Pelazza [4]	10
Figura 4: foto vomero Deleks con frecce per evidenziare piastre [6].....	10
Figura 5: beccheggio in viola e rollio in rosso [9].....	11
Figura 6: vista laterale Vomero senza tubi idraulici.....	12
Figura 7: sistema di sollevamento [1]	13
Figura 8: sistema di sollevamento in posizione differente [1].....	13
Figura 9: struttura centrale e montante fisso [1]	13
Figura 10: montante fisso in posizione differente [1]	13
Figura 11: pistone di rollio [1].....	14
Figura 12: ala sinistra e relativo pistone [1]	14
Figura 13: ala sinistra e relativo pistone, altra vista [1]	14
Figura 14: Vomero vista posteriore [1]	15
Figura 15: Vomero vista dall'alto [1]	15
Figura 16: sistema di sollevamento originale [1]	16
Figura 17: sistema di sollevamento.....	16
Figura 18: schema oleodinamico di attuatori e valvole per movimenti.....	16
Figura 19: circuito oleodinamico dedicato al rollio.....	17
Figura 20: circuito oleodinamico dedicato al beccheggio.....	17
Figura 21: sistema di leve, posizione gomma indeformata	18
Figura 22: sistema di leve, posizione gomma deformata	18
Figura 23: schema oleodinamico dei pistoni sulle ali	18
Figura 24: dettaglio ala sinistra con attuatori evidenziati	19
Figura 25: valvole e pistoni a semplice effetto, vista dall'alto	20
Figura 26: dettaglio pistoni: in alto senza camicia, in basso completo	21
Figura 27: dettaglio di un pistone senza camicia.....	21
Figura 28: pistoni completamente retratti	22
Figura 29: pistoni completamente estesi	22
Figura 30: pistoni in posizioni diverse	22
Figura 31: schema oleodinamico gruppo di alimentazione.....	23
Figura 32: posizione gruppo di alimentazione	23
Figura 33: Vomero vista dall'alto, utilizzato a lama	24
Figura 34: schema oleodinamico rigenerazione ali	24
Figura 35: vista laterale Vomero.....	25
Figura 36: esempio blocchi	26
Figura 37: PLMDBOD0.....	28
Figura 38: PLMASSEMBLY	28
Figura 39: PLMCONT000	28
Figura 40: PLMTRA02	29
Figura 41: PLMTRA12	29
Figura 42: PLMPIV02.....	29
Figura 43: PLMPIV12.....	30
Figura 44: PLMJ00	30
Figura 45: PLMZER00	30
Figura 46: PLMEMB01	30
Figura 47: ZFS_3DOF	31

Figura 48: M6DOFGROUND00	31
Figura 49: M6DOFPIV02	31
Figura 50: M6DOFPIV12	32
Figura 51: M6DOFTRA02	32
Figura 52: M6DOFTRA12	32
Figura 53: M6DOFJACK00	33
Figura 54: M6DOFCPLASPHE0	33
Figura 55: M6DOFPOI02	34
Figura 56: M6DOFBODY00	34
Figura 57: M6DOFASSEMBLY	35
Figura 58: CONS00	35
Figura 59: UD00	35
Figura 60: esempio di ciclo	35
Figura 61: PLMDT01	36
Figura 62: MECADS1B	36
Figura 63: RSD00A	36
Figura 64: visualizzazione del Vomero in “Simcenter Amesim”	37
Figura 65: schema sistema di sollevamento in “Simcenter Amesim”	38
Figura 66: visualizzazione sistema di sollevamento in “Simcenter Amesim”	39
Figura 67: schema sistema di avanzamento in “Simcenter Amesim”	40
Figura 68: schema perno di rollio in “Simcenter Amesim”	40
Figura 69: schema struttura centrale in “Simcenter Amesim”	40
Figura 70: schema struttura centrale ala sinistra in “Simcenter Amesim”	41
Figura 71: visualizzazione ala sinistra e struttura centrale in “Simcenter Amesim”	42
Figura 72: sistema di leve senza raschiante	43
Figura 73: schema sistema di leve in “Simcenter Amesim”	43
Figura 74: visualizzazione sistema di leve in “Simcenter Amesim”	44
Figura 75: schema sistema di leve dell’ala sinistra in “Simcenter Amesim”	45
Figura 76: modello di attrito	45
Figura 77: schema raschiante in “Simcenter Amesim”	46
Figura 78: schema comando rollio in “Simcenter Amesim”	47
Figura 79: schema comando beccheggio in “Simcenter Amesim”	48
Figura 80: schema gruppo di alimentazione in “Simcenter Amesim”	48
Figura 81: schema valvole e attuatori in “Simcenter Amesim”	49
Figura 82: schema valvola e attuatore di rollio in “Simcenter Amesim”	50
Figura 83: schema valvola e attuatore di beccheggio in “Simcenter Amesim”	51
Figura 84: schema valvole per rigenerazione ali in “Simcenter Amesim”, riposo	52
Figura 85: schema valvole per rigenerazione ali, commutate	52
Figura 86: schema valvola equivalente a riposo a sinistra, commutata a destra	53
Figura 87: schema valvola con attuatore per avanzamento vomero	53
Figura 88: visualizzazione Vomero nel caso salita in “Simcenter Amesim”	54
Figura 89: visualizzazione Vomero nel caso inclinato in “Simcenter Amesim”	55
Figura 90: posizione dell’attuatore “A4” a sinistra, attuatore “A5” a destra	56
Figura 91: schema valvola in posizione flottante e attuatore “A2”	56
Figura 92: visualizzazione Vomero nel caso salita, posizione di partenza e intermedia	57
Figura 93: visualizzazione Vomero nel caso inclinato in posizione finale	57
Figura 94: grafico giri motore	58
Figura 95: grafico differenza di rotazione pin fittizio	58
Figura 96: spostamento attuatore “A1”	59
Figura 97: spostamento attuatore “A3”	59
Figura 98: grafico differenza di rotazione pin fittizio	60

Figura 99: grafico differenza di rotazione pin fittizio	60
Figura 100: grafico giri motore.....	61
Figura 101: grafico differenza di rotazione pin fittizio	61
Figura 102: spostamento attuatore “A1”	61
Figura 103: spostamento attuatore “A3”	61
Figura 104: grafico differenza di rotazione pin fittizio	62
Figura 105: grafico differenza di rotazione pin fittizio	63
Figura 106: grafico giri motore.....	63
Figura 107: grafico differenza di rotazione pin fittizio	63
Figura 108: spostamento attuatore “A3”	64
Figura 109: grafico differenza di rotazione pin fittizio	64
Figura 110: grafico differenza di rotazione pin fittizio	65

Capitolo 1 - Introduzione alle macchine spazzaneve

1.Introduzione a vomeri e lame spalaneve

1.1 Uso e tecnologia attuale

Per iniziare, cerchiamo di capire di che macchinario stiamo parlando:

“Un vomero “spalaneve” o “spazzaneve” è uno strumento utilizzato in inverno, specialmente in montagna, per rimuovere la neve: applicato davanti a un autocarro o davanti ad una trattoria agricola, è formato da una parte anteriore ovvero le ali che svolgono direttamente la funzione di rimuovere ed ammassare la neve e da una parte posteriore che consente sia la loro regolazione al fine di farle aderire al suolo, anche lungo salite e terreni sconnessi, sia di alzarle dal terreno con scopi di trasferimento o di manovra.” – [1].

Oltre ai vomeri sono anche utilizzate delle attrezzature più semplici dette lame, rispetto ai vomeri hanno la caratteristica che il raschiante è unico; quindi, tutta la neve raschiata dalla strada deve andare obbligatoriamente da un lato o dall'altro. Questa caratteristica risulta sveniente quando le quantità di neve sono importanti. I vomeri possono anche essere utilizzati ‘a lama’ (figura 1), cioè le sue due ali sono posizionate in modo da essere parallele tra di loro, questo è utile quando si vuole spostare il materiale da un solo lato.

Ora che è chiaro il suo uso, passiamo a vedere le caratteristiche dei vomeri presenti sul mercato.

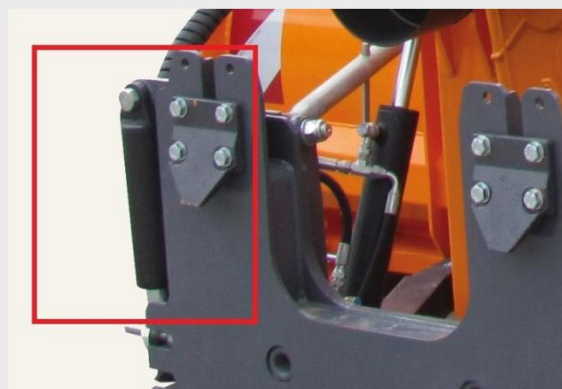
Nelle attrezzature attualmente disponibili in commercio, i gradi di libertà risultano pressoché assenti o comunque molto limitati.

Prediamo per esempio Bucher (figura 2), realizza solo in modo importante un grado di libertà di rollio sulle sue frese da neve, inoltre questo movimento è comandato dall'operatore. Questo è possibile poiché le frese viaggiano a velocità di lavoro molto basse.



Figura 1: foto lama Garnero [2]

Oscillazione laterale



Un pistone idraulico consente l'oscillazione laterale di $\pm 10^\circ$.

Figura 2: foto oscillazione laterale [3]

Pelazza (figura 3) [4] ha progettato dei vomeri con un grado di libertà in beccheggio, ottenuto grazie a un sistema di molle.

Sul mercato sono presenti anche altri costruttori, tra cui Fresia, Deleks, Orsi Group e Schmidt, ognuno con soluzioni differenti per l'adattamento alle irregolarità del terreno:

- Fresia: il sistema di attacco proprietario consente un limitato grado di libertà in rollio [5];
- Deleks: offre una minima possibilità di rollio tramite lo scorrimento tra piastre, indicate con le frecce in figura 4 [6];
- Orsi Group: sul sito web [7] si fa riferimento a un'oscillazione laterale, ma non vengono forniti dati tecnici a riguardo. È menzionata inoltre una regolazione dell'incidenza, disponibile in versione manuale o idraulica come optional, ma senza dettagli chiari sul funzionamento;
- Schmidt: dichiara la presenza di un raschiante altamente flessibile, capace di adattarsi a diverse superfici [8].



Figura 3: foto sistema di beccheggio su vomero Pelazza [4] Figura 4: foto vomero Deleks con frecce per evidenziare piastre [6]

Per affrontare strade con forti variazioni di pendenza, è necessario disporre di ampi gradi di libertà, che possono essere collocati nei sistemi di attacco (Fresia) o all'interno della struttura stessa (Pelazza, Deleks).

Le macchine attualmente disponibili sul mercato, a causa dei limitati gradi di libertà, possono non aderire perfettamente al profilo stradale nei tratti più complessi, lasciando così porzioni di neve non rimosse. Questo comporta la necessità di effettuare più passaggi sullo stesso tratto, affrontare la strada con traiettorie non parallele alla direzione di marcia per compensare l'inclinazione, oppure, nei casi peggiori, lasciare alcune aree non pulite.

Per affrontare adeguatamente i tratti più impervi, è quindi fondamentale impiegare un vomero con ampi gradi di libertà. Risulta quindi necessario sviluppare un sistema capace di gestirli in modo efficace.

1.2 Descrizione del problema

La struttura considerata presenta due gradi di libertà, beccheggio e rollio (figura 5). Tale figura ha lo scopo esclusivo di illustrare le rotazioni in esame; la struttura oggetto del nostro studio sarà presentata nel Capitolo 2.

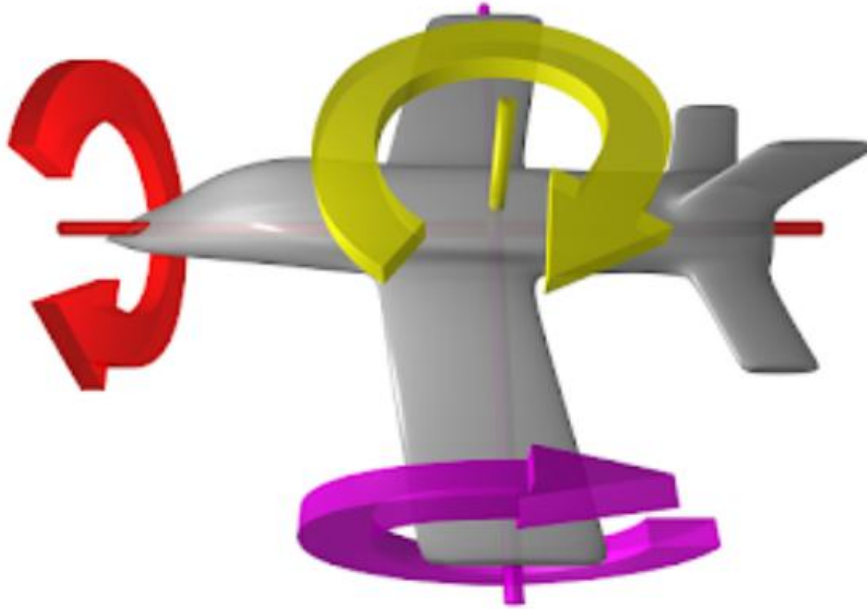


Figura 5: beccheggio in viola e rollio in rosso [9]

L'obiettivo della ricerca è la realizzazione dell'impianto oleodinamico di un vomero da neve in grado di rispondere ad alcuni requisiti essenziali: garantire il movimento in tempi coerenti, riuscire a controllare i 2 gradi di libertà.

Non è possibile adottare soluzioni comunemente impiegate, come l'utilizzo di molle che consentono solo piccoli spostamenti. Anche il controllo diretto da parte dell'operatore va escluso: oltre a richiedere una conoscenza approfondita della macchina e un'elevata esperienza, comporterebbe un livello di multitasking e di attenzione non compatibile con le altre mansioni operative.

È quindi fondamentale progettare un sistema di controllo automatico che consenta di regolare i gradi di libertà del vomero in funzione del profilo stradale e del carico applicato. In questo modo si potrà ottenere una pulizia dell'asfalto più efficace e un'usura uniforme del coltello raschiante, evitando il problema, frequente negli attuali sistemi, di un deterioramento accelerato sul lato maggiormente sollecitato.

Capitolo 2 - Descrizione del sistema

2. Struttura e sistema di retroazione

2.1 Descrizione della struttura

Iniziamo vedendo l'attrezzo nella sua interezza (figura 6).

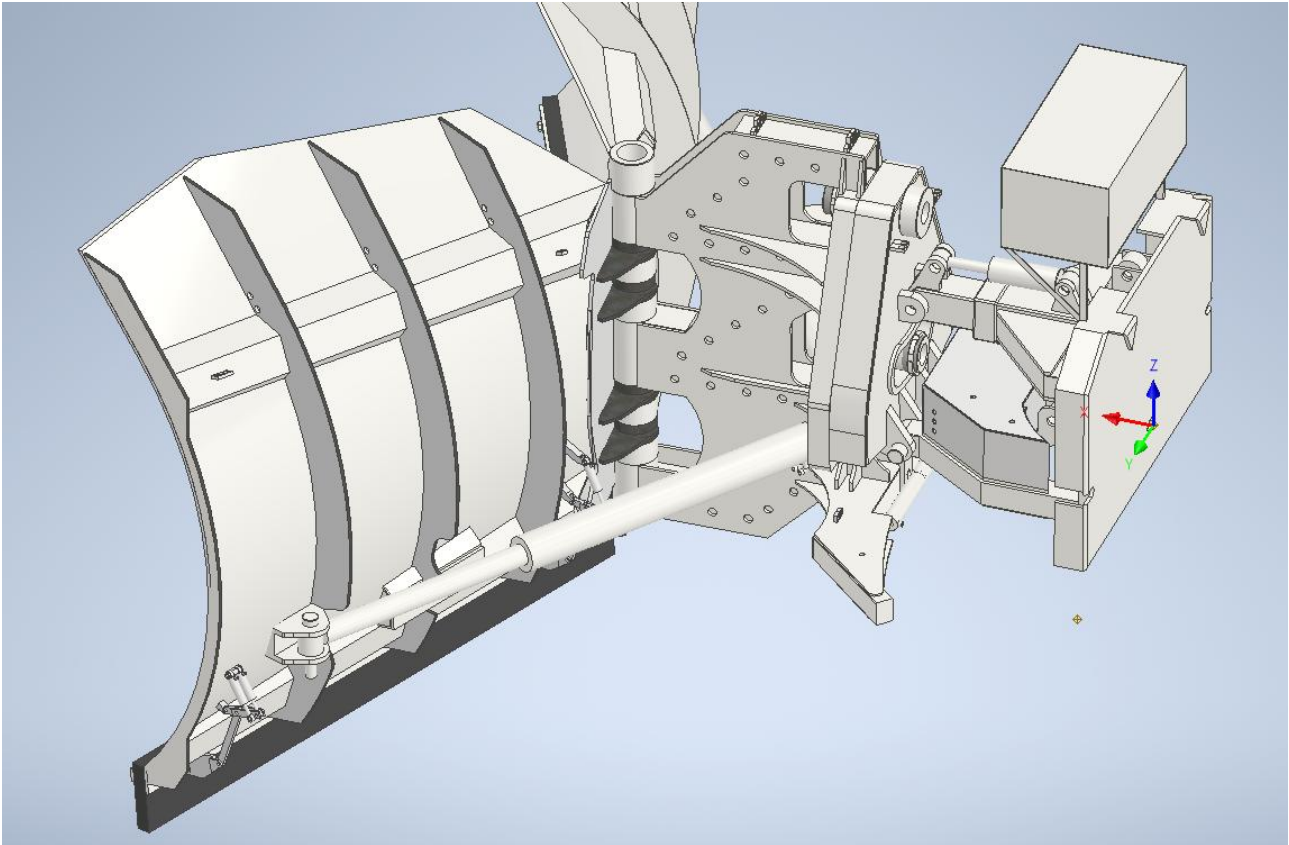


Figura 6: vista laterale Vomero senza tubi idraulici

La nostra struttura è composta da alcune parti fondamentali. La sezione posteriore ha la funzione di sollevare il Vomero ed è collegata al mezzo di movimentazione tramite una piastra DIN (colore blu in figura 7). A questa sezione sono connessi due bracci: il braccio inferiore (colore marrone in figura 7) e il braccio superiore (colore grigio in figura 7), che è telescopico e consente il movimento di beccheggio del Vomero (figura 7).

L'attuatore per il beccheggio sarà riferito con "A1" mentre quello per il sollevamento con "A2".

In figura 8 possiamo vedere una posizione diversa degli attuatori "A1" e "A2", "A1" è completamente esteso mentre "A2" possiede ancora una corsa residua.

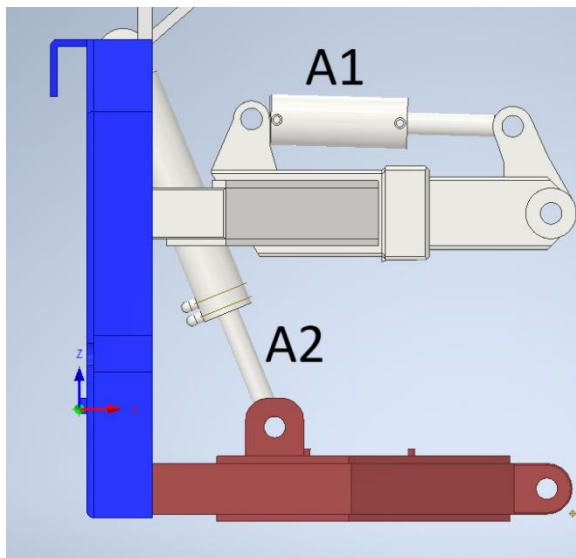


Figura 7: sistema di sollevamento [1]

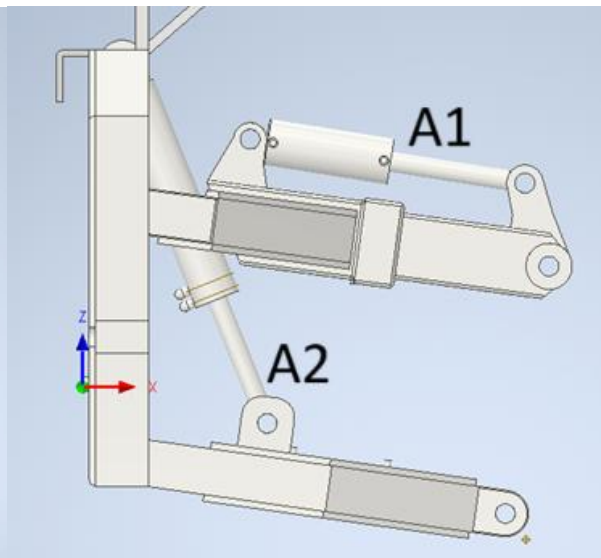


Figura 8: sistema di sollevamento in posizione differente [1]

Nella parte anteriore sono presenti due piastre collegate superiormente tramite un perno (di colore nero), che consente la rotazione e permette alla struttura di adattarsi alla conformazione della strada e alla sua inclinazione trasversale (figura 9). In figura 10 vediamo la struttura centrale con rollio a fine corsa.

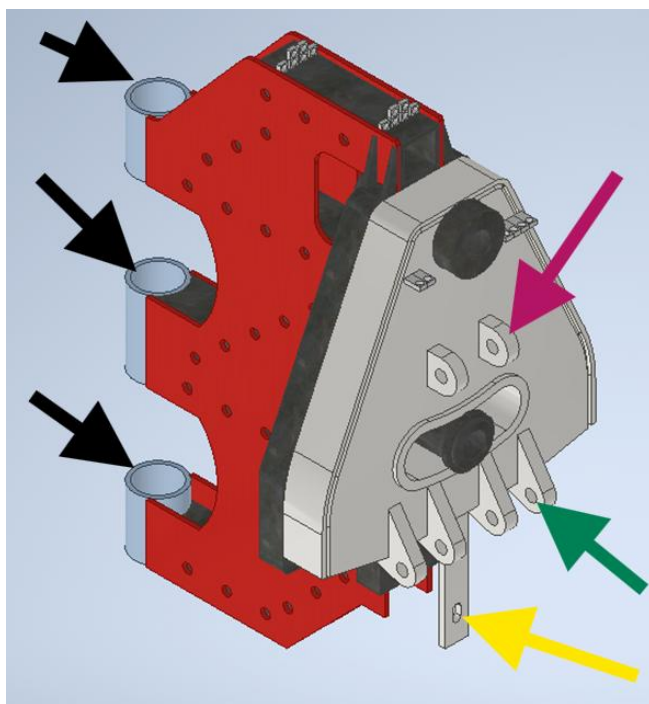


Figura 9: struttura centrale e montante fisso [1]

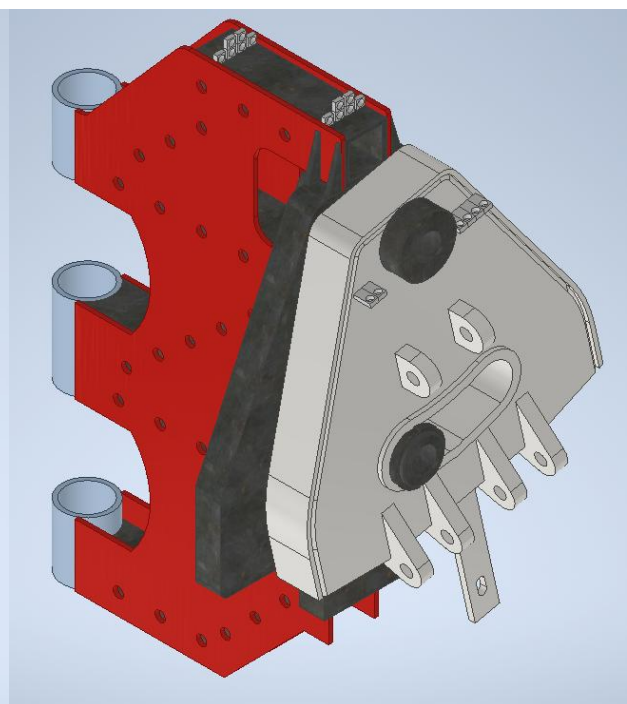


Figura 10: montante fisso in posizione differente [1]

Il braccio inferiore è collegato ai supporti indicati dalla freccia verde, mentre quello superiore dalla freccia magenta. Al di sotto di esse è stato integrato un pistone disposto trasversalmente, attaccato dove indica la freccia gialla, la cui funzione è quella di correggere il rollio del sistema. Visto il suo posizionamento e per vantaggio di regolazione è stato usato un attuatore lineare a stelo passante (figura 11), che chiameremo “A3”.

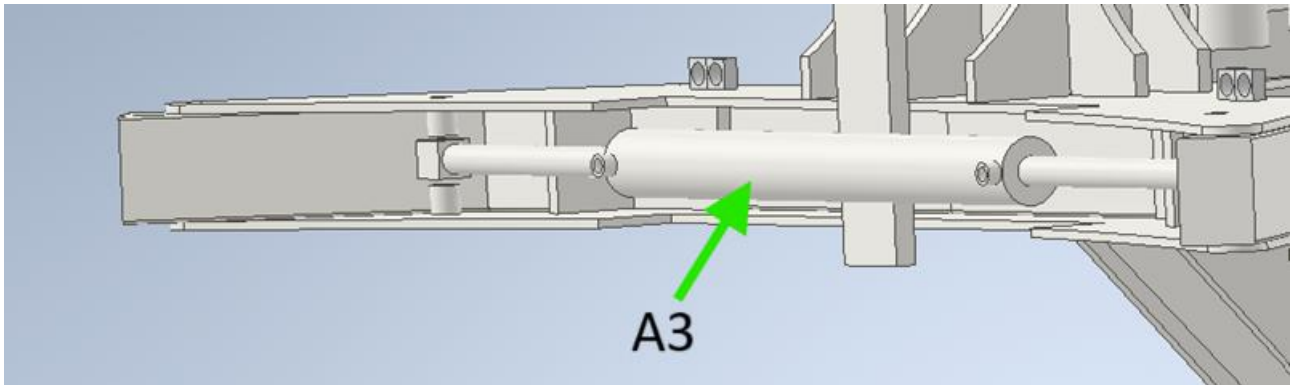


Figura 11: pistone di rollio [1]

Nella sezione anteriore è posizionato il corpo principale del vomero (distinto dai colori rosso e nero) (figura 9), al quale sono fissate le ali tramite una cerniera con boccole (color azzurro) indicate da frecce nere. Da questo corpo si estendono le due ali, ciascuna azionata da un pistone dedicato che ne controlla il movimento in modo indipendente.

In figura 12 possiamo notare l'attuatore dell'ala sinistra "A4" di colore giallo, la freccia verde indica il perno che collega "A4" con la struttura centrale, mentre la freccia arancione indica il collegamento con la relativa ala (figura 13).

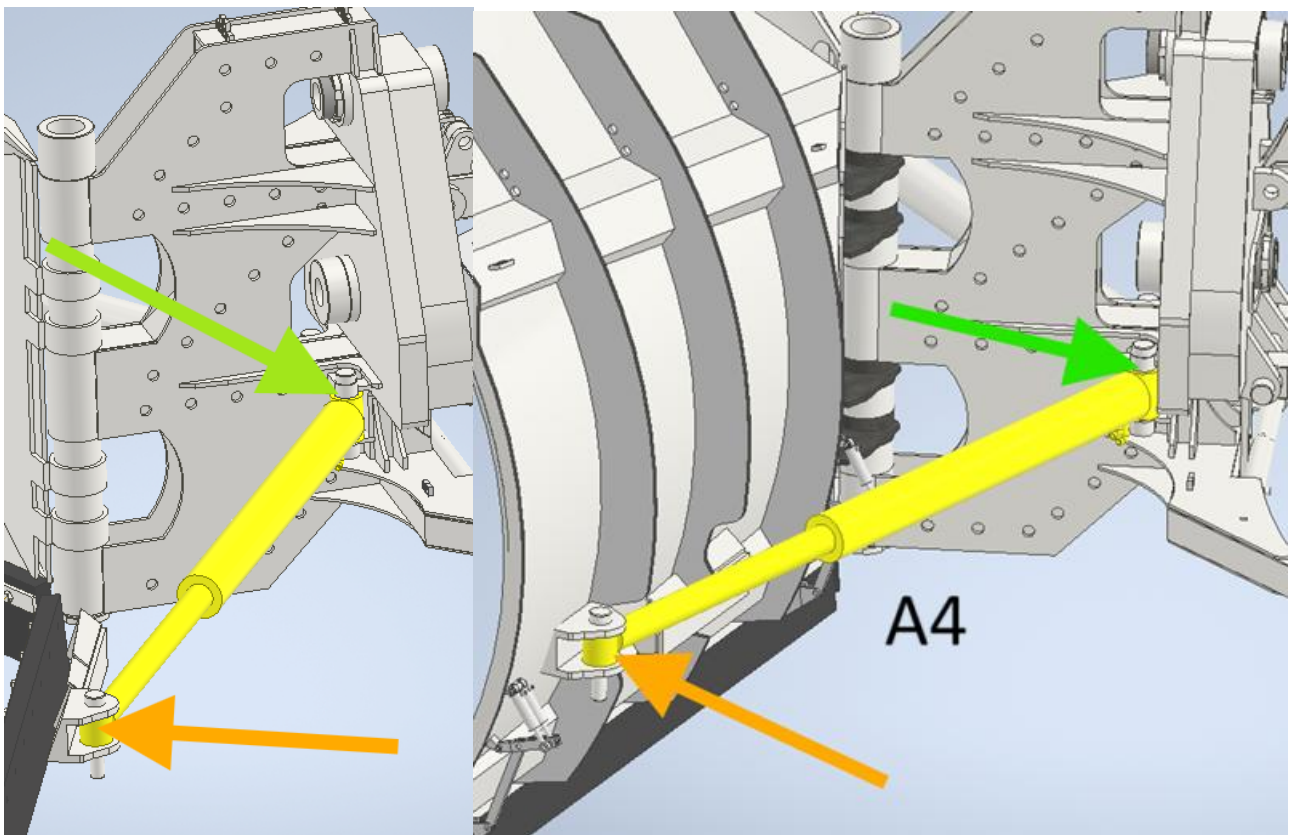


Figura 12: ala sinistra e relativo pistone [1]

Figura 13: ala sinistra e relativo pistone, altra vista [1]

Ora possiamo rivedere la struttura nel suo complesso (figura 14 e 15).

Nella figura 14 la piastra DIN è stata evidenziata con un punto rosso, mentre il raschiante in gomma telata è indicato da due frecce di colore giallo.

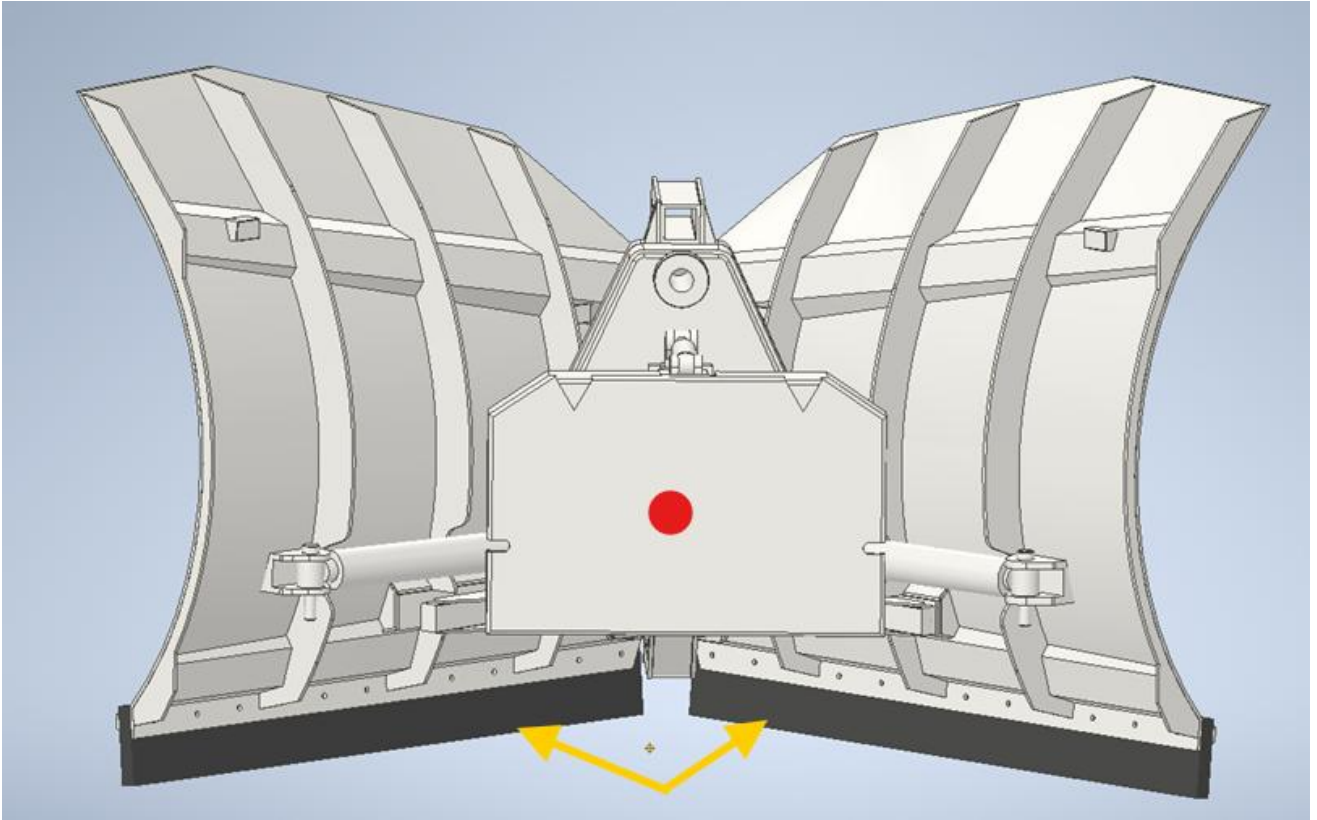


Figura 14: Vomero vista posteriore [1]

In figura 15 sono evidenziati, mediante colori distinti, i principali componenti del sistema: in verde, il sistema di sollevamento e la struttura centrale; in blu, gli attuatori dedicati al movimento delle ali (“A4” e “A5”); in marrone, le ali stesse.

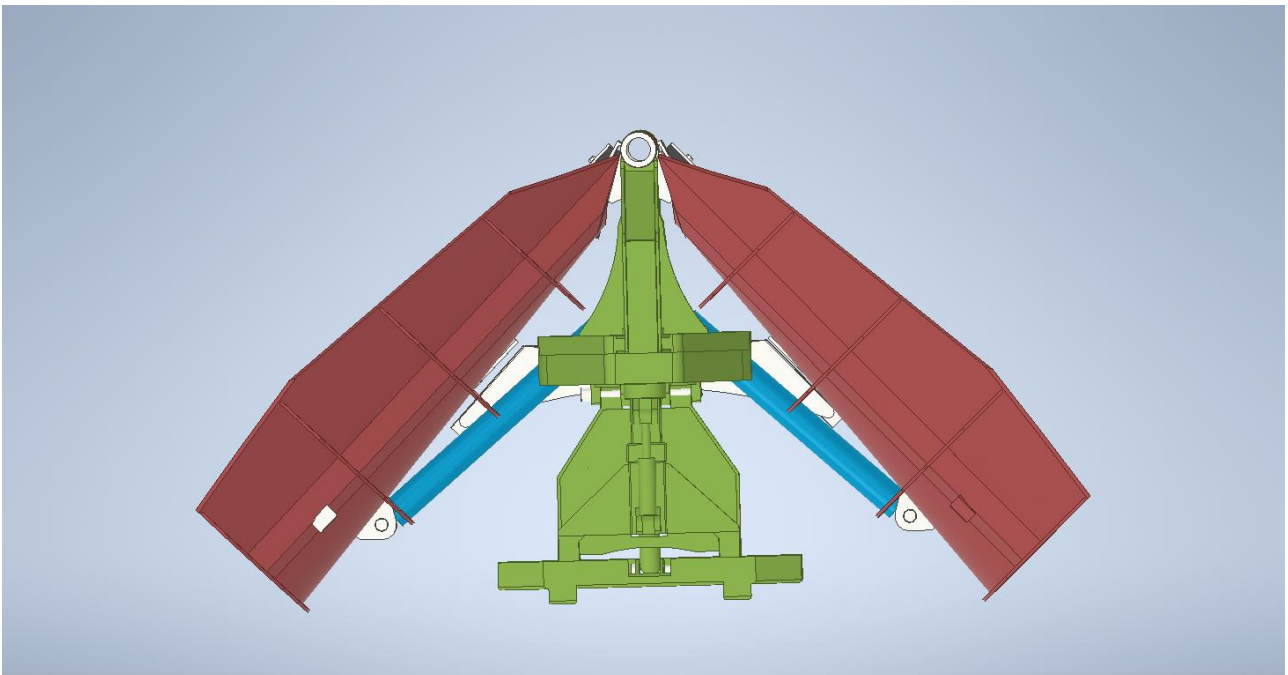


Figura 15: Vomero vista dall'alto [1]

A conclusione della descrizione della struttura ripresa da “Studio di un Vomero Spalaneve” [1], è opportuno segnalare un’ultima modifica: la posizione dell’attuatore “A2” è stata leggermente variata, senza comprometterne le funzionalità, per migliorare le prestazioni del sistema. Confrontando le figure 16 e 17, si notano differenze nei punti di attacco dell’attuatore: il collegamento alla piastra DIN è indicato dalla freccia viola, mentre l’estremità opposta è segnalata dalla freccia verde.

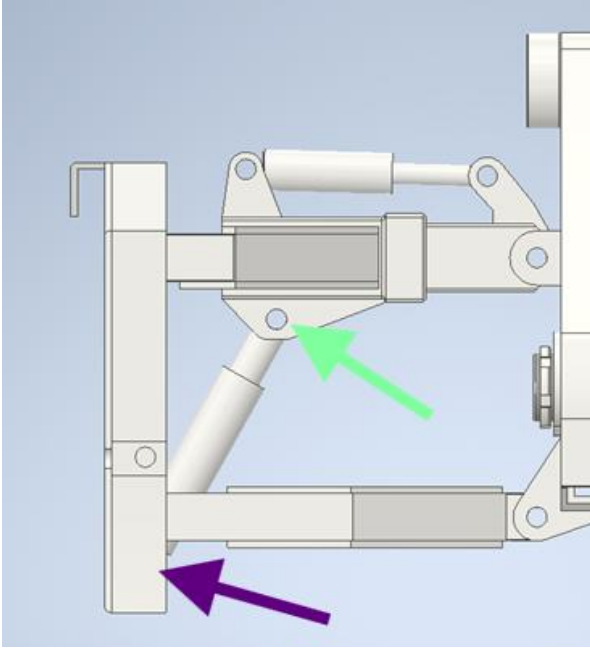


Figura 16: sistema di sollevamento originale [1]

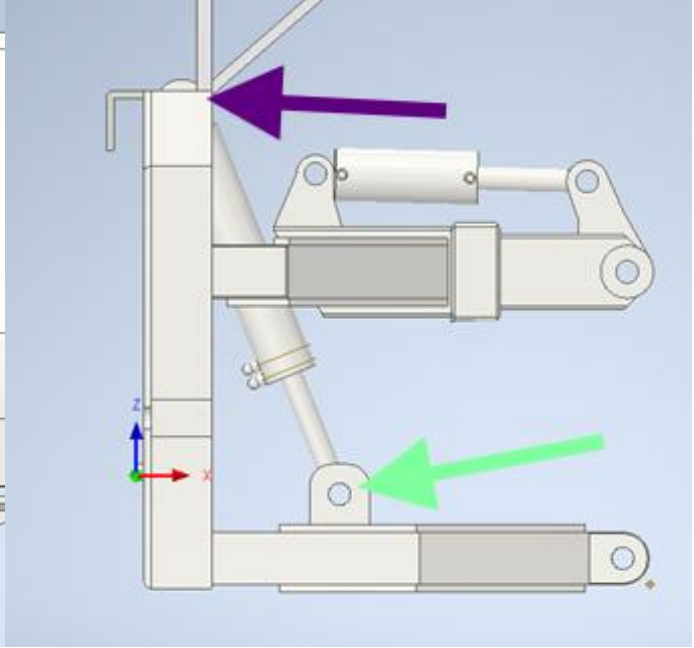


Figura 17: sistema di sollevamento

2.2 Pistoni di movimento

Il Vomero è equipaggiato con tre pistoni che l'operatore può controllare indipendentemente: “A2” per il sollevamento, “A4” per comandare l'ala sinistra e “A5” per l'ala destra (figura 18). In un secondo momento, vedremo come è stato implementato un sistema che consente di azionare entrambe le ali simultaneamente.

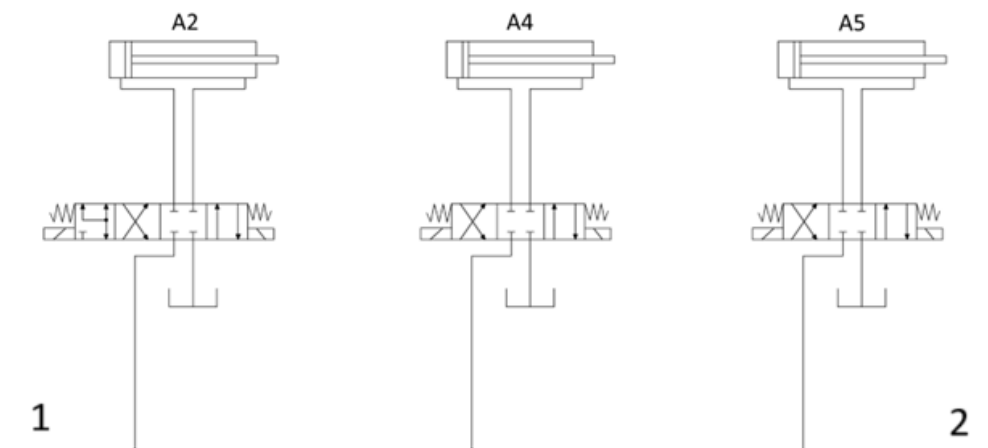


Figura 18: schema oleodinamico di attuatori e valvole per: sollevamento, ala destra e sinistra.

Durante l'utilizzo, di solito, la valvola [10] che controlla il pistone di sollevamento viene messa in posizione "flottante", questo permette di scaricare completamente il peso del Vomero a terra e di seguire la strada in modo efficace.

2.3 Sistema di correzione automatica delle variazioni del manto stradale

La correzione automatica delle deviazioni direzionali, sia trasversali (rollio) (figura 19) che longitudinali (beccheggio) (figura 20), è affidata a un sistema oleodinamico basato su piccoli pistoni idraulici. Questi pistoni ricevono olio in funzione della deformazione del coltello in gomma, fissato anteriormente alle ali mediante viti, e reagiscono dinamicamente alle sue variazioni, contribuendo all'adattamento continuo dell'orientamento del sistema.

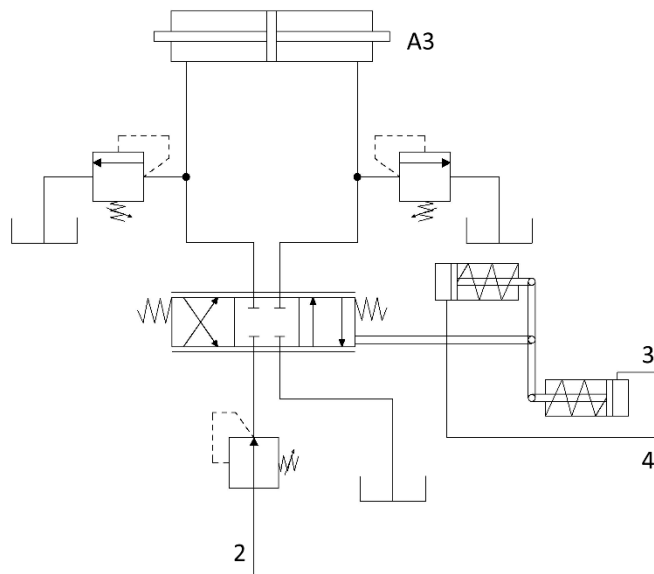


Figura 19: circuito oleodinamico dedicato al rollio

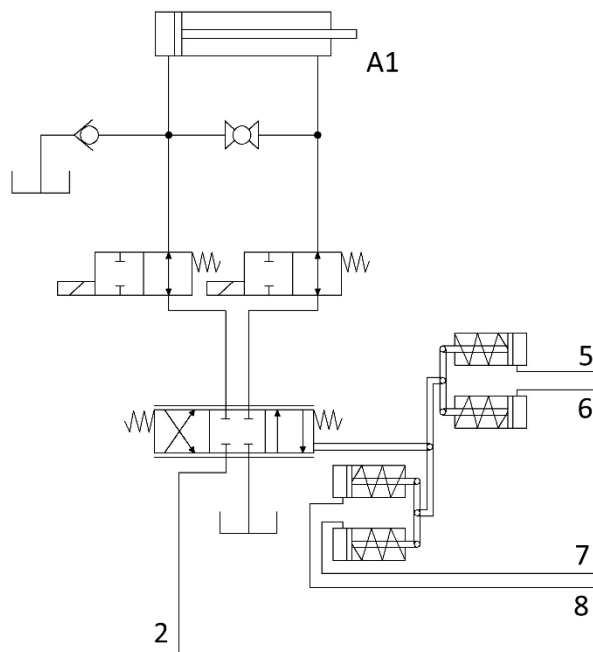


Figura 20: circuito oleodinamico dedicato al beccheggio

Quando il coltello si deforma durante l'operazione, anche di diversi centimetri, la variazione viene trasmessa a un sistema di leve moltiplicatrici (figura 21 e 22), che amplificano lo spostamento e lo trasferiscono alla parte superiore dell'ala. In questa zona sono collocati i pistoni (figura 23) che, attivati dal movimento trasmesso, inviano fluido idraulico verso gli altri pistoni collegati alle due valvole (figura 19 e 20). Queste valvole controllano a loro volta i cilindri responsabili dell'assetto della macchina, permettendo l'adattamento automatico del beccheggio e del rollio.

Nella figura 22 il sistema di leve è rappresentato in una posizione diversa rispetto alla figura 21, per mostrare la configurazione del sistema quando la gomma è deformata. Il raschiante, invece, è mostrato sempre nella sua forma indeformata, poiché è stato modellato in condizioni di riposo. Per rendere più comprensibile il funzionamento del sistema, la gomma è stata rappresentata in modo trasparente, a indicare che la posizione visibile non corrisponde a quella reale.

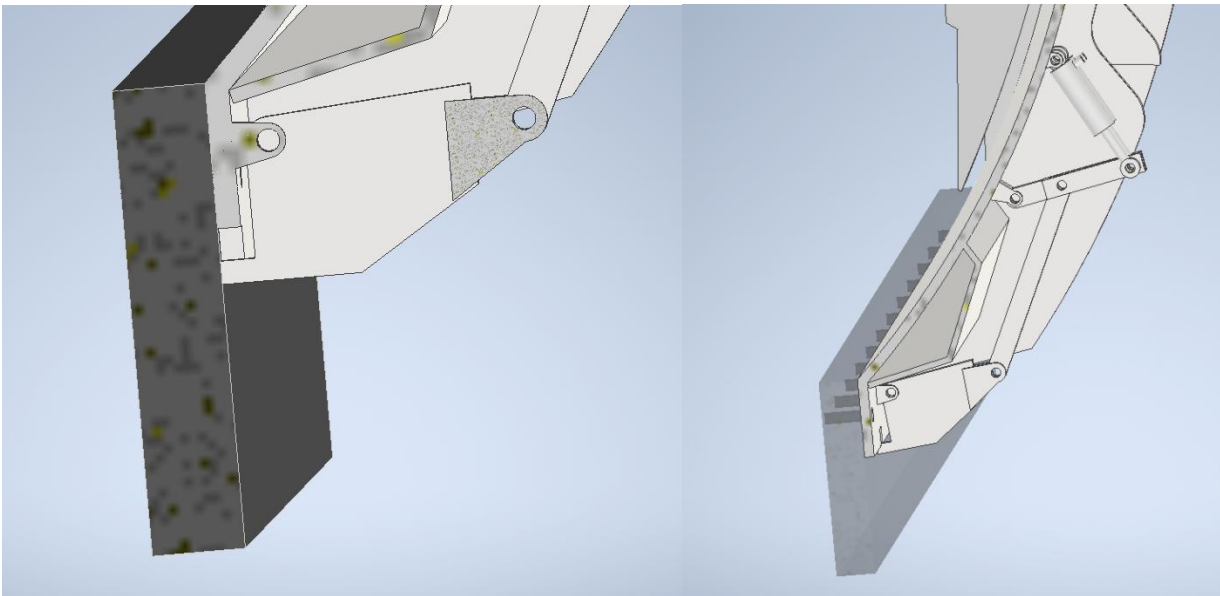


Figura 21: sistema di leve, posizione gomma indeformata

Figura 22: sistema di leve, posizione gomma deformata

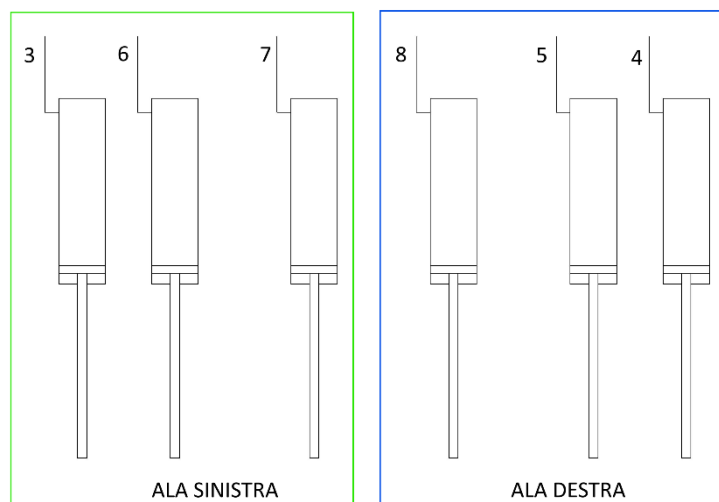


Figura 23: schema oleodinamico dei pistoni sulle ali

Per aumentare l'affidabilità del sistema in condizioni ambientali gravose, come la presenza di sale sulla carreggiata, si è evitato l'uso di trasduttori elettrici o sensori laser, optando per una soluzione

meccanico-idraulica più resistente. Il sistema a doppio rinvio moltiplica la deformazione di circa sei volte, consentendo di ridurre l'ingombro e di proteggere il pistone da agenti corrosivi.

L'impianto su ciascuna ala è composto da tre pistoni: due posizionati all'esterno e uno all'interno. Per completezza, si riportano i riferimenti numerici per entrambe le ali (figura 23): sull'ala sinistra i pistoni esterni (in figura 24 riquadro verde) sono il 3 e il 6, mentre quello interno è il 7 (in figura 24 riquadro arancione); sull'ala destra, gli esterni sono il 4 e il 5 e l'interno è l'8. Tra questi, quattro pistoni (5, 6, 7 e 8) sono dedicati alla correzione del beccheggio, mentre i due esterni (3 e 4) sono incaricati del controllo del rollio.

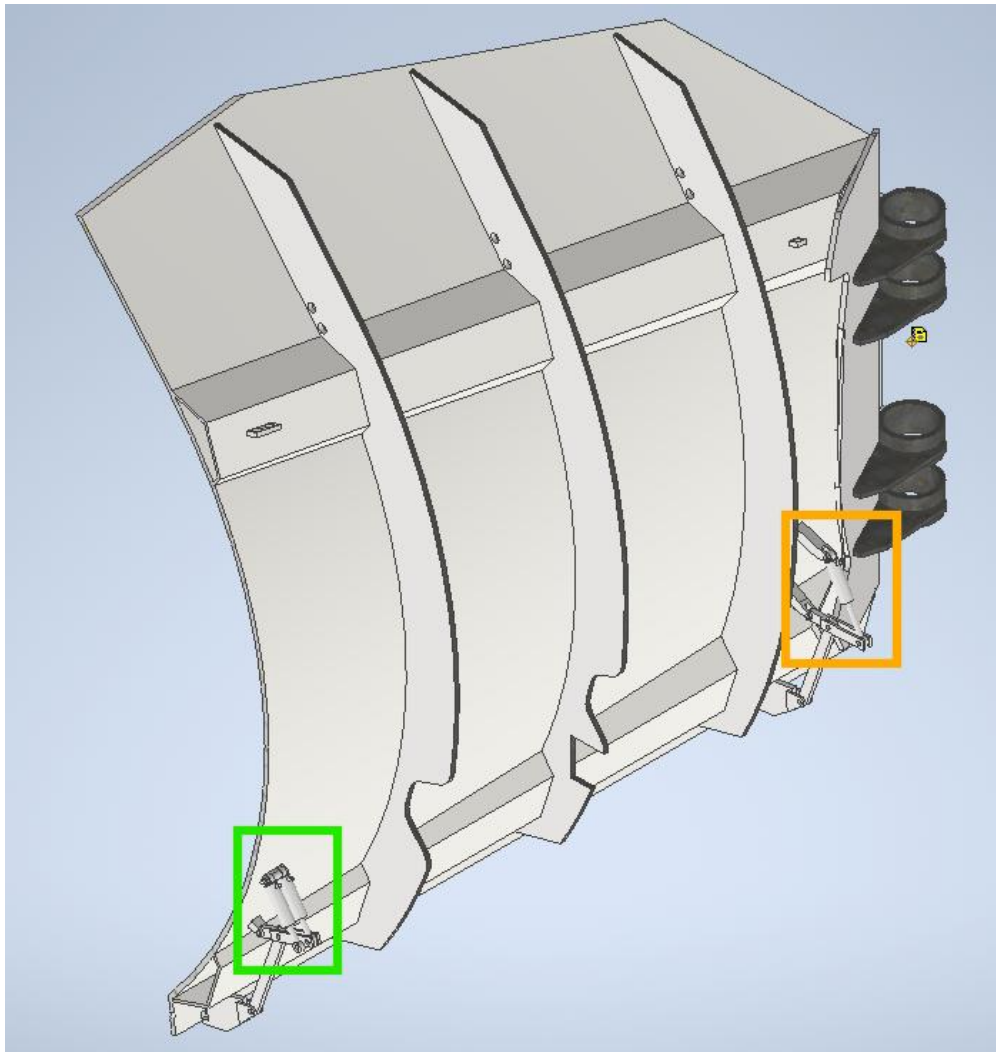


Figura 24: dettaglio ala sinistra con attuatori evidenziati

Per semplificare la gestione e separare chiaramente i due movimenti, i relativi circuiti oleodinamici sono stati disaccoppiati.

Il sistema si comporta come un anello di controllo chiuso. La precisione e la prontezza della regolazione dipendono dai parametri di taratura del circuito.

2.3.1 Logica di controllo in retroazione

Il sistema opera misurando la deformazione della gomma in quattro punti specifici: ai lati e al centro del Vomero. Il principio di funzionamento si basa sull'impiego di leve a tre punti e varia a seconda

della configurazione dei pistoni, come illustrato nelle figure 19 e 20, utilizzando logiche meccaniche diverse per ottenere effetti differenti sul sistema.

In figura 19, i pistoni collegati tramite le linee 3 e 4 sono disposti in modo contrapposto, consentendo di ottenere una differenza tra i segnali di deformazione del raschiante.

In figura 20, invece, i pistoni 5 e 6 si trovano sullo stesso lato, per cui i segnali vengono sommati. Più precisamente, vengono effettuate due somme: una tra i pistoni 5 e 6, l'altra tra i pistoni 7 e 8. I risultati parziali così ottenuti vengono poi sottratti tra loro, in quanto, nel contesto della leva a tre punti centrale, i due input si trovano ai lati opposti.

Nella figura 25 si possono osservare le valvole [10] che comandano gli attuatori, contrassegnate da pallini di diverso colore. Le tre valvole con il pallino rosso sono azionate manualmente dall'operatore (sollevamento, ala destra e ala sinistra); la valvola con il pallino blu controlla il beccheggio, mentre quella con il pallino verde gestisce il rollio.

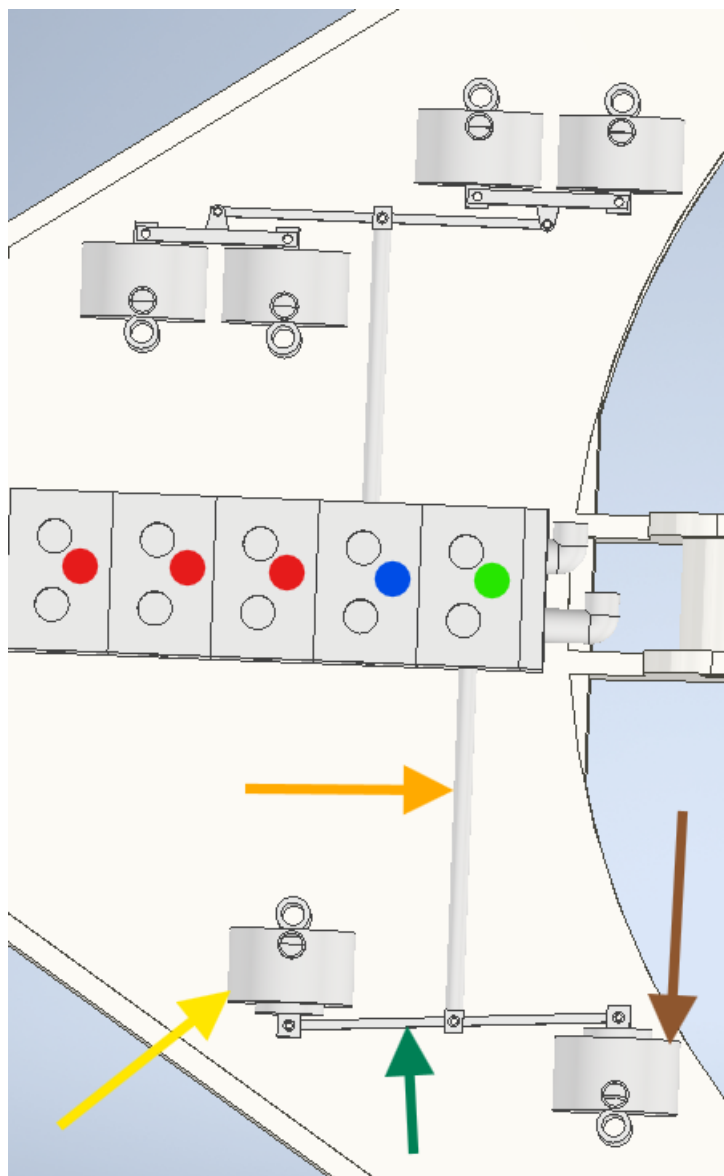


Figura 25: valvole e pistoni a semplice effetto, vista dall'alto

Nella figura 25, le frecce indicano diversi componenti: la freccia arancione rappresenta un'asta collegata al cassetto della valvola; le frecce gialla e marrone evidenziano i pistoni che azionano un bilanciere, a sua volta segnalato dalla freccia verde. Componenti analoghi sono presenti anche nel sistema della valvola di beccheggio.

Come mostrato in figura 26, la camicia del pistone (indicata dalla freccia gialla) è collegata a una boccola (freccia blu), che a sua volta permette al perno (freccia rossa), solidale ai bracci inferiori (pallino verde), di mantenere il pistone correttamente in posizione.

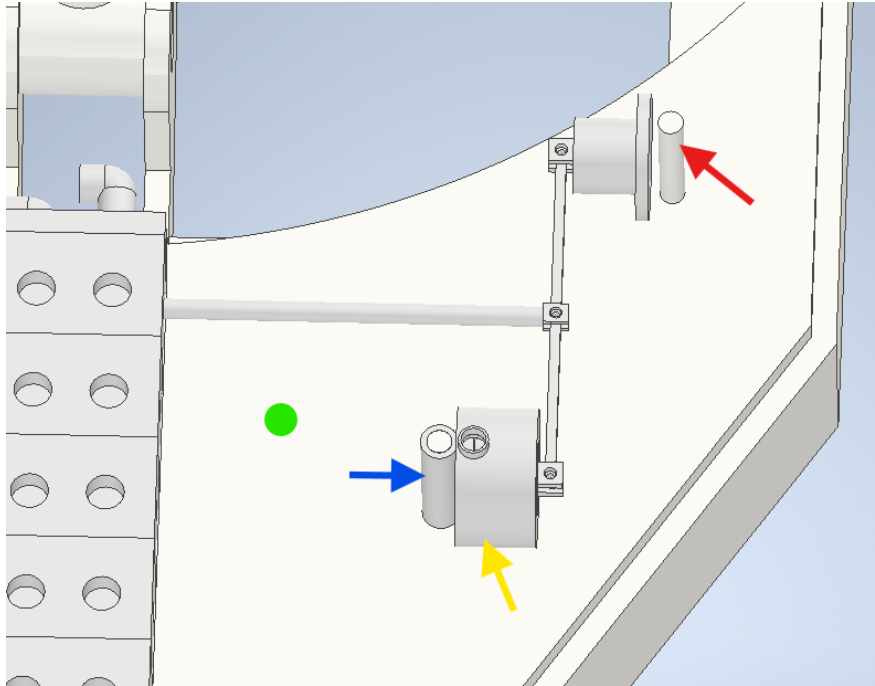


Figura 26: dettaglio pistoni: in alto senza camicia, in basso completo

In figura 27, lo stelo (indicato con il pallino rosso), dotato di un supporto evidenziato da due frecce blu, è collegato al bilanciere tramite un perno (non visibile in figura).

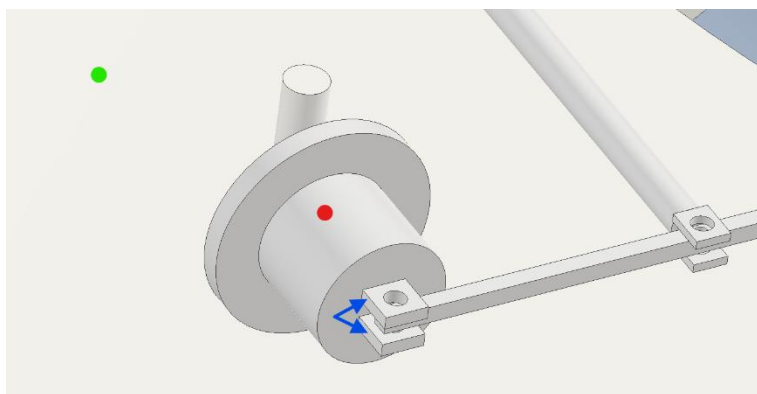


Figura 27: dettaglio di un pistone senza camicia

2.3.2 Esempio di funzionamento

Le dimensioni dei pistoni in prossimità delle valvole sono pari a 50 mm di diametro, una scelta progettuale che tiene conto dello spostamento massimo del cassetto valvola, limitato a 6 mm per lato. Il sistema di leve assicura che, anche nelle condizioni più gravose, questo valore non venga superato.

Consideriamo, ad esempio, il controllo del rollio, che si basa esclusivamente sul confronto tra le deformazioni rilevate alle estremità laterali delle ali. In condizioni simmetriche, ovvero quando entrambe le deformazioni sono uguali, sia esse nulle (figura 28) sia al valore massimo (figura 29), il punto centrale del sistema di leve rimane nella stessa posizione. Di conseguenza, la valvola associata si mantiene in posizione neutra e non produce alcun effetto correttivo.

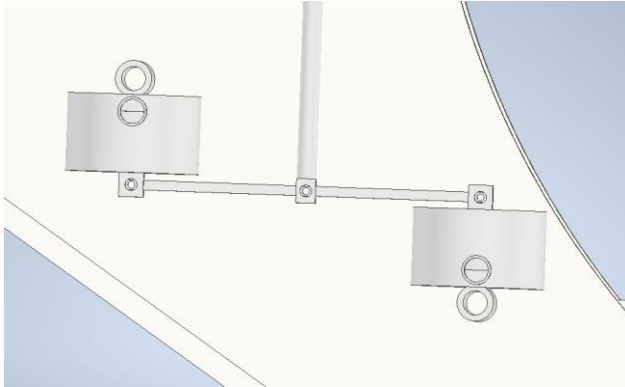


Figura 28: pistoni completamente retratti

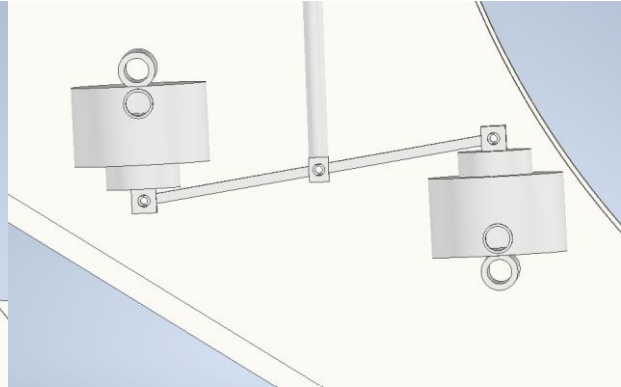


Figura 29: pistoni completamente estesi

In una condizione asimmetrica, ad esempio con una deformazione nulla su un lato e il valore massimo sull'altro (figura 30), il sistema entra in azione. I due pistoni collegati alle estremità generano uno squilibrio nella leva centrale, che si traduce in uno spostamento dell'asta connessa al cassetto valvola.

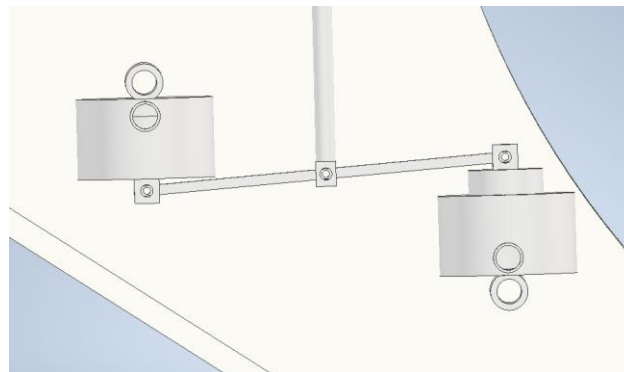


Figura 30: pistoni in posizioni diverse

Tale spostamento determina l'apertura della valvola e l'attivazione del pistone responsabile del controllo del rollio. Il sistema prosegue il movimento correttivo finché la condizione di equilibrio viene ristabilita, ossia quando le deformazioni ai lati risultano nuovamente uguali. In tal modo, il sistema garantisce un ritorno automatico alla posizione neutra, mantenendo la stabilità dell'assetto.

2.4 Componenti oleodinamiche

L'intero circuito oleodinamico è montato direttamente sul Vomero, ma sarà necessario fornire potenza elettrica e i comandi da parte dell'operatore.

2.4.1 Gruppo di alimentazione

Sulla nostra macchina verrà utilizzato un motore elettrico accoppiato a una pompa capace di erogare 22 litri al minuto a una pressione di 200 bar [11] (figura 31). Per gestire l'attivazione e la disattivazione del motore, collegato direttamente alla pompa, si impiegherà un pressostato che monitorerà la pressione in uscita dalla pompa. Se la pressione scende sotto i 180 bar, il motore verrà attivato, mentre se supera i 200 bar, il motore verrà disattivato.

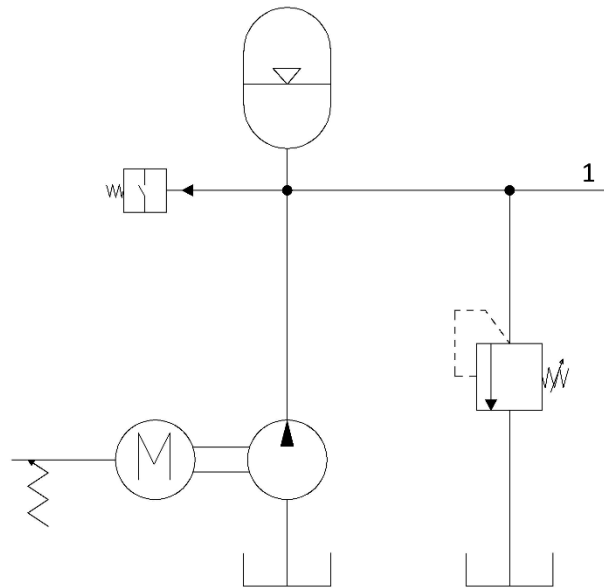


Figura 31: schema oleodinamico gruppo di alimentazione

Nel circuito è presente un accumulatore, che garantisce un'autonomia limitata e consente di evitare l'attivazione del motore elettrico per ogni piccola richiesta di energia. Inoltre, è stata installata una valvola limitatrice di pressione per prevenire il verificarsi di pressioni eccessive nell'impianto, evitando danni da guasti o sovraccarichi.

Il gruppo di alimentazione è stato posizionato all'interno del parallelepipedo nella figura seguente, una configurazione che è comune a molte macchine in uso (figura 32).

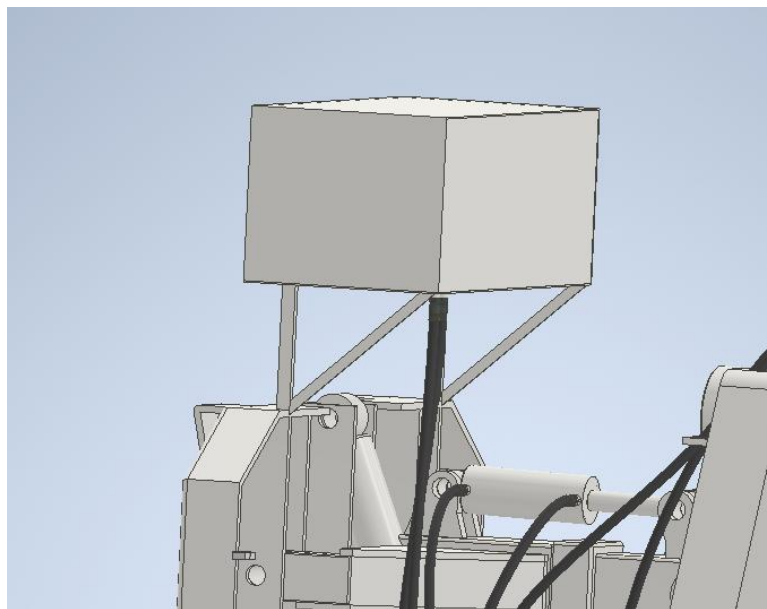


Figura 32: posizione gruppo di alimentazione

2.4.2 Rigenerazione del movimento delle ali

Quando è necessario utilizzare la modalità lama, il Vomero, composto da due ali, deve garantire il parallelismo tra di esse. Per farlo, è necessario eseguire due movimenti simultanei (figura 33): un pistone deve muoversi in un senso (per esempio estendersi, A5), mentre l'altro nel senso opposto (per esempio ritrarsi, A4).

Visto che, durante il lavoro è necessario cambiare l'angolazione delle ali, per esempio quando si affronta una curva, questo comporta un'elevata richiesta di olio (perché devo muovere i due attuatori contemporaneamente) e, di conseguenza, un rallentamento nelle operazioni.

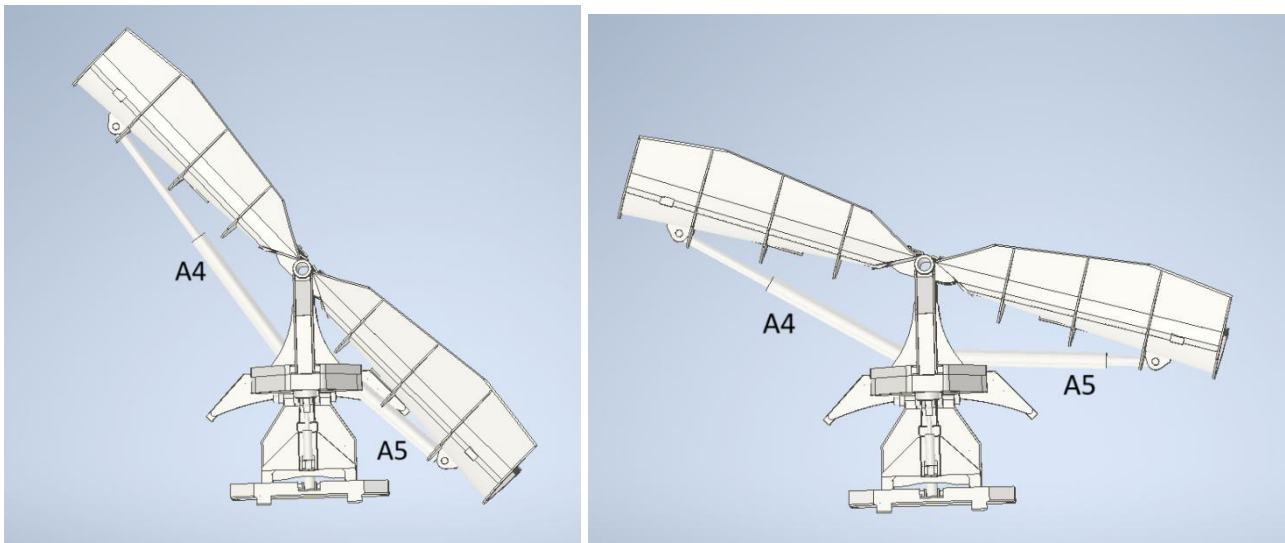


Figura 33: Vomero vista dall'alto, utilizzato a lama: a sinistra ala destra a fine corsa, a destra in posizione diversa

Per ovviare a questo problema, è stato progettato un sistema che, tramite cinque valvole on/off (da B1 a B5) che sono attivate contemporaneamente, consente di rigenerare l'olio (figura 34). In pratica, l'olio che esce da un pistone (e dovrebbe andare a scarico) fa muovere l'altro.

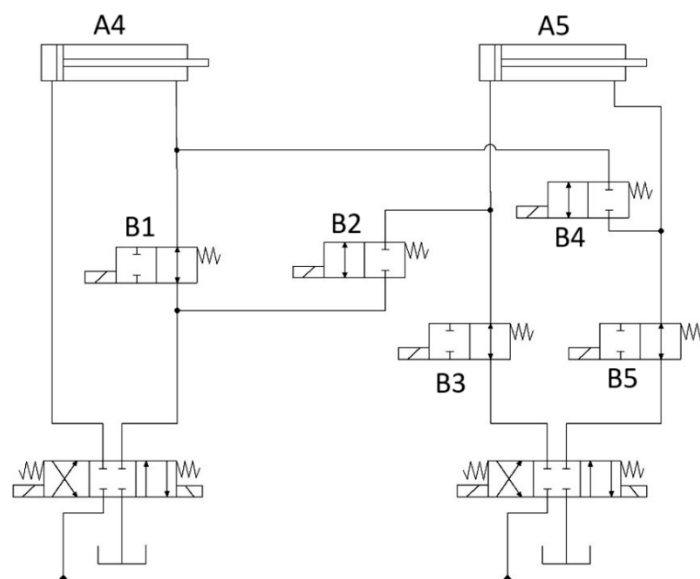


Figura 34: schema oleodinamico rigenerazione ali

In questo modo, entrambe le ali possono essere movimentate utilizzando la stessa quantità di olio che sarebbe necessaria per azionarne una sola. È inoltre possibile compiere l'intera corsa degli attuatori: ad esempio, come mostrato in figura 33, l'elemento A4 può essere completamente represso dalla sua posizione iniziale di massima estensione.

È importante sottolineare che questo sistema può essere utilizzato solo quando le ali si trovano in una posizione parallela, ma tale condizione è valida per qualsiasi posizione parallela delle ali.

2.4.3 Tubazioni

Per collegare i vari componenti idraulici del sistema sono stati impiegati tubi flessibili: tubi da 1/4" per il circuito di retroazione e tubi da 3/8" per il resto dell'impianto.

Anche se non appare evidente osservando l'immagine, i tubi da 1/4" dedicati alla retroazione, che collegano l'esterno dell'ala al comparto valvole, superano i 4 metri di lunghezza. Le loro caratteristiche sono state inserite all'interno di "Simcenter Amesim" per ottenere risultati quanto più accurati possibile.

L'immagine sottostante illustra i percorsi e gli ingombri dei tubi (figura 35). Tutte le valvole precedentemente descritte e mostrate sono posizionate sotto il coperchio visibile in figura. La loro collocazione risulta facilmente intuibile grazie alla concentrazione di tubi in quel punto.

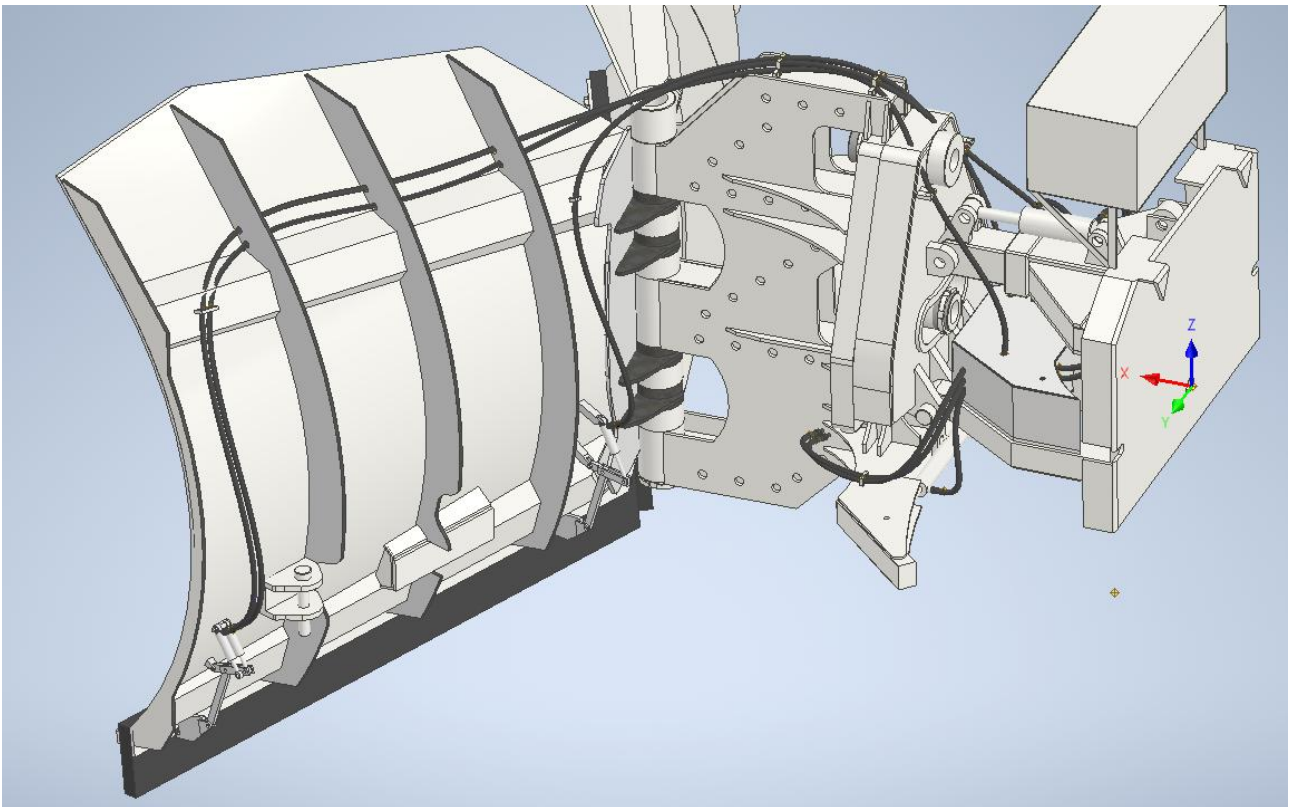


Figura 35: vista laterale Vomero

Capitolo 3 - Implementazione in “Simcenter Amesim”

3. Descrizione dei blocchi

3.1 Introduzione al software

Dal momento che l'analisi delle attuazioni risultava troppo complessa da svolgere manualmente o attraverso test fisici, non essendo mai stato realizzato il Vomero, si è deciso di utilizzare un software di simulazione dedicato. In particolare, è stato utilizzato "Simcenter Amesim", che consente di analizzare i movimenti dei corpi e le loro interazioni con i cilindri idraulici.

Il software, tuttavia, non permette l'importazione diretta delle geometrie 3D realizzate con "Autodesk Inventor", se non come sagome semplificate, utili esclusivamente come riferimento dimensionale.

Per superare questa limitazione, si è proceduto alla ricostruzione manuale dei singoli corpi all'interno di "Simcenter Amesim", specificandone dimensioni, masse, posizione del baricentro e momenti d'inerzia. In questo modo è stato possibile creare i corpi virtuali nel simulatore. Inizialmente, però, tali corpi risultavano svincolati, rendendo necessaria la definizione dei vincoli e delle connessioni per ottenere un modello dinamico coerente.

Per definire la cinematica del sistema, è fondamentale collegare i corpi tra loro tramite gli appositi elementi di connessione.

Esempio illustrativo: a sinistra un blocco "fixed body", al centro un giunto, e a destra un corpo (figura 36).

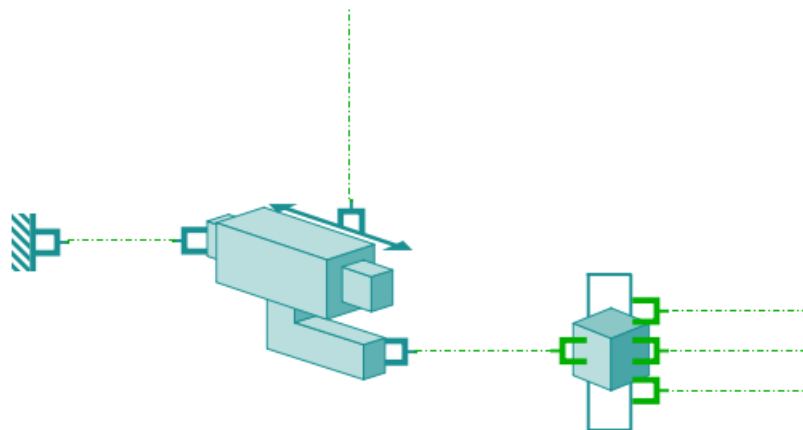


Figura 36: esempio blocchi

Si è quindi proceduto a connettere i corpi utilizzando un numero adeguato di vincoli, evitando situazioni di ipervincolamento che avrebbero potuto compromettere il corretto funzionamento della struttura. È importante notare che il sistema può tollerare un certo grado di labilità (cioè una leggera mancanza di vincoli), purché entro limiti accettabili.

Nel software, i contatti tra i corpi vengono realizzati tramite connessioni denominate “porte”. Ogni porta deve essere collegata a quella del corpo adiacente (precedente o successivo) e, per funzionare correttamente, necessita della definizione delle coordinate di connessione. Una volta specificate, tali coordinate permettono di determinare il tipo di vincolo tra i corpi.

I principali tipi di vincolo utilizzabili includono:

- Vincolo "pin" (cilindrico): consente la rotazione attorno a un asse.
- Vincolo sferico: permette tre gradi di libertà rotazionali.
- Vincolo prismatico: impedisce le rotazioni e consente solo uno spostamento lineare lungo un asse.

Ciascuno di questi vincoli può essere configurato come libero o guidato. Ad esempio, un vincolo cilindrico o prismatico può essere associato a un cilindro idraulico, che ne determina lo spostamento, consentendo così di simulare l'azione attiva del sistema.

3.2 Descrizione del software

Il software costituisce uno strumento efficace per la definizione dei blocchi tramite la strategia “pick and place”, consentendo il loro collegamento attraverso linee che agiscono come veri e propri bus informativi. L'intero assemblaggio avviene all'interno dell'ambiente denominato “sketch”, dove ogni blocco presenta connessioni verso l'esterno, dette “porte”.

È necessario collegare tutte le porte di ciascun componente; in caso contrario, il software non consente l'accesso all'ambiente successivo, chiamato “submodel”, dedicato alla definizione del modello.

Completata la parametrizzazione del modello nell'ambiente “parameters”, è fondamentale inserire uno o più input esterni, necessari affinché il software possa eseguire i calcoli. Questi input, applicabili ai corpi o direttamente ai giunti, includono forze, velocità, accelerazioni o momenti, interpretati come azioni esterne.

Dopo aver configurato tutti gli elementi, è possibile avviare la simulazione, prestando particolare attenzione alla corretta definizione dei gradi di libertà. Il software li calcola infatti in base al numero di corpi e al tipo e numero di giunti presenti nel modello. Di conseguenza, anche se nella realtà una struttura può muoversi, il programma potrebbe considerarla ipervincolata. Per garantire che la struttura possa effettivamente muoversi, è indispensabile che abbia almeno un grado di libertà.

I risultati della simulazione vanno sempre analizzati con spirito critico, tenendo conto delle possibili approssimazioni generate dal software. I blocchi utilizzabili sono raggruppati in librerie dedicate; per questo motivo, è essenziale definire fin dall'inizio il tipo di ambiente di lavoro, che nel nostro caso comprende sia la modalità 2D che quella 3D. I blocchi si differenziano in base alla loro composizione e appartenenza a diverse sotto-librerie.

Di seguito viene presentata una panoramica dei principali blocchi presenti nel software:

3.2.1 2d mechanical:

Bodies: rappresentano i corpi fisici del sistema, corrispondenti agli elementi reali. Il blocco “PLMBOD0” appartiene a questa categoria e può essere utilizzato in due versioni, con o senza

proprietà inerziali. Le variabili di ingresso associate a questo blocco sono riportate nella figura 37.

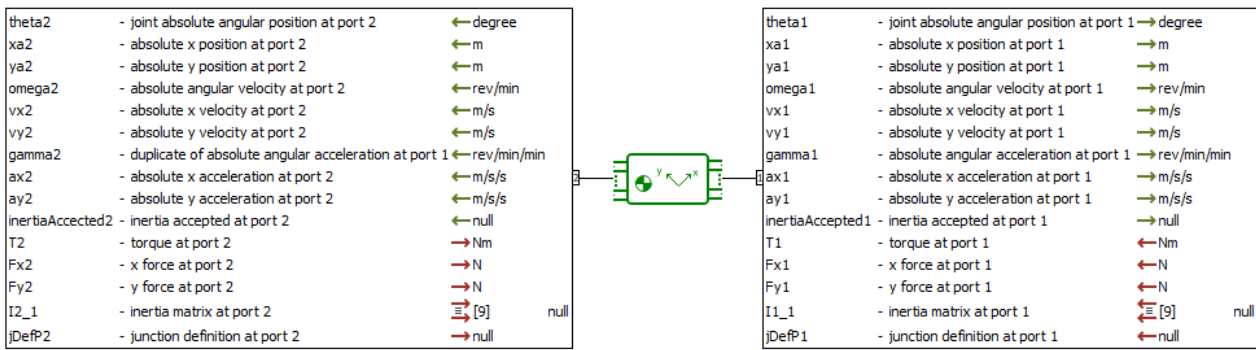


Figura 37: PLMDBOD0

Il blocco "PLMASSEMBLY" (figura 38) consente di generare l'assieme e di avviare la simulazione. Tramite questo elemento si accede inoltre all'ambiente di rendering, che permette la visualizzazione grafica del sistema modellato.

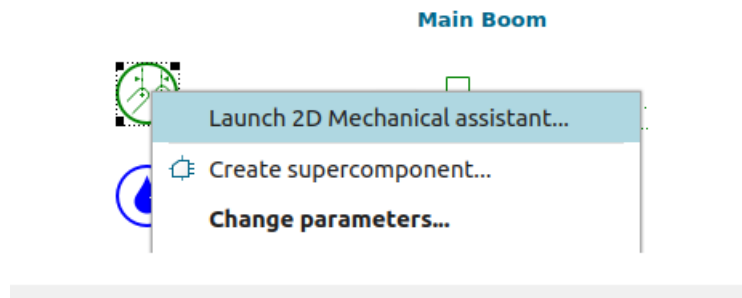


Figura 38: PLMASSEMBLY

“Contacts”: rappresentano i punti di contatto tra corpi singoli, come quelli che consentono lo strisciamento o il rotolamento (figura 39).

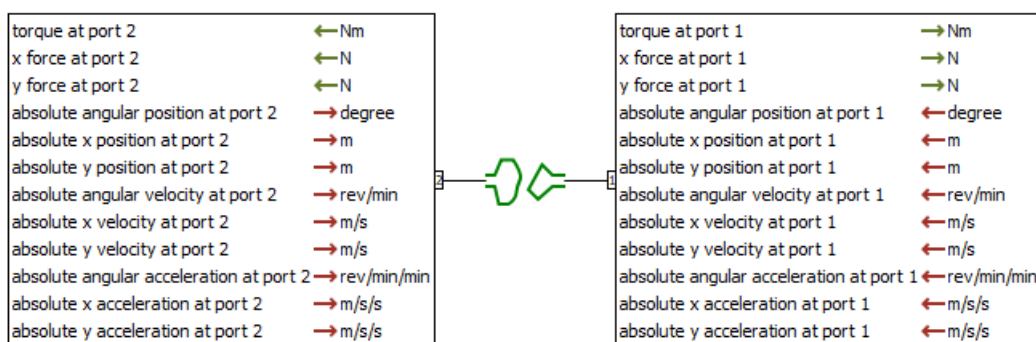


Figura 39: PLMCONT000

Sebbene nel nostro modello non siano stati impiegati elementi di contatto 2D, tali componenti consentono di simulare l'interazione tra due entità distinte, riproducendo il comportamento di contatto tra di esse. È disponibile anche una variante a geometria circolare, pensata per specifiche condizioni applicative.

Le “Junction” rappresentano vincoli tipici della meccanica 2D classica, come cerniere, carrelli e incastri, ma includono anche accoppiamenti prismatici, attuatori e altri tipi di giunzioni. Tali elementi

possono essere configurati come liberi oppure pilotati, qualora si intenda applicare forze o momenti direttamente sul vincolo.

Nel nostro caso, sono stati utilizzati principalmente vincoli prismatici: in un primo scenario, lasciati liberi di muoversi (figura 40), mentre in un secondo sono stati gestiti da un'azione esterna e classificati come “piloted” (figura 41).

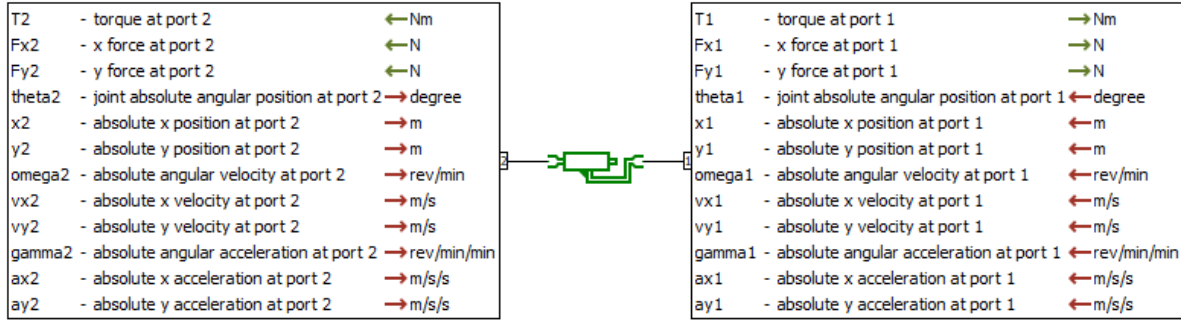


Figura 40: PLMTRA02

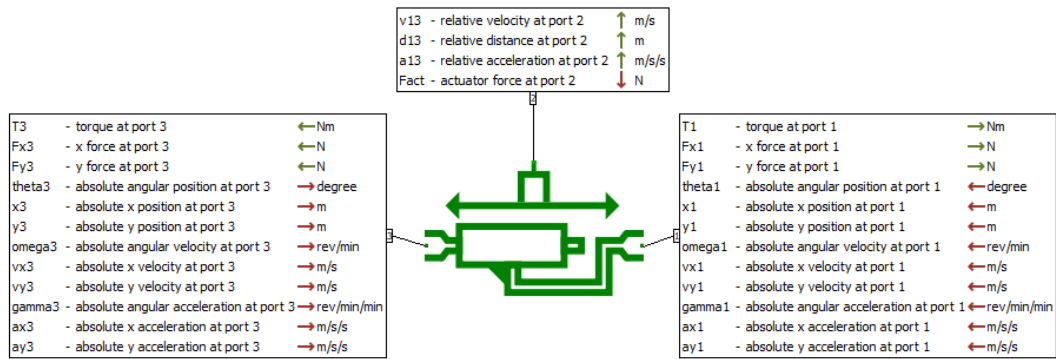


Figura 41: PLMTRA12

Per quanto riguarda le rotazioni, sono stati impiegati vincoli rotazionali di tipologia diversa, configurati sia come “free” (figura 42) sia come “piloted” (figura 43), a seconda delle esigenze del modello.

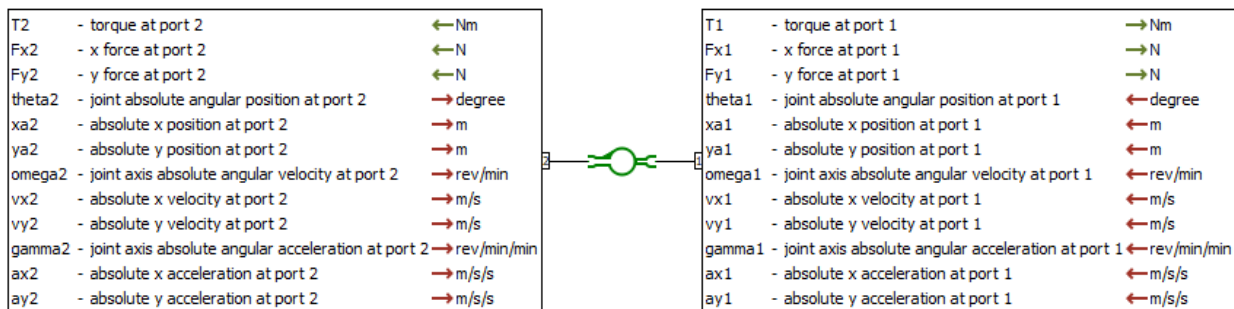


Figura 42: PLMPIV02

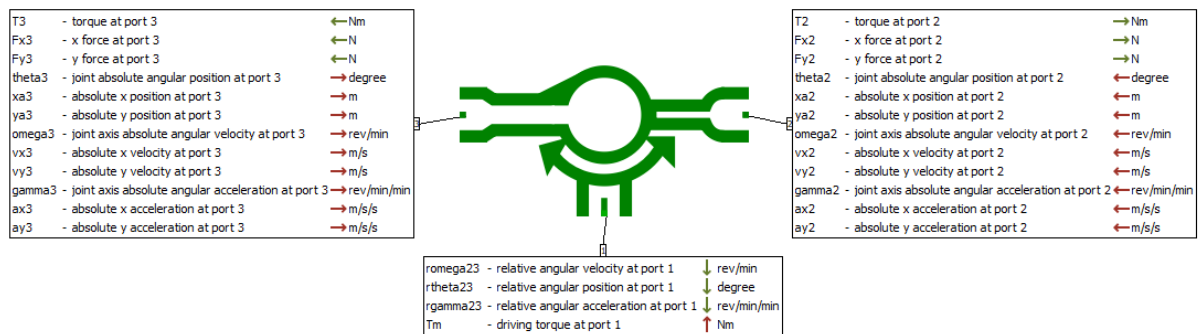


Figura 43: PLMPIV12

L'elemento "PLMJ00" (figura 44) è un tipo di giunto jack simile al vincolo "piloted" 2D, ma consente la rotazione alle estremità, riducendo quindi il numero di gradi di libertà vincolati.

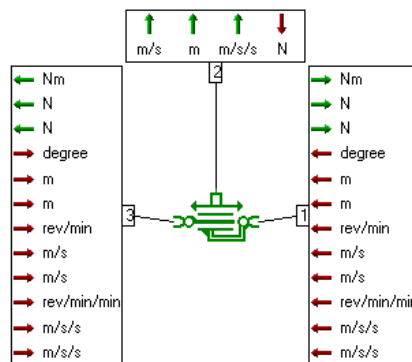


Figura 44: PLMJ00

I blocchi "Sources", "Nodes" e "Sensors" rappresentano una sottocategoria della libreria 2D. Le "Sources" comprendono sorgenti a forza nulla e a posizione nulla. I "Nodes" sono utilizzati per la trasformazione dei segnali e per l'interconnessione tra librerie differenti. I "Sensors" consentono di rilevare e misurare grandezze fisiche durante la simulazione.

Il blocco "Zero Force" è particolarmente utile quando si desidera chiudere un elemento o un blocco 2D su una sua porta, imponendo condizioni di forza e momento nulli (figura 45).

Il blocco "fixedbody" viene impiegato per vincolare completamente un corpo, eliminandone tutti i gradi di libertà (figura 46).

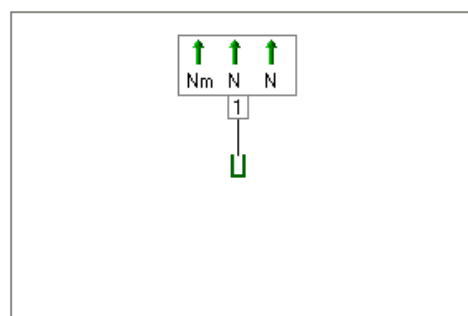


Figura 45: PLMZER00

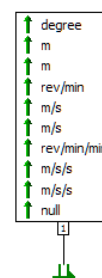


Figura 46: PLMEMB01

3.2.2 3d Mechanical

I blocchi funzionali utilizzati per l'analisi 3D sono sostanzialmente gli stessi impiegati nell'analisi 2D, opportunamente modificati e adattati al contesto tridimensionale.

Per quanto riguarda le “sources”, i blocchi “Zero Force” (figura 47) e “Zero Speed” (figura 48) sono disponibili anche nell'ambiente 3D e svolgono le stesse funzioni che ricoprono nell'ambito 2D.

 zero force source 3D zeroforcesource3D	
ZFS_2DOF	zero force source (2DOF)
ZFS_3DOF	zero force source (3DOF)

Figura 47: ZFS_3DOF

 zero speed source 3D zerospeedsource3D	
M6DOFGROUND00	velocity null source with orientation setting

Figura 48: M6DOFGROUND00

“Junction” indica diversi tipi di collegamenti, classificati in base all'accoppiamento e ai gradi di libertà vincolati. Ad esempio, l'accoppiamento “M6DOFPIVO2” rappresenta una giunzione di tipo “pivot” che consente la rotazione attorno a un unico asse. Nella variante “free” (figura 49), la rotazione è completamente libera, mentre nella versione “piloted” (figura 50) la rotazione è controllata da un input esterno.

Axis	Prismatic	Revolute
X	constraint	free
Y	constraint	constraint
Z	constraint	constraint

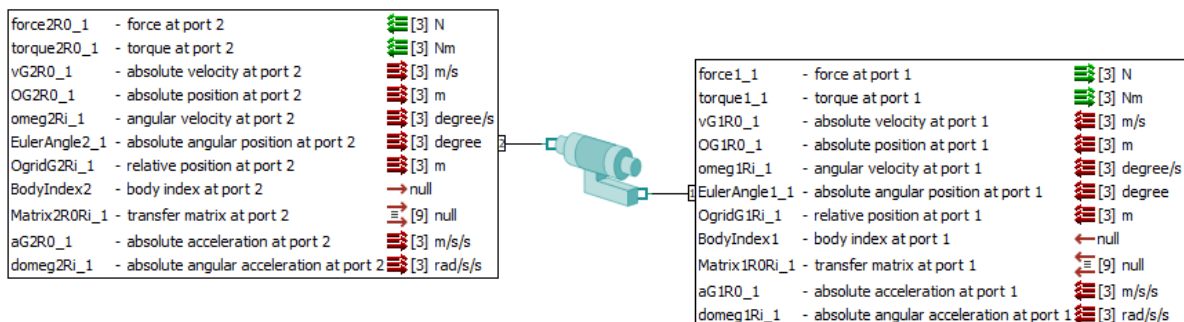


Figura 49: M6DOFPIV02

es

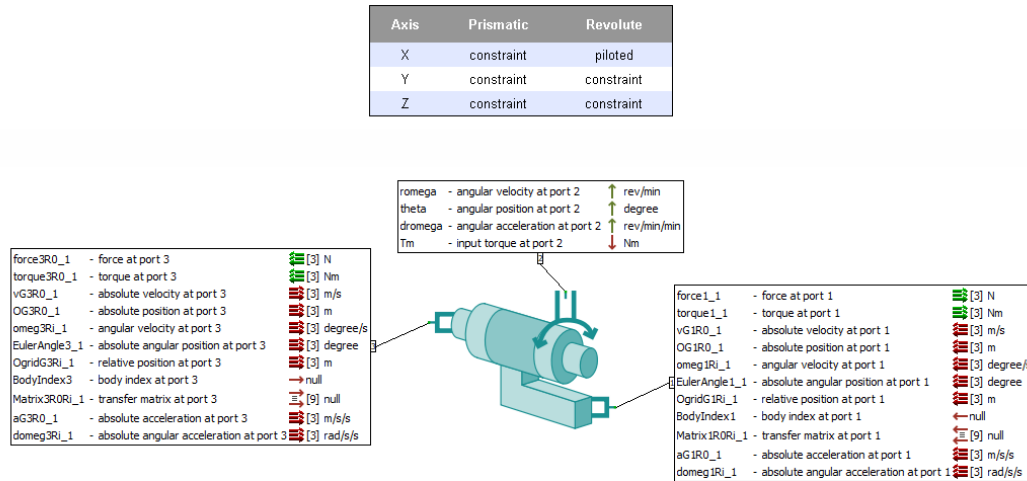


Figura 50: M6DOFP1V12

I giunti prismatici operano analogamente a quelli in 2D, permettendo lo scorrimento lungo l'asse principale mentre vincolano tutti gli altri gradi di libertà (figura 51). È inoltre disponibile una variante “piloted” che consente di controllare la traslazione tramite un comando esterno (figura 52).

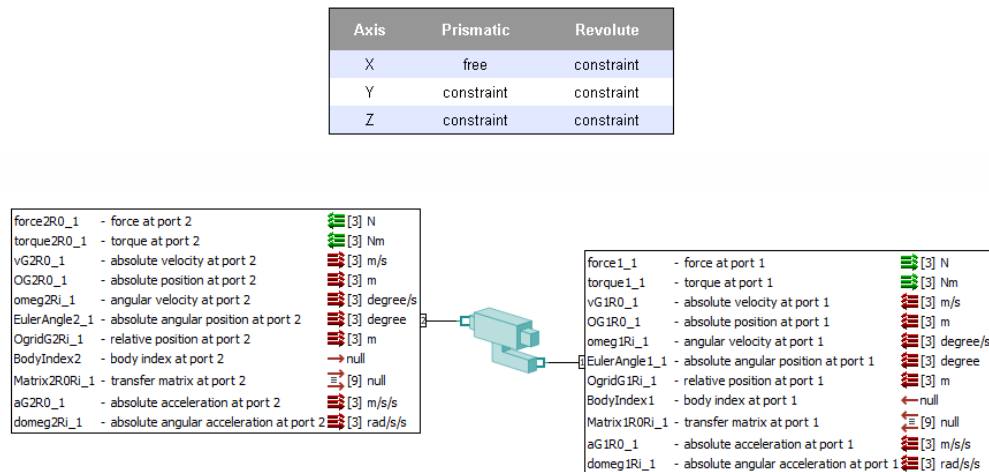


Figura 51: M6DOFTRA02

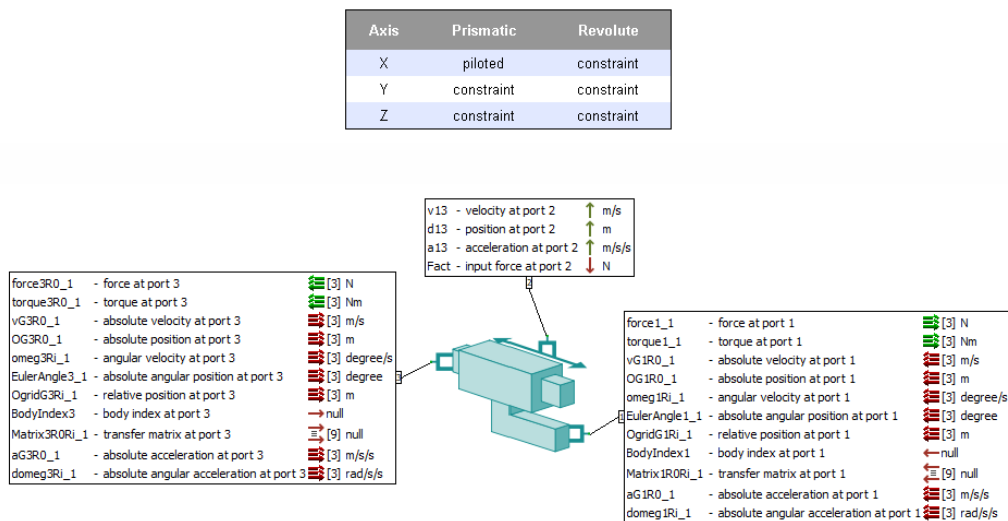


Figura 52: M6DOFTRA12

Il collegamento di tipo “jack” (figura 53) si distingue per un’elevata libertà di movimento, grazie alla presenza di due giunti sferici alle estremità. Nel nostro modello è stato frequentemente utilizzato per gestire i gradi di libertà complessivi della struttura, sebbene nella realtà questo tipo di collegamento non sia stato adottato. L’unico grado di libertà assiale, relativo all’allungamento e all’accorciamento, non è libero ma viene controllato tramite un comando esterno.

Axis	Prismatic	Revolute
X	piloted	free
Y	free	free
Z	free	free

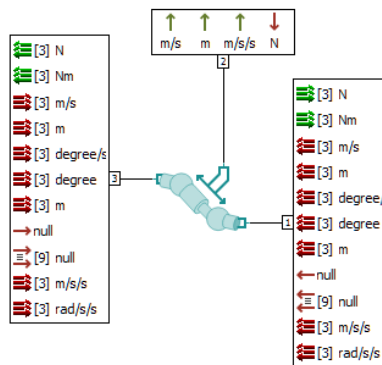


Figura 53: M6DOFJACK00

Esistono inoltre i contatti, che si distinguono dai collegamenti perché includono fenomeni di rotolamento e strisciamento tra i corpi. Per modellare l’interazione tra la lama e l’asfalto, abbiamo impiegato il blocco “M6DOFCPLASPHE01” (figura 54), che permette di considerare l’effetto dell’attrito e di rappresentare in modo realistico il comportamento del contatto in questa specifica applicazione.

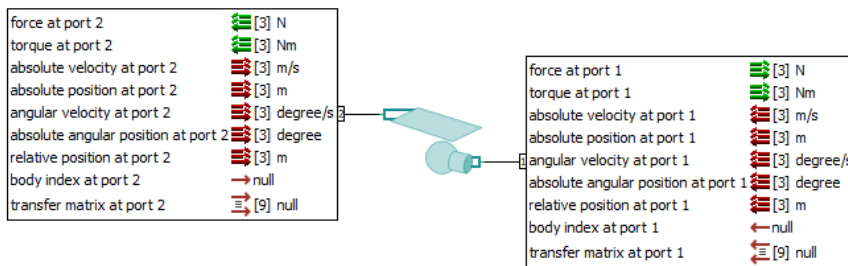


Figura 54: M6DOFCPLASPHE01

Il blocco “M6DOFPOI02” (figura 55) vincola il vertice del cono a restare sulla superficie del piano, permettendogli però di orientarsi liberamente. Abbiamo scelto di utilizzarlo per simulare il contatto tra la gomma e il sistema di leve, in quanto rappresenta in modo efficace il comportamento previsto in quella specifica zona del modello.

Axis	Prismatic	Revolute
X	free	free
Y	free	free
Z	constraint	free

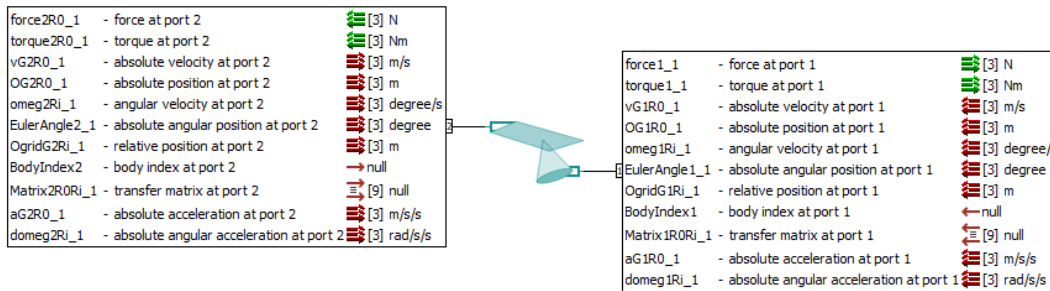


Figura 55: M6DOFPOI02

I blocchi di tipo “body” sono disponibili in diverse varianti. Nel nostro lavoro abbiamo impiegato il blocco “M6DOFBODY00” (figura 56), che rappresenta un corpo con massa fissa. In alternativa, è disponibile il blocco “M6DOFBODY10”, che permette di modellare masse variabili.

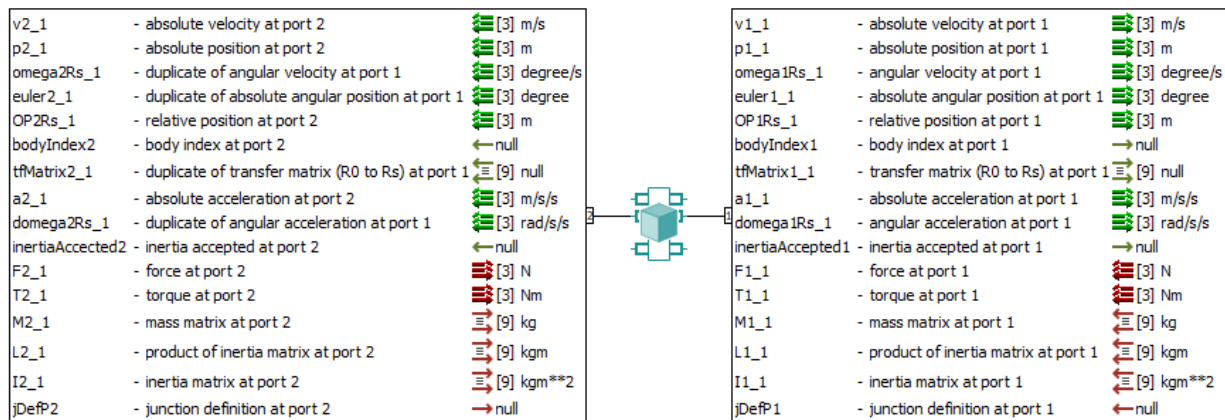


Figura 56: M6DOFBODY00

Il numero di porte può variare e in ingresso è possibile fornire diverse grandezze; tuttavia, nella maggior parte dei casi abbiamo preferito operare con forze e spostamenti.

Come nell’ambiente 2D, anche per l’analisi 3D è necessario inserire il blocco “M6DOFASSEMBLY” (figura 57), che permette di avviare la simulazione e di caricare l’interfaccia grafica del modello.

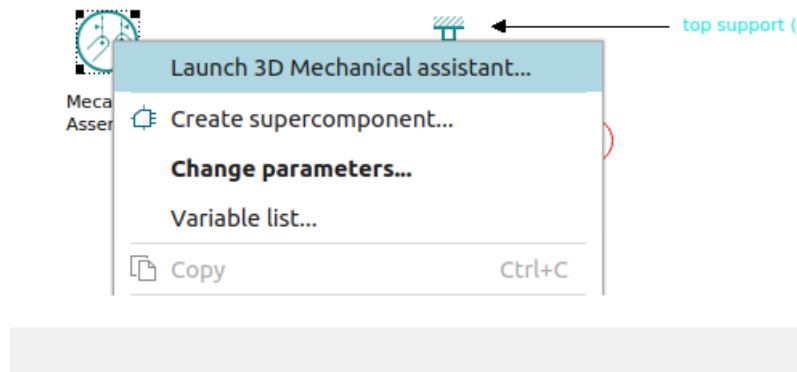


Figura 57: M6DOFASSEMBLY

Oltre ai blocchi meccanici, esistono due categorie principali: segnali e sensori. I segnali vengono utilizzati per inviare comandi a una porta specifica del modello, mentre i sensori captano informazioni da un blocco e le trasmettono come output, rendendole disponibili per l'elaborazione o il controllo all'interno della simulazione.

Il blocco segnale più elementare è quello che produce un segnale costante in ingresso per un intervallo di tempo definito (figura 58).

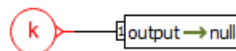


Figura 58: CONS00

In alternativa, si possono impiegare rampe a variazione lineare o comandi di maggiore complessità. Tuttavia, nel nostro caso abbiamo scelto soluzioni più semplici, ritenute adeguate alle nostre esigenze e più coerenti con la natura del modello.

Grazie al blocco "UD00" (figura 59), è possibile utilizzare rampe di qualsiasi tipo, con permanenza sugli scalini, come illustrato nella figura 60.

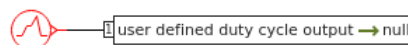


Figura 59: UD00

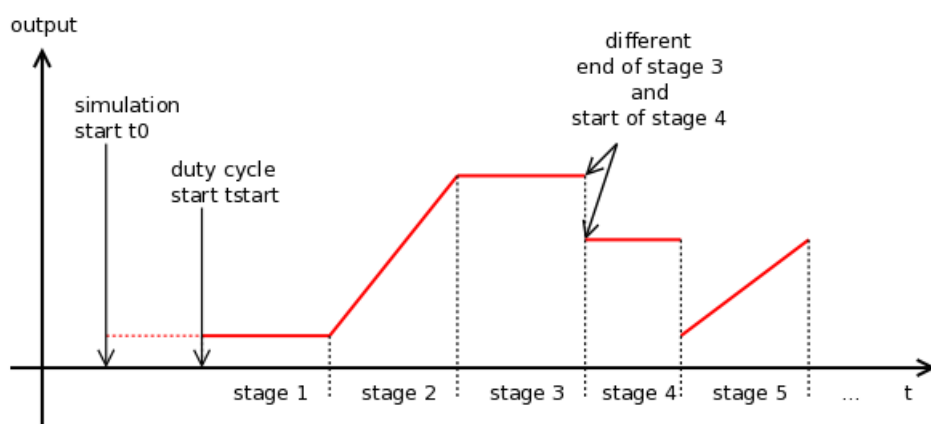


Figura 60: esempio di ciclo

Sono disponibili diversi tipi di sensori, tra cui quelli per misurare lo spostamento lineare (figura 61) e quello angolare (figura 62).

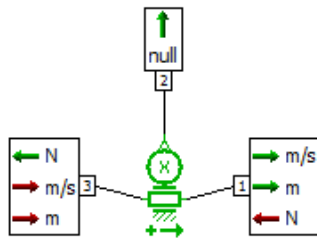


Figura 61: PLMDT01

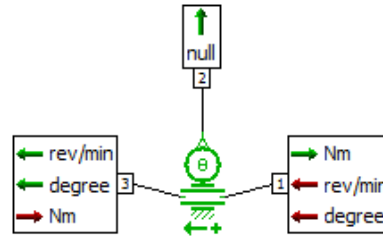


Figura 62: MECADS1B

Tutti questi blocchi funzionano seguendo lo stesso principio e permettono di collegare spostamenti e rotazioni ad altri componenti del modello. Appartengono alla libreria 1D, dalla quale abbiamo impiegato anche altri elementi, come i blocchi per lo smorzamento (damping) e per la forza di richiamo delle molle (figura 63).

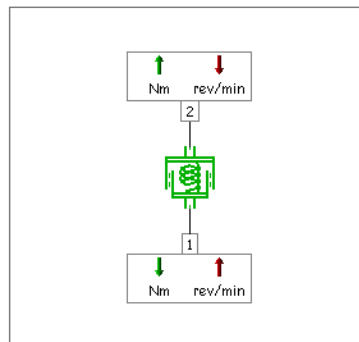


Figura 63: RSD00A

3.3 Analisi cinematica e dinamica della struttura

La struttura precedentemente modellata in “Autodesk Inventor” è stata successivamente ricostruita in “Simcenter Amesim”. Poiché il software non consente l’importazione diretta delle geometrie nell’ambiente 3D, è stato necessario trascrivere manualmente le quote, facendo riferimento a una posizione iniziale predefinita.

Per ciascun corpo è stato inoltre indispensabile definire le porte di ingresso, specificandone posizione e orientamento nello spazio.

Nella figura 64, i bracci superiori sono indicati dalla freccia verde, quelli inferiori dalla freccia gialla, la struttura centrale dalla freccia marrone, mentre le ali dalle frecce viola.

Tutti i corpi sono rappresentati in blu, mentre le “Junction” sono evidenziate in rosso. Nel riquadro arancione è visibile il sistema di leve con i pistoncini.

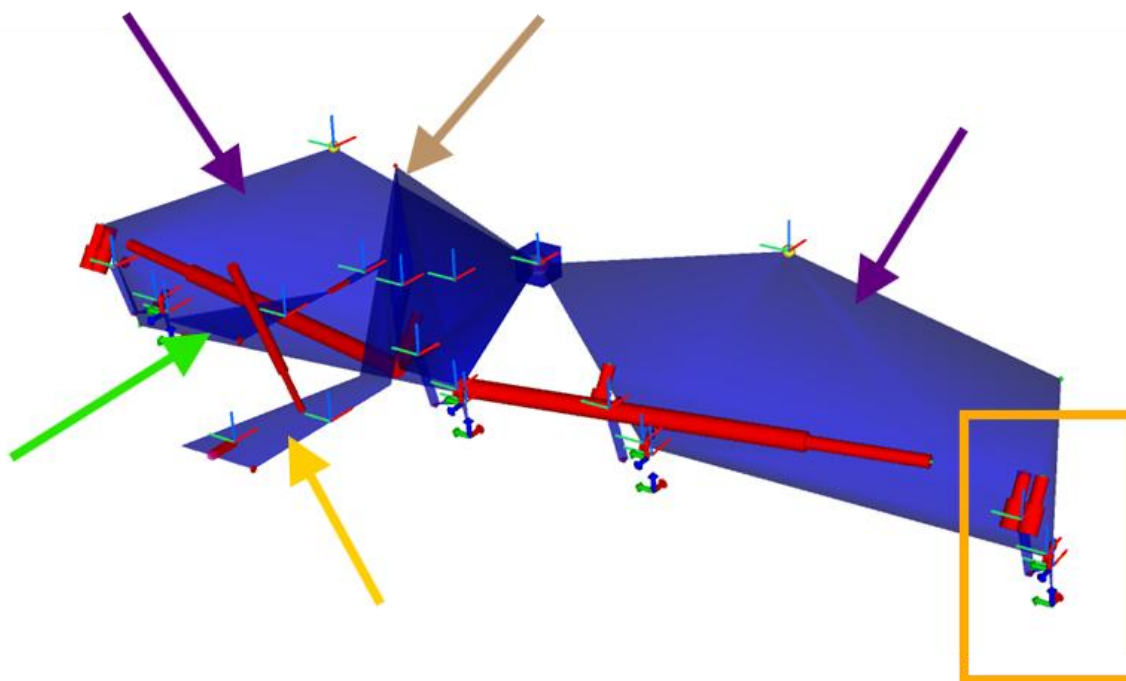


Figura 64: visualizzazione del Vomero in "Simcenter Amesim"

Il Vomero deve poter operare sia in configurazione tradizionale sia in configurazione a lama, oltre che in una serie di posizioni intermedie caratterizzate da diverse inclinazioni delle due ali. Ciascuna di queste configurazioni verrà analizzata mediante simulazioni eseguite su due differenti percorsi.

L'obiettivo principale dell'analisi è determinare le forze dinamiche agenti sui vari componenti del sistema. Tali forze saranno successivamente trasferite ai cilindri idraulici, la cui analisi costituirà uno studio specifico nell'ambito dell'analisi oleodinamica.

Dal punto di vista cinematico, l'analisi prevede che ogni corpo venga inizialmente caricato con il proprio peso e che possano essere applicate ulteriori forze esterne. Nel nostro caso, sulla parte anteriore del vomero, in corrispondenza del punto di contatto tra la gomma e l'asfalto, sono state considerate sia la forza peso dell'attrezzo sia la forza d'attrito generata dalla gomma. Queste forze non sono state impostate manualmente, ma calcolate automaticamente dal software sulla base delle proprietà fisiche dei corpi e delle condizioni di contatto.

In una fase successiva dell'analisi verrà inoltre introdotta la forza dovuta al carico della neve, inserita manualmente come input.

Con questa panoramica generale conclusa, si procederà ora alla descrizione dettagliata dei singoli componenti.

3.3.1 Sistema di sollevamento e beccheggio

Come mostrato nelle immagini, questa sezione è stata costruita utilizzando blocchi della libreria 3D. Poiché il modello completo non può essere inserito in una sola pagina, verrà presentato e descritto in più parti, con numeri di riferimento univoci per facilitare l'identificazione delle connessioni tra i vari elementi. Procediamo ora con l'analisi dettagliata di ciascun blocco.

Il sistema di sollevamento, già introdotto nella didascalia precedente, è costituito da vari componenti e presenta una configurazione tipica a parallelogramma. In questa struttura, i bracci inferiori sono di lunghezza fissa, mentre il braccio superiore è mobile, al fine di garantire il grado di libertà necessario per consentire il movimento di beccheggio (figura 65).

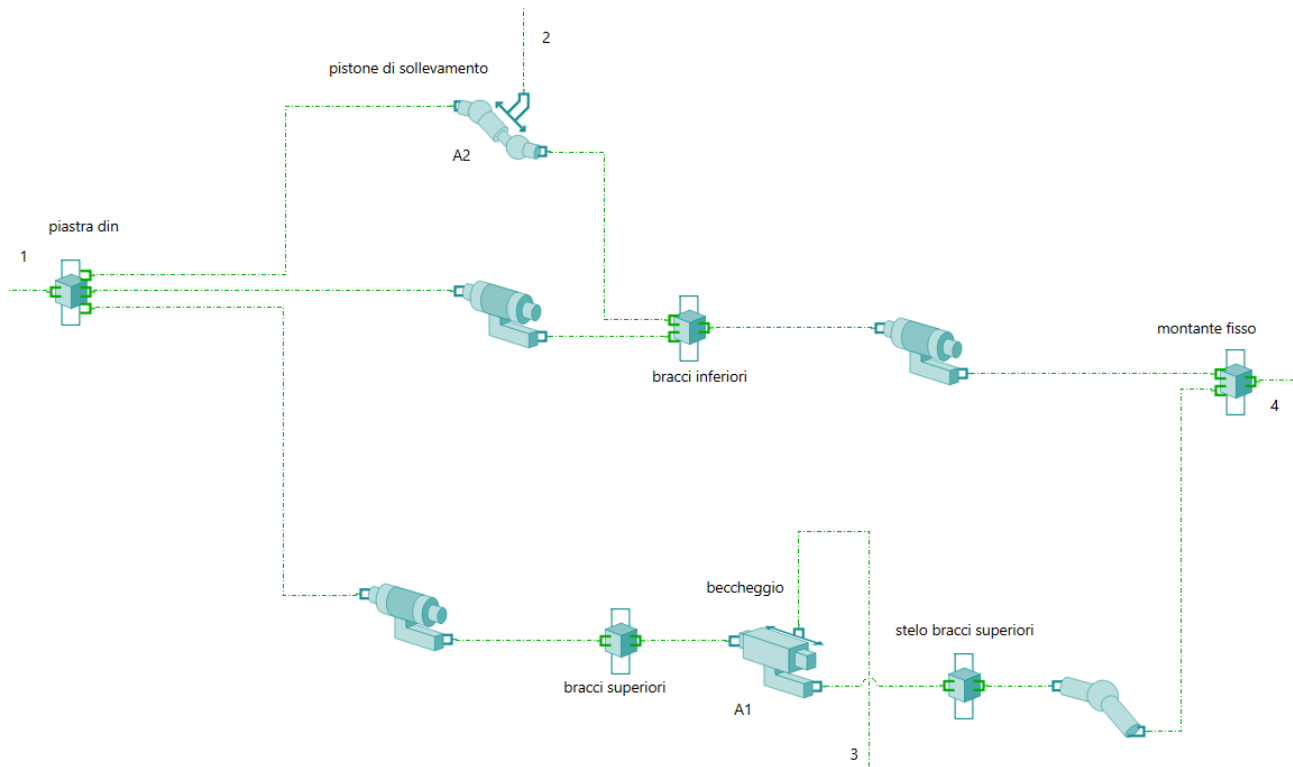


Figura 65: schema sistema di sollevamento in “Simcenter Amesim”

I corpi che compongono il sistema sono quattro:

- la piastra DIN;
- i bracci inferiori;
- il braccio superiore;
- il montante fisso.

È stato inoltre inserito lo stelo dei bracci superiori, poiché non è possibile collegare direttamente due giunti in serie senza un elemento intermedio.

Il sistema di azionamento è composto da due attuatori: l’attuatore “A2”, responsabile del sollevamento, è posizionato in modo inclinato, con il punto di fulcro posteriore collocato in alto e quello anteriore in basso; l’attuatore “A1” invece controlla il movimento di beccheggio.

Nel software “Simcenter Amesim”, il pistone è modellato attraverso due elementi distinti:

- Il primo è un vincolo cilindrico, che consente sia la traslazione sia la rotazione del pistone.
- Il secondo rappresenta i componenti dell’impianto oleodinamico, i quali saranno integrati in una fase successiva dell’analisi, durante la modellazione dello schema idraulico.

In figura 66, sono indicati:

- con la freccia verde, l’attuatore A2;
- con la freccia viola, l’attuatore A1;
- con la freccia gialla, il pistone fittizio.

Sebbene in figura 66 non sia visibile la piastra DIN, essa è comunque presente, come mostrato in figura 65.

Nella stessa figura 66, nei riquadri colorati, si evidenziano i seguenti componenti:

- giallo: il perno tra la piastra DIN e i bracci superiori;
- marrone: il perno di collegamento tra la piastra DIN e i bracci inferiori;
- rosso: il perno tra i bracci inferiori e il montante fisso;
- verde: un elemento che, nella realtà, è un perno, ma che nel modello è stato sostituito da un giunto sferico, per garantire i gradi di libertà necessari.

Gli altri elementi del sistema sono stati descritti precedentemente in figura 64.

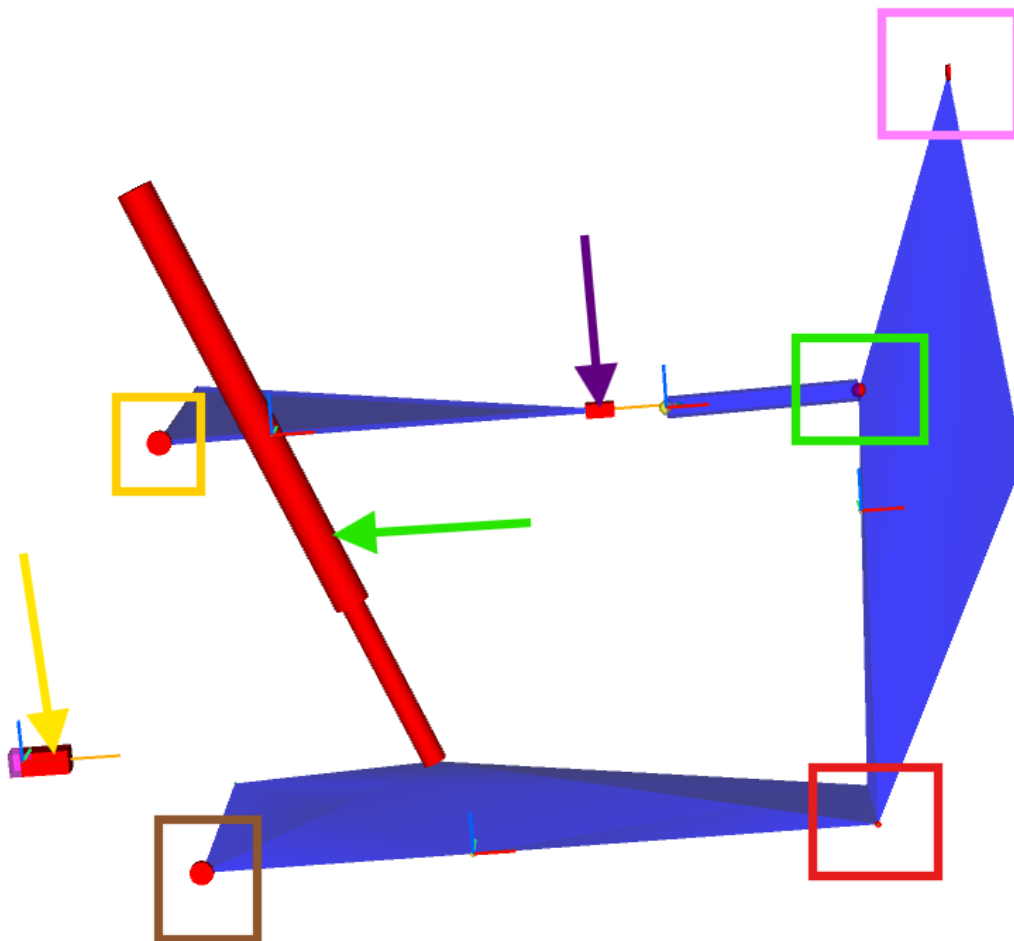


Figura 66: visualizzazione sistema di sollevamento in "Simcenter Amesim"

La piastra DIN, fissata al mezzo di movimentazione, è rappresentata dal primo blocco; a essa è collegato un pistone "fittizio" che muove l'intero Vomero (figura 67). Nella realtà, questo pistone corrisponde alla trattrice stessa ed è uno stratagemma utilizzato per rendere possibile la simulazione del movimento.

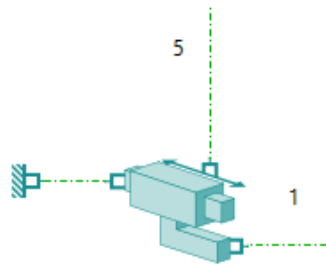


Figura 67: schema sistema di avanzamento in "Simcenter Amesim"

Nella realtà, questi blocchi rappresentano il sistema di sollevamento illustrato in figura 7, mentre in figura 9 è visibile il montante fisso.

Per quanto riguarda il sistema di sollevamento, è importante considerare che è necessario eliminare il numero adeguato di gradi di libertà per evitare di ipervincolare la struttura. Questo spiega perché, in alcuni casi, abbiamo utilizzato vincoli di tipo pin (cerniera), mentre in altri siamo stati costretti a ricorrere a vincoli sferici, anche se nella realtà non si utilizzano giunti di questo tipo, come nel caso tra il corpo "stelo bracci superiori" e il corpo "montante fisso".

3.3.2 Struttura centrale e rollio

Proseguendo con la descrizione, la parte anteriore del sistema permette il rollio tramite un pistone posizionato trasversalmente tra i due finecorsa delle ali. Per modellizzare questo meccanismo, è stato necessario inserire un blocco 1D che rappresenta la leva generata dal pistone rispetto al perno (figura 68). All'interno della visualizzazione 3d di "Simcenter Amesim" non è possibile vedere il pistone che si occupa del rollio poiché l'informazione passa attraverso il blocco leva 1d (figura 66).

L'azionamento di questo sistema sarà approfondito in seguito, quando tratteremo la parte relativa al controllo.

Infine, dal perno di rollio si passa direttamente alla struttura centrale (figura 69). Nelle immagini, i due componenti non sono collegati direttamente, poiché è stato necessario distanziarli per fare spazio agli altri elementi del sistema.

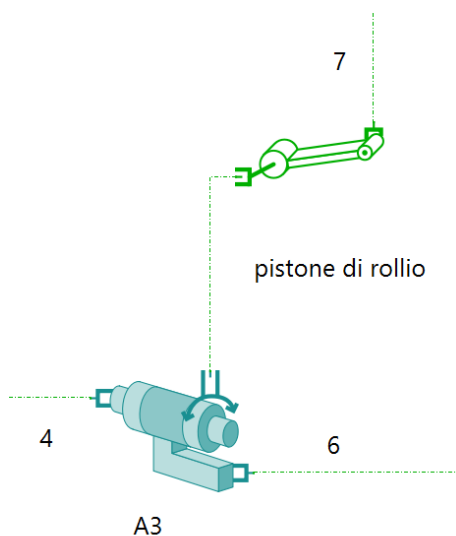


Figura 68: schema perno di rollio in "Simcenter Amesim"

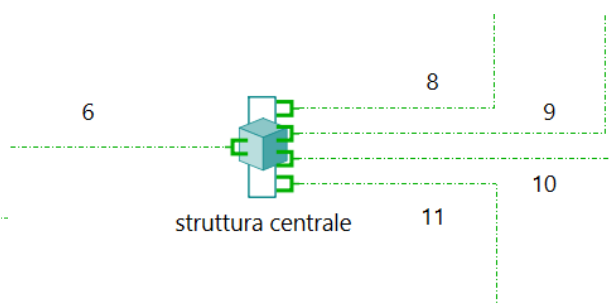


Figura 69: schema struttura centrale in "Simcenter Amesim"

La parte anteriore, che include le ali, è piuttosto complessa (figura 70). Essa comprende:

- I pistoni che azionano le ali, definiti come "pistone ala sinistra" o "A4", e le ali che ruotano su un perno della struttura centrale, chiamato "perno ala sinistra";
- Le ali sono incernierate centralmente tramite un vincolo pin e, lateralmente, i collegamenti con il pistone sono realizzati con vincoli sferici per gestire correttamente i gradi di libertà, anche se nella realtà sono semplici cerniere.

Teoricamente, il "perno ala sinistra" dovrebbe essere direttamente collegato con l'"ala sinistra". Tuttavia, poiché la gomma è stata modellata come un corpo rigido, ciò crea una struttura troppo vincolata. Pertanto, è stato necessario aggiungere un giunto pin "g.d.l. equivalente", che consente un piccolo rollio dell'ala rispetto alla "struttura centrale".

Le immagini mostrano l'ala sinistra, mentre per l'ala destra sono stati utilizzati gli stessi blocchi. Nella foto, si può notare che, come primo blocco collegato all'ala, in alto a destra è presente il blocco per imporre il carico dovuto alla neve.

Il "corpo fittizio" viene utilizzato per collegare due giunti in serie.

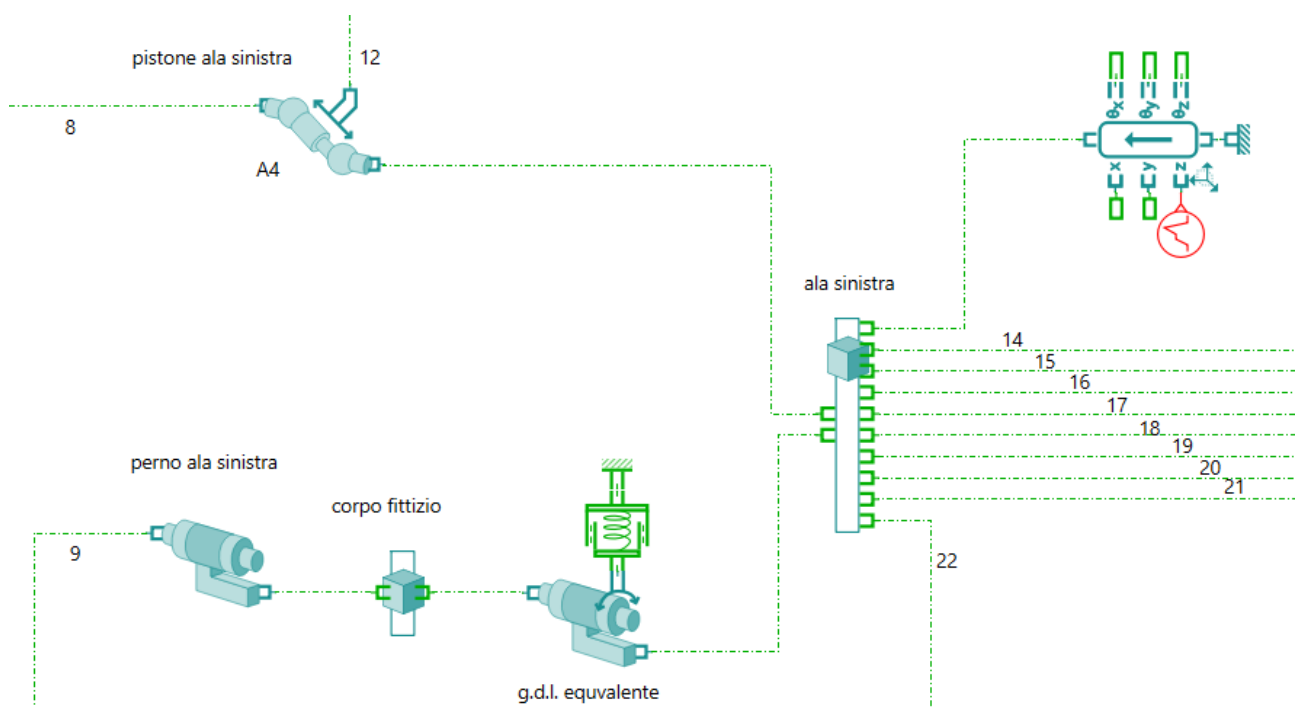


Figura 70: schema struttura centrale ala sinistra in "Simcenter Amesim"

Nella figura 71, la freccia marrone indica la struttura centrale, la freccia gialla contrassegna l'elemento "A4" e la freccia verde segnala l'ala sinistra. Gli elementi corrispondenti sono stati descritti in figura 9 e 13.

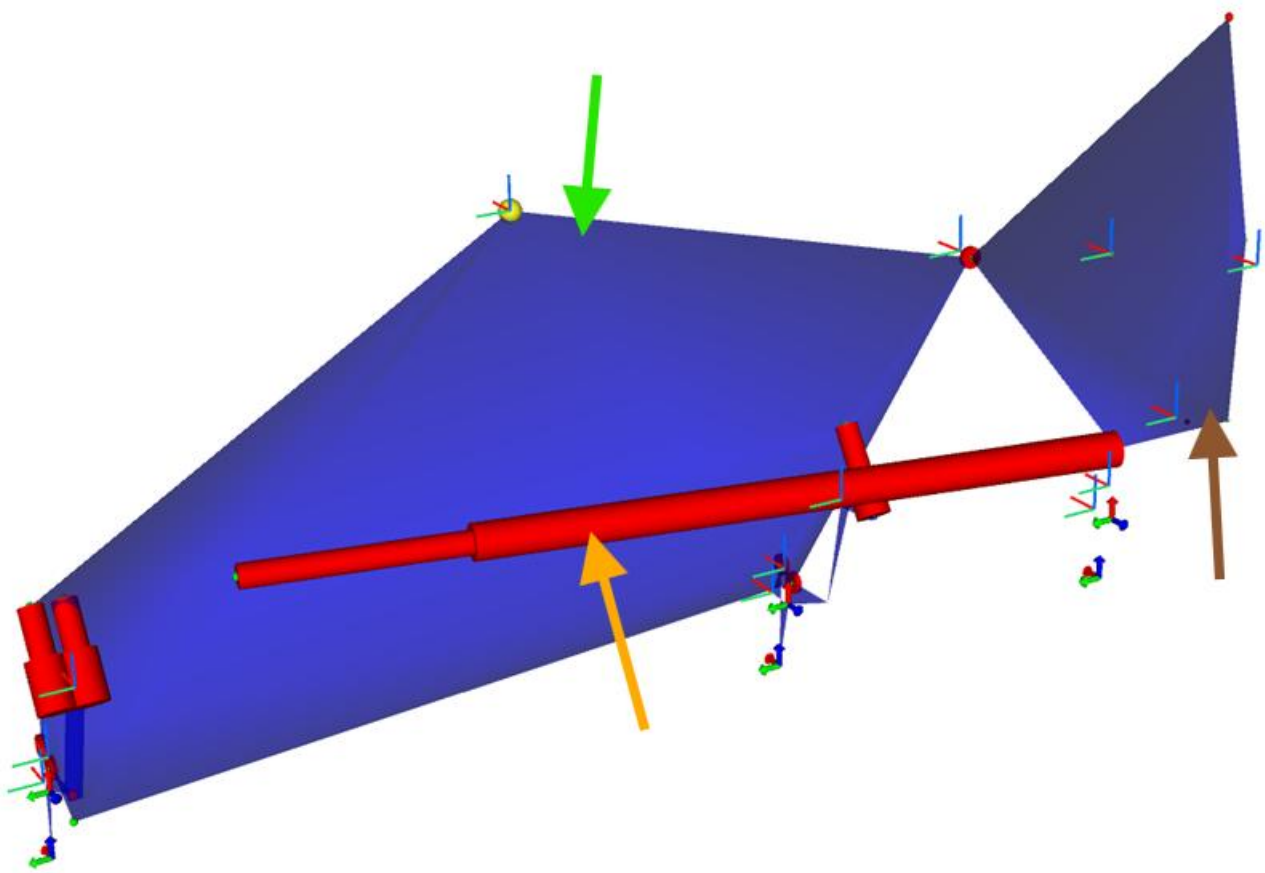


Figura 71: visualizzazione ala sinistra e struttura centrale in “Simcenter Amesim”

3.3.3 Gruppo lettura e amplificazione deformazione raschiante

Collegato all’ala, è presente il sistema che rileva la deformazione della gomma (figura 72).

Si possono notare i seguenti corpi evidenziati:

- Triangolo: pallino blu
- Asta: pallino verde
- Forchetta: pallino rosso
- collegamenti con l'ala: pallino giallo
- giunto triangolo-gomma: pallino viola.

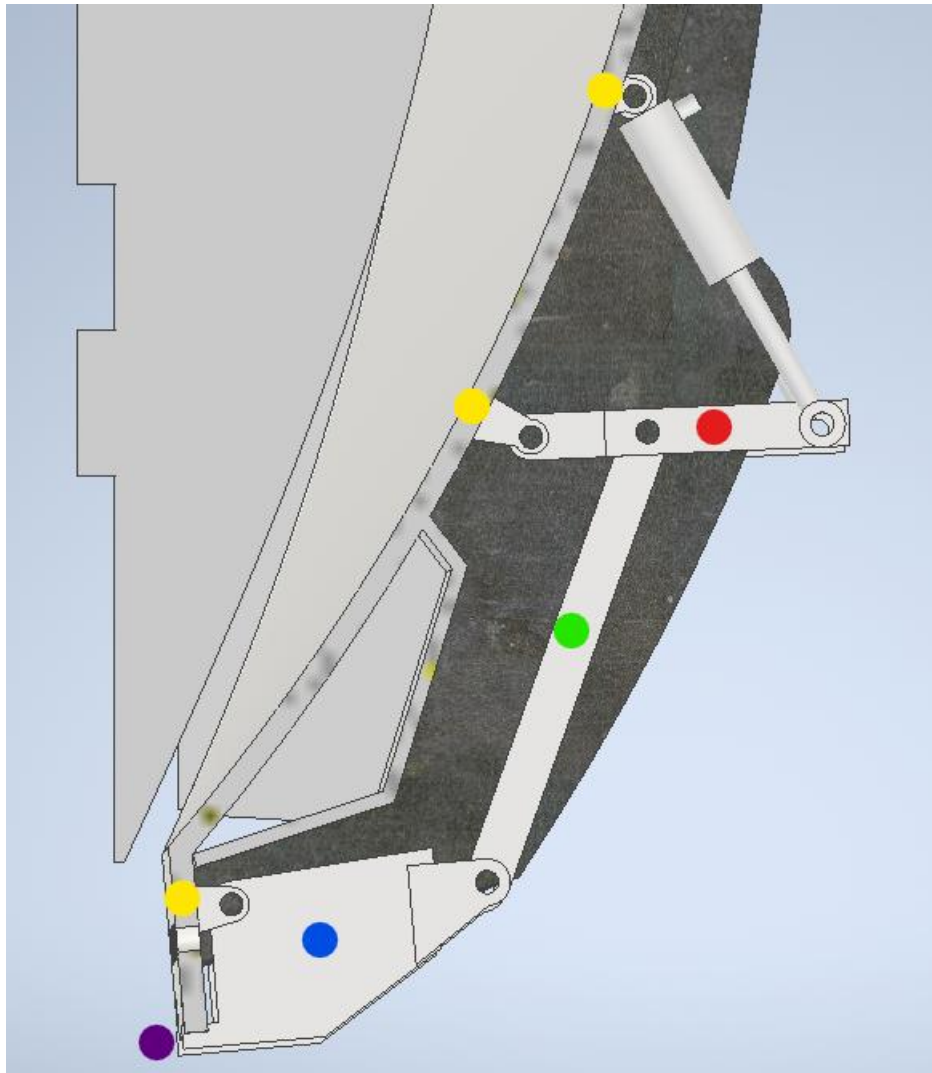


Figura 72: sistema di leve senza raschiante

Ora che sono state esaminate le componenti reali, possiamo passare allo schema realizzato in "Simcenter Amesim". In figura 73 si possono osservare i nomi dei corpi precedentemente descritti associati ai rispettivi blocchi. Si nota inoltre che le linee 18, 19 e 20 risultano effettivamente collegate al corpo ala, come mostrato in figura 70. Poiché in questa zona sono presenti due pistoni (essendo la parte esterna), anche la linea 14 è coinvolta nel collegamento.

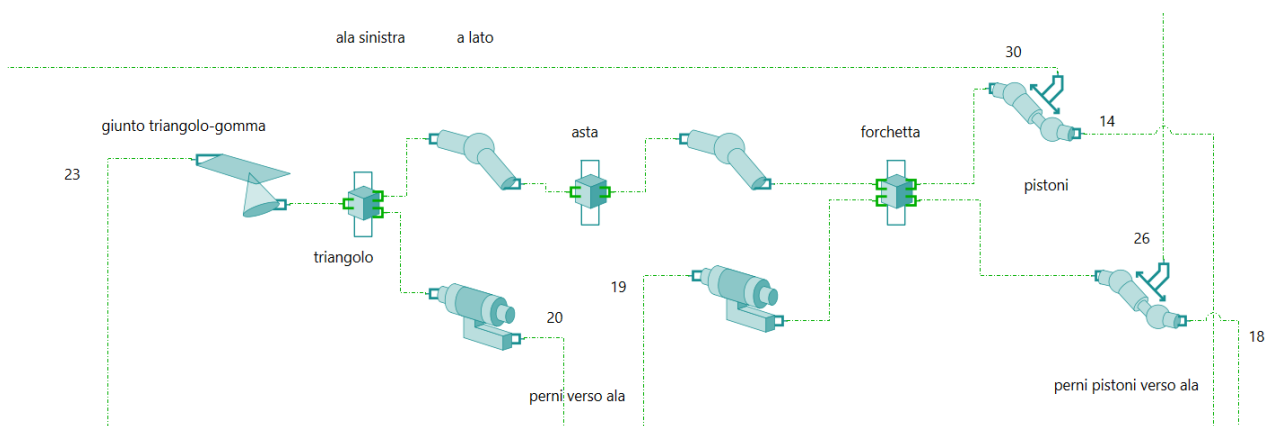


Figura 73: schema sistema di leve in "Simcenter Amesim"

Sebbene nella realtà tutti i giunti siano di tipo pin, nello schema sono stati rappresentati mediante due giunti sferici per garantire il corretto numero di gradi di libertà. Il giunto tra triangolo e gomma è invece utilizzato per modellare il contatto tra i due elementi.

In figura 74, le frecce colorate indicano i seguenti componenti: in beige i pistoni, in verde l'asta, in giallo il triangolo e in arancione la gomma. I riquadri colorati evidenziano: in rosso il pin che collega l'ala alla forchetta, in verde il giunto sferico tra triangolo e asta, e in nero il giunto tra asta e forchetta.

La forchetta, pur non essendo visibile in figura, può essere collocata sulla base delle descrizioni fornite in precedenza. Il cerchio beige racchiude il pin che collega l'ala al triangolo, mentre il pin non evidenziato, che vedremo a breve, unisce il raschiatore all'ala.

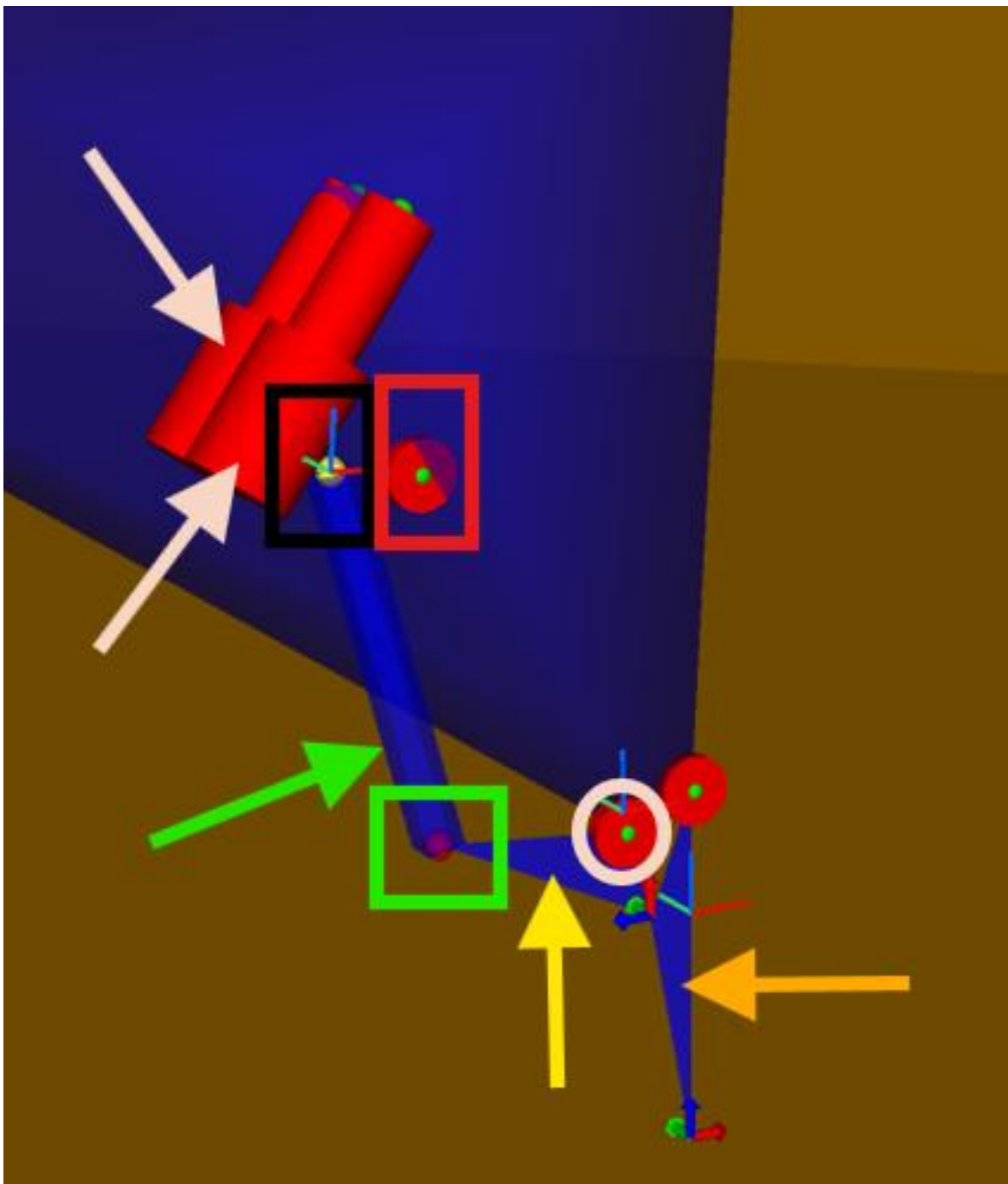


Figura 74: visualizzazione sistema di leve in "Simcenter Amesim"

Ogni ala è dotata di due di questi sistemi: uno al centro e uno a lato, per un totale di quattro complessivi (figura 75).

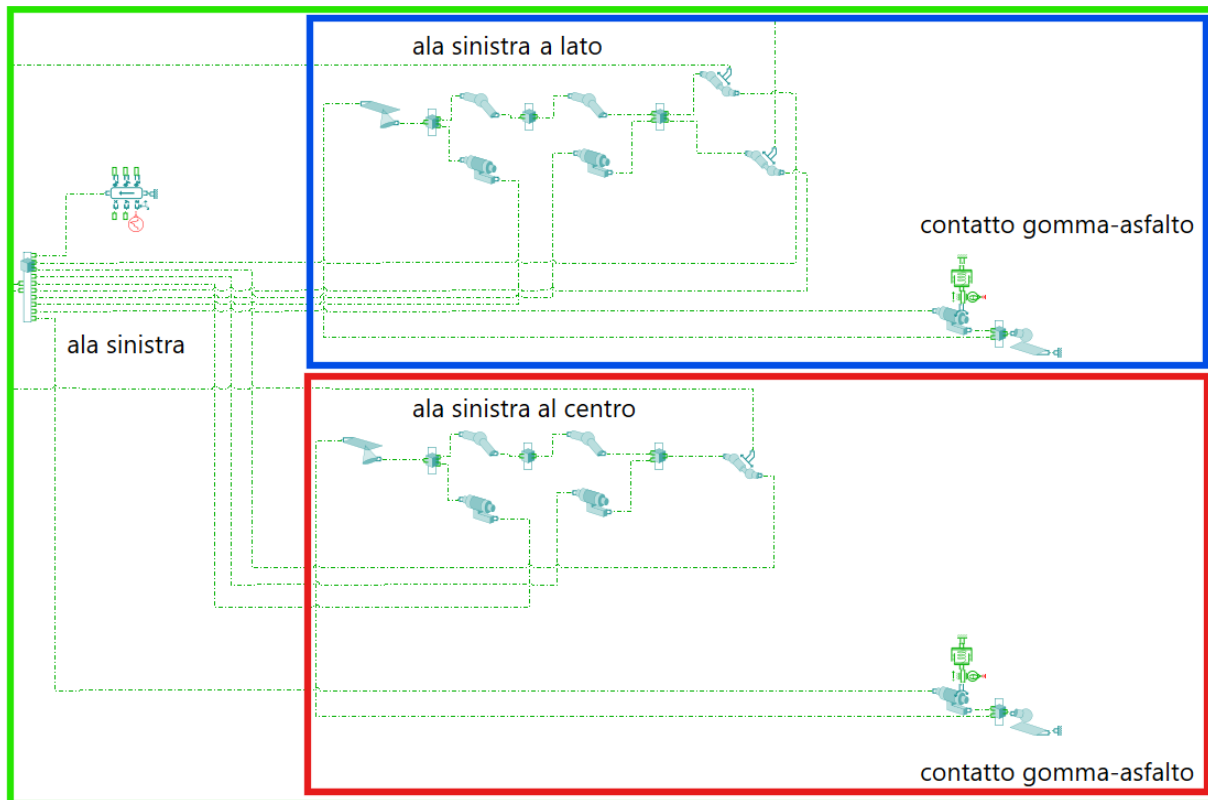


Figura 75: schema sistema di leve dell'ala sinistra in "Simcenter Amesim"

3.3.4 Modello di contatto

Per modellare correttamente il contatto con l'asfalto in "Simcenter Amesim", è necessario considerare alcuni aspetti fondamentali. Il software consente di simulare il contatto tra una sfera e un altro corpo, che può assumere diverse forme, tra cui piano, sfera o parallelepipedo. Per rappresentare in modo realistico l'interazione tra la gomma e l'asfalto, il tipo di contatto più adeguato è quello tra una sfera e un piano, poiché consente di modellare in modo efficace l'interazione tra i due.

Il modello in questione non può essere considerato completo senza definire anche il tipo di attrito. Nel nostro caso, abbiamo adottato un modello di attrito di tipo coulombiano, in quanto rappresenta l'approccio più semplice da applicare (figura 76) tra quelli proposti.

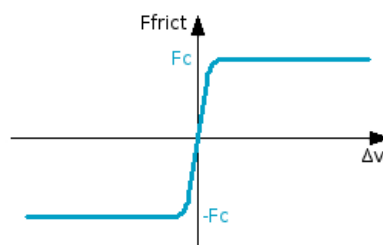


Figure 1: Coulomb friction model with hyperbolic tangent

Figura 76: modello di attrito

Nel nostro modello, ci interessa l'attrito dinamico, che si manifesta durante il movimento.

In figura 74 è stata illustrata la posizione della gomma e il modo in cui è vincolata all'ala corrispondente. Ora, in figura 77, viene analizzata nel dettaglio la parte di modello che la riguarda. Qui è presente un pin fittizio che consente il movimento del corpo gomma. Poiché "Simcenter Amesim" non supporta corpi flessibili ma solo rigidi, la lama in gomma è stata modellata come un corpo rigido, vincolato a una delle sue estremità.

Questo vincolo, tuttavia, non è completamente libero di ruotare: è stato dotato di un certo livello di attrito interno per simulare in modo più realistico il comportamento della gomma. A tal fine, sono stati definiti i parametri di rigidità e smorzamento del pin fittizio, così da riprodurre deformazioni e risposte meccaniche simili a quelle reali.

Per analizzarne le deformazioni, la gomma è stata suddivisa in due sezioni per ciascuna ala: una interna e una esterna. Il profilo stradale applicato è identico per tutti e quattro i punti di contatto, mentre il calcolo della posizione della gomma rispetto alla strada viene gestito direttamente dal software.

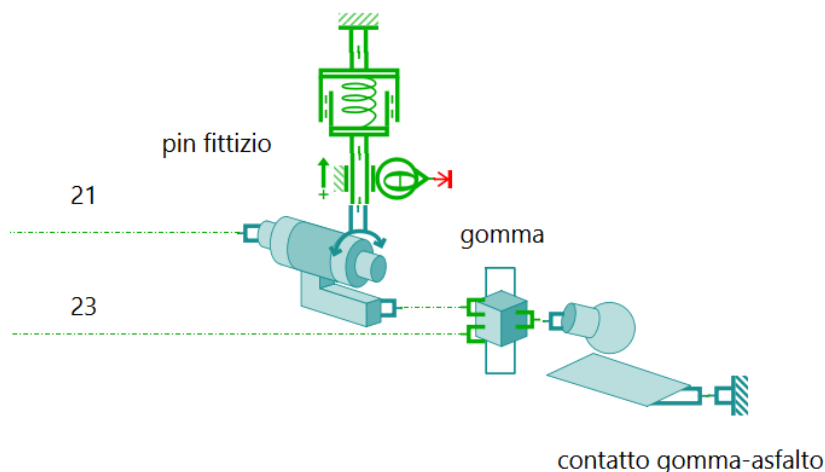


Figura 77: schema raschiante in "Simcenter Amesim"

Il tipo di contatto permette di gestire anche piani che sono intersecati, determinando autonomamente quale entra in contatto e quale no. In questo modo siamo riusciti a creare un percorso che ci consente di valutare il funzionamento complessivo del sistema.

Nelle figure 14 o 21 è possibile osservare, nella rappresentazione reale, la gomma fissata all'ala mediante bulloni.

3.4 Comando rollio e beccheggio

La regolazione della macchina avviene lungo due assi: uno relativo al beccheggio e l'altro al rollio. Per controllare il sistema e ottenere un segnale di errore utile alla regolazione, è stato adottato un sistema a retroazione.

In particolare, il controllo del rollio è rappresentato tramite uno schema equivalente bidimensionale (figura 78). Sebbene la rappresentazione a blocchi possa apparire complessa, nella pratica il sistema è costituito da due pistoni collegati a un bilanciante, come illustrato in figura 28.

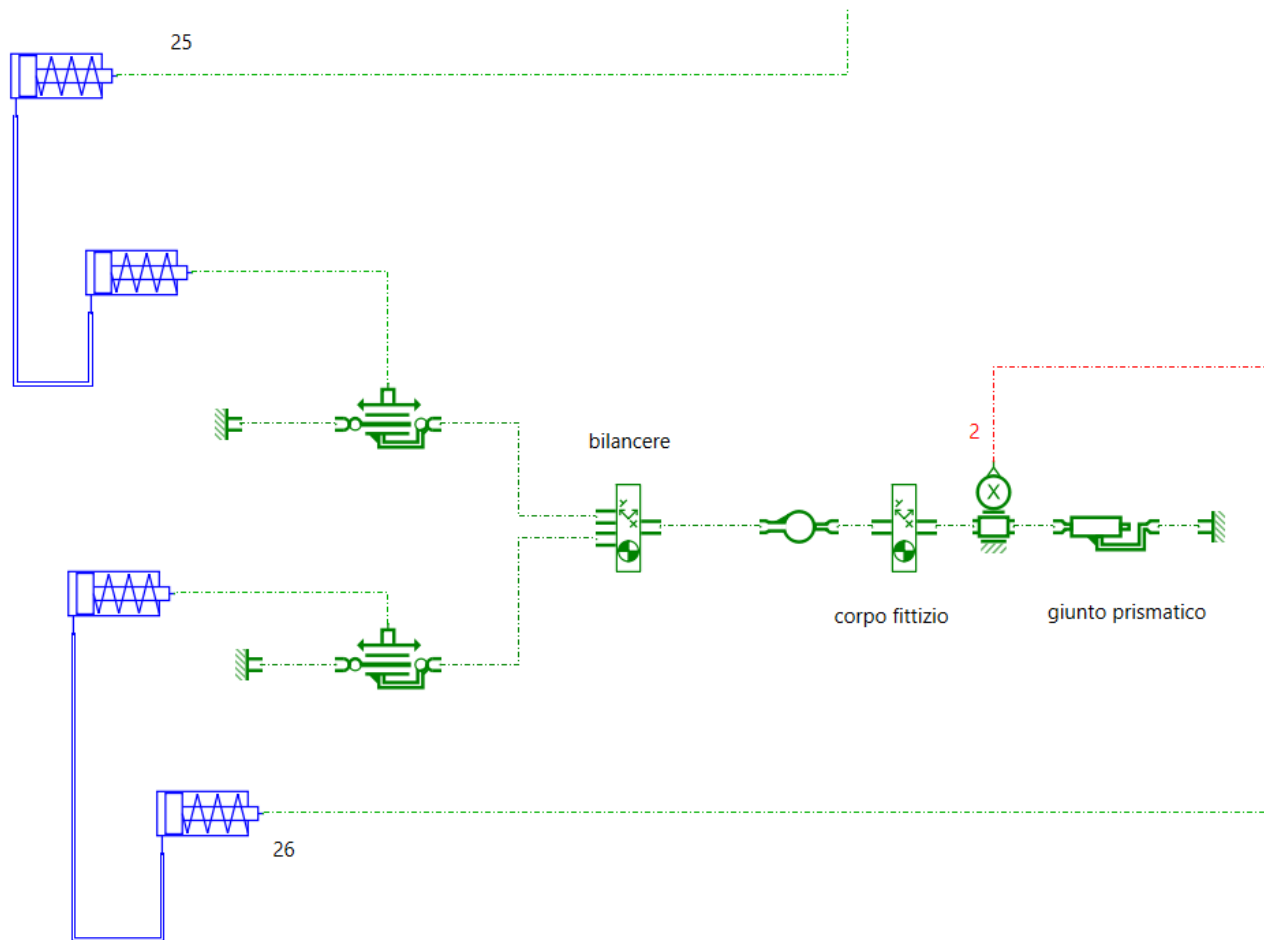


Figura 78:schema comando rollio in “Simcenter Amesim”

Nella foto possiamo notare i pistoni semplice effetto in blu, collegati tra di loro da un tubo (linea blu): i due più esterni sono quelli montati sulle ali, quelli che rilevano la deformazione. I due più interni, quelli che lo stelo è collegato tramite una riga verde tratteggiata al “jack” 2d, sono quelli presenti vicino alle valvole (come mostrato in figura 25).

Lo spostamento del centro del bilanciere influenza direttamente il movimento del cassetto della valvola a esso associata. Per poter comunicare al software questo è necessario leggere la posizione del giunto prismatico (attraverso l’apposito blocco) e mandarla alla valvola che mostreremo in seguito.

Il sistema che corregge il beccheggio è più complicato e usa quattro jack (figura 79). Il suo funzionamento però è analogo.

Come si può osservare, il programma consente di inserire alcuni elementi 2D e di integrarli con il modello 3D più complesso, facilitando la gestione e semplificazione degli elementi.

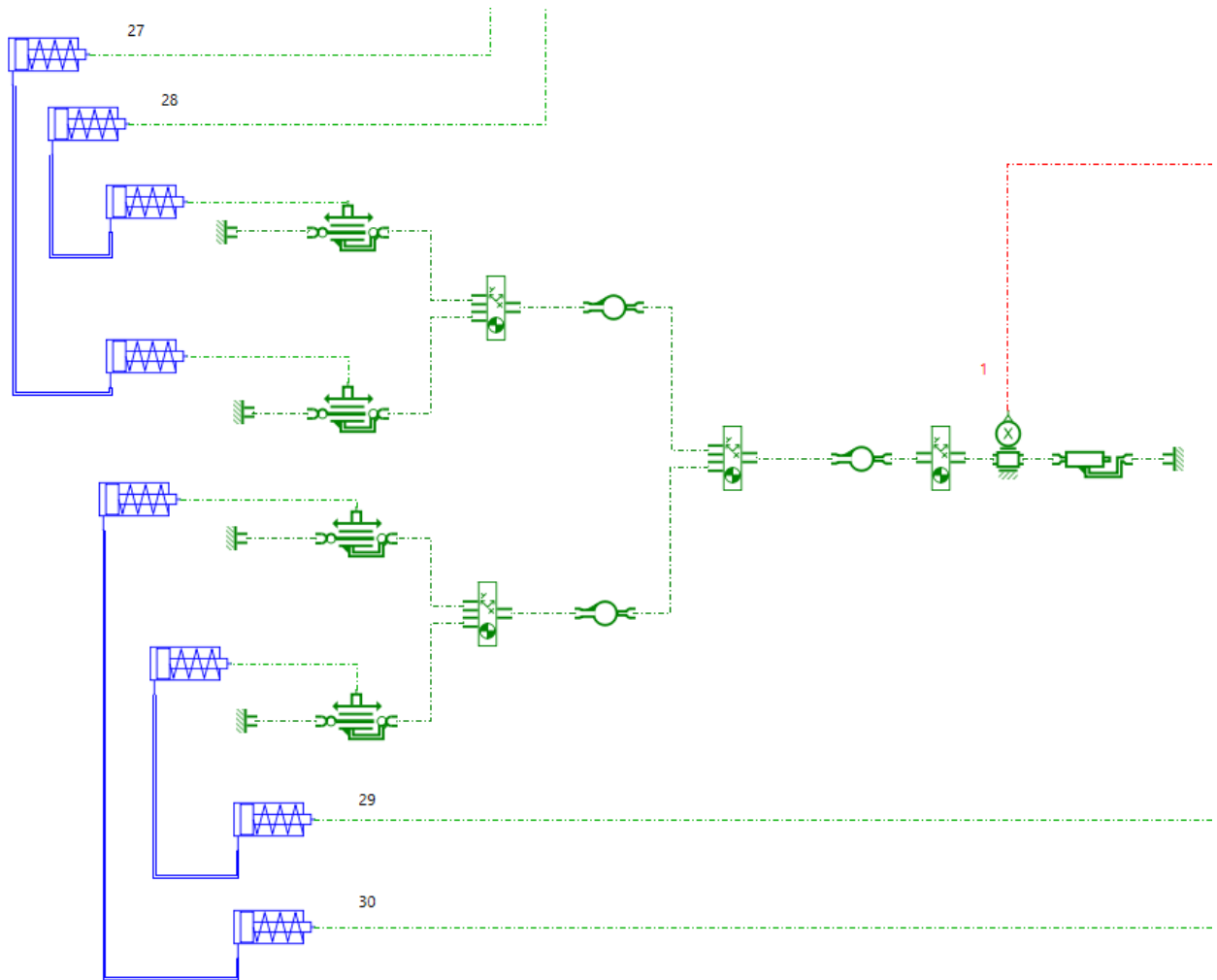


Figura 79: schema comando beccheggio in "Simcenter Amesim"

3.5 Componenti oleodinamiche

3.5.1 Gruppo di alimentazione

Per azionare tutte le componenti del Vomero è necessaria energia idraulica, fornita dalla pompa messa in rotazione da un motore elettrico (figura 80).

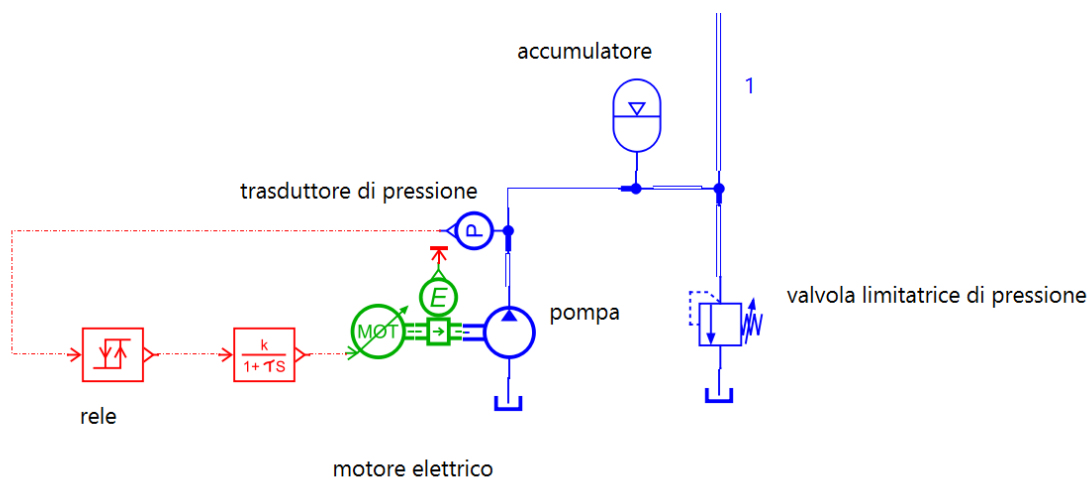


Figura 80: schema gruppo di alimentazione in "Simcenter Amesim"

Nello schema è presente un pressostato collegato a un blocco logico denominato "relè": questo componente restituisce due valori distinti in base al segnale di ingresso, indicando la velocità di rotazione del motore, che può essere al regime massimo oppure a zero quando il motore è fermo, a seconda che il segnale sia rispettivamente al di sotto di una soglia minima o al di sopra di una soglia massima.

Per rendere più realistica la simulazione del comportamento del motore elettrico, è stato introdotto un ritardo temporale che riproduce le fasi di accelerazione e decelerazione, evitando variazioni istantanee non coerenti con il funzionamento reale. Il segnale elaborato viene poi inviato a un motore ideale, responsabile della rotazione della pompa.

Successivamente troviamo un accumulatore, il cui compito è immagazzinare energia e attenuare eventuali discontinuità nel sistema.

Infine, la valvola limitatrice di pressione ha la funzione di mantenere la pressione del circuito entro un valore massimo predefinito, garantendo la sicurezza dell'intero impianto.

3.5.2 Movimenti

Questi tre pistoni sono stati dimensionati per sopportare il carico previsto, come ad esempio il pistone di sollevamento, che è stato progettato per alzare l'intero Vomero con un margine di sicurezza.

Per quanto riguarda il nostro circuito (figura 81), le valvole che gestiscono il movimento delle ali sono delle valvole proporzionali 4/3 a centro chiuso, mentre per il pistone di sollevamento viene utilizzata una valvola proporzionale 4/4 a centro chiuso con posizione flottante, da attivare quando si desidera permettere al Vomero di scaricare il proprio peso direttamente sulla strada.

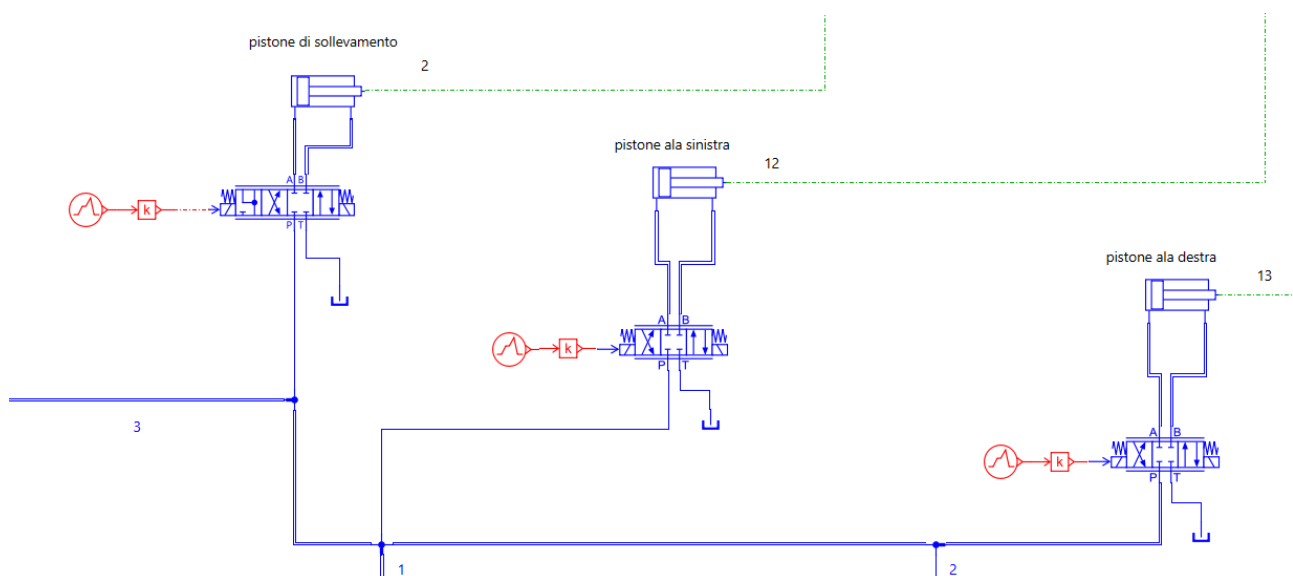


Figura 81: schema valvole e attuatori in "Simcenter Amesim"

3.5.3 Rollio

Per l'attuazione del pistone di rollio, la pressione massima di alimentazione è regolata da una valvola riduttrice, limitata a 50 bar. I rami singoli delle camere sono invece limitati a 80 bar. In questo modo, se il Vomero viene sollevato in una posizione diversa da quella finale (ad esempio, per variabili stradali o per altre inclinazioni), il peso del Vomero, una volta scaricato a terra, farà aprire le valvole di massima, permettendo al Vomero di aderire completamente al suolo (figura 82).

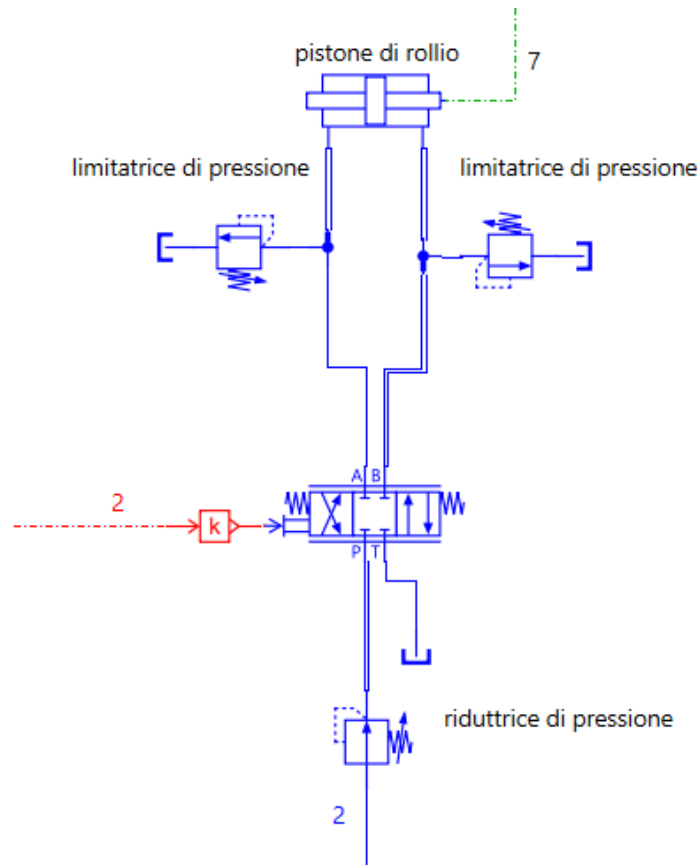


Figura 82: schema valvola e attuttore di rollio in "Simcenter Amesim"

3.5.4 Beccheggio

Il circuito del beccheggio (figura 83) è dotato di una valvola di bypass manuale e due elettrovalvole on/off, che vengono attivate quando si lavora in modalità lama. Questo perché, in questa configurazione, il grado di libertà relativo al beccheggio non è utilizzato. Inoltre, è presente una valvola di non ritorno che preleva olio dal serbatoio e svolge la funzione di protezione contro la cavitazione. In pratica, se la pressione all'interno della camera posteriore del cilindro scende sotto lo zero, questa valvola richiama olio dal serbatoio, prevenendo così il fenomeno della cavitazione. Dalle simulazioni effettuate si è potuto notare che il carico tende sempre a far estendere il pistone, quindi questo componente risulta necessario.

La valvola di bypass manuale è utile quando si deve staccare l'attrezzo, poiché consente di correggere la posizione del Vomero nel caso non sia perfettamente parallelo al terreno. Inoltre, permette di liberare le tensioni accumulate nel pistone. Questo è particolarmente importante, visto che l'attacco DIN deve essere esente da tensioni per garantire un facile attacco e sgancio dell'attrezzo.

Nelle simulazioni effettuate il bypass è sempre rimasto chiuso, è stato utilizzato un blocco che fornisce un valore costante per determinare il suo comportamento.

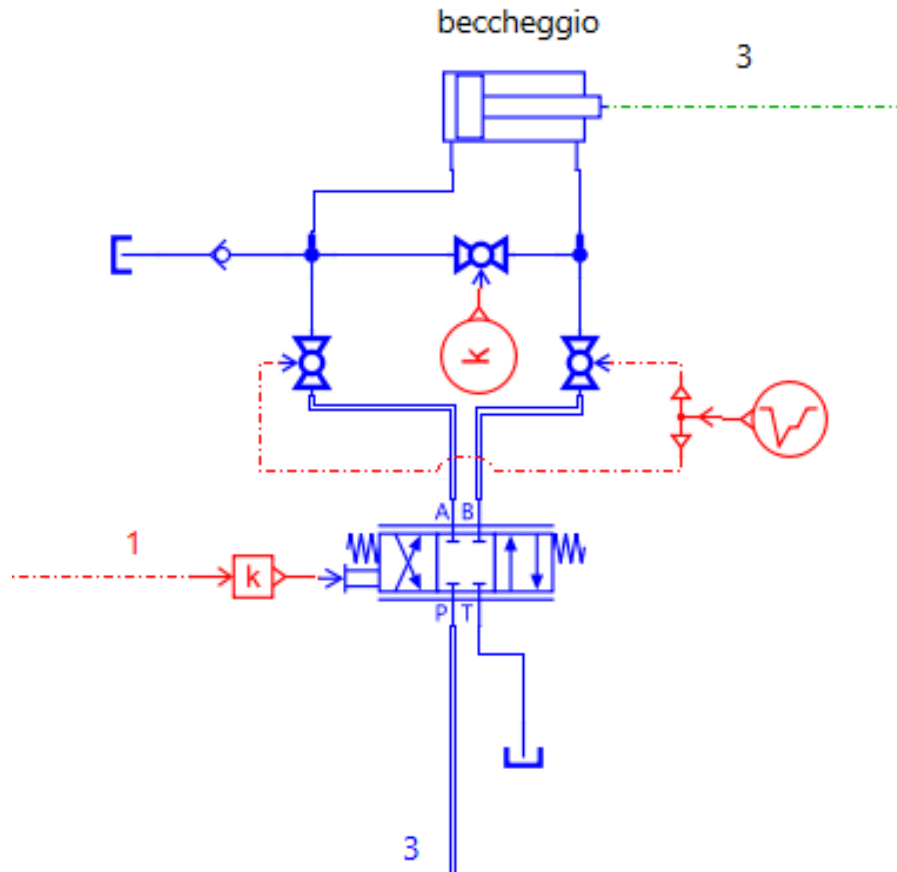


Figura 83: schema valvola e attuttore di beccheggio in “Simcenter Amesim”

3.5.5 Rigenerazione ali

Per facilitare la comprensione del sistema, consideriamo un circuito semplificato separato da quello principale (figura 84). In esso sono comunque presenti i pistoni e le valvole associate alle ali, ma i carichi applicati ai pistoni sono sostituiti da masse monodimensionali (1D), in modo da ottenere un circuito più compatto e facilmente analizzabile.

Nel funzionamento normale, le ali possono muoversi indipendentemente l'una dall'altra. Questa condizione è illustrata nella figura seguente, dove si notano le valvole on/off. Per semplicità, nel nostro modello abbiamo utilizzato valvole normalmente chiuse; tuttavia, nella realizzazione pratica sarebbe preferibile che le tre valvole rappresentate in stato attivo siano del tipo normalmente aperto. In questo modo, quando tutte le valvole sono disattivate, il sistema consente il movimento disaccoppiato delle ali (come mostrato in figura 34).

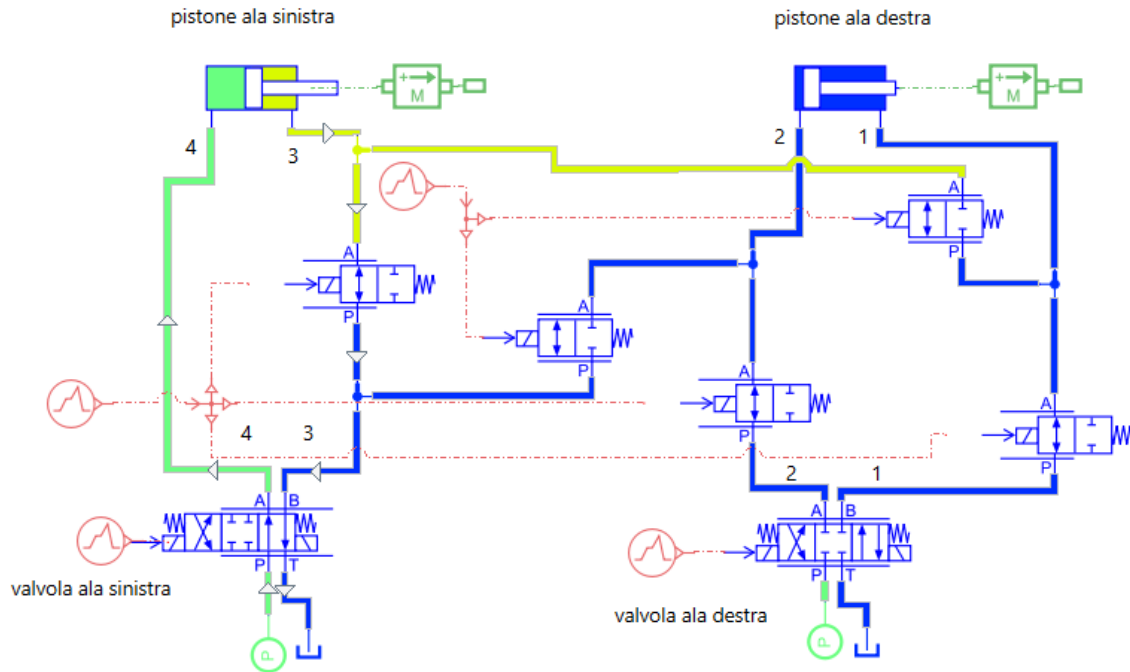


Figura 84: schema valvole per rigenerazione movimento ali in "Simcenter Amesim", riposo

Portiamo ora le ali in posizione parallela: estendiamo completamente il pistone dell'ala sinistra, mentre quello dell'ala destra viene completamente ritratto. Successivamente, commutiamo le valvole e attiviamo solo quella relativa all'ala sinistra. In questa configurazione, anche se la valvola dell'ala destra venisse attivata, non avrebbe alcun effetto poiché le sue uscite sono chiuse.

Analizziamo ora il percorso dell'olio (figura 85): dalla porta 3 della valvola, il fluido entra nella

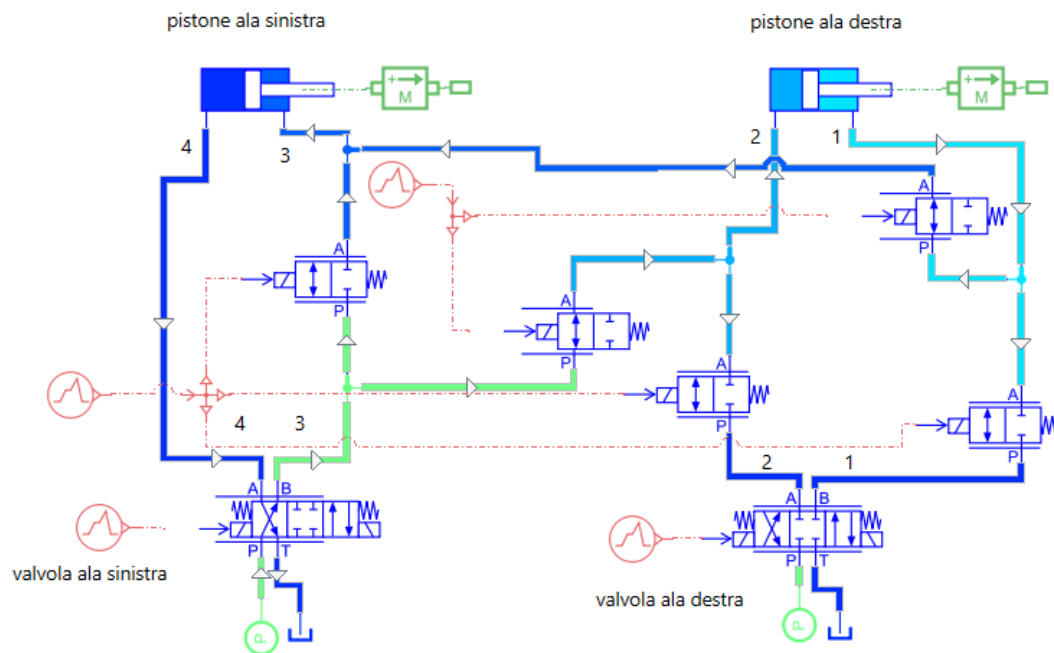


Figura 85: schema valvole per rigenerazione movimento ali in "Simcenter Amesim", commutate

porta 2 del pistone, mettendo in movimento l'ala destra. L'olio in uscita dalla porta 1 di questo pistone, che normalmente verrebbe scaricato, viene invece convogliato nella porta 3 del pistone sinistro, causandone l'estensione. A sua volta, l'olio in uscita dalla porta 4 del pistone sinistro attraversa la valvola e viene infine scaricato.

Il comportamento appena descritto può essere rappresentato in forma semplificata tramite una valvola equivalente, come mostrato nello schema seguente, utile per una comprensione più immediata del funzionamento (figura 86).

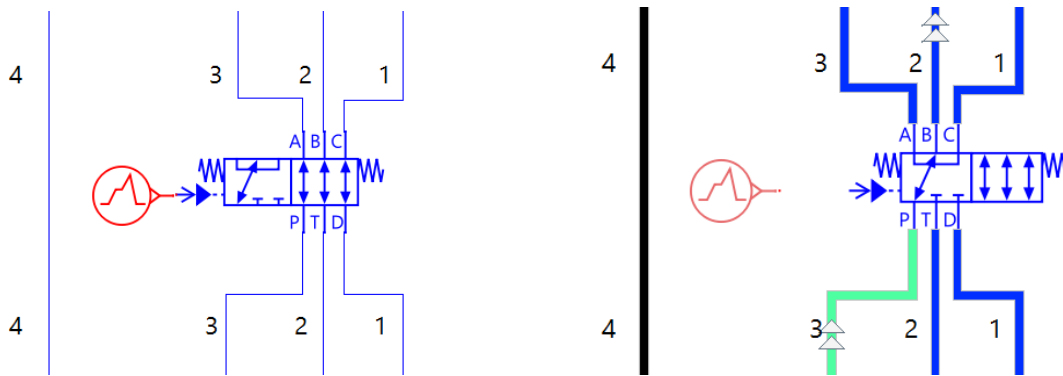


Figura 86: schema valvola equivalente in "Simcenter Amesim", a riposo a sinistra, commutata a destra

Questa valvola non esiste nella realtà ma è stata creata su "Simcenter Amesim".

3.5.6 Movimento lungo la strada

Per consentire al Vomero di percorrere la strada, è stato utilizzato un pistone che muove l'intero corpo. Questa sezione del circuito è stata progettata appositamente per questo scopo. Comprende una sorgente di pressione, una valvola direzionale e delle regolatrici di portata. In sostanza, questa parte funge da sostituto del mezzo a cui il Vomero è collegato (figura 87).

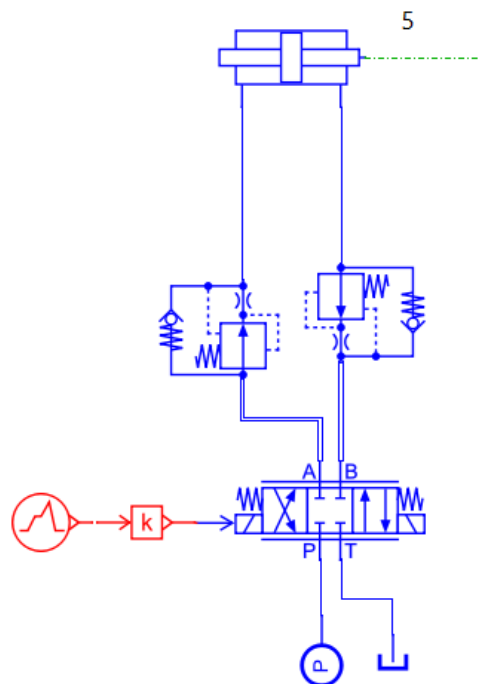


Figura 87: schema valvola con attuttore per avanzamento vomero in "Simcenter Amesim"

3.6 Descrizione delle prove

Per poter validare il modello sviluppato, è stato necessario integrare una rappresentazione della strada che consentisse di testare il comportamento del sistema in condizioni realistiche. A tale scopo, “Simcenter Amesim” mette a disposizione una libreria di contatti tra corpi, che permette di modellare interazioni variabili in termini di forma dei corpi.

Il nostro modello stradale è stato quindi costruito includendo tratti in salita, segmenti pianeggianti e sezioni con inclinazione trasversale, al fine di simulare diverse condizioni operative. In fase di simulazione, abbiamo verificato che il sistema non presentasse instabilità o fenomeni di vibrazione. Tali comportamenti indesiderati sono spesso causati da una risposta eccessivamente rapida del sistema di controllo e possono essere mitigati attraverso l’inserimento di modelli di smorzamento (damping) applicati ai vari componenti e giunzioni.

Sono state eseguite alcune simulazioni in condizioni specifiche, con un tratto di strada in salita e un tratto inclinato. In entrambi i casi, il Vomero è stato testato sia in configurazione a lama che in configurazione a vomero. Per ciascuna configurazione, sono stati considerati tre scenari: carico massimo equilibrato, carico su un'ala, e carico sull'altra ala.

La configurazione della strada è stata progettata per simulare il caso più critico possibile. La salita è stata utilizzata per testare il comportamento del beccheggio (figura 88), mentre il tratto inclinato è stato scelto per simulare il rollio (figura 89). In realtà, il tratto inclinato combina entrambe le condizioni, poiché è difficile ottenere una situazione con solo rollio senza la presenza di beccheggio.

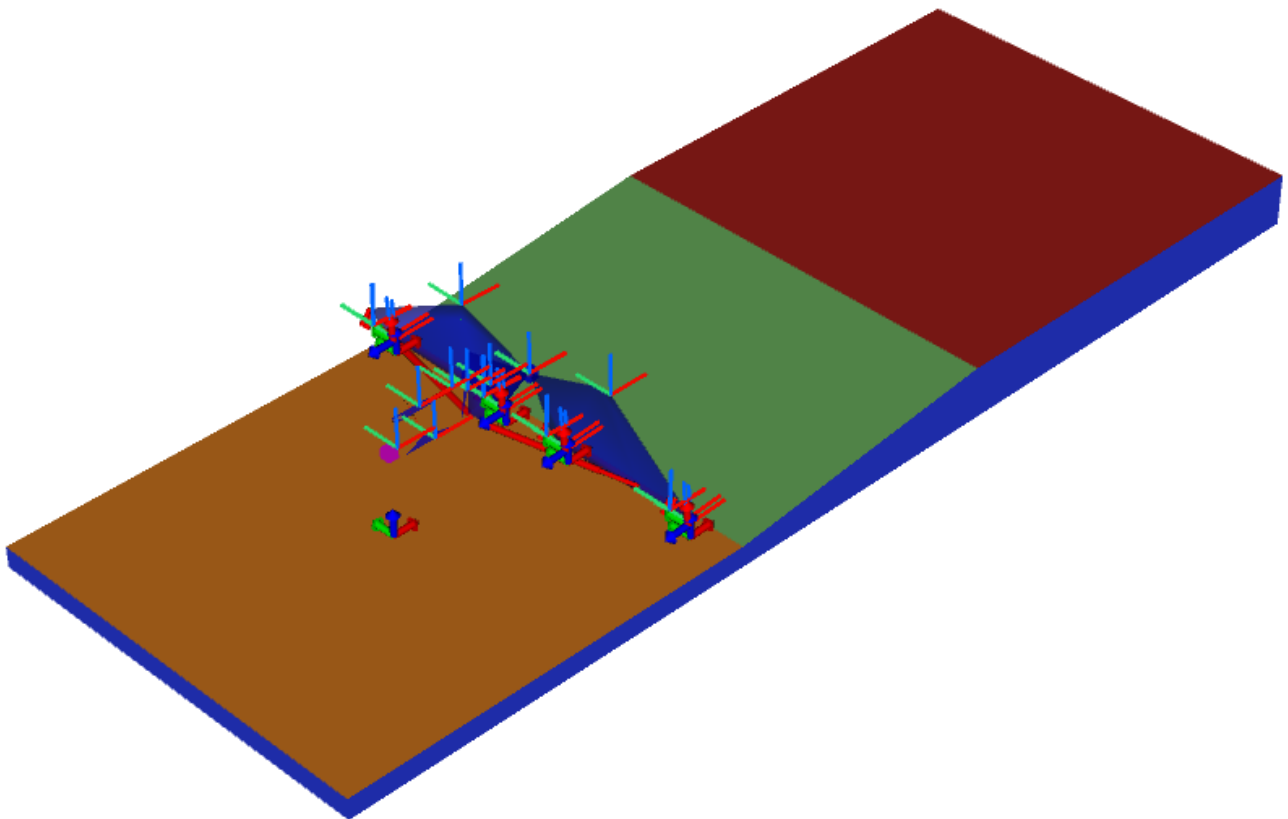


Figura 88: visualizzazione Vomero nel caso salita in “Simcenter Amesim”

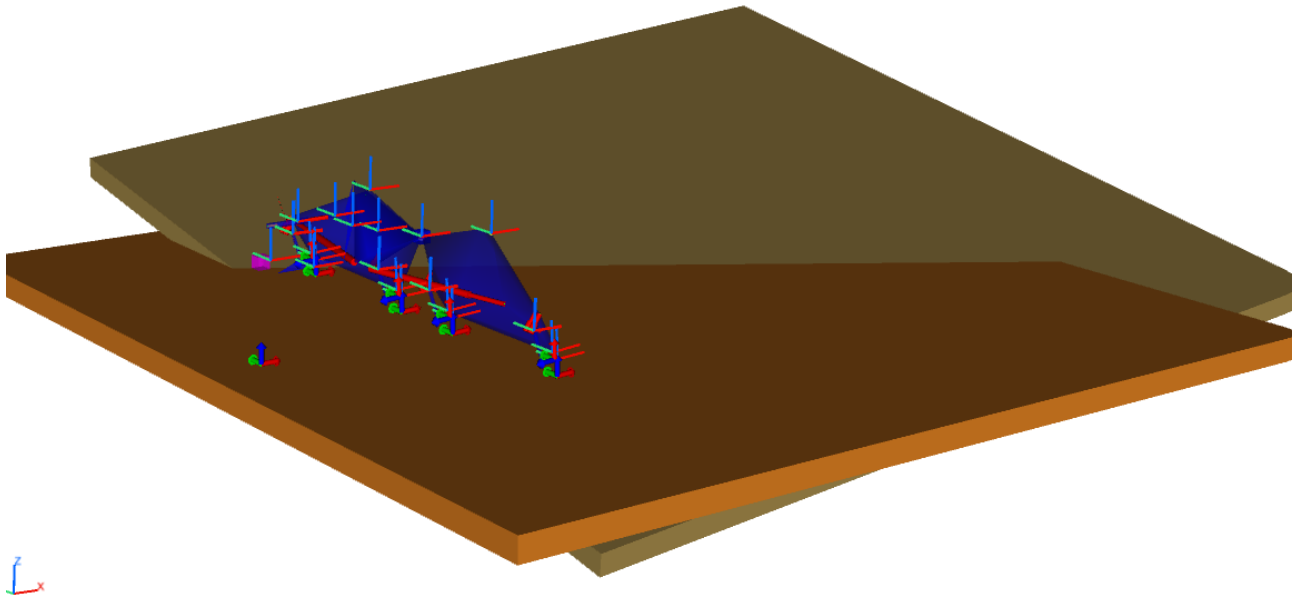


Figura 89: visualizzazione Vomero nel caso inclinato in "Simcenter Amesim"

Nel modello del Vomero implementato su "Simcenter Amesim", il carico legato alla neve è considerato esclusivamente verticale. Il carico massimo verticale applicato è di 5000 N.

I carichi asimmetrici vengono invece utilizzati per simulare situazioni in cui si esegue una pulizia del bordo strada, e con il sistema attualmente impiegato si prevede una usura simile dei raschianti in gomma.

Poiché applicare il carico su un'unica ala rappresenta una condizione più critica, ha senso considerare il carico su un'ala anche quando, nella realtà, l'altra ala è parzialmente caricata, come accade per esempio nella configurazione a lama.

3.6.1 Caso 'salita' a vomero

Facendo riferimento alla figura 88, il Vomero seguirà un percorso rettilineo: partirà dal piano arancione, proseguirà su quello verde e infine raggiungerà il piano rosso.

La simulazione ha inizio dalla posizione iniziale, con le ali in configurazione 'piatta' e il vomero sollevato da terra. In seguito, le valvole delle ali vengono attivate singolarmente per portarle nella posizione di lavoro del vomero, ovvero completamente chiuse.

Il pistone dell'ala sinistra viene azionato per primo, seguito da quello destro. La posizione '0' indica il pistone completamente retracts (come mostrato in figura 90).

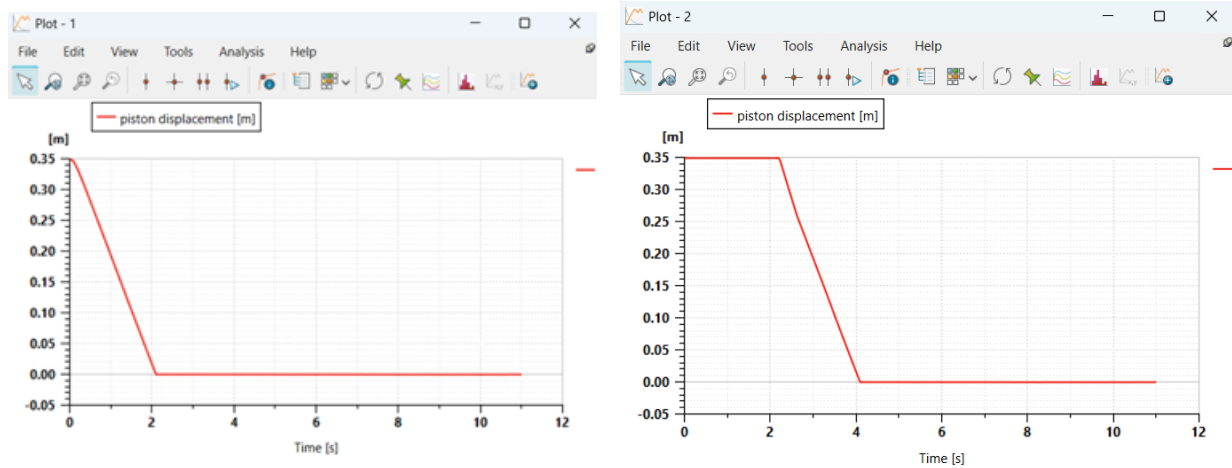


Figura 90: posizione dell'attuatore "A4" a sinistra, posizione dell'attuatore "A5" a destra

Successivamente si porta la valvola del pistone di sollevamento in posizione flottante (figura 91).

pistone di sollevamento

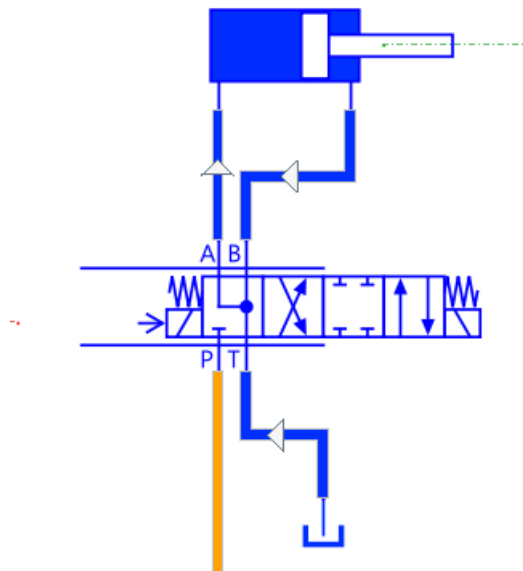


Figura 91: schema valvola in posizione flottante e attuatore "A2"

A questo punto la prova può avere inizio: viene attivato il meccanismo che spinge il vomero in avanti, come mostrato in figura 87, fino a raggiungere la posizione finale.

Per una visione più dettagliata del movimento, la figura 92 illustra a sinistra la posizione iniziale del vomero prima che inizi ad avanzare; a destra è rappresentata una posizione intermedia lungo il percorso.

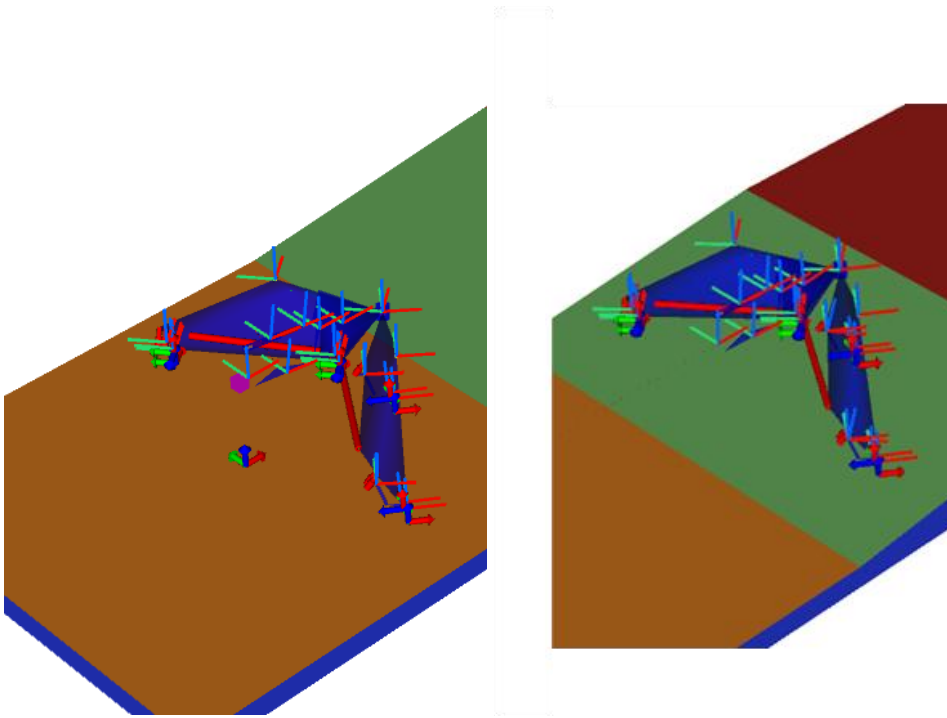


Figura 92: visualizzazione Vomero nel caso salita, a sinistra posizione di partenza, a destra posizione intermedia

3.6.2 Casi a lama e inclinato

Per quanto riguarda la configurazione a lama, visto che cambia solo la posizione di un'ala, si cambia il valore di comando nella valvola di una delle due ali, in modo che si raggiunga la posizione finale desiderata.

Le stesse procedure si applicano anche per il caso 'inclinato', solo che il punto di arrivo sarà il piano verde in figura 93. La prova si termina quando i punti di contatto si trovano su quel piano.

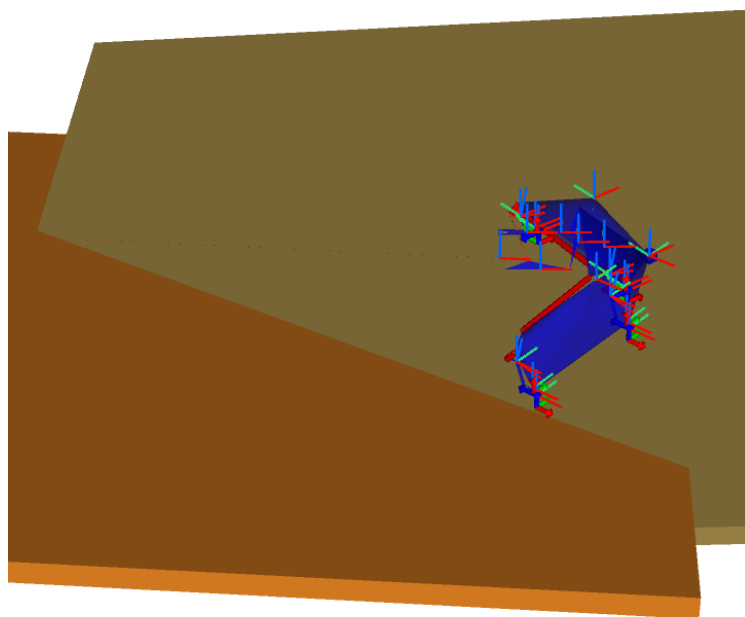


Figura 93: visualizzazione Vomero nel caso inclinato in posizione finale

Capitolo 4 - Analisi dei risultati

4. Grafici e commenti

4.1 Struttura dei risultati

I parametri utilizzati per valutare il corretto funzionamento del sistema sono i seguenti:

- Differenza di deformazione, valutabile indirettamente dallo spostamento del cassetto della valvola. Questo valore rappresenta la risultante di somme e sottrazioni eseguite meccanicamente e idraulicamente, normalizzate rispetto al range operativo delle valvole. Essendo un output del sistema di retroazione, verrà riportato solo il range di variazione.
- Accensioni e spegnimenti del motore elettrico, che fornisce indicazioni sulla frequenza di intervento del sistema.
- Spostamenti dei pistoni di beccheggio e rollio, permettono di valutare il comportamento del sistema.
- Differenza di deformazione della gomma ai lati del vomero, espressa come angolo di rotazione del pin fittizio precedentemente descritto, permette una lettura alla fonte della grandezza controllata. È stata scelta come parametro perché è qui che si rilevano le maggiori differenze di usura descritte nell'introduzione.

Per i casi con carico asimmetrico, non vengono riportati i grafici relativi agli spostamenti di beccheggio, rollio e ai giri del motore, in quanto non si sono riscontrate variazioni significative rispetto ai casi simmetrici.

4.2 Caso 'salita' a vomero: carico simmetrico

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 94, 95, 96, 97):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: $\pm 0.6\text{mm}$.

Variazione rilevata cassetto rollio: $\pm 0.3\text{mm}$.

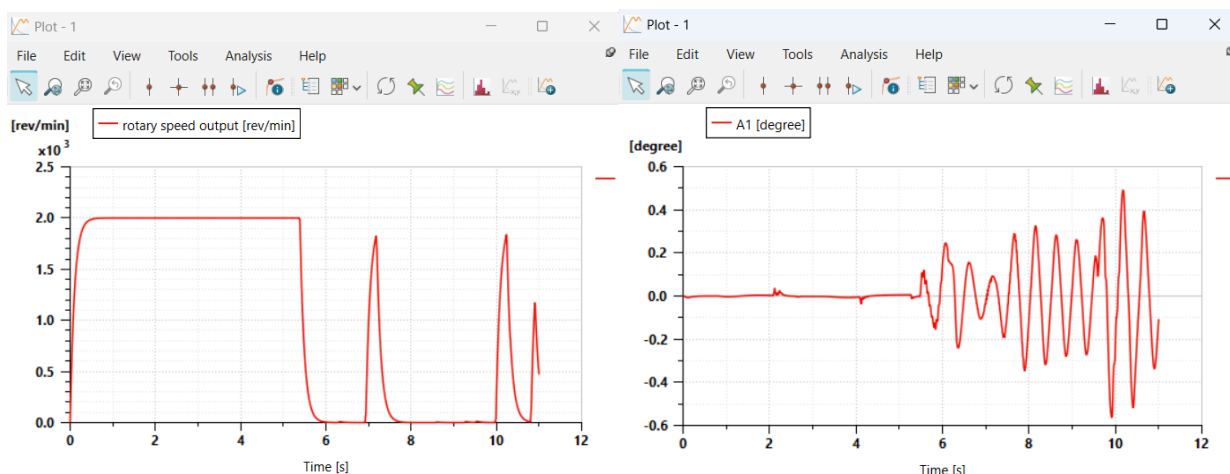


Figura 94: grafico giri motore

Figura 95: grafico differenza di rotazione pin fittizio

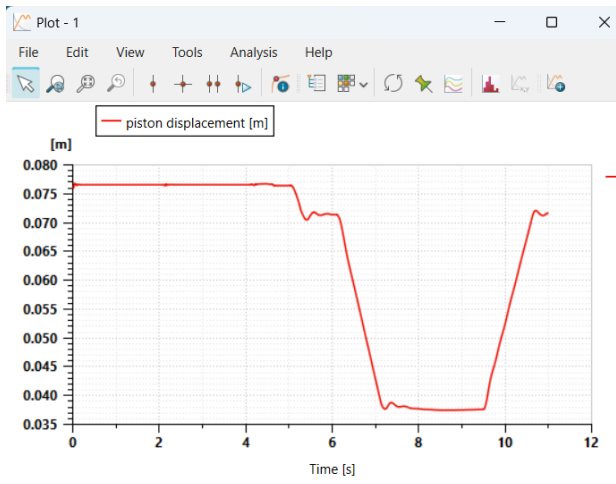


Figura 96: spostamento attuatore "A1"

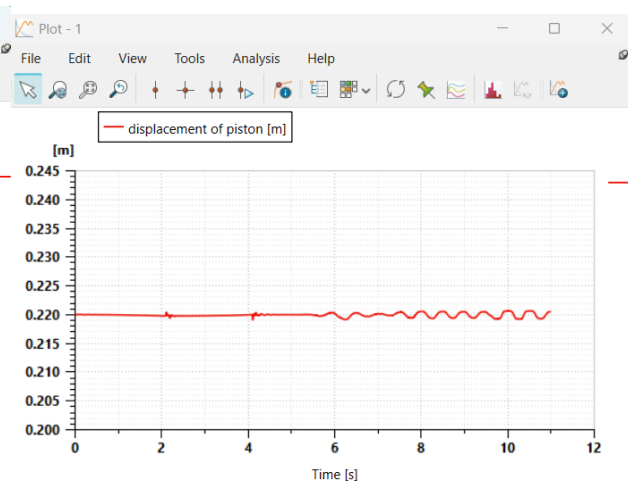


Figura 97: spostamento attuatore "A3"

4.2.1 Commento

Gli spostamenti dei cassetti risultano simmetrici, in linea con il tipo di carico applicato. All'inizio, il motore è attivato in modo continuo per posizionare il vomero nella configurazione iniziale di prova (figura 94). Successivamente, grazie alla presenza dell'accumulatore, l'attivazione del motore viene limitata e interviene solo quando necessario. Questo comportamento è comune a tutti i casi analizzati.

Il movimento in beccheggio (figura 96) presenta inizialmente un tratto a valore costante (da $t = 0s$ a $t = 5s$), corrispondente alla fase di traslazione del Vomero verso la posizione di partenza. Successivamente, si osserva una lieve variazione (da $t = 5s$ a $t = 6s$), che indica il contatto con il suolo.

La fase seguente rappresenta l'inizio della salita ($t = 6s$ a $t = 7s$). Nel tratto successivo ($t = 7s$ a $t = 9.5s$), in presenza di una pendenza costante, anche la posizione in beccheggio si mantiene costante, evidenziando la stabilità del sistema di controllo, che interviene solo in presenza di variazioni nella pendenza.

Nella parte finale ($t = 9.5s$ a $t = 11s$), il beccheggio torna al valore iniziale, indicando che il Vomero ha raggiunto una nuova zona pianeggiante, sebbene a un'altezza superiore rispetto alla posizione iniziale.

Lo spostamento in rollio (figura 97) è contenuto entro un millimetro e può quindi essere considerato trascurabile, risultato atteso considerando che la prova era focalizzata sul beccheggio. Osservando il grafico in figura 95, si nota un'accentuazione delle oscillazioni nel momento in cui il sistema attraversa la discontinuità associata al passaggio sul piano di arrivo ($t = 10s$).

4.3 Caso 'salita' a vomero: carico ala destra

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 98):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: $\pm 0.6mm$.

Variazione rilevata cassetto rollio: $+0.15mm$ a $-0.3mm$.

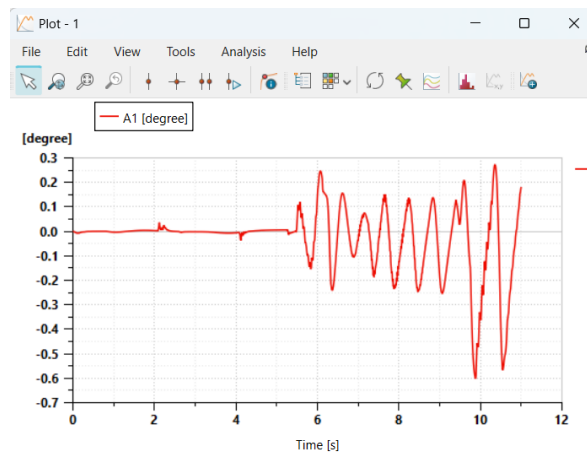


Figura 98: grafico differenza di rotazione pin fittizio

4.3.1 Commento

Dai valori di rollio si osserva che l'introduzione di un carico asimmetrico comporta uno spostamento dei valori verso un lato, poiché il pistone è chiamato a compensare lo squilibrio generato. In questa prova, tuttavia, l'effetto del carico asimmetrico sui valori di beccheggio risulta trascurabile.

Un ragionamento analogo può essere applicato alla differenza di deformazione (figura 98): si nota un'accentuazione del fenomeno nella parte finale del grafico ($t = 10s$), in corrispondenza della variazione di pendenza. L'andamento, tuttavia, rimane contenuto e, anche dopo il primo picco, tende a convergere, indicando un comportamento stabile del sistema.

4.4 Caso 'salita' a vomero: carico ala sinistra

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 99):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: $\pm 0.6mm$.

Variazione rilevata cassetto rollio: $+0.3mm$ a $-0.2mm$.

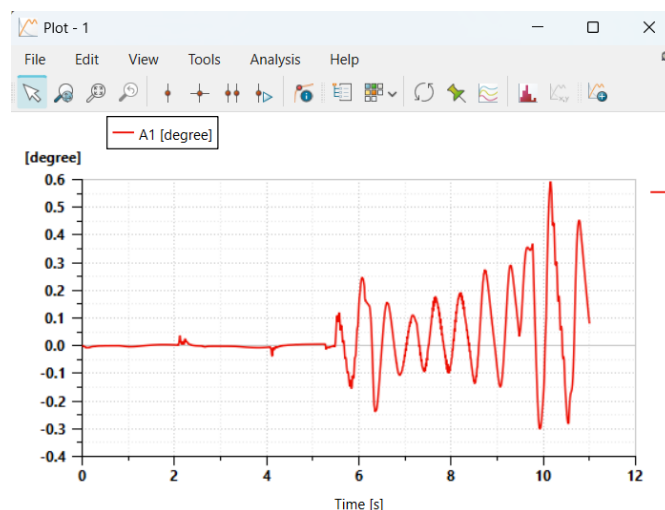


Figura 99: grafico differenza di rotazione pin fittizio

4.4.1 Commento

Le stesse considerazioni fatte per il caso precedente si possono applicare al caso in oggetto.

4.5 Caso ‘salita’ a lama

Le simulazioni eseguite con questa configurazione non sono state completate: in prossimità della fine del percorso, la simulazione non avanzava dopo un lasso di tempo considerevole. Questo tipo di percorso risulta poco realistico per una configurazione a lama, presentando una discontinuità eccessiva. Pertanto, il mancato completamento della simulazione può essere considerato accettabile.

4.6 Caso ‘inclinato’ a vomero: carico simmetrico

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 100, 101, 102, 103):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: + 0.4mm a -0.2mm.

Variazione rilevata cassetto rollio: + 0.4mm a -0.1mm.

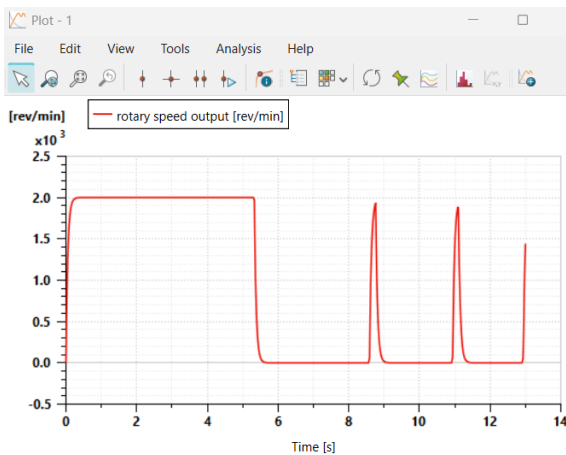


Figura 100: grafico giri motore

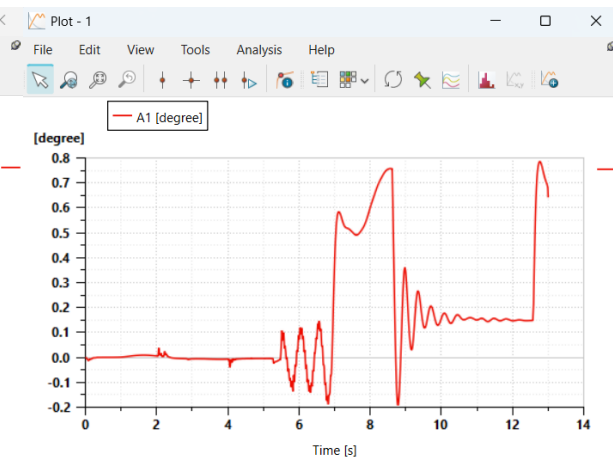


Figura 101: grafico differenza di rotazione pin fittizio

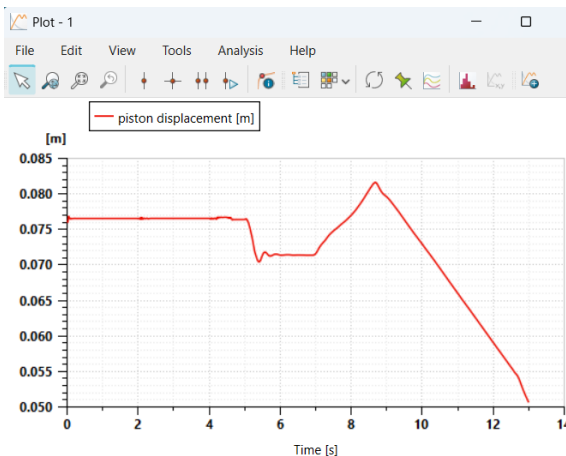


Figura 102: spostamento attuatore “A1”

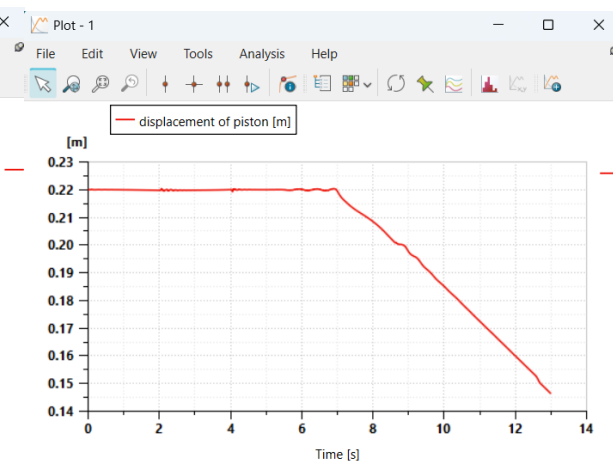


Figura 103: spostamento attuatore “A3”

4.6.1 Commento

La configurazione del percorso prevede due pendenze combinate, influenzando sia il beccheggio che il rollio del sistema. Come si può osservare, gli spostamenti dei cassette risultano sbilanciati, si può considerare le variazioni della strada come carichi equivalenti.

L’andamento degli spostamenti (figura 102 e 103), dopo un primo tratto irregolare, si stabilizza seguendo una traiettoria lineare ($t=8.5s$ per “A1” e $t=7s$ per “A3”): ciò accade perché la prova termina nel momento in cui il vomero è completamente posizionato sul piano inclinato.

A differenza del caso in salita (figura 96), dove era presente un tratto a inclinazione costante, qui tale fase non compare in quanto la prova si conclude anticipatamente. Questa scelta è stata necessaria poiché il software non concludeva sempre le simulazioni quando si simulava il ritorno del vomero su un piano parallelo a quello iniziale.

Il beccheggio mostra alcune variazioni iniziali prima di stabilizzarsi su un andamento lineare, dovute al modo in cui il Vomero si appoggia sul piano inclinato (da $t=6s$ a $t=8.5s$). Il grafico dell'attivazione del motore (figura 100) è analogo a quello dei casi precedenti (figura 94).

Per quanto riguarda la deformazione (figura 101), si evidenziano tre picchi: i primi due sono attribuibili alla discontinuità introdotta dal cambio di piano dei punti di appoggio centrali, mentre il terzo è legato al momento in cui anche l'estremità di destra cambia superficie d'appoggio.

Nel complesso, i risultati ottenuti sono in linea con le aspettative.

4.7 Caso 'inclinato' a vomero: carico ala destra

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 104):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: $+0.4mm$ a $-0.2mm$.

Variazione rilevata cassetto rollio: $+0.3mm$ a $-0.2mm$.

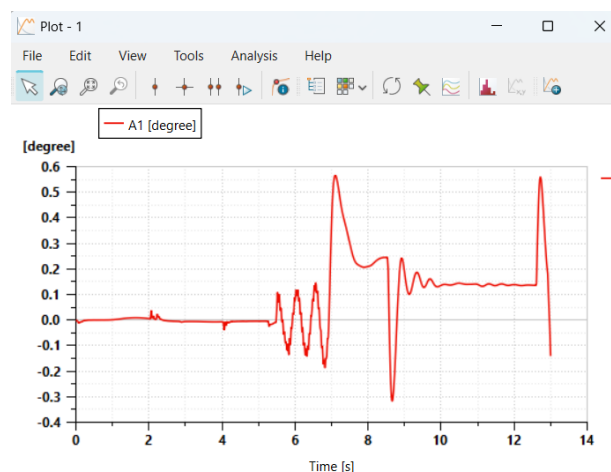


Figura 104: grafico differenza di rotazione pin fittizio

4.7.1 Commento

Come osservato precedentemente si ha asimmetria in tutti i valori. Nel grafico (figura 104) si possono notare picchi analoghi a quelli trovati in precedenza (figura 101).

4.8 Caso 'inclinato' a vomero: carico ala sinistra

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 105):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: $+0.4mm$ a $-0.2mm$.

Variazione rilevata cassetto rollio: $+0.8mm$ a $-0.1mm$.

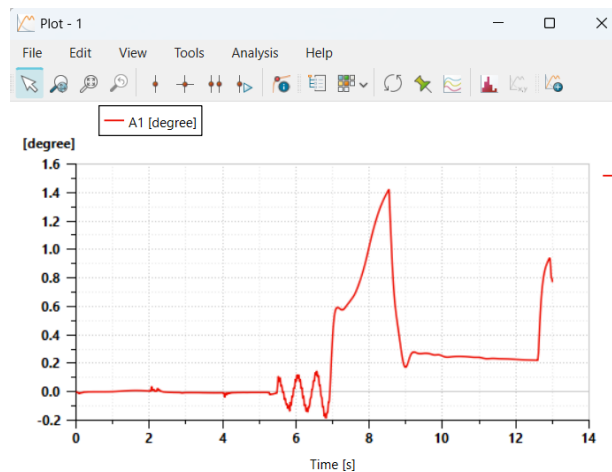


Figura 105: grafico differenza di rotazione pin fittizio

4.8.1 Commento

In questo caso, l'azione combinata del carico e del profilo stradale agisce in modo concorde, accentuando al massimo le asimmetrie. Il rollio risulta il parametro maggiormente influenzato, mentre anche la differenza di deformazione risulta superiore rispetto agli altri casi (figura 105). Tuttavia, tale squilibrio si manifesta per un intervallo di tempo molto breve (intorno a $t = 8.5$ s), risultando quindi accettabile.

4.9 Caso 'inclinato' a lama: carico simmetrico

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 106, 107, 108):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: non viene riportato poiché si esclude il comando.

Variazione rilevata cassetto rollio: + 0.5mm a -0.2mm.

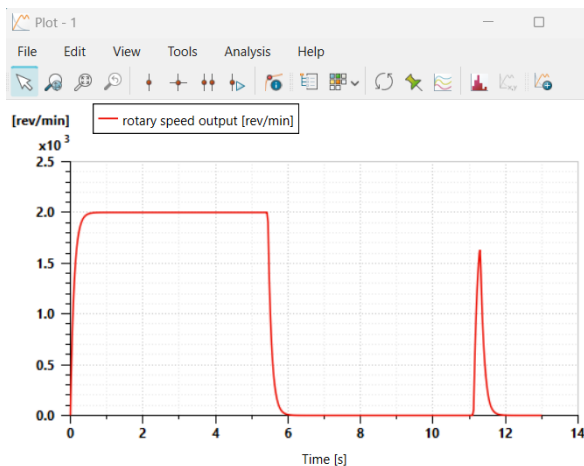


Figura 106: grafico giri motore

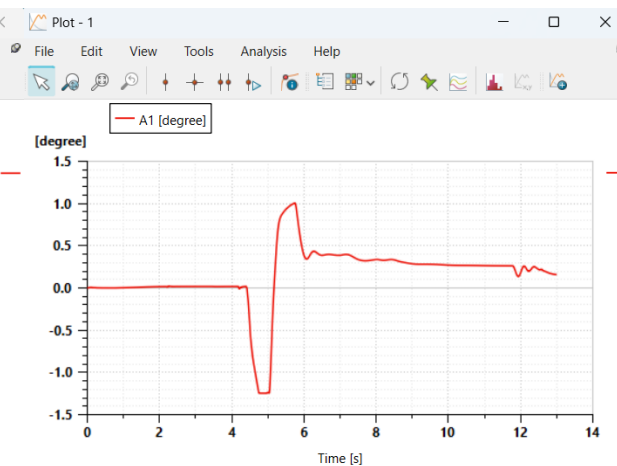


Figura 107: grafico differenza di rotazione pin fittizio

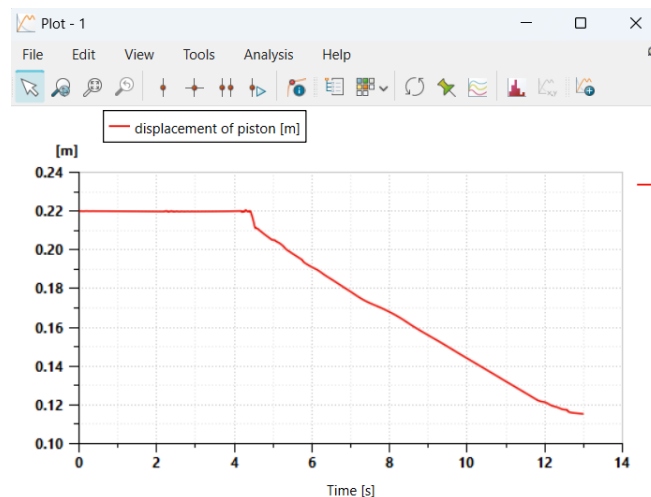


Figura 108: spostamento attuatore "A3"

4.9.1 Commento

Il grafico relativo all'attivazione del motore (figura 106) evidenzia una minore frequenza di intervento, coerente con una richiesta ridotta: mentre nei casi precedenti (figura 100) si osservavano tre picchi successivi alla fase continua, ora ne compare soltanto uno.

L'andamento del pistone di rollio (figura 108) si presenta lineare (da $t=4.5s$), come previsto.

Si osserva invece un aumento, in valore assoluto, dei picchi nella differenza di deformazione (in corrispondenza di $t=5s$ e $t=5.5s$; figura 107), rispetto ai casi analizzati in precedenza. Tali incrementi risultano tuttavia riconducibili agli eventi descritti poc'anzi.

4.10 Caso 'inclinato' a lama: carico ala destra

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 109):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: non viene riportato poiché si esclude il comando.

Variazione rilevata cassetto rollio: + 0.5mm a -0.2mm.

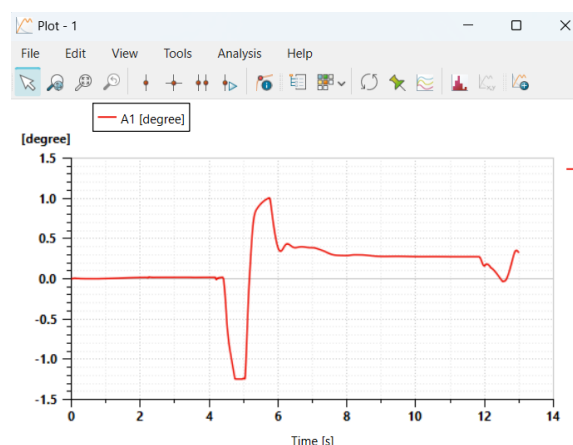


Figura 109: grafico differenza di rotazione pin fittizio

4.10.1 Commento

Non si evidenziano (figura 109) differenze significative rispetto al caso simmetrico (figura 107), nonostante ci si aspettasse un comportamento migliorativo, in quanto il carico avrebbe dovuto compensare almeno in parte l'effetto equivalente generato dalla strada.

4.11 Caso ‘inclinato’ a lama: carico ala sinistra

Iniziamo riportando i risultati ottenuti (figura 110):

Variazione rilevata cassetto beccheggio: non viene riportato poiché si esclude il comando.

Variazione rilevata cassetto rollio: + 0.5mm a -0.2mm.

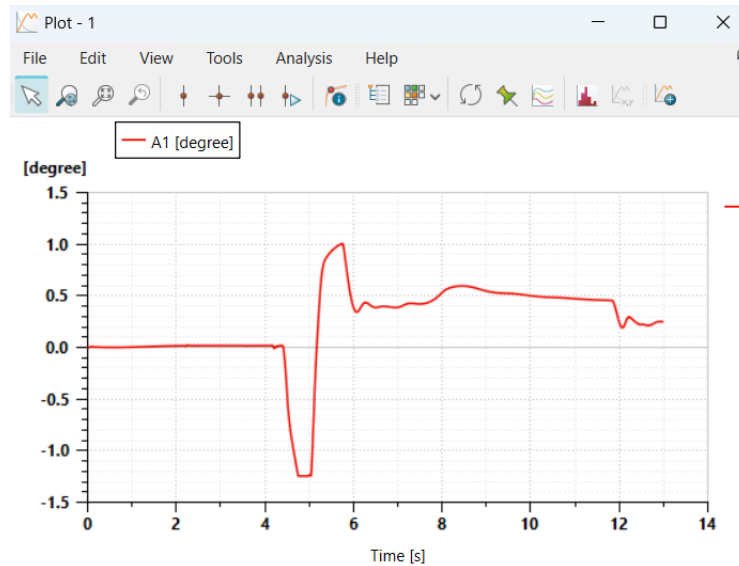


Figura 110: grafico differenza di rotazione pin fittizio

4.10.1 Commento

Non si osservano differenze sostanziali (figura 110) rispetto al caso simmetrico (figura 107), sebbene ci si aspettasse un comportamento peggiorativo, in quanto il carico risulta concorde con l'azione equivalente generata dalla strada.

Capitolo 5 - Conclusioni

La modellazione su “Simcenter Amesim” è stata realizzata con successo, senza dover ricorrere ad eccessive approssimazioni. La principale difficoltà è emersa nella rappresentazione dell’elemento in gomma: modellarlo come componente flessibile si è rivelato impraticabile.

Tutti i componenti che sono necessari per la realizzazione del sistema meccanico e idraulico, come valvole, tubazioni, ecc., sono stati integrati nel modello 3D di partenza in posizioni coerenti con l’architettura del sistema.

I risultati ottenuti dalle simulazioni sono in gran parte coerenti con le aspettative iniziali. Tuttavia, negli ultimi due casi analizzati si sono evidenziati alcuni scostamenti rispetto al comportamento atteso.

Nel complesso, il sistema può essere considerato stabile e capace di adattarsi efficacemente alle variazioni del profilo stradale. La funzione di rigenerazione introdotta per la modalità lama rappresenta un’innovazione significativa, in grado di migliorare sensibilmente le prestazioni del sistema, con potenziale applicazione anche su macchine esistenti.

Considerando la presenza di componenti aggiuntivi e le prestazioni superiori rispetto alle soluzioni attualmente in commercio, è prevedibile un costo maggiore. Tuttavia, lo sviluppo del sistema è stato orientato verso l’impiego in condizioni operative complesse, giustificando il costo aggiuntivo.

In studi futuri, potrebbe essere utile approfondire il comportamento del sistema nel caso in cui solo una parte del peso venga effettivamente trasferita al suolo. Un’ulteriore linea di indagine potrebbe riguardare l’analisi della risposta del sistema tenendo conto dell’usura del raschiante.

Bibliografia

- [1] S. Motto, S. Ferrero, “Studio di un Vomero spalaneve”, 2022.
- [2] <https://www.garnero.com/>
- [3] <https://www.buchermunicipal.com/it/it>
- [4] <https://www.pelazza.it/?lang=IT>
- [5] <https://www.fresia.it/?lang=it>
- [6] <https://www.deleks.it/>
- [7] <https://www.orsigroup.it/it/prodotto/330/vy#scheda-tecnica>
- [8] <https://www.aebi-schmidt.com/it-it/prodotti/schmidt/lame-sgombraneve/tellefsdal-v90/>
- [9] <https://girodivento-it.blogspot.com/2009/05/beccheggio-e-rollio.html>
- [10] https://www.atos.com/tables/english/KTI_Atos-industrial-electrohydraulics-catalog-EN.pdf
- [11] ET-Electric 12V DC Motor Pump Set

Ringraziamenti

Desidero esprimere la mia sincera gratitudine alla mia famiglia per il costante supporto e l’incoraggiamento che mi ha offerto durante questo percorso, che non è stato privo di difficoltà. Un sentito ringraziamento va anche a tutte le persone che ho avuto il piacere di incontrare lungo il cammino.