

# POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in  
Ingegneria Meccanica



Studio e progettazione di un sistema di sollevamento anta, mosso da molle in acciaio,  
con possibilità di regolazione in funzione del carico da movimentare

Relatore: Prof. Umberto Cugini

Co-relatore: Ing. Francesco Ferrise

Tesi di Laurea di:

Giuseppe AZZARELLO

Matr. 752221

Anno Accademico 2011 - 2012



## **Indice**

Elenco delle figure .....	3
Elenco delle tabelle .....	6
Sommario .....	7
Capitolo 1 - Introduzione .....	9
Capitolo 2 - Stato dell'arte .....	11
2.1 Il linguaggio Modelica .....	12
2.2 Ambienti di modellazione e simulazione: .....	15
2.2.1 OpenModelica.....	16
2.2.2 Dymola.....	16
2.2.3 Modelicac.....	17
2.2.4 SimulationX.....	17
2.2.5 Mosilab .....	18
2.2.6 JModelica.org .....	18
2.2.7 MapleSim.....	19
Capitolo 3 - LMS Imagine.Lab AMESim.....	21
Capitolo 4 - Analisi del problema .....	27
4.1 Introduzione.....	27
4.2 Sistema di sollevamento anta a ribalta .....	28
4.3 Sistema di sollevamento anta basculante .....	35
Capitolo 5 - Soluzione del problema.....	37
5.1 Elementi del sistema.....	37
5.1.1 Libreria "Planar Mechanical" .....	37
5.1.2 Libreria "Mechanical" .....	50
5.1.3 Libreria "Signal, Control".....	53
5.1.4 Libreria "Pneumatic Component Design" .....	60
5.2 Modello anta a ribalta singola, apertura .....	63

5.3 Modello anta a ribalta singola, chiusura .....	68
5.4 Modello anta basculante, apertura .....	70
5.5 Modello anta basculante, chiusura .....	75
5.6 Sostituzione della molla a gas con una molla in acciaio.....	77
5.6.1 La molla in <i>AMESim</i> .....	79
5.6.2 Risultati ottenuti .....	81
Capitolo 6 – Il prototipo .....	89
6.1 Progetto con mantenimento della posizione degli attacchi invariata.....	89
6.2 Progetto con spostamento di un attacco e conseguente allungamento della distanza tra gli attacchi.....	97
Conclusioni .....	103
Bibliografia .....	105

## Elenco delle figure

Figura 2.1. Logo del linguaggio “Modelica” .....	12
Figura 2.2. Passi della modellazione tramite il linguaggio Modelica .....	13
Figura 2.3. Logo “OpenModelica” .....	16
Figura 2.4. “Logo Dymola” .....	16
Figura 2.5. “Logo Modelicac” .....	17
Figura 2.6. “Logo SimulationX” .....	17
Figura 2.7. “Logo Mosilab” .....	18
Figura 2.8. “Logo JModelica.org” .....	18
Figura 2.9. “Logo MapleSim” .....	19
Figura 3.1. Logo “LMS” .....	21
Figura 3.2. LMS Imagine.Lab AMESim .....	21
Figura 3.3. Modello di un escavatore .....	22
Figura 3.4. Pendolo schematizzato in AMESim .....	23
Figura 3.5. Animazione del modello del pendolo in diverse posizioni angolari .....	24
Figura 3.6. Virtual.Lab .....	25
Figura 4.1. Molla a gas .....	27
Figura 4.2. Sistema di sollevamento anta a ribalta singola .....	28
Figura 4.3. Vincolo “cerniera” .....	29
Figura 4.4. “Cerniera Salice” .....	29
Figura 4.5. Piastra e bracci .....	30
Figura 4.6. Molla a gas .....	30
Figura 4.7. Quadrilatero articolato .....	31
Figura 4.8. Smove .....	31
Figura 4.9. Fissaggio della piastra .....	32
Figura 4.10. Aggancio della molla a gas .....	32
Figura 4.11. Inserimento dello Smove .....	33
Figura 4.12. Fissaggio dell’anta sul mobile .....	33
Figura 4.13. Sistema push .....	34
Figura 4.14. Sistema di sollevamento anta ad apertura basculante .....	35
Figura 4.15. Piastra e bracci .....	35
Figura 4.16. Quadrilatero articolato .....	36
Figura 5.1. Visualizzazione variabili esterne del “corpo” .....	38
Figura 5.2. Visualizzazione variabili esterne della “cerniera” .....	41
Figura 5.3. Visualizzazione variabili esterne del “giunto roto-traslazionale” .....	43
Figura 5.4. “Icona di assemblaggio” .....	45
Figura 5.5. Visualizzazione variabili esterne del “sensore” .....	46
Figura 5.6. Visualizzazione variabili esterne del “trasmettitore” .....	48
Figura 5.7. Visualizzazione variabili esterne del “convertitore” .....	49
Figura 5.8. Visualizzazione variabili esterne dello “smorzatore” .....	51
Figura 5.9. Visualizzazione delle variabili del “generatore di forza” .....	52
Figura 5.10. Visualizzazione delle variabili del “generatore di coppia” .....	52

Figura 5.11. “gravità” .....	53
Figura 5.12. Visualizzazione variabili esterne del “segnale costante” .....	54
Figura 5.13. Visualizzazione variabili esterne dello “step” .....	55
Figura 5.14. Visualizzazione variabili esterne del “trigger” .....	56
Figura 5.15. Visualizzazione variabili esterne dello “sdoppiatore” .....	57
Figura 5.16. Visualizzazione variabili esterne del “comparatore” .....	58
Figura 5.17. Visualizzazione variabili esterne dello “stop” .....	58
Figura 5.18 Visualizzazione variabili esterne della “funzione” .....	59
Figura 5.19. Visualizzazione variabili esterne del “pistone” .....	60
Figura 5.20. Confronto tra il sistema modellato in SolidWorks e in AMESim ..	63
Figura 5.21. Modello dell’apertura del sistema di sollevamento anta a ribalta in LMS-AMESim .....	65
Figura 5.22. Pistone-smorzatore-giunto .....	66
Figura 5.23. Forza impressa per l’apertura .....	66
Figura 5.24. Smorzatore che simula il contatto .....	67
Figura 5.25. Coppia applicata alla cerniera .....	67
Figura 5.26. Arresto della simulazione quando l’anta si ferma .....	67
Figura 5.27. Tre fotogrammi della fase di apertura .....	68
Figura 5.28. Rappresentazione del modello del sistema a ribalta nella fase di chiusura .....	68
Figura 5.29. Modello anta a ribalta nella fase di chiusura .....	69
Figura 5.30. Tre fotogrammi della fase di chiusura .....	70
Figura 5.31. Rappresentazione del sistema basculante, apertura .....	71
Figura 5.32. Sistema di sollevamento anta basculante nella realtà e nel modello LMS-AMESim .....	71
Figura 5.33. Modello del sistema di sollevamento anta basculante nella fase di apertura .....	72
Figura 5.34. Coppia applicata alla cerniera .....	73
Figura 5.35. Forza dell’utente .....	73
Figura 5.36. Contatto .....	74
Figura 5.37. Sistema di arresto della simulazione .....	74
Figura 5.38 - Tre fotogrammi della fase di apertura .....	75
Figura 5.39. Rappresentazione del modello del sistema basculante .....	75
Figura 5.40. Modella anta basculante, chiusura .....	76
Figura 5.41. Forza dell’utente .....	77
Figura 5.42. Tre fotogrammi della fase di chiusura .....	77
Figura 5.43. Visualizzazione variabili esterne della “molla” .....	79
Figura 5.44. Modello del sistema basculante con molla in acciaio .....	81
Figura 5.45. Andamento della velocità dell’anta in funzione della posizione angolare .....	82
Figura 5.46. Andamento della forza in funzione della compressione .....	83
Figura 5.47. Velocità angolare dell’anta in funzione della posizione angolare ..	83
Figura 5.48. Andamento della forza e della velocità .....	84

Figura 5.50. Parametri della molla.....	86
Figura 5.51. Andamento della forza e della velocità con un'anta di 7 kg.....	87
Figura 6.1. Pistone a fine corsa (anta aperta).....	90
Figura 6.2. Pistone compresso (anta chiusa).....	90
Figura 6.3. Messa in tavola dell'assieme .....	91
Figura 6.4. Cilindri concentrici .....	91
Figura 6.5. Vite senza fine e dado.....	92
Figura 6.6. Perno del dado inserito nell'asola.....	93
Figura 6.7. Vite e cilindro interno.....	93
Figura 6.8. Dispositivo finale.....	94
Figura 6.9. Messa in tavola del dispositivo.....	97
Figura 6.10. Cilindri esterno ed interno avvitati .....	98
Figura 6.11. Attacco con stantuffo.....	98
Figura 6.12. Vite che permette la regolazione dell'attacco.....	98
Figura 6.13. Dispositivo finale.....	99

## Elenco delle tabelle

Tabella 5.1. Variabili esterne del “corpo” .....	38
Tabella 5.2. Parametri iniziali del “corpo” .....	39
Tabella 5.3. Variabili esterne della “cerniera” .....	41
Tabella 5.4. Parametri iniziali della “cerniera” .....	42
Tabella 5.5. Variabili esterne del “giunto roto-traslazionale” .....	43
Tabella 5.6. Parametri iniziali del “giunto roto-traslazionale” .....	45
Tabella 5.7. Variabili esterne del “sensore” .....	46
Tabella 5.8. Parametri iniziali del “sensore” .....	47
Tabella 5.9. Variabili esterne del “trasmettitore” .....	48
Tabella 5.10. Parametri iniziali del “trasmettitore” .....	48
Tabella 5.11. Variabili esterne del “convertitore” .....	49
Tabella 5.12. Variabili esterne dello “smorzatore” .....	51
Tabella 5.13. Variabili esterne del “generatore di forza” .....	52
Tabella 5.14. Variabili esterne del “generatore di coppia” .....	53
Tabella 5.15. Parametri iniziali della “gravità” .....	53
Tabella 5.16. Variabili esterne del “segnale costante” .....	54
Tabella 5.17. Parametri iniziali del “segnale costante” .....	54
Tabella 5.18. Variabili esterne dello “step” .....	55
Tabella 5.19. Parametri iniziali dello “step” .....	55
Tabella 5.20. Variabili esterne del “trigger” .....	56
Tabella 5.21. Parametri iniziali del “trigger” .....	56
Tabella 5.22. Variabili esterne dello “sdoppiatore” .....	57
Tabella 5.23. Variabili esterne del “comparatore” .....	58
Tabella 5.24. Variabili esterne dello “stop” .....	59
Tabella 5.25. Parametri iniziali dello “stop” .....	59
Tabella 5.26. Variabili esterne della funzione .....	60
Tabella 5.27. Variabili esterne del “pistone” .....	61
Tabella 5.28. Variabili interne del “pistone” .....	61
Tabella 5.29. Parametri reali del “pistone” .....	61
Tabella 5.30. Parametri integrati del “pistone” .....	62
Tabella 5.31. Variabili esterne della “molla” .....	79
Tabella 5.32. Variabili interne della “molla” .....	80
Tabella 5.33. Parametri iniziali della “molla” .....	80
Tabella 5.34. Parametri interni della “molla” .....	80
Tabella 5.35. Caratteristiche della molla .....	85



## Sommario

Il presente lavoro di tesi, svolto in collaborazione con l'azienda Salice S.p.a., affronta lo studio dei sistemi di sollevamento anta prodotti dalla stessa azienda, con particolare attenzione per il modello basculante. Le finalità preposte sono state: 1. verificare la possibilità di sostituire le molle a gas attualmente utilizzate per i vari sistemi con delle molle in acciaio; 2. trovare un metodo semplice e veloce per l'individuazione della molla più adatta ad ogni anta di peso e dimensioni diversi; 3. valutare la possibilità di utilizzare la stessa molla per movimentare carichi differenti; 4. progettare un dispositivo contenente la molla in acciaio, atto alla sostituzione della molla a gas, che sia facilmente regolabile. Per lo svolgimento della prima parte del lavoro è stato utilizzato il software LMS Imagine.Lab AMESim, per la modellazione e la simulazione di sistemi 1D. Tramite le librerie a disposizione sono stati combinati in uno schema a blocchi gli elementi rappresentanti le varie parti dei dispositivi di sollevamento anta di tipo "basculante" e "a ribalta", sia per la fase di apertura che di chiusura. Una volta modellati questi sistemi, ed in particolare la molla a gas, si è proceduto alla sostituzione all'interno del software di quest'ultima con una molla in acciaio, verificando e confrontando il comportamento delle due diverse tipologie e verificando poi come possano essere regolate le molle in acciaio per la movimentazione di carichi differenti. Infine sono stati progettati e modellati tramite il sistema CAD SolidWorks due diverse soluzioni basate su una molla in acciaio, per sostituire le molle a gas attualmente utilizzate in modo da essere facilmente regolabili. Questo può essere effettuato sia in fase di assemblaggio, prima della vendita del prodotto, adattando la stessa molla ad ante differenti, sia dall'utente che ha acquistato il prodotto e che voglia modificare a suo piacimento la velocità di apertura o la forza necessaria alla chiusura dell'anta.

**Parole chiave:** sistema di sollevamento; LMS-AMESim; molla; molla a gas; anta.



## Capitolo 1 - Introduzione

Il lavoro affronta lo studio dei sistemi di sollevamento anta di tipo “basculante” ed “a ribalta”, prodotto dalla Arturo Salice S.p.a., ed in particolare la ricerca di una soluzione di tipo alternativo, tramite la sostituzione delle molle a gas attualmente utilizzate con altre di tipo meccanico, che permetterebbero sostanzialmente un miglioramento del sistema nei seguenti punti:

- durata nel tempo maggiore: le molle a gas hanno infatti una durata limitata nel tempo e con l'utilizzo tendono a scaricarsi e a perdere le loro caratteristiche iniziali (diminuzione della forza esercitata dopo un numero di corse di lavoro complete nell'ordine di alcune decine di migliaia) mentre le molle meccaniche hanno una durata di gran lunga maggiore, considerabile infinita se utilizzate in condizioni ottimali (la vita della molla è funzione del materiale, della compressione cui è sottoposta durante il ciclo di lavoro e della temperatura).
- maggiore flessibilità nel range di utilizzo: le molle a gas sono costruite con un determinato valore di esercizio e non sono regolabili. Ciò significa che l'azienda dovrà mantenere a stock diverse tipologie di molle a gas in funzione del carico da movimentare. Difficilmente però si potrà disporre di una molla diversa per ogni anta, a causa dell'elevato numero di modelli presenti, e sarà quindi anche difficile poter montare su ogni sistema di sollevamento la molla adeguata ma si dovrà scegliere quella che più vi si avvicina. Inoltre ogni acquirente ha delle esigenze o delle preferenze differenti e con questo sistema non si è in grado di fornire la possibilità di regolare la velocità di apertura e la forza necessaria alla chiusura in base alle esigenze e alle preferenze dell'utilizzatore. La peculiarità delle molle meccaniche è invece quella di esercitare un modulo della forza maggiore o minore in funzione della precompressione imposta inizialmente. Quindi regolando la molla con delle semplici operazioni, eventualmente effettuabili dall'utente stesso, è possibile adattare perfettamente una molla ad ante di materiale e peso diversi, con un range molto più ampio rispetto alle molle a gas, ed addirittura di permettere all'acquirente di regolare autonomamente a suo piacimento, entro determinati limiti, la forza esercitata dalla molla.

Di contro le molle a gas sono le più utilizzate per questo tipo di applicazioni in quanto sono lo strumento che consente di ottenere le migliori prestazioni, trasmettendo una forza costante per tutto l'allungamento, che permettono di ridurre al minimo le vibrazioni del sistema e che consentono uno smorzamento nella fase finale della corsa.

Per lo svolgimento del progetto si dovrà quindi tenere conto di ognuno di questi aspetti che caratterizzano i due diversi modelli di molla, verificare la fattibilità

della sostituzione, sia come forze in gioco che come ingombri ed infine valutare le prestazioni del sistema con un tipo di molla e con l'altro.

L'obiettivo del progetto è quindi quello di verificare la possibilità di sostituire le molle a gas, utilizzate attualmente dall'azienda per i sistemi di sollevamento anta, con delle molle meccaniche regolabili in funzione del carico da movimentare, di studiare delle soluzioni alternative plausibili e di verificare le caratteristiche e le prestazioni del nuovo sistema.

## Capitolo 2 - Stato dell'arte

Tipicamente per la ricerca di una soluzione ad un problema come quello affrontato durante lo svolgimento della tesi si ricorre all'utilizzo di un sistema CAD. Partendo dalla geometria del sistema il primo passo consiste nel riprodurre il sistema reale nell'ambiente CAD, dopodiché il progettista ricerca delle alternative progettuali che possano consentire di ottenere il risultato voluto. Una volta valutata la fattibilità e completato il progetto vengono effettuate delle prove ed analizzati i risultati. Nel caso questi non siano soddisfacenti si torna al punto precedente e si itera il processo fino a trovare una soluzione ottimale.

Negli ultimi anni prende sempre più piede nell'ambito della progettazione lo svilupparsi della Prototipazione Virtuale, ovvero la creazione di prototipi non reali ma virtuali, generati per essere osservati, analizzati e manipolati. Il modello virtuale ha lo stesso comportamento di quello reale, solo che è disponibile esclusivamente sul computer. Con la Prototipazione Virtuale l'utente è in grado di progettare e testare un prodotto prima che questo sia stato costruito. Una volta che il prototipo virtuale è completato il progetto può essere mandato direttamente alla produzione.

Storicamente sono sempre stati effettuati prototipi fisici per valutare aspetti come quello ergonomico, estetico, della facilità di assemblaggio o di manutenzione. Questo tipo di prototipi è però difficile da costruire, richiede un determinato tempo di realizzazione ed è difficilmente modificabile, quindi può essere realizzato solo quando il progetto si trova in una fase avanzata, si è abbastanza certi sulla forma del prodotto e tutte le problematiche incontrate in fase di progettazione sono state risolte.

Ciò che è stato fatto successivamente è stato sostituire i prototipi fisici con prototipi virtuali, su cui questo tipo di modifiche possono essere effettuate velocemente. Così il prototipo entra direttamente nella fase progettuale e contribuisce alla realizzazione del progetto permettendo al progettista una maggiore libertà di valutare opzioni differenti e la Prototipazione Virtuale diventa un importante strumento di supporto alla progettazione.

In pratica questo tipo di approccio viene sempre più impiegato poiché permette di ridurre il time to market e tempi e costi di progettazione. Infatti la modellazione del sistema fisico, finalizzata al processo di prototipazione, tramite leggi fisiche e rappresentazioni simboliche, consente di modellare la realtà per costruire un prototipo, una riproduzione virtuale ma fedele dell'esperimento empirico. Così è possibile studiare il prototipo, osservare il suo comportamento e valutarne i cambiamenti al variare dei parametri in tempo reale e prima di avere a disposizione un prototipo reale.

È con questa idea che ci si è approcciati alla soluzione del problema.

Esistono in commercio diversi software multi-dominio che permettono di creare questi modelli virtuali che rispecchiano fedelmente il comportamento reale, (dove ovviamente la bontà del modello dipende dalla conoscenza del sistema analizzato, ovvero dalla quantità e dalla qualità dei dati a disposizione) come Dymola, Modelicac, SimulationX, Mosilab, JModelica.org, Maplesim, etc. Quello utilizzato per lo svolgimento del progetto è LMS Imagine.Lab AMESim. Tutti questi software hanno in comune la possibilità di comunicare attraverso il linguaggio Modelica [1].

## 2.1 Il linguaggio Modelica



Figura 2.1. Logo del linguaggio “Modelica”

Modelica è un linguaggio di modellazione a oggetti open source gestito dalla Modelica Association, utilizzato per descrivere il comportamento di complessi sistemi multi dominio. L’approccio Modelica si basa su una descrizione “a blocchi” degli oggetti da simulare, a partire da uno schema funzionale del sistema [2].

Modelica è adatto alla modellazione di sistemi tecnici multi dominio di grandi dimensioni, complessi ed eterogenei come ad esempio:

- modelli meccatronici nell’ambito della robotica, automotive e applicazioni aerospaziali che coinvolgono i domini meccanico, elettrico, idraulico, termico e i sottosistemi di controllo;
- modellazione di fluidi multifase e multisostanza e reti di tubazioni in ambito impianti di condizionamento o raffreddamento motori;
- generazione, distribuzione e consumo di energia elettrica.

Modelica è stato progettato per il suo utilizzo all’interno di un ciclo di modellazione standardizzato dei sistemi. Nella fase di creazione di un sistema reale un ingegnere come prima cosa andrà a identificare i componenti “standard” come ad esempio motori, pompe e valvole all’interno delle librerie ed a parametrizzarli a partire dalle specifiche dei fornitori. A questo punto sarà necessario andare a modellare i restanti componenti a partire dalle interfacce standard della libreria Modelica.

In Modelica i componenti sono descritti matematicamente tramite equazioni algebriche, differenziali e discrete. Modelica è stato progettato in modo tale che

possano essere utilizzati algoritmi avanzati noti in letteratura per la gestione efficiente di modelli di grandi dimensioni con più di centinaia di migliaia di equazioni.

Il linguaggio Modelica è una specifica testuale che descrive i dettagli di un modello ad alto livello. Al fine di essere utile, tale descrizione testuale necessita di un ambiente di modellazione e simulazione basato su Modelica. Tale ambiente verrà utilizzato per modificare testualmente il codice sorgente, visualizzarne graficamente lo schematico, trasformare il modello in una forma adatta all'integrazione numerica, simulare il modello, visualizzare i risultati della simulazione ed infine per importare ed esportare i modelli Modelica in altri ambienti di simulazione.

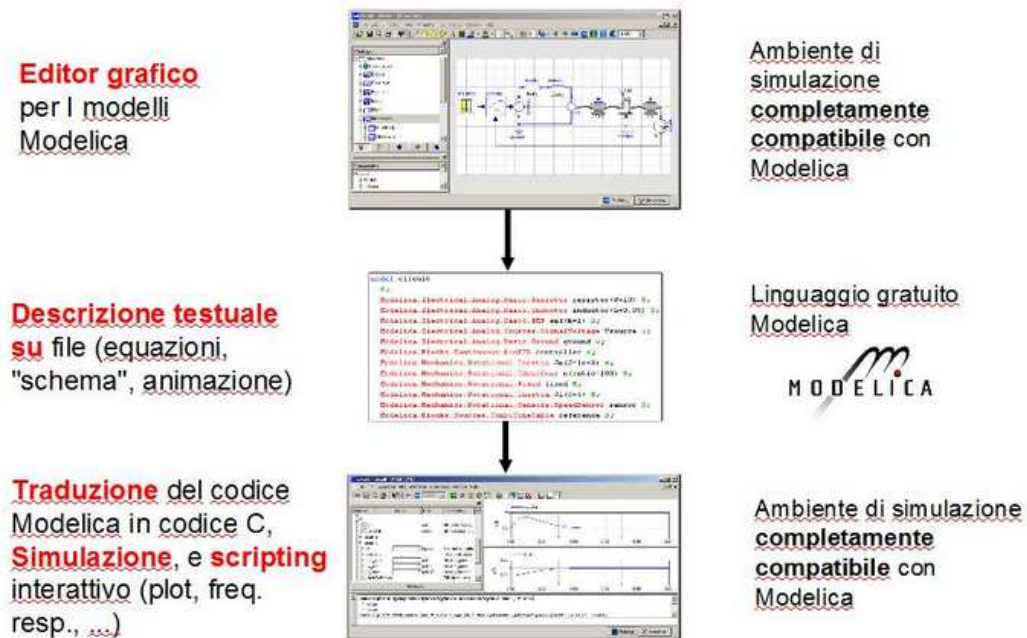


Figura 2.2. Passi della modellazione tramite il linguaggio Modelica

Con Modelica è possibile creare modelli sia tramite un approccio ad alto livello utilizzando i componenti a disposizione, che a basso livello implementando i componenti di base o l'intero modello, scrivendone le equazioni di governo.

Le librerie sono molto ricche, quindi facilmente i componenti di cui si avrà bisogno saranno disponibili all'interno di esse. Avendo a disposizione un editor grafico sarà quindi possibile andare a definire il modello procedendo a costruire il suo schematico trascinando i vari componenti all'interno del nostro modello, disegnandone le connessioni e parametrizzando i sottosistemi. Questo grazie alla struttura del linguaggio Modelica. In Modelica infatti ogni modello può

contenere le specifiche testuali (annotations) relative alla sua parte grafica (icona). Questo consente la compatibilità completa fra differenti ambienti di sviluppo dal momento che anche la parte grafica dei modelli è parte integrante del codice Modelica.

Uno schema a blocchi è composto dai seguenti elementi di base:

- un'icona grafica che rappresenti ogni componente fisico del sistema, come ad esempio un motore elettrico, un giunto meccanico o una pompa idraulica;
- delle interfacce che consentano accoppiamenti fra i componenti. In Modelica sono detti "connectors" e contengono le variabili che definiscono le possibili interazioni fra i componenti;
- le linee di connessione fra i connettori, che definiscono gli accoppiamenti fra i sottosistemi. Esse possono essere dirette o indirette e rappresentano delle connessioni fisiche fra componenti come ad esempio cavi elettrici, connessioni meccaniche rigide, flussi di calore o flussi di fluidi.

Ogni componente che descrive il sistema può essere a sua volta costituito da uno schema a blocchi, oppure contenere semplicemente una descrizione tramite equazioni nel linguaggio Modelica.

Eseguendo doppio click su qualsiasi componente, si aprirà la relativa finestra di dialogo in cui sarà possibile settare i parametri del componente, oppure cliccare su "info" ed andarne a leggere la relativa documentazione. Per ogni componente è quindi presente il nome della variabile, un campo editabile in cui definirne il valore, l'unità di misura associata a tale parametro ed infine una descrizione testuale del parametro.

Tramite l'utilizzo di algoritmi avanzati di manipolazione simbolica il linguaggio Modelica di alto livello viene tradotto in una forma compatibile con una risoluzione tramite l'applicazione di metodi iterativi numerici.

A partire da questa metodologia, possono essere modellati sistemi gerarchici di grandi dimensioni e di complessità elevata [3].

La libreria Standard Modelica è nata dalla necessità di mettere a disposizione di tutti gli utilizzatori di Modelica una rassegna dei componenti di uso comune per velocizzare la modellazione di sistemi e per garantire una completa compatibilità tra i modelli. Essa viene sviluppata ed aggiornata dalla Modelica Association e può essere utilizzata in qualsiasi ambiente di simulazione basato su Modelica e per qualsiasi scopo in maniera completamente gratuita. Esistono inoltre anche altre librerie commerciali e freeware sviluppate da altre società o privati.

La versione 3.2 della libreria Standard Modelica, rilasciata in Ottobre 2010, contiene circa 1280 modelli e 910 funzioni, oltre a circa 1200 descrizioni suddivise fra i seguenti domini [4]:



- *Blocks* – blocchi con causalità input, output che coprono tutte le necessità per quanto riguarda la modellazione di algoritmi di controllo. Sono inclusi blocchi continui, discreti, logici, funzioni matematiche, non lineari, sorgenti e tabelle;
- *Constants* – costanti fisiche e matematiche;
- *Electrical* – componenti elettrici ed elettronici analogici, digitali, multifase e macchine elettriche;
- *Fluid* – componenti per la modellazione monodimensionale di flussi di fluidi e calore all'interno di sistemi di tubi, pompe e valvole;
- *Icons* – libreria di icone;
- *Magnetic.FluxTubes* – componenti per la modellazione di sistemi elettromagnetici;
- *Math* – funzioni matematiche per scalari e matrici;
- *Mechanics* – componenti meccanici;
- *Media* – modelli di Media per liquidi e gas;
- *SIunits* – definizione di grandezze fisiche relative al sistema internazionale;
- *StateGraph* – macchine a stati gerarchici;
- *Thermal* – componenti termici;
- *Utilities* – utility di varia natura, soprattutto per lo scripting;
- *Modelica Services* – libreria di primo livello contenente funzioni e modelli utilizzati dalla Libreria Standard Modelica e che richiedono un'implementazione differente per ogni tool che ne fa uso.

Verranno di seguito brevemente descritti alcuni ambienti di modellazione e simulazione compatibili con il linguaggio Modelica.

## 2.2 Ambienti di modellazione e simulazione:

Affinché il linguaggio di modellazione Modelica possa essere utilizzato per risolvere problemi reali, è necessario un ambiente di modellazione e simulazione. Questo ambiente dovrà:

- definire tramite un'interfaccia grafica il modello in formato Modelica, in modo che modificando la parte grafica si modifichi anche la descrizione testuale del modello stesso;
- tradurre il modello Modelica in una forma che possa essere efficacemente simulata in un ambiente di simulazione appropriato;
- simulare il modello tradotto con metodi standard di integrazione numerica e visualizzare i risultati.

Sono diversi gli ambienti di modellazione e simulazioni per Modelica attualmente disponibili, sia commerciali che gratuiti. Di seguito se ne citano alcuni tra i più diffusi.

### 2.2.1 OpenModelica



Figura 2.3. Logo “OpenModelica”

OpenModelica è un ambiente open source basato su Modelica, sviluppato e supportato da una serie di aziende, università, istituti e privati [5]. L’obiettivo del progetto è quello di creare un ambiente di modellazione, compilazione e simulazione basato sul linguaggio Modelica, distribuito in codice sorgente e forma eseguibile e da destinarsi alla ricerca, l’insegnamento e l’uso industriale.

### 2.2.2 Dymola

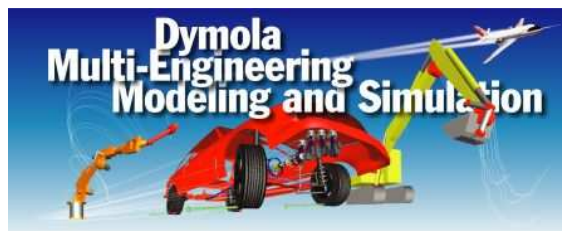


Figura 2.4. “Logo Dymola”

Dymola (Dynamic Modeling Laboratory) è un ambiente di simulazione commerciale basato su Modelica, progettato dalla società svedese Dynasim AB (acquisita da Dassault Systèmes) [6]. Dassault Systèmes ha integrato Dymola nel suo prodotto Catia e l’ultima versione di Dymola del 2012 supporta la versione 3.2 del linguaggio Modelica.

Dymola è una soluzione completa per la modellazione e la simulazione di sistemi integrati e complessi destinati ad applicazioni nei settori automobilistico, robotico, dell’industria di processo, etc.

La versione del software fu progettata nel 1978 da Hilding Elmqvist, studente della Lund University, per la sua tesi di dottorato. In quegli anni Modelica era solo il linguaggio su cui era stato costruito l’ambiente di modellazione Dymola, ma non aveva costrutti specifici.

Nel 1996 il linguaggio che era alla base di Dymola fu separato dall’ambiente di modellazione Dymola, chiamato Modelica e reso open source.

### 2.2.3 Modelicac



Figura 2.5. "Logo Modelicac"

Modelicac è un compilatore per un sottoinsieme del linguaggio Modelica. Modelicac è incluso nella distribuzione Scilab (anche se è un eseguibile indipendente) ed è utilizzato da Scicos (editor e simulatore, orientato a blocchi, di Scilab) per gestire le simulazioni dei modelli ibridi [7]. Le funzioni supportate da Modelicac sono:

- dichiarazione di "reali" variabili scalari e array;
- aggregazione dei componenti;
- modifiche dei parametri;
- dichiarazione di equazioni.

Questo sottoinsieme del linguaggio Modelica permette di scrivere la maggior parte dei modelli continui che si possono incontrare nei diversi domini della fisica come elettricità, idraulica, etc.

Il controllo non è gestito da Modelicac ma da Scicos. Quindi i modelli ibridi possono essere simulati in ambiente Scicos in modo piuttosto trasparente: Scicos "chiama" Modelicac per la parte continua del modello e simula direttamente la parte discreta.

### 2.2.4 SimulationX



Figura 2.6. "Logo SimulationX"

SimulationX è un software CAE multi-dominio per la simulazione di sistemi fisici, sviluppato e distribuito da ITI GmbH [8]. È uno strumento per la progettazione, l'analisi e la verifica virtuale di sistemi meccatronici complessi, grazie alla sua capacità di modellare in un'unica piattaforma software le mutue interazioni tra elementi appartenenti ad una moltitudine di domini.

SimulationX supporta il linguaggio di modellazione Modelica e può eseguire sia i modelli della Libreria Standard Modelica che altri creati dagli utenti, sempre basati su questo linguaggio.

La possibilità di trascinare e rilasciare (“drag and drop”) gli elementi direttamente nel modello semplifica e accelera la fase di modellazione. In un unico modello si possono integrare attuatori idraulici, pneumatici ed elettrici, così come controlli, a sistemi multi-body. In un unico ambiente di simulazione si possono eseguire le fasi di pre-processamento, soluzione e post-processamento. Nel corso di un calcolo il comportamento di un sistema può essere osservato ed analizzato ed i parametri possono essere modificati durante il processo.

SimulationX è utilizzato da numerose aziende manifatturiere e da produttori in settori come quello automobilistico, aerospaziale, energetico, navale, petrolifero e ferroviario.

### 2.2.5 Mosilab



Figura 2.7. “Logo Mosilab”

Mosilab è un simulatore, in ambiente Modelica, di nuova concezione per i complessi sistemi tecnici [9].

Una caratteristica innovativa del software è la mappatura dei cambiamenti della struttura del modello durante l’esperienza di simulazione. Ciò consente, ad esempio, gli esperimenti di simulazione con modelli a profondità variabile o la modellazione fisica di modelli variabili.

### 2.2.6 JModelica.org



Figura 2.8. “Logo JModelica.org”

JModelica .org è una piattaforma open source basata sul linguaggio Modelica utilizzata per l’ottimizzazione, la simulazione e l’analisi di sistemi dinamici

complessi [10]. L'obiettivo principale del progetto è quello di offrire una piattaforma open source industrialmente valida per l'ottimizzazione dei modelli Modelica ed altamente flessibile per lo sviluppo di algoritmi di ricerca.

Al centro del progetto JModelica.org ci sono i compilatori per Modelica ed Optimus, che è un'estensione di Modelica dedicata alla formulazione di problemi di ottimizzazione dinamica.

### **2.2.7 MapleSim**



*Figura 2.9. "Logo MapleSim"*

MapleSim è uno strumento di simulazione e modellazione multi-dominio ad alte prestazioni [11]. I sistemi sono descritti in modo compatto ed intuitivo grazie all'utilizzo di diagrammi e di tecniche di modellazione fisica "next-generation", che li rendono più facili da costruire e comprendere.

Le equazioni del modello sono generate e semplificate automaticamente, producendo modelli concisi ed ad alta velocità di simulazione anche per sistemi sofisticati. Molti componenti di MapleSim vengono dalla Libreria Standard Modelica, e tutti i modelli e i componenti MapleSim possono essere esportati in Modelica.



## Capitolo 3 - LMS Imagine.Lab AMESim



Figura 3.1. Logo "LMS"

Per la soluzione del problema affrontato nella tesi si è utilizzato il software LMS Imagine.Lab AMESim, programma di simulazione per la modellazione e l'analisi di sistemi ad un grado di libertà, basato sempre sul linguaggio Modelica [12].

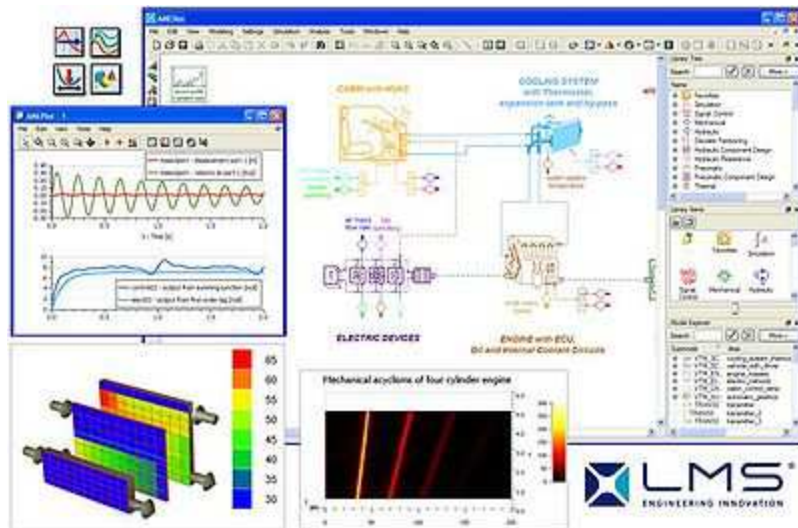


Figura 3.2. LMS Imagine.Lab AMESim

AMESim è l'acronimo di Advanced Modeling Environment for performing Simulations of engineering systems.

Il software offre una suite completa di simulazione 1D per modellare ed analizzare sistemi multi-dominio e prevedere le loro prestazioni.

I componenti del modello sono descritti tramite modelli analitici con comportamento idraulico, pneumatico, elettrico, meccanico, etc.

Per creare un modello di simulazione per un sistema sono infatti a disposizione una serie di librerie, (ben 37 nella versione "Rev 11" utilizzata), contenenti componenti predefiniti per ogni diverso dominio fisico. Per questo AMESim è un software multi-dominio; ciò significa che permette di collegare componenti

appartenenti a domini fisici differenti tra di loro come idraulico, pneumatico, meccanico, elettrico e termico.

Il punto di forza di questo software, oltre alla struttura intuitiva della sua grafica, è la possibilità di modellare sistemi molto complessi partendo da costituenti base degli stessi, come ad esempio nella figura sottostante, rappresentante il modello di un escavatore.

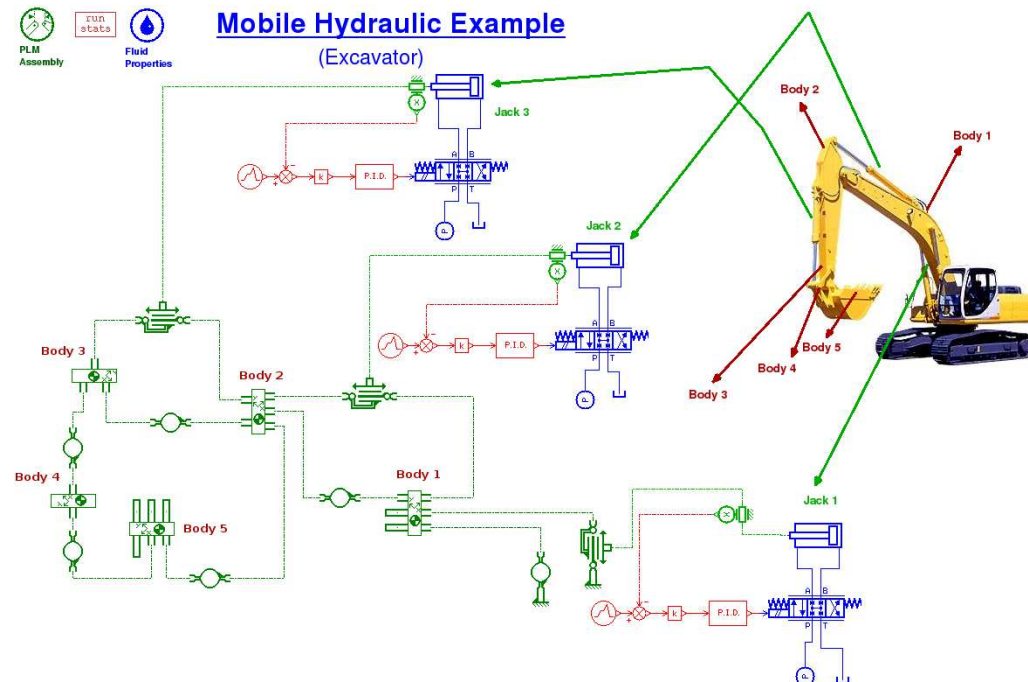


Figura 3.3. Modello di un escavatore

Il programma è basato sulla Bond graph theory, ovvero una sorta di schema con diagrammi a blocchi ma multi-dominio e con la differenza che le informazioni vengono scambiate bi-direzionalmente.

Lo scambio di informazione avviene tramite delle porte presenti in ognuna di questi componenti; ognuno di questi può avere una o più porte a cui corrispondono valori in input (alcuni inseriti direttamente dall'utente, altri scambiati con gli elementi comunicanti) ed output. Questi elementi devono essere collegati tra loro in modo che l'uscita di uno corrisponda all'ingresso di un altro e viceversa (principio di causalità). Ovviamente affinché gli elementi possano essere collegati devono essere compatibili tra loro e perché si possa passare allo step successivo tutti gli elementi dello schema devono essere accoppiati. Viene di seguito riportato un esempio di come viene raffigurato un pendolo, ovvero un'asta collegata ad un'estremità ad una cerniera a terra, all'interno di AMESim (fig. 3.4) [13].



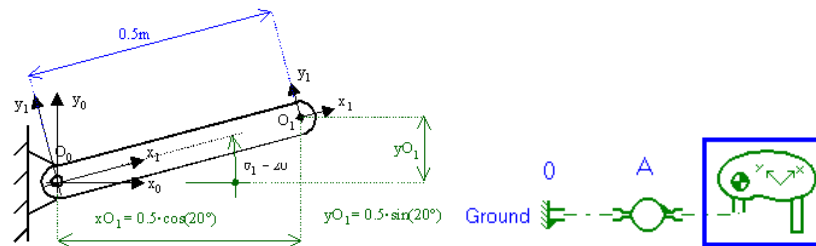






Figura 3.4. Pendolo schematizzato in AMESim

I tre corpi rappresentano il suolo, la cerniera e l'asta.

La modellazione di un sistema si sviluppa in quattro fasi:

-  **Sketch mode:** in cui si crea il sistema inserendo i vari componenti delle librerie a disposizione. Grazie al sistema “drag and drop” basta aprire la libreria di interesse, selezionare l'icona dell'elemento desiderato e trascinarlo all'interno della pagina. Una volta che i vari elementi si trovano sul foglio è necessario metterli in comunicazione tra di loro assicurandosi che siano compatibili, ovvero verificando che le variabili in uscita da uno corrispondano a quelle in entrata dell'elemento a cui è collegato. Una volta completata questa operazione si passa allo step successivo.
-  **Submodel mode:** il sottomodello fisico viene scelto ed associato ad ogni componente. In particolare l'utente può scegliere un sottomodello più o meno complesso per tener conto di alcuni fenomeni e tralasciarne altri a seconda della funzione dello stesso e del livello di dettaglio che si vuole raggiungere al termine della simulazione.
-  **Parameter mode:** in cui per ogni componente vengono impostati i parametri, ovvero le condizioni iniziali e le caratteristiche fisiche, geometriche, cinematiche, dinamiche, chimiche o termodinamiche.
-  **Run mode:** in cui viene effettuata la simulazione. Anche in questo caso è possibile impostare diversi parametri come la durata della simulazione e l'intervallo di acquisizione. È presente una modalità “continuation run” che permette di interrompere una simulazione e riprenderla dopo aver variato alcuni parametri (senza però cambiare la struttura del sistema), o anche iniziare una nuova simulazione prendendo come valori iniziali quelli finali della simulazione precedente. Inoltre è possibile impostare la tolleranza desiderata durante i calcoli.

Al termine della simulazione è possibile visionare tutti i risultati ottenuti o visualizzarli tramite un plotter ed esportarli sia in formato grafico che come tabella nei formati .txt e .xls.

Per creare il grafico di una qualsiasi variabile occorre selezionarla dalla apposita finestra e trascinarla all'interno del foglio di lavoro. Di default viene creato un grafico dell'andamento della variabile in funzione del tempo ma è possibile ad esempio invertire gli assi, inserire più variabili nello stesso grafico, porne una in funzione di un'altra o passare dal dominio del tempo a quello delle frequenze tramite la FFT (Trasformata di Fourier).

Infine, nonostante una delle peculiarità di questo tipo di software sia quella di permettere di simulare il comportamento di un sistema complesso prima che sia disponibile la geometria CAD, tramite la libreria "Planar Mechanical" è possibile realizzare dei modelli bidimensionali di cui si può inserire la geometria. Questo consente di creare delle animazioni della simulazione e di osservare il comportamento del sistema, rendendo più semplice ed intuitiva la comprensione del modello e la verifica della sua bontà. Come esempio si riportano alcuni fotogrammi dell'animazione del pendolo visto prima in fig. 3.5.

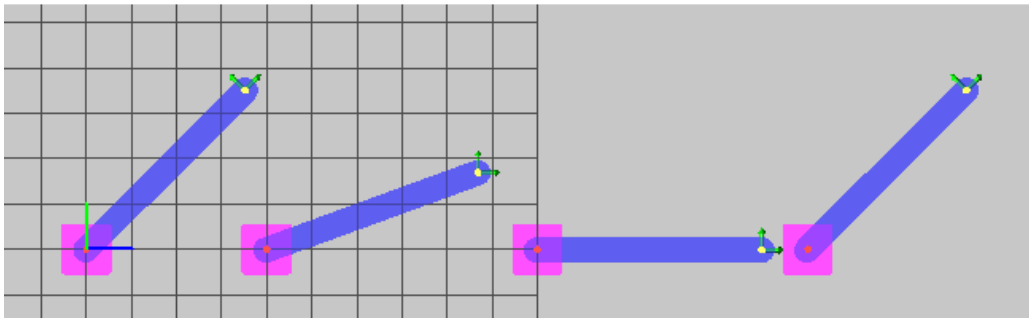


Figura 3.5. Animazione del modello del pendolo in diverse posizioni angolari

È anche possibile esportare i video delle simulazioni in formato .avi. Inoltre, se si è già in possesso di un preciso modello CAD, AMESim offre anche la possibilità di utilizzare Virtual.Lab, un ambiente con cui accedere facilmente ai modelli di simulazione ed alle geometrie derivanti da strumenti CAD e CAE (fig. 3.6).

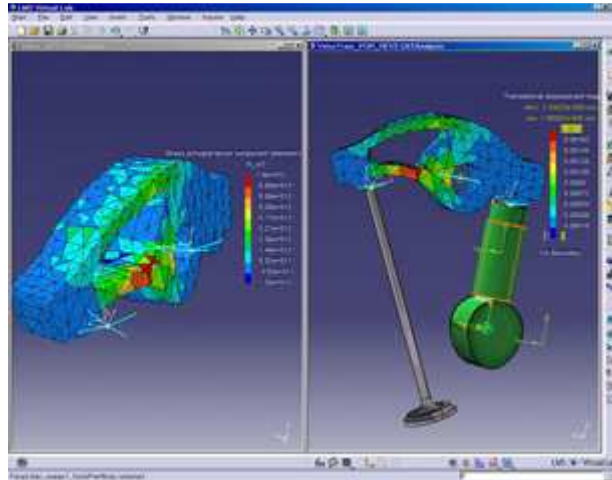


Figura 3.6. Virtual.Lab

L'approccio a questo progetto è stato quindi quello di utilizzare un software innovativo, che rivoluziona la pratica della progettazione. Tramite questo programma ricreare virtualmente lo schema fisico dell'oggetto dell'analisi, effettuare delle simulazioni, modificare i parametri del sistema e verificare in tempo reale come variano i risultati in base a questi.

L'idea è stata quella di sfruttare questo software, utilizzato normalmente per risolvere sistemi molto complessi, relativi principalmente al settore automobilistico, aerospaziale, etc., ad una problematica relativamente più semplice come quella affrontata in questo progetto.

Verranno ora analizzati prima di tutto i sistemi reali studiati e successivamente il procedimento grazie al quale si è arrivati a riprodurli nel software. Come primo passo si è partiti dallo sviluppo del modello di un sistema di sollevamento anta a ribalta e successivamente si è passati alla realizzazione della versione basculante.



## Capitolo 4 - Analisi del problema

### 4.1 Introduzione

La Salice S.p.a., come la maggior parte delle aziende sul mercato che producono sistemi di sollevamento anta, utilizzano come organo per esercitare la forza le molle a gas (fig. 4.1).



*Figura 4.1. Molla a gas*

Questi elementi, carichi di azoto, sfruttano la differenza di pressione tra le due camere che costituiscono il corpo del dispositivo per esercitare una determinata forza. Nella parte finale del cilindro invece di semplice azoto è presente dell'olio; ciò consente di ammortizzare la velocità nella fase finale della corsa, permettendo di non far compiere bruschi arresti e forti vibrazioni all'anta [14]. Esistono due tipologie di molle a gas utilizzate per i sistemi di sollevamento anta, una con andamento della forza lineare e costante, l'altra con andamento lineare crescente.

I principali motivi che hanno suggerito di sostituire le molle a gas con delle molle in acciaio sono fondamentalmente due.

Il primo consiste nel fatto che col passare del tempo le molle a gas tendono a scaricarsi e la forza che queste esercitano diminuisce gradualmente. Questo vuol dire che superata una determinata soglia temporale questi dispositivi vanno sostituiti con altri nuovi. Le molle in acciaio hanno invece una durata nel tempo in generale molto maggiore, ma che dipende fortemente dalla percentuale di compressione massima che subisce durante il ciclo di lavoro.

Il secondo e principale motivo consiste invece nel fatto che le molle a gas non possono essere regolate (solo poche case produttrici realizzano delle molle a gas che è possibile regolare facendo fuoriuscire dell'azoto, però consentono solo di diminuire la forza esercitata e comunque questa azione è irreversibile) [15]. Le molle in acciaio invece, fissate le caratteristiche geometriche (lunghezza libera,

diametro esterno, diametro del filo, rigidezza, etc.) producono una forza direttamente proporzionale alla compressione imposta. Quindi progettando un dispositivo contenente una molla in acciaio sarebbe possibile regolare la forza esercitata e quindi poter utilizzare lo stesso dispositivo per ante di peso diverso o, a parità di peso, regolare la velocità di apertura.

Prima di vedere come sono stati modellati i sistemi studiati e valutata la possibilità della sostituzione delle molle si illustrano brevemente i due sistemi di sollevamento anta oggetto del progetto.

## 4.2 Sistema di sollevamento anta a ribalta



*Figura 4.2. Sistema di sollevamento anta a ribalta singola*

Si premette innanzitutto un chiarimento per evitare successive ambiguità. Con il termine “cerniera” in meccanica si definisce un vincolo che permette al corpo a cui è applicato solo di ruotare attorno all’asse geometrico della cerniera, mentre ne impedisce la traslazione (fig. 4.3).

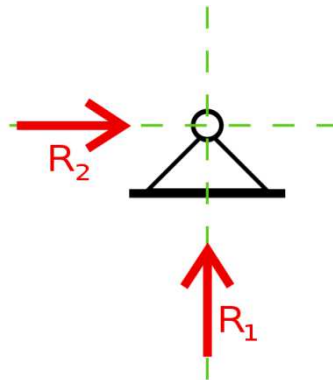


Figura 4.3. Vincolo “cerniera”

Nella pratica esistono diverse tipologie di meccanismi preposti alla realizzazione del vincolo teorico di cerniera. Nel caso dell’anta a ribalta singola qui studiato gli strumenti utilizzati sono le “cerniere Salice serie 200” (fig. 4.4).



Figura 4.4. “Cerniera Salice”

Pertanto nel testo dell’elaborato si dovrà distinguere tra “cerniera” intesa come vincolo di pura rotazione (che verrà chiamato semplicemente “cerniera”) ed il dispositivo di produzione Salice (che verrà indicato per esteso, ovvero “cerniera Salice”, per evitare fraintendimenti).

Il sistema di sollevamento anta a ribalta studiato è composto da due singoli sistemi di sollevamento, identici e speculari, posti uno sul lato sinistro e uno sul destro del mobile [16]. Un singolo sistema di sollevamento è costituito da una piastra su cui è incernierata un’asta, a sua volta collegata ad un’altra asta, a sua volta collegata (sempre tramite cerniere) ad una clip, chiamata “base per anta”, che verrà avvitata all’anta (fig. 4.5) [17].

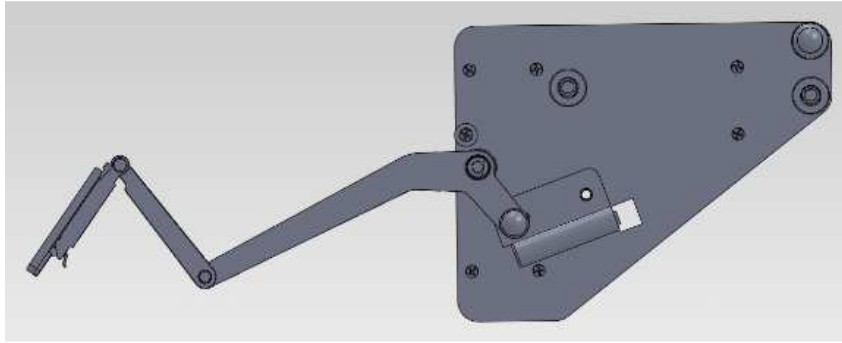


Figura 4.5. Piastra e bracci

La molla a gas (fig. 4.6) è collegata da una parte alla piastra, dall'altra all'asta incernierata sulla piastra.

4,5

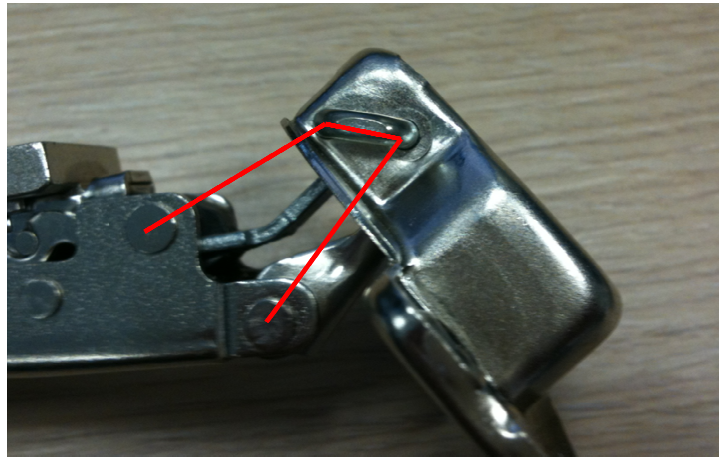


Figura 4.6. Molla a gas

Dei due differenti modelli di molla a gas, (uno con andamento della forza costante, l'altro progressivo), avendo a disposizione un modello della prima tipologia e non avendo la caratterizzazione della seconda, si è fatto riferimento esclusivamente alla prima.

Le cerniere Salice sono l'elemento che stabilisce il moto del sistema, poiché le due parti mobili da cui sono composte sono connesse tra di loro tramite dei collegamenti che costituiscono un quadrilatero articolato (fig. 4.7).





*Figura 4.7. Quadrilatero articolato*

All'interno della cerniera è presente una piccola molla che interviene solo nell'intervallo tra la posizione iniziale dell'anta (chiusa) e la posizione in cui l'anta raggiunge i  $45^\circ$  circa.

L'ultimo elemento del sistema di sollevamento è lo *smove* (fig. 4.8), ovvero uno smorzatore che entrando in contatto con un'asta impedisce all'anta di sbattere in fase di chiusura.



*Figura 4.8. Smove*

Ne esistono vari modelli in base al peso dell'anta.

Tra le molteplici varianti di ante, differenti per materiale, peso e dimensioni, ne è stata analizzata una fornita dall'azienda stessa non presente a catalogo, di dimensioni  $360\text{ mm} \times 600\text{ mm}$  ed un peso di  $4\text{ kg}$ .

Viene ora illustrato il procedimento di montaggio del sistema di sollevamento al mobile.

Come prima cosa si fissano le due piastre ai fianchi del mobile tramite delle viti (fig. 4.9).



*Figura 4.9. Fissaggio della piastra*

Successivamente vengono fissate le molle a gas alle piastra ed ai bracci (fig. 4.10).



*Figura 4.10. Aggancio della molla a gas*

Vengono di seguito inseritigli *Smove* più adatti al peso dell'anta (fig. 4.11).



*Figura 4.11. Inserimento dello Smove*

Infine si collegano le cerniere Salice e le aste del sistema di sollevamento da una parte al mobile e dall'altra all'anta (fig. 4.12).



*Figura 4.12. Fissaggio dell'anta sul mobile*

Per quanto riguarda l'apertura dell'anta, questa può essere effettuata sia manualmente, ovvero l'anta viene accompagnata per un breve tratto (tramite una maniglia o tirando direttamente l'anta), finché l'apertura non avviene automaticamente, oppure tramite il sistema *push*, utilizzato per l'apertura di tutti i tipi di ante di mobili senza maniglie (fig. 4.13) [18].



Figura 4.13. Sistema push

Nel caso in esame, interessando solo il comportamento del sistema di sollevamento in relazione alla molla a gas ed essendo stato messo a disposizione per lo studio un sistema con apertura manuale, è stata studiata quest'ultima tipologia.

Nel complesso il sistema è costituito da sei corpi, nove cerniere, di cui quattro a terra, un incastro, che collega il sistema di sollevamento all'anta, e dalla molla a gas. Complessivamente quindi:

5 aste = 15 gdl (gradi di libertà)

1 molla a gas = 4 gdl (traslazione orizzontale, traslazione verticale, rotazione ed allungamento)

4 cerniere a terra = 8 gdv (gradi di vincolo)

5 cerniere che collegano due aste = 10 gdv

$19 \text{ gdl} - 18 \text{ gdv} = 1 \text{ gdl}$

ovvero una sola variabile è in grado di descrivere il sistema, nel caso specifico si tratta dell'allungamento della molla, e tutti i movimenti degli altri corpi sono funzione di questo. La corsa della molla a gas risulta pari a 36 mm ed a questo allungamento corrisponderà una rotazione dell'anta di 90° circa.

### **4.3 Sistema di sollevamento anta basculante**



*Figura 4.14. Sistema di sollevamento anta ad apertura basculante*

Gli elementi che compongono il sistema di sollevamento anta basculante sono gli stessi visti per quello a ribalta, tranne per il fatto che in questo caso non sono presenti cerniere Salice e che i bracci, di forma differente, sono gli unici elementi a collegare il mobile all'anta. In questo caso le aste incernierate alla piastra sono due, collegate tra di loro da una terza asta rappresentata dalla clip che si andrà ad avvitare sull'anta (fig. 4.15) [19].



*Figura 4.15. Piastra e bracci*

In questo caso sono direttamente questi bracci a definire la traiettoria dell'apertura, costituendo un quadrilatero articolato a doppia manovella (poiché è possibile una rotazione completa di tutti gli elementi ed il telaio è l'asta più corta, fig. 4.16)

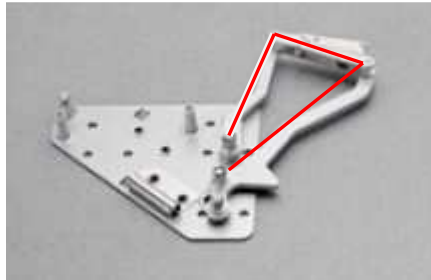


Figura 4.16. Quadrilatero articolato

Anche in questo caso, avendo a disposizione un prototipo fornito dall'azienda è stato utilizzato questo per lo studio, ovvero si è considerata un'anta in legno di dimensione  $480 \times 600 \text{ mm}$ , del peso di  $5 \text{ kg}$ , con apertura manuale e senza il sistema *push*.

La procedura di montaggio del sistema di sollevamento al mobile ed all'anta è del tutto analoga a quella vista per il sistema precedente.

Anche in questa configurazione, senza cerniere Salice e con la traiettoria del moto dell'anta dettata dai due bracci che vi si collegati, si tratta di un sistema ad un grado di libertà, in quanto nel piano:

$$3 \text{ aste} = 9 \text{ gdl (gradi di libertà)}$$

$$1 \text{ molla a gas} = 4 \text{ gdl (traslazione orizzontale, traslazione verticale, rotazione ed allungamento)}$$

$$3 \text{ cerniere a terra} = 6 \text{ gdv (gradi di vincolo)}$$

$$3 \text{ cerniere che collegano due aste} = 6 \text{ gdv}$$

$$13 \text{ gdl} - 12 \text{ gdv} = 1 \text{ gdl}$$

ovvero basta una sola variabile indipendente per descrivere il moto dell'intero sistema. Anche in questo caso si tratta dell'allungamento della molla a gas che permette l'apertura dell'anta. Alla corsa della molla a gas, pari sempre a  $36 \text{ mm}$ , corrisponderà una rotazione dell'anta compresa tra  $0$  e  $69^\circ$  (prendendo come riferimento l'asse verticale, ovvero l'anta chiusa corrisponde a  $0^\circ$  mentre aperta a  $69^\circ$ ). Esistono due tipologie di molle a gas, costante e progressiva; anche nell'analisi di questo caso verrà trattato il modello con andamento della forza costante.

## Capitolo 5 - Soluzione del problema

Una volta studiate le caratteristiche dei due sistemi di sollevamento anta, a ribalta e basculante, è stata effettuata la modellazione degli stessi nel software AMESim, distinguendo per ognuno tra la fase di apertura e quella di chiusura, componente per componente.

Per semplicità i vari sistemi sono stati trattati come bidimensionali, considerando quindi un solo sistema di sollevamento (e nel caso di quello a ribalta una sola cerniera Salice) ed assegnando all'anta la metà del peso effettivo. Un'altra semplificazione fatta è stata quella di considerare tutti i corpi come aste rettilinee. Inoltre l'anta, la parte mobile della cerniera e la clip per collegare il sistema di sollevamento all'anta sono stati considerati tutti come un'unica asta. Infine, essendo difficile effettuare delle misure e non essendo stati forniti dati precisi a riguardo, per tenere conto degli attriti del sistema si è posto che questi dissipino il 20% della forza esercitata dalla molla [20].

Di seguito viene riportata la lista di tutti gli elementi utilizzati per la modellazione dei sistemi così come compaiono all'interno del programma.

### 5.1 Elementi del sistema

Si illustrano nel dettaglio gli elementi di LMS AMESim che sono stati utilizzati con una descrizione del loro comportamento ed un'analisi dei parametri e delle variabili che li caratterizzano, suddivisi per libreria di appartenenza.

Per ogni elemento sono state riportate le variabili esterne che lo caratterizzano, sia con un'immagine schematica che con una tabella che riporta tutti i dati richiesti in input ed output e, dove presenti, i parametri iniziali da impostare e le equazioni che governano il comportamento dell'elemento.

#### 5.1.1 Libreria "Planar Mechanical"

La libreria Planar Mechanical rappresenta la libreria contenente parti meccaniche a cui viene associata una geometria planare. Gli elementi appartenenti a questa libreria sono i soli che compaiono nelle animazioni [21].

##### **Corpo**

Rappresenta un corpo rigido, con un numero di porte prestabilito dall'utente. Ogni porta può essere connessa a qualsiasi elemento della libreria "Planar Mechanical" o tramite degli adattatori anche a diversi elementi di altre librerie come "Mechanical" o "Signal, Control".

Nel caso specifico questo elemento è stato utilizzato per rappresentare le varie aste del sistema.

Variabili esterne:

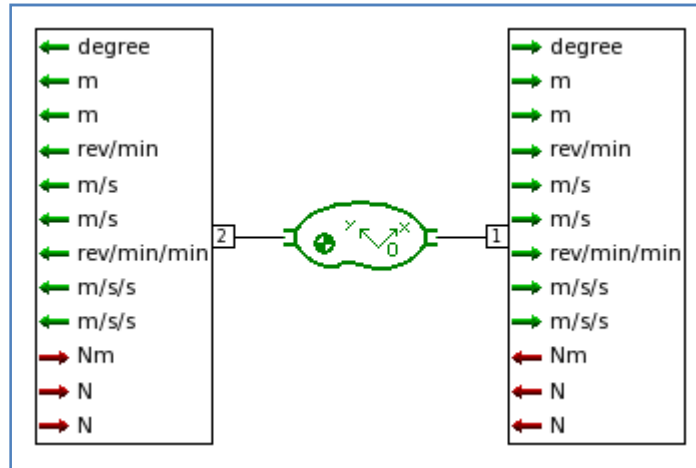


Figura 5.1. Visualizzazione variabili esterne del “corpo”

Da tutte le porte si ricevono in ingresso le forze in direzione orizzontale e verticale in  $N$  e la coppia in  $Nm$  che agiscono sul corpo. In uscita vengono restituiti posizioni, velocità ed accelerazioni dello stesso, come si può vedere in figura 5.1.

Tabella 5.1. Variabili esterne del “corpo”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	joint absolute angular position at port 1	theta1	degree	one line macro [hidden]	output	$(theta)+alpha$
2	absolute x position at port 1	xa1	m	multi-line macro	output	-
3	absolute y position at port 1	ya1	m	multi-line macro	output	-
4	absolute angular velocity	omega	rev/min	explicit state	output	0
5	absolute x velocity at port 1	vx1	m/s	one line macro	output	$Gvx-((xr1-Gxr)*sin(theta)+(yr1-Gyr)*cos(theta))*(omega)$
6	absolute y velocity at port 1	vy1	m/s	one line macro	output	$Gvy+((xr1-Gxr)*cos(theta)-(yr1-Gyr)*sin(theta))*(omega)$
7	absolute angular acceleration	gamma	rev/min/min	basic variable	output	-
8	absolute x acceleration at port 1	ax1	m/s/s	basic variable	output	-
9	absolute y acceleration at port 1	ay1	m/s/s	basic variable	output	-



10	torque at port 1	T1	Nm	basic variable [hidden]	input	-
11	x force at port 1	Fx1	N	basic variable [hidden]	input	-
12	y force at port 1	Fy1	N	basic variable [hidden]	input	-
<b>Port 2</b>						
1	joint absolute angular position at port 2	theta2	degree	one line macro [hidden]	output	$(theta)+alpha2$
2	absolute x position at port 2	xa2	m	multi-line macro	output	-
3	absolute y position at port 2	ya2	m	multi-line macro	output	-
4	duplicate of omega	-	rev/min	duplicate	output	-
5	absolute x velocity at port 2	vx2	m/s	one line macro	output	$Gvx-((xr2-Gxr)*sin(theta)+(yr2-Gyr)*cos(theta))*(omega)$
6	absolute y velocity at port 2	vy2	m/s	one line macro	output	$Gvy+((xr2-Gxr)*cos(theta)-(yr2-Gyr)*sin(theta))*(omega)$
7	duplicate of gamma	-	rev/min/min	duplicate	output	-
8	absolute x acceleration at port 2	ax2	m/s/s	basic variable	output	-
9	absolute y acceleration at port 2	ay2	m/s/s	basic variable	output	-
10	torque at port 2	T2	Nm	basic variable [hidden]	input	-
11	x force at port 2	Fx2	N	basic variable [hidden]	input	-
12	y force at port 2	Fy2	N	basic variable [hidden]	input	-

**Parametri iniziali:**

Si definisce la geometria iniziale inserendo le coordinate di ogni vertice del corpo (ad ognuno di questi corrisponde una porta) e la posizione del baricentro. Inoltre viene definita la massa del corpo e il suo momento di inerzia.

Tabella 5.2. Parametri iniziali del “corpo”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	absolute starting angular position	thetaini	degree	0
2	initial absolute angular position	theta0	degree	0
3	O: initial absolute x position	Ox	m	0
4	O: initial absolute y position	Oy	m	0
5	initial absolute angular velocity	omega0	rev/min	0
6	O: initial absolute x velocity	Ovx	m/s	0

7	O: initial absolute y velocity	Ovy	m/s	0
8	G: x position	Gxr	m	0
9	G: y position	Gyr	m	0
10	x position at port 1	xr1	m	0
11	y position at port 1	yr1	m	0
12	joint relative angular position at port 1	alpha1	degree	0
13	x position at port 2	xr2	m	0
14	y position at port 2	yr2	m	0
15	joint relative angular position at port 2	alpha2	degree	0
16	mass	m	kg	1
17	moment of inertia around Gz axis	inerti	kgm**2	0.01

### Cerniera

Elemento che toglie al corpo a cui è collegato due gradi di libertà (impedisce traslazione verticale ed orizzontale, permettendo unicamente la rotazione).

Le due equazione di vincolo vengono ricavate imponendo la coincidenza dei punti alle porte 2 e 3.

La cerniera può essere collegata ad un corpo (3 GDL) oppure a terra.

È possibile imporre una determinata coppia, direttamente all'elemento analizzato oppure tramite un altro elemento esterno.

Inoltre è possibile applicare alla cerniera il comportamento di una molla o di uno smorzatore.

Variabili esterne:

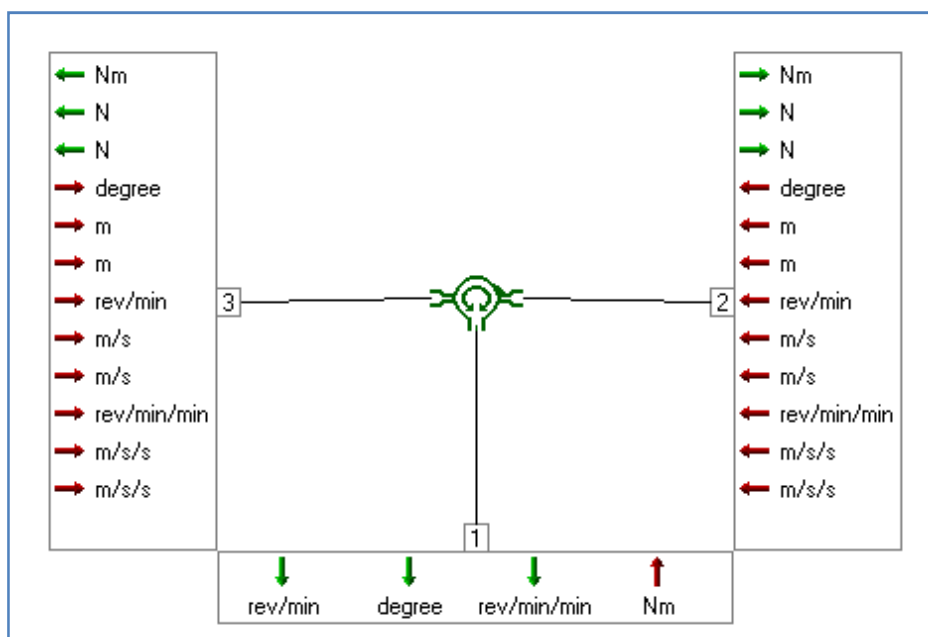


Figura 5.2. Visualizzazione variabili esterne della “cerniera”

Dalla porta 1 si ricavano posizione, velocità ed accelerazione angolari relative tra porta 2 e 3 e si riceve il valore della coppia applicata all’elemento. Nelle porte 2 e 3 si ricevono in input posizioni velocità ed accelerazioni e si restituiscono in output l’eventuale coppia dovuta al comportamento di molla e smorzatore applicati alla cerniera e le forze in direzione x e y.

Tabella 5.3. Variabili esterne della “cerniera”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	relative angular velocity between port 2 and 3	w	rev/min	one line macro	output	$\omega_3 - \omega_2$
2	relative angular position between port 2 and 3	theta23	degree	one line macro	output	$\theta_3 - \theta_2$
3	relative angular acceleration between port 2 and 3	rgamma	rev/min/min	one line macro	output	$\gamma_3 - \gamma_2$
4	driving torque	Tm	Nm	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	spring + damping torques at port 2	T2	Nm	one line macro	output	$T_m - k * (\theta_2 - \theta_3) - b * (\omega_2 - \omega_3)$
2	x force at port 2	Fx2	N	constraint	output	0
3	y force at port 2	Fy2	N	constraint	output	0
4	joint absolute angular position at port 2	theta2	degree	basic variable [hidden]	input	-
5	absolute x position at port 2	xa2	m	basic variable [hidden]	input	-
6	absolute y position at port 2	ya2	m	basic variable [hidden]	input	-
7	joint axis absolute angular velocity at port 2	omega2	rev/min	basic variable [hidden]	input	-
8	absolute x velocity at port 2	vx2	m/s	basic variable [hidden]	input	-
9	absolute y velocity at port 2	vy2	m/s	basic variable [hidden]	input	-
10	joint axis absolute angular acceleration at port 2	gamma2	rev/min/min	basic variable [hidden]	input	-
11	absolute x acceleration at port 2	ax2	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
12	absolute y acceleration at port 2	ay2	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
<b>Port 3</b>						
1	spring + damping torques at port 3	T3	Nm	one line macro	output	-T2
2	duplicate of Fx2	Fx3	N	sign reversed duplicate	output	-
3	duplicate of Fy2	Fy3	N	sign reversed duplicate	output	-
4	joint absolute angular position at port 3	theta3	degree	basic variable [hidden]	input	-

5	absolute x position at port 3	xa3	m	basic variable [hidden]	input	-
6	absolute y position at port 3	ya3	m	basic variable [hidden]	input	-
7	joint axis absolute angular velocity at port 3	omega3	rev/min	basic variable [hidden]	input	-
8	absolute x velocity at port 3	vx3	m/s	basic variable [hidden]	input	-
9	absolute y velocity at port 3	vy3	m/s	basic variable [hidden]	input	-
10	joint axis absolute angular acceleration at port 3	gamma3	rev/min/min	basic variable [hidden]	input	-
11	absolute x acceleration at port 3	ax3	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
12	absolute y acceleration at port 3	ay3	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-

**Parametri iniziali:**

È possibile aggiungere alle caratteristiche della cerniera il comportamento di una molla o di uno smorzatore. È infatti previsto l’inserimento di una rigidità e di un coefficiente di smorzamento (che devono assumere valori positivi).

Tabella 5.4. Parametri iniziali della “cerniera”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	spring stiffness	k	Nm/degree	0
2	damping coefficient	b	Nm/(rev/min)	1
3	diameter of pin (for animation)	dpin	M	0

**Attuatore roto-traslazionale**

Si tratta di un attuatore roto-traslazionale.

La lunghezza “libera” dell’attuatore è un parametro che viene utilizzato per il calcolo della lunghezza in uscita. In pratica ha una struttura molto simile ad un corpo normale ma con la possibilità di allungarsi ed accorciarsi.

Variabili esterne:

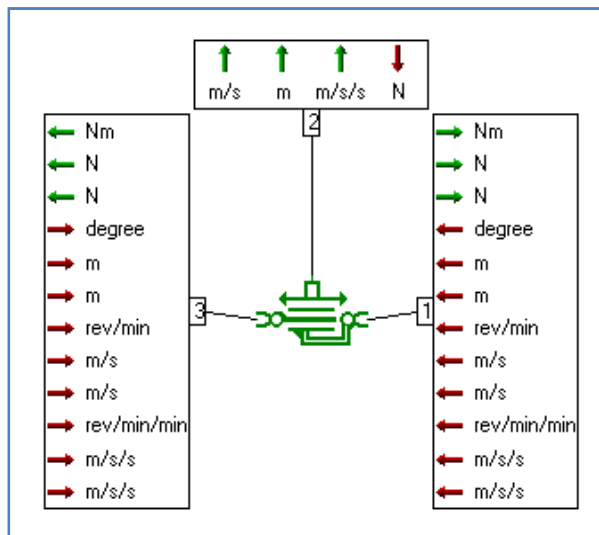


Figura 5.3. Visualizzazione variabili esterne del “giunto roto-traslazionale”

Le porte 1 e 3 appartengono alla libreria “Planar Mechanical” (bidimensionale). Tramite queste l’elemento può essere collegato a dei corpi oppure a terra. Da questi corpi riceve in ingresso posizione, velocità ed accelerazione. Da queste informazioni l’elemento calcola posizione, velocità ed accelerazione in uscita alla porta 2 (appartenente alla libreria “Mechanical”, monodimensionale). La porta 2 può poi essere collegata ad elementi che generano una forza (come un pistone od una molla) e questa forza in input diventa output per le altre due porte.

Tabella 5.5. Variabili esterne del “giunto roto-traslazionale”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	null torque at port 1	T1	Nm	fixed variable [hidden]	output	0
2	x force at port 1	Fx1	N	one line macro	output	$Fact*(x1-x3)/(x0-d13)$
3	y force at port 1	Fy1	N	one line macro	output	$Fact*(y1-y3)/(x0-d13)$
4	absolute angular position at port 1	theta1	degree	basic variable [hidden]	input	-
5	absolute x position at port 1	x1	m	basic variable [hidden]	input	-
6	absolute y position at port 1	y1	m	basic variable [hidden]	input	-
7	absolute angular velocity at port 1	omega1	rev/min	basic variable [hidden]	input	-
8	absolute x velocity	vx1	m/s	basic variable	input	-

	at port 1			[hidden]		
9	absolute y velocity at port 1	vy1	m/s	basic variable [hidden]	input	-
10	absolute angular acceleration at port 1	gamma1	rev/min/min	basic variable [hidden]	input	-
11	absolute x acceleration at port 1	ax1	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
12	absolute y acceleration at port 1	ay1	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
<b>Port 2</b>						
1	velocity at port 2	v13	m/s	one line macro	output	$((x1-x3)*(vx1-vx3)+(y1-y3)*(vy1-vy3))/(d13-x0)$
2	distance at port 2	d13	m	one line macro	output	$x0-sqrt((x1-x3)*(x1-x3)+(y1-y3)*(y1-y3))$
3	acceleration at port 2	a13	m/s/s	one line macro	output	$((x1-x3)*(ax1-ax3)+(y1-y3)*(ay1-ay3)+(vx1-vx3)*(vx1-vx3)+(vy1-vy3)*(vy1-vy3)-v13*v13)/(d13-x0)$
4	input force at port 2	Fact	N	basic variable	input	-
<b>Port 3</b>						
1	null torque at port 3	T3	Nm	fixed variable [hidden]	output	0
2	duplicate of Fx1	-	N	sign reversed duplicate	output	-
3	duplicate of Fy1	-	N	sign reversed duplicate	output	-
4	absolute angular position at port 3	theta3	degree	basic variable [hidden]	input	-
5	absolute x position at port 3	x3	m	basic variable [hidden]	input	-
6	absolute y position at port 3	y3	m	basic variable [hidden]	input	-
7	absolute angular velocity at port 3	omega3	rev/min	basic variable [hidden]	input	-
8	absolute x velocity at port 3	vx3	m/s	basic variable [hidden]	input	-
9	absolute y velocity at port 3	vy3	m/s	basic variable [hidden]	input	-
10	absolute angular acceleration at port 3	gamma3	rev/min/min	basic variable [hidden]	input	-
11	absolute x acceleration at port 3	ax3	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
12	absolute y acceleration at port 3	ay3	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-

**Parametri iniziali:**

Ai fini della simulazione vengono richiesti la lunghezza dell'attuatore in posizione di riposo, il diametro del pistone ed il diametro dello stelo.

In questo caso la lunghezza libera è pari a 13 cm, come la lunghezza a fine corsa della molla a gas presente nel sistema. I diametri del pistone e dello stelo vengono invece utilizzati semplicemente per l'animazione, poiché è l'elemento meccanico collegato alla porta 2 che definisce la forza che esercita il giunto.

Tabella 5.6. Parametri iniziali del “giunto roto-traslazionale”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	free length of the actuator	x0	m	0
2	piston diameter (for animation)	pd	m	0.1
3	rod diameter (for animation)	dr	m	0.1

### Icona di assemblaggio



Figura 5.4. “Icona di assemblaggio”

Questo elemento non ha porte in ingresso o in uscita e non è caratterizzato da variabili o parametri.

Si tratta di un componente che genera l’assemblaggio degli elementi appartenenti alla libreria “Planar Mechanical” prima che parta la simulazione. Affinché questo possa essere effettuato le coordinate geometriche degli elementi devono coincidere (ad esempio le coordinate di una cerniera con le coordinate dell’estremità dell’asta a cui è collegata).

Grazie a questo elemento, al termine della simulazione, cliccando due volte sull’icona che lo rappresenta, viene visualizzata l’animazione della simulazione del modello. Il video della animazione può anche essere esportato in formato .avi.

### Sensore di posizione

Si tratta di un sensore di spostamento. Può essere inserito tra corpi, cerniere, giunti o altri elementi appartenenti alla libreria “Planar Mechanical”.

Tra i parametri interni dell’elemento è possibile scegliere il tipo di spostamento che si desidera acquisire; si hanno cinque opzioni: spostamento angolare relativo al corpo a cui è applicato, spostamento lungo l’asse x, spostamento lungo l’asse y, modulo dello spostamento (spostamento complessivo in direzione orizzontale e verticale) e spostamento angolare assoluto rispetto all’asse x.

Esistono altri sensori, con funzionamento uguale a questo, per l’acquisizione di velocità, accelerazione e forza.

Variabili esterne:

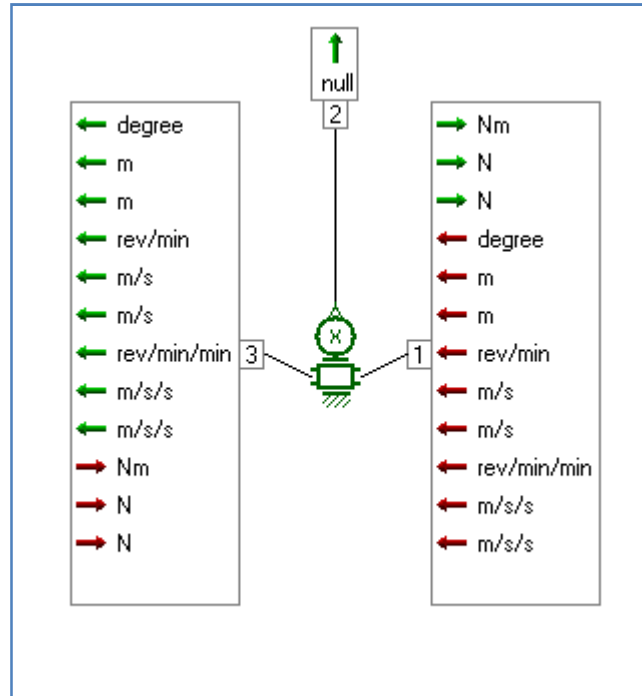


Figura 5.5. Visualizzazione variabili esterne del “sensore”

Dalla porta 1 si ricevono in ingresso spostamenti in metri o gradi, velocità in m/s o rev/min ed accelerazioni in m/s<sup>2</sup> o in rev/min<sup>2</sup> e si restituiscono forza in direzione orizzontale e verticale in N e momento in Nm.

Viceversa per la porta 3.

Dalla porta 2 (quella che svolge la funzione di sensore) invece si trasmette in output il segnale scelto tra le opzioni sopra elencate in formato adimensionale.

Tabella 5.7. Variabili esterne del “sensore”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	duplicate of T3	-	Nm	duplicate	output	-
2	duplicate of Fx3	-	N	duplicate	output	-
3	duplicate of Fy3	-	N	duplicate	output	-
4	joint absolute angular position at port 1	theta1	degree	basic variable [hidden]	input	-
5	absolute x position at port 1	xa1	m	basic variable [hidden]	input	-
6	absolute y position at port 1	ya1	m	basic variable [hidden]	input	-
7	absolute angular velocity	omega1	rev/min	basic variable [hidden]	input	-
8	absolute x velocity at port 1	vx1	m/s	basic variable [hidden]	input	-



9	absolute y velocity at port 1	vy1	m/s	basic variable [hidden]	input	-
10	absolute angular acceleration	gamma1	rev/min/min	basic variable [hidden]	input	-
11	absolute x acceleration at port 1	ax1	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
12	absolute y acceleration at port 1	ay1	m/s/s	basic variable [hidden]	input	-
<b>Port 2</b>						
1	signal output	dout	null	multi-line macro	output	-
<b>Port 3</b>						
1	duplicate of theta1	-	degree	duplicate	output	-
2	duplicate of xa1	-	m	duplicate	output	-
3	duplicate of ya1	-	m	duplicate	output	-
4	duplicate of omega1	-	rev/min	duplicate	output	-
5	duplicate of vx1	-	m/s	duplicate	output	-
6	duplicate of vy1	-	m/s	duplicate	output	-
7	duplicate of gamma1	-	rev/min/min	duplicate	output	-
8	absolute x acceleration at port 3	ax3	m/s/s	multi-line macro [hidden]	output	-
9	duplicate of ay1	-	m/s/s	duplicate	output	-
10	torque at port 3	T3	Nm	basic variable [hidden]	input	-
11	x force at port 3	Fx3	N	basic variable [hidden]	input	-
12	y force at port 3	Fy3	N	basic variable [hidden]	input	-

**Parametri iniziali:**

Viene richiesto di scegliere il tipo di spostamento che si vuole esternare scegliendo tra le cinque opzioni possibili.

Tabella 5.8. Parametri iniziali del “sensore”

	Title	Variable name	Default value
1	output type	outputtype	1: angular displacement

**Trasmettitore**

Questo elemento è necessario per trasmettere ad un elemento appartenente alla libreria “Planar Mechanical” una forza in direzione orizzontale o verticale o una coppia da un elemento di un’altra libreria, come ad esempio le librerie “Mechanical” o “Signal, Control”.

Variabili esterne:

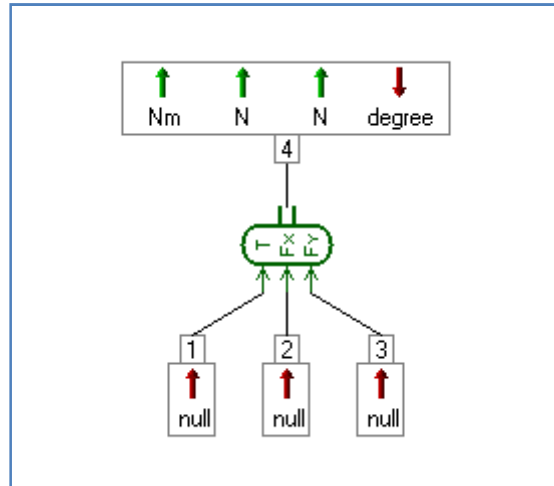


Figura 5.6. Visualizzazione variabili esterne del “trasmettitore”

I valori in ingresso dalle porte 1, 2 e 3 possono essere direttamente una forza o una coppia o anche direttamente un segnale adimensionale, in ogni caso questi passano inalterati attraverso l'elemento e vengono semplicemente convertiti in forza e coppia in uscita.

Tabella 5.9. Variabili esterne del “trasmettitore”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	input signal torque at port 1	Sc	null	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	input signal x force at port 2	Sfx	null	basic variable	input	-
<b>Port 3</b>						
1	input signal y force at port 3	Sfy	null	basic variable	input	-
<b>Port 4</b>						
1	torque at port 4	RC	Nm	basic variable	output	-
2	x force at port 4	Fx	N	basic variable	output	-
3	y force at port 4	Fy	N	basic variable	output	-
4	joint absolute position	theta	degree	basic variable [hidden]	input	-

Parametri iniziali:

È possibile settare un angolo di cui far ruotare la direzione di applicazione delle forze rispetto alla posizione del corpo a cui il convertitore è applicato.

Tabella 5.10. Parametri iniziali del “trasmettitore”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	offset for relative frame rotation	angle	degree	0

### Convertitore 1D – 2D

Questo elemento serve per collegare e rendere compatibili un elemento della libreria “Mechanical” (1D), con uno appartenente alla libreria “Planar Mechanical” (2D). Rispetto al convertitore visto precedentemente questo consente di trasmettere anche informazioni riguardo il movimento degli elementi.

Variabili esterne:

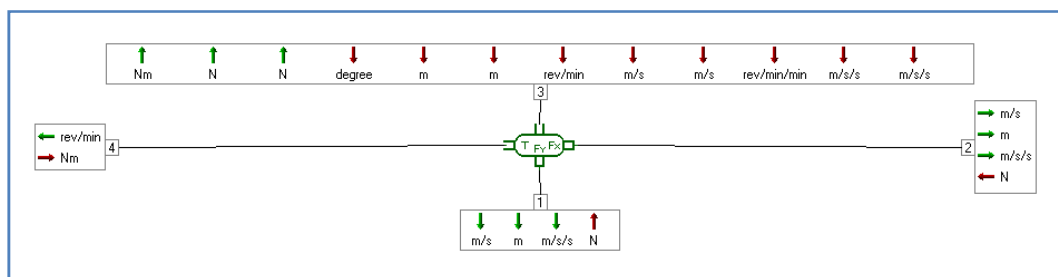


Figura 5.7. Visualizzazione variabili esterne del “convertitore”

Alle porte 1, 2 e 4 verranno collegati gli elementi 1D come smorzatori o molle, mentre alla porta 3 sarà connesso l’elemento 2D. Dalle prime si ricevono in ingresso forze e coppia che vengono trasferite in uscita alla porta 3. Da quest’ultima si ricavano invece come input posizione, velocità ed accelerazione.

Tabella 5.11. Variabili esterne del “convertitore”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	duplicate of vy3	v1	m/s	sign reversed duplicate	output	-
2	duplicate of ya3	x1	m	sign reversed duplicate	output	-
3	duplicate of ay3	acc1	m/s/s	sign reversed duplicate	output	-
4	force at port 1	Fy1	N	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	duplicate of vx3	v2	m/s	sign reversed duplicate	output	-
2	duplicate of xa3	x2	m	sign reversed duplicate	output	-
3	duplicate of ax3	acc2	m/s/s	sign reversed duplicate	output	-
4	force at port 2	Fx2	N	basic variable	input	-
<b>Port 3</b>						

1	duplicate of T4	T3	Nm	duplicate	output	-
2	duplicate of Fx2	Fx3	N	duplicate	output	-
3	duplicate of Fy1	Fy3	N	duplicate	output	-
4	absolute angular position at port 3	theta3	degree	basic variable	input	-
5	absolute x position at port 3	xa3	m	basic variable	input	-
6	absolute y position at port 3	ya3	m	basic variable	input	-
7	absolute angular velocity at port 3	omega3	rev/min	basic variable	input	-
8	absolute x velocity at port 3	vx3	m/s	basic variable	input	-
9	absolute y velocity at port 3	vy3	m/s	basic variable	input	-
10	joint axis absolute angular acceleration at port 3	gamma3	rev/min/min	basic variable	input	-
11	absolute x acceleration at port 3	ax3	m/s/s	basic variable	input	-
12	absolute y acceleration at port 3	ay3	m/s/s	basic variable	input	-
<b>Port 4</b>						
1	duplicate of omega3	w4	rev/min	sign reversed duplicate	output	-
2	torque applied to shaft 4	T4	Nm	basic variable	input	-

### 5.1.2 Libreria “Mechanical”

#### Smorzatore

Si tratta di uno smorzatore, elemento che dissipa energia. La forza smorzante è proporzionale alla velocità, più è ampio il movimento più l'ammortizzatore dissipa l'energia. Di conseguenza un punto d'equilibrio si verificherà quando l'energia dissipata dall'ammortizzatore sarà uguale all'energia che è caricata dalla forza.

Nel modello questo elemento viene utilizzato per simulare il contatto tra anta e mobile.

Variabili esterne:

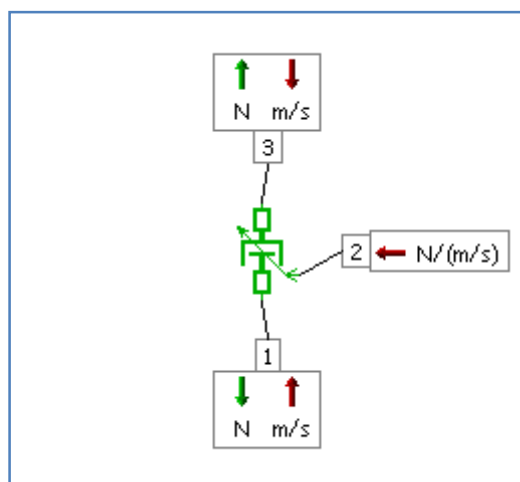


Figura 5.8. Visualizzazione variabili esterne dello “smorzatore”

Dalle porte 1 e 3 riceve in input velocità in  $m/s$  e restituisce un valore in  $N$ .  
Dalla porta 2 riceve in ingresso il coefficiente di smorzamento impostato, che deve essere maggiore di zero, in  $N/(m/s)$ .

Tabella 5.12. Variabili esterne dello “smorzatore”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	duplicate of f3	f1	N	duplicate	output	-
2	velocity at port 1	v1	m/s	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	variable damping	vdamp	N/(m/s)	basic variable	input	-
<b>Port 3</b>						
1	force at port 3	f3	N	basic variable	output	-
2	velocity at port 3	v3	m/s	basic variable	input	-

Parametri iniziali:

Non ci sono parametri settabili, nel caso il coefficiente di smorzamento dovesse assumere un valore negativo la prima volta compare un avviso di errore dopodiché le simulazioni vengono effettuate normalmente applicando però all'elemento valore nullo.

Equazioni:

La forza in uscita alla porta 3 viene calcolata come:

$$f3 = coef * (v1 + v3)$$

dove  $coef$  è il coefficiente di smorzamento in entrata alla porta 2 e  $v1$  e  $v3$  sono le velocità alle porte 1 e 3.

### Generatore di forza

Questo elemento converte un segnale adimensionale appartenente alla libreria “Signal, Control” in una forza in  $N$ .

Variabili esterne:

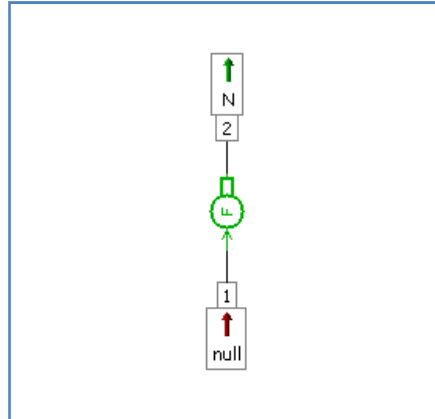


Figura 5.9. Visualizzazione delle variabili del “generatore di forza”

C'è una porta in ingresso da cui riceve un segnale adimensionale e lo restituisce inalterato in output ma come forza in  $N$ .

Tabella 5.13. Variabili esterne del “generatore di forza”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	signal input	input	null	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	force output	force	N	one line macro	output	<i>input</i>

### Generatore di coppia

Questo elemento serve per trasformare un segnale adimensionale in una coppia espressa in  $Nm$ .

Variabili esterne:

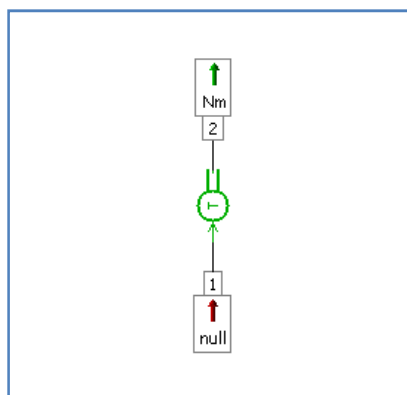


Figura 5.10. Visualizzazione delle variabili del “generatore di coppia”

Dalla porta 1 entra il segnale adimensionale e dalla porta 2 esce lo stesso valore con unità di misura  $Nm$ .

Tabella 5.14. Variabili esterne del “generatore di coppia”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	signal input	input	null	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	torque output	torque	Nm	one line macro	output	<i>input</i>

## Gravità



Figura 5.11. “gravità”

Serve per assegnare al sistema la presenza della forza di gravità, impostata di default con un valore di  $9,80665 N$  ma il cui valore può anche essere modificato.

Parametri iniziali:

Questo elemento non ha porte e quindi non è congiunto ad altri elementi, il suo scopo è solo quello di introdurre la forza di gravità nel sistema.

Può essere impostato un qualunque valore costante o anche importare l'andamento della forza da un file esterno.

Tabella 5.15. Parametri iniziali della “gravità”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	constant gravity value	fixedg	m/s/s	9.80665

### 5.1.3 Libreria “Signal, Control”

#### Segnale costante

Questo è l'elemento utilizzato per assegnare un segnale costante come input all'elemento a cui viene connesso.

Variabile esterne:

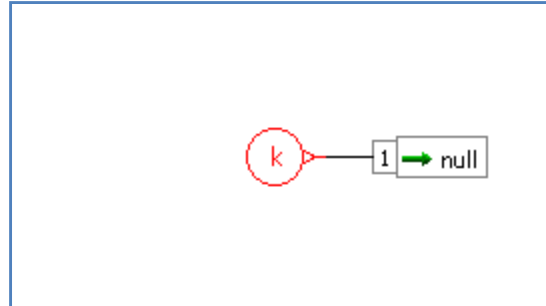


Figura 5.12. Visualizzazione variabili esterne del “segnale costante”

Ha una sola porta in output da cui si trasferisce un segnale costante  $k$  adimensionale.

Tabella 5.16. Variabili esterne del “segnale costante”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	output	out	null	one line macro	Output	k

Parametri iniziali:

Viene impostato il valore del segnale.

Tabella 5.17. Parametri iniziali del “segnale costante”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	constant value	k	null	1

Equazioni:

$$out = k$$

Il valore in uscita è pari a quello assegnato nei parametri iniziali.

### Step

Come l'elemento precedente ha una sola porta con un segnale adimensionale in uscita ma in questo caso si impostano tre parametri: due differenti valori del segnale ( $out_0$  e  $out_1$ ) in uscita e un intervallo temporale ( $t_0$ ); durante questo intervallo il valore assunto dal segnale in uscita corrisponde al primo ( $out_0$ ) mentre al raggiungimento dell'istante indicato ( $t_0$ ) istantaneamente viene assunto il secondo ( $out_1$ ).



Variabili esterne:

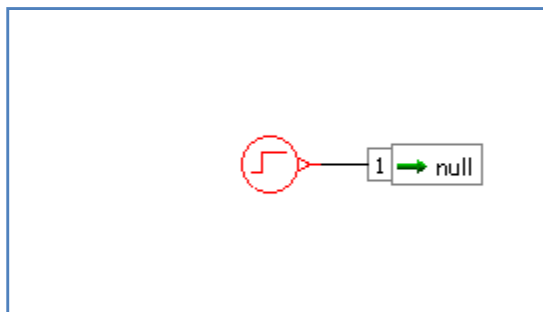


Figura 5.13. Visualizzazione variabili esterne dello “step”

Si ha una sola porta in uscita che corrisponde al valore impostato.

Tabella 5.18. Variabili esterne dello “step”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	step output	out	null	basic variable	output	-

Parametri iniziali:

Devono essere impostati due differenti valori che verranno assunti come output e l'istante in cui dal primo si passerà al secondo.

Tabella 5.19. Parametri iniziali dello “step”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	value before step	out0	null	0
2	value after step	out1	null	1
3	step time	t0	s	0

Equazioni:

$$out = out0 \text{ per } t < t0$$

$$out = out1 \text{ per } t \geq t0$$

### Trigger

Elemento di controllo che consente di variare il segnale in uscita quando il segnale in ingresso raggiunge un certo valore. È molto simile all'elemento precedente solo che in questo caso la variazione dell'uscita avviene col raggiungimento di un determinato valore e non ad un istante di tempo.

Variabili esterne:

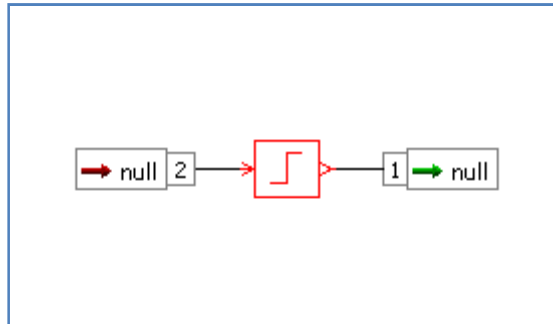


Figura 5.14. Visualizzazione variabili esterne del “trigger”

L’elemento riceve in ingresso un segnale, finché questo non raggiunge una determinata soglia viene restituito un valore, dopodiché ne viene restituito un altro.

Tabella 5.20. Variabili esterne del “trigger”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	switch output	out1	null	basic variable	output	-
<b>Port 2</b>						
1	switch input	in2	null	basic variable	input	-

Parametri iniziali:

Vengono impostati dall’utente il valore della soglia per modificare l’uscita ed i due differenti valori che verranno restituiti in uscita.

Tabella 5.21. Parametri iniziali del “trigger”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	threshold input switch value	thold	null	0.5
2	output value when input is below threshold	vbelow	null	0
3	output value when input is above threshold	vabove	null	1

### Sdoppiatore

Questo elemento viene utilizzato per sdoppiare un segnale ed inviarlo a due elementi distinti.

Variabili esterne:

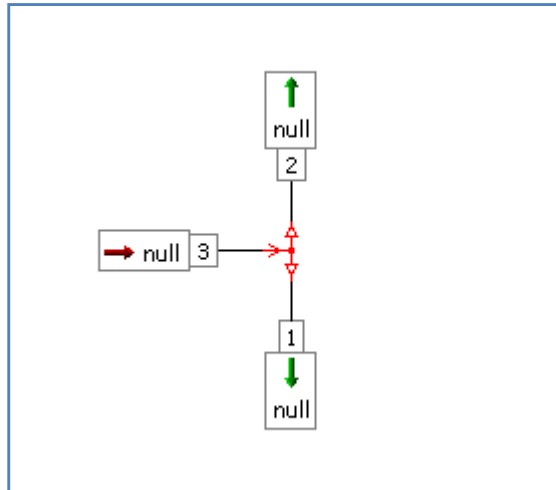


Figura 5.15. Visualizzazione variabili esterne dello “sdoppiatore”

Un segnale adimensionale entra dalla porta 3 e due segnali identici a quello in ingresso escono dalle porte 1 e 2.

Tabella 5.22. Variabili esterne dello “sdoppiatore”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	duplicate of in3	out1	null	duplicate	output	-
<b>Port 2</b>						
1	duplicate of in3	out2	null	duplicate	output	-
<b>Port 3</b>						
1	input to junction	in3	null	basic variable	input	-

### Comparatore

Elemento che confronta due segnali in ingresso e valuta se sia verificata o meno la condizione  $x > y$ .

Variabili esterne:

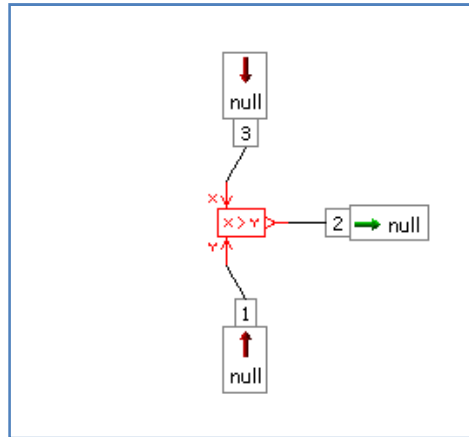


Figura 5.16. Visualizzazione variabili esterne del “comparatore”

Riceve in ingresso dalla porta 1 il valore  $x$  e dalla porta 3 il valore  $y$ . Questi due valori vengono confrontati e finché la condizione è verificata viene restituito alla porta 2 il valore 1, viceversa si ha come output 0.

Tabella 5.23. Variabili esterne del “comparatore”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	input y	y	null	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	output from comparison $x > y$	output	null	basic variable	output	-
<b>Port 3</b>						
1	input x	x	null	basic variable	input	-

### Stop

Elemento di controllo che permette di bloccare la simulazione quando si verifica una determinata condizione.

Variabili esterne:

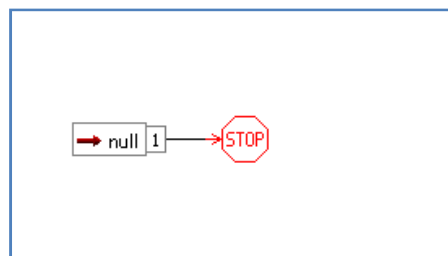


Figura 5.17. Visualizzazione variabili esterne dello “stop”

Vi è solo una porta in ingresso con un segnale adimensionale

Tabella 5.24. Variabili esterne dello “stop”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	input signal	x	null	basic variable	input	-

Parametri iniziali:

La condizione per stoppare la simulazione di default è  $x < 0$  ma può essere modificata dall'utente.

Tabella 5.25. Parametri iniziali dello “stop”

	Title	Variable name	Default value
1	stopping condition	-	$x < 0$
2	warning message	-	Condition met for submodel STOP0

### Funzione di x e y

Viene applicata una funzione scritta dall'utente ai due segnali x e y in ingresso ed il risultato viene restituito in uscita.

Variabili esterne:

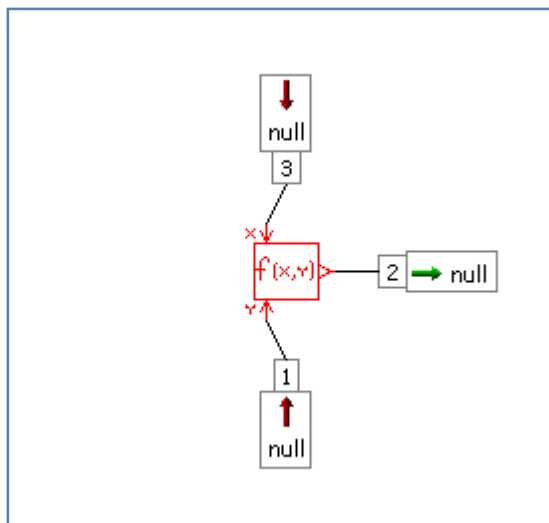


Figura 5.18 Visualizzazione variabili esterne della “funzione”

Dalle porte 1 e 3 entrano due segnali adimensionali ed alla porta 2 si ottiene un altro segnale adimensionale funzione degli altri due.

Tabella 5.26. Variabili esterne della funzione

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	input y	y	null	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	f(x,y) output	output	null	basic variable	output	-
<b>Port 3</b>						
1	input x	x	null	basic variable	input	-

### 5.1.4 Libreria “Pneumatic Component Design”

#### Pistone

Rappresenta un pistone pneumatico, con caratteristiche geometriche specifiche come lunghezza della camera e diametri del pistone e dello stelo e che richiede il tipo di gas utilizzato e le condizioni esterne come pressione e temperatura.

Nel modello rappresenta la molla a gas con forza esercitata costante, poiché viene accoppiato con un elemento che genera un segnale costante. Se si fosse studiato il modello di molla a gas progressiva sarebbe stato sufficiente sostituire l'elemento che genera un segnale costante con uno che genera un segnale rampa ed inserire in valore della forza esercitata ad inizio e fine corsa.

Variabili esterne:

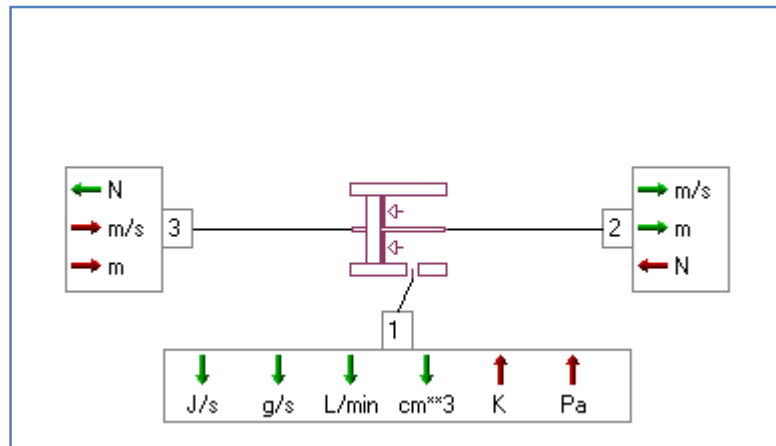


Figura 5.19. Visualizzazione variabili esterne del “pistone”

Dalla porta 1 riceve in ingresso una pressione in Pa ed una temperatura in K, mentre in uscita viene calcolata la portata volumetrica in cm<sup>3</sup>/min.

Spostamento e velocità del pistone sono in ingresso alla porta 3 e passano inalterati alla porta 2. Infine una forza in N entra dalla porta 2 ed esce dalla porta 3.

Tabella 5.27. Variabili esterne del “pistone”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	enthalpy flow rate at port 1	dh1	J/s	basic variable [hidden]	output	-
2	mass flow rate at port 1	dm1	g/s	basic variable [hidden]	output	-
3	derivative of volume at port 1	vvol1	L/min	basic variable	output	-
4	volume at port 1	vol1	cm**3	basic variable	output	-
5	temperature at port 1	temp1	K	basic variable	input	-
6	pressure at port 1	press1	Pa	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	duplicate of v3	v2	m/s	duplicate	output	-
2	duplicate of x3	x2	m	duplicate	output	-
3	force at port 2	f2	N	basic variable	input	-
<b>Port 3</b>						
1	force at port 3	f3	N	basic variable	output	-
2	velocity at port 3	v3	m/s	basic variable	input	-
3	displacement at port 3	x3	m	basic variable	input	-

Variabili interne:

viene definita la lunghezza della camera.

Tabella 5.28. Variabili interne del “pistone”

	Title	Variable name	Unit	Type	Default value
1	length of chamber	length	mm	basic variable	-

Parametri reali:

Devono essere impostati il diametro del pistone e dello stelo e la lunghezza della camera nella posizione di riposo.

Tabella 5.29. Parametri reali del “pistone”

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	piston diameter	dp	mm	10
2	rod diameter	dr	mm	5
3	chamber length at zero displacement	x0	mm	0

Parametri integrati:

Si sceglie il gas contenuto nella camera.

Tabella 5.30. Parametri integrati del “pistone”

	Title	Variable name	Default value
1	gas type index	gi	1

Equazioni:

La forza totale applicata alla porta 3 si ricava da:

$$F3 = F2 + press1 * area$$

Dove  $F3$  è la forza in uscita alla porta 3,  $F2$  è la forza in ingresso alla porta 2,  $press1$  è la pressione in ingresso alla porta 1 e  $area$  è l'area della camera del pistone.

Vengono inoltre ricavate la lunghezza della camera ed il suo volume come:

$$length = x0 - x3$$

$$vol1 = length * area$$

ovvero la lunghezza finale della camera viene ricavata dalla sottrazione tra  $x0$ , lunghezza iniziale, ed  $x3$ , spostamento della porta 3; il volume invece si ottiene moltiplicando la lunghezza della camera per l'area.

In ogni caso potendo considerare trascurabili le variazioni di temperatura e pressione nell'intervallo di tempo tra l'inizio e la fine dell'apertura il valore impostato come ingresso passa inalterato in uscita.

Questi sono tutti gli elementi che sono stati utilizzati per la creazione dei quattro modelli realizzati (apertura e chiusura dei sistemi di sollevamento anta a ribalta e basculante)



## 5.2 Modello anta a ribalta singola, apertura

Per la realizzazione del modello come primo passo è stata inserita la “geometria” del sistema, collocando le aste con le coordinate iniziali per ogni porta; ad ogni porta corrisponde un vertice dell’asta o del corpo (fig. 5.20).

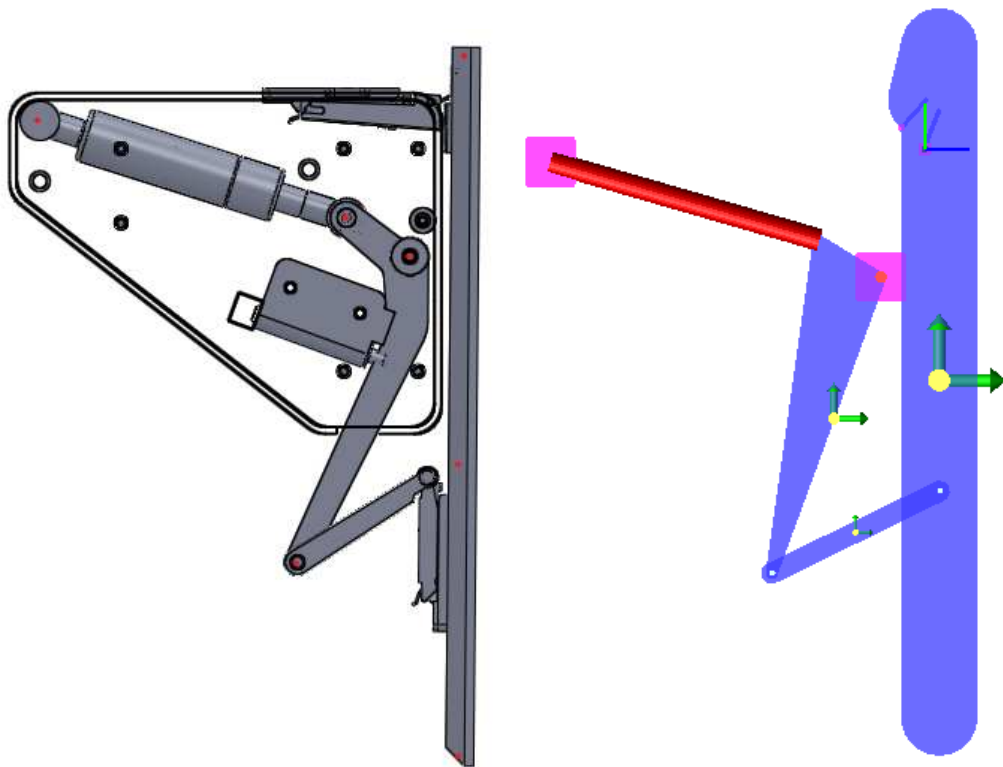


Figura 5.20. Confronto tra il sistema modellato in SolidWorks e in AMESim

Successivamente per simulare il comportamento della molla a gas sono stati inseriti un pistone pneumatico, uno smorzatore ed un giunto roto-traslazionale; i primi due sono necessari per assegnare l’andamento della forza esercitata dalla molla a gas (il pistone ha andamento costante, lo smorzatore serve per diminuire progressivamente la velocità di allungamento a fine corsa) mentre il giunto serve per rappresentarne la geometria. Il giunto è simile ad una semplice asta con due cerniere alle estremità e con la possibilità di allungarsi ed accorciarsi; le due cerniere sono fissate una a terra (sulla piastra) e l’altra ad un braccio. Quindi la combinazione pistone-smorzatore-giunto nel modello rappresentano esattamente il comportamento della molla a gas nella realtà. Come già anticipato

esistono due tipologie di molle a gas, costante e progressiva. In questo progetto è stata trattata solo quella costante ma per rappresentare un sistema con una molla progressiva occorre semplicemente sostituire al segnale costante applicato in ingresso al pistone un segnale lineare crescente.

Per simulare il contatto sono stati inseriti due smorzatori con coefficiente di smorzamento molto elevato, applicati entrambi all'estremità inferiore dell'anta, uno per bloccarla prima che avvenga l'apertura, l'altro per fermarla quando ha raggiunto la posizione finale. Nel primo caso lo smorzatore agisce con una forza in direzione orizzontale mentre nel secondo con una forza in direzione verticale rivolta verso il basso, che si oppone quindi al moto dell'anta e la blocca in quella posizione.

È stata poi applicata una coppia su di un'asta per riprodurre la forza esercitata dalla molla all'interno della cerniera Salice, gestita da alcuni elementi di controllo che la attivano solo quando l'anta si trova tra 0 e 45°.

Infine, per simulare la forza esercitata dall'utente per effettuare l'apertura dell'anta è stato inserito nel sistema un elemento che riproduce un segnale dall'istante iniziale della simulazione fino a quando lo spostamento orizzontale dell'estremità dell'anta è pari a 7cm, corrispondenti ad una inclinazione dell'anta di circa 12°, e questo segnale collegato ad un altro elemento che trasforma il segnale adimensionale in una forza in N, trasferisce questa forza, di modulo 10N e direzione orizzontale, all'estremità dell'anta.

Il modello del sistema appare quindi schematizzato in AMESim come nella figura sottostante:

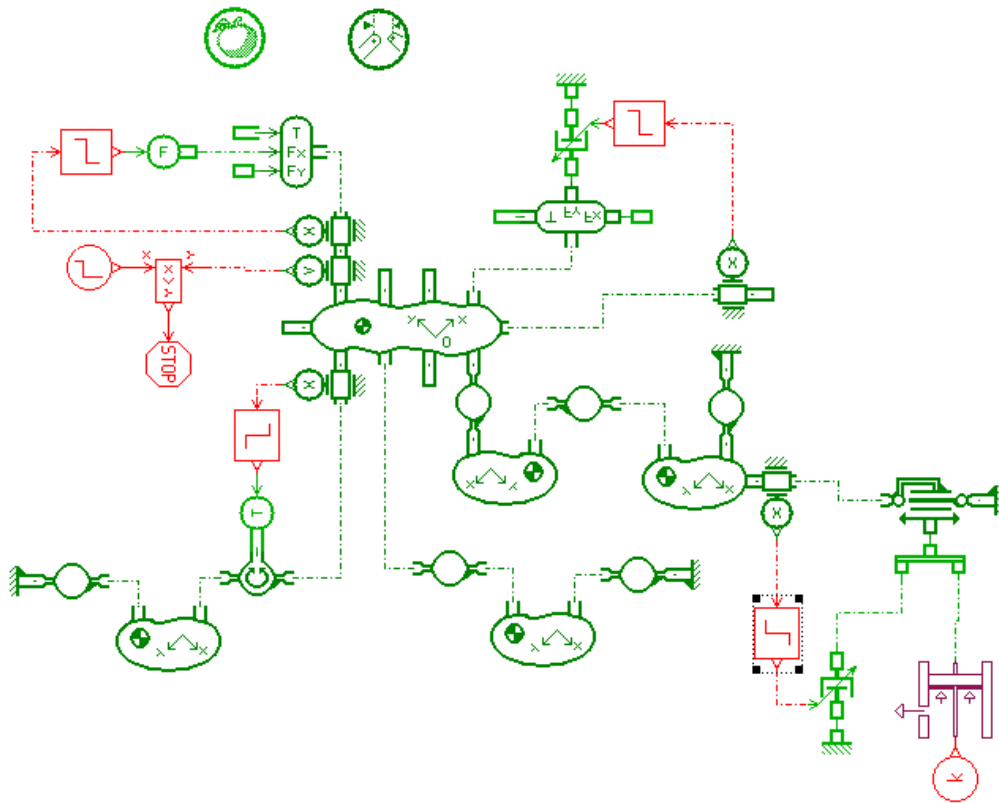


Figura 5.21. Modello dell'apertura del sistema di sollevamento anta a ribalta in LMS-AMESim

Una volta descritti tutti gli elementi utilizzati per la modellazione e la logica con cui si è proceduto, si può rivedere il modello definitivo più nel dettaglio e definire i valori che sono stati utilizzati.

Alle due aste rappresentanti i due bracci del quadrilatero articolato della cerniera Salice è stato assegnato un peso approssimativo di 10 g, i due bracci del sistema di sollevamento pesano rispettivamente 80 e 120 g ed alla quinta asta, ovvero l'anta, è stato attribuito un peso di 2 kg (la metà di quello effettivo).

Per ogni asta è stato inserito anche il momento d'inerzia attorno al proprio asse baricentrico, calcolato come:

$$J = \frac{1}{12} * m * (a^2 + b^2)$$

dove  $m$  è la massa,  $a$  la larghezza e  $b$  l'altezza.

Il software provvede poi automaticamente al calcolo del momento di trasporto, ovvero al momento d'inerzia dovuto alla distanza tra l'asse baricentrico dell'asta e l'asse attorno a cui questa ruota, ed utilizza per la simulazione la somma dei due.

La lunghezza libera del giunto roto-traslazionale è di  $13\text{ cm}$ , come quella della molla a gas del sistema reale. Al segnale costante in ingresso al pistone a gas è stato assegnato un valore di  $80\text{ N}$ . Infatti la forza della molla a gas necessaria per un sistema di sollevamento anta a ribalta per un'anta di  $4\text{ kg}$  e dimensioni  $360 \times 600\text{ mm}$  è di  $100\text{ N}$ , ma per tenere conto degli attriti del sistema questa viene diminuita del  $20\%$ .

Nella figura sottostante si vede il dettaglio del sistema pistone-smorzatore-giunto.

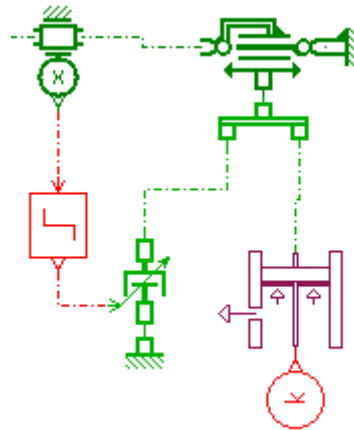


Figura 5.22. Pistone-smorzatore-giunto

Nella parte del sistema che si vede in fig. 5.23 gli elementi collegati in ingresso a coppia e forza in direzione verticale sono pari a 0, mentre per quanto riguarda la forza in direzione orizzontale si è posto un sensore ed un controllo, collegato all'elemento che genera la forza, per far sì che venga esercitata una forza di  $8\text{ N}$  dall'istante iniziale finché l'estremità dell'anta non si scosta di  $7\text{ mm}$  in direzione orizzontale, dopodiché l'uscita assume il valore 0. Questo per simulare la forza esercitata inizialmente dell'utente per aprire l'anta.

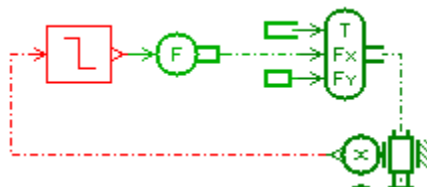


Figura 5.23. Forza impressa per l'apertura

Un sistema sensore-controllo-forza simile a quello appena visto si applica anche per simulare il contatto, impostando un coefficiente di smorzamento pari

100000  $N/(m/s)$  quando l'anta raggiunge la sua posizione finale ( $90^\circ$ ), viceversa questo valore rimane pari a 0  $N/(m/s)$ .

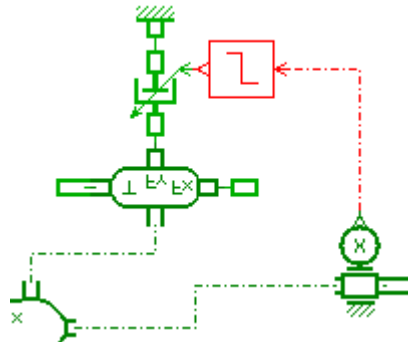


Figura 5.24. Smorzatore che simula il contatto

Infine, utilizzando sempre il sensore per stabilire la posizione angolare dell'anta e gli elementi di controllo per verificare quando la condizione è verificata, si applica una coppia di  $0.5Nm$  alla cerniera dall'inizio della simulazione fino a quando l'anta raggiunge i  $45^\circ$ , per riprodurre la forza esercitata dalla molla all'interno della cerniera Salice.

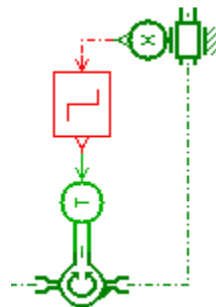


Figura 5.25. Coppia applicata alla cerniera

Inoltre con altri elementi della libreria "Control", si impone che la simulazione si arresti quando la velocità angolare dell'anta diventa minore di  $0,1 \text{ rev/min}$  (fig. 5.26).

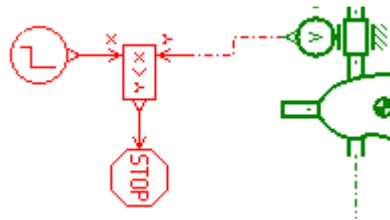


Figura 5.26. Arresto della simulazione quando l'anta si ferma

In questo modo l'apertura dell'anta avviene all'incirca in 0,8 s, valore realistico. È inoltre possibile effettuare un'animazione dell'apertura, di cui si riportano tre fotogrammi in figura 5.27.

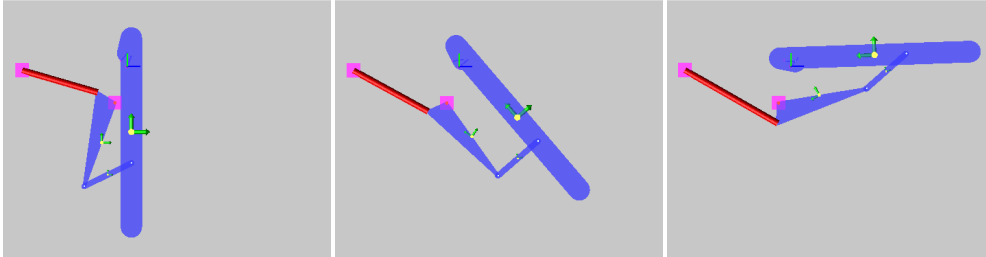


Figura 5.27. Tre fotogrammi della fase di apertura

### 5.3 Modello anta a ribalta singola, chiusura

Per quanto riguarda la fase di chiusura il modello rimane pressoché identico a quello realizzato nella fase di apertura. La geometria del sistema e le coordinate dei vari punti sono state ricavate dalla posizione finale del modello precedente (ovviamente la posizione finale dell'apertura corrisponde alla posizione iniziale della chiusura).

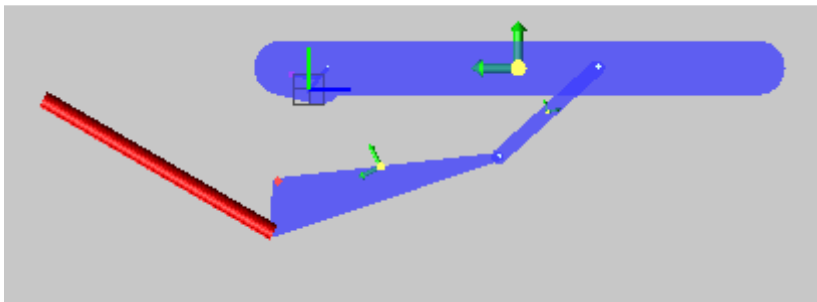


Figura 5.28. Raffigurazione del modello del sistema a ribalta nella fase di chiusura

Anche i valori attribuiti ai vari parametri del sistema rimangono inalterati. L'unica differenza è che in questo nuovo caso invece di esserci una forza iniziale in direzione orizzontale (utilizzata per l'apertura) ora si è posta una forza con modulo 10N che agisce all'estremità dell'anta e perpendicolarmente a quest'ultima dall'istante iniziale fino a che non si è realizzata la chiusura, che con queste condizioni si realizza in circa 0,5s. Inoltre in questo caso lo smorzatore che simula il contatto sarà attivato quando l'anta raggiunge la

posizione verticale (quando collide con il mobile) mentre un altro smorzatore viene attivato un istante prima per rappresentare lo *Smove*.  
 Il modello è quello riportato in fig. 5.29.

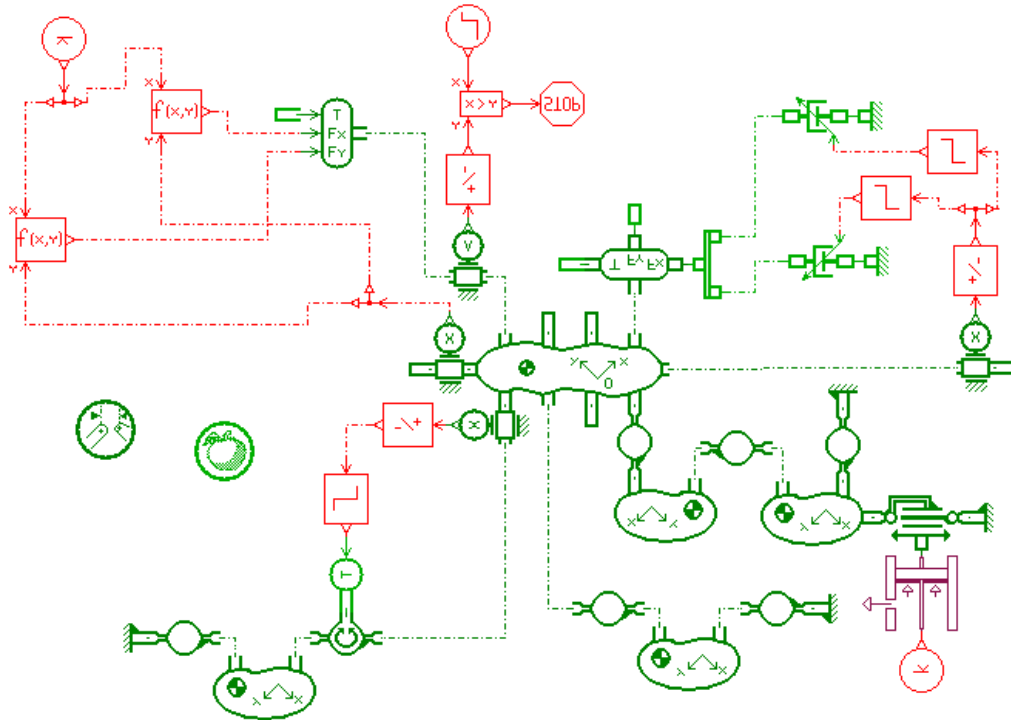


Figura 5.29. Modello anta a ribalta nella fase di chiusura

Come si vede lo schema è quasi uguale a quello dell'apertura e la principale differenza è il segnale costante che attraverso le due funzioni viene trasmesso all'estremità dell'anta sotto forma di forze in direzione orizzontale e verticale. Le due funzioni sono necessarie per mantenere una forza costante ortogonale all'anta e scomposte in direzione orizzontale e verticale sono così espresse:

$$F_x = x * \cos ((\alpha) * \pi / 180)$$

$$F_y = x * \sin ((\alpha) * \pi / 180)$$

Dove  $x$  è il modulo della forza che si vuole applicare tramite il generatore di segnale costante e  $\alpha$  è invece il segnale in uscita dal sensore che indica la posizione angolare dell'anta (va moltiplicato per  $\pi$  e diviso per 180 per modificare l'unità di misura da gradi a radianti).

Ovviamente l'andamento dell'anta sarà opposto rispetto alla fase di apertura, come si può vedere dalle immagini estratte dall'animazione della simulazione (fig. 5.30).

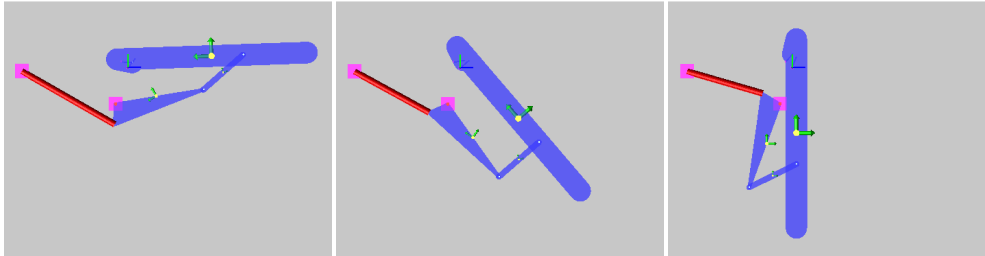


Figura 5.30. Tre fotogrammi della fase di chiusura

#### 5.4 Modello anta basculante, apertura

Anche in questo caso il sistema reale è stato semplificato in un modello bidimensionale, considerando un solo attuatore addetto all'apertura dell'anta, su cui si scarica la metà del peso di quest'ultima.

Gli elementi che sono stati utilizzati per la realizzazione del modello del sistema di sollevamento anta basculante sono per lo più gli stessi che compongono quello a ribalta e che sono stati esposti nel paragrafo 5.1.

Anche il procedimento seguito per la realizzazione del modello è molto simile a quello precedente; come prima operazione sono state eseguite le misure dei vari componenti ed è stata inserita la geometria del sistema e le coordinate delle aste (fig. 5.31).



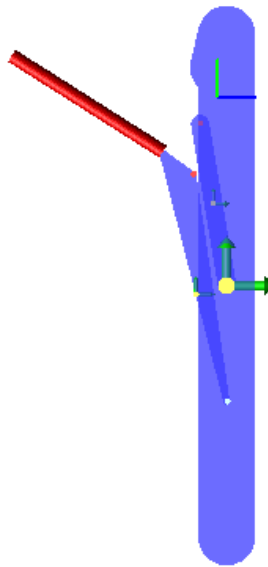


Figura 5.31. Raffigurazione del sistema basculante, apertura

Questo modello, seppur con le semplificazioni precedentemente espone, rispecchia fedelmente il comportamento del sistema reale (fig. 5.32).

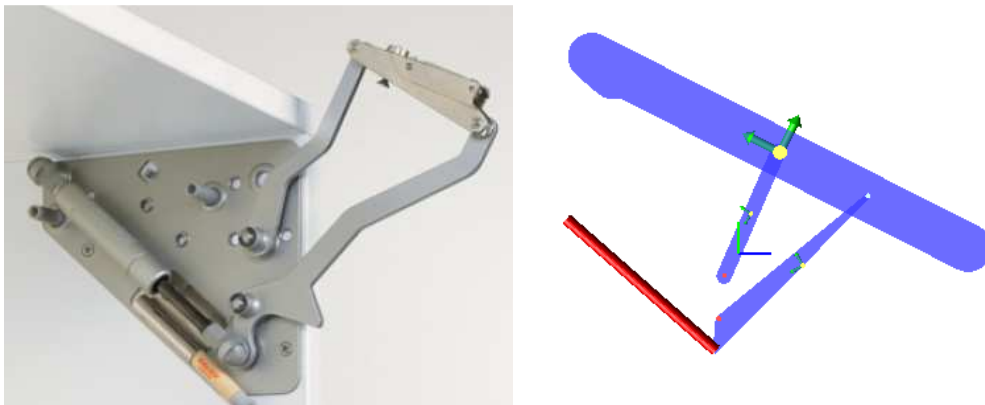


Figura 5.32. Sistema di sollevamento anta basculante nella realtà e nel modello LMS-AMESim

Lo schema del modello realizzato con LMS-AMESim risulta quindi rappresentato nell'immagine sottostante (fig. 5.33).

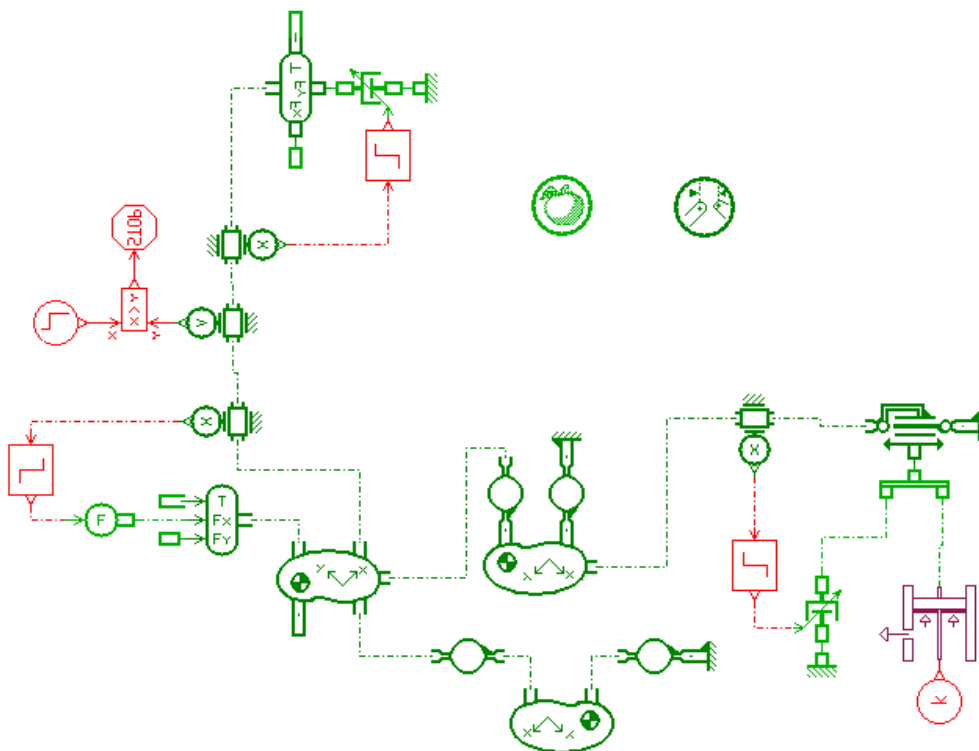


Figura 5.33. Modello del sistema di sollevamento anta basculante nella fase di apertura

Le aste rappresentanti i due bracci del sistema di sollevamento pesano rispettivamente 100 e 140g mentre il peso dell'anta è di 2,5 kg (la metà di quello effettivo); il peso della base per anta (annessa nel modello all'anta stessa) è stato tralasciato poiché trascurabile rispetto al peso dell'anta.

Per ogni asta è stato inserito il momento d'inerzia rispetto all'asse baricentrico, calcolato sempre come:

$$J = \frac{1}{12} * m * (a^2 + b^2)$$

dove  $m$  è la massa,  $a$  la larghezza e  $b$  l'altezza.

Il software provvede automaticamente al calcolo del momento di trasporto, ovvero al momento d'inerzia dovuto alla distanza tra l'asse baricentrico dell'asta e l'asse attorno a cui questa ruota ed ad utilizzare durante la simulazione la somma dei due.

La forza esercitata è stata sempre diminuita del 20% per tenere conto degli attriti del sistema.

In fig. 5.34 (rappresentata in rosso nella fig. 5.32) si riporta la parte di modello che costituisce la molla a gas, riprodotta tramite l'accoppiamento tra giunto roto-traslazionale e pistone-smorzatore.

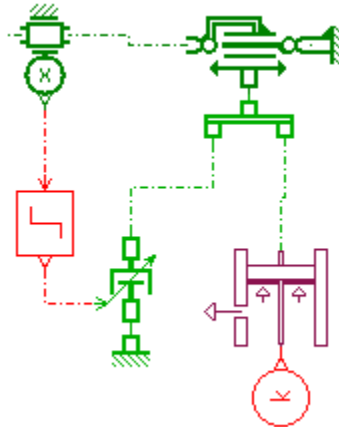


Figura 5.34. Coppia applicata alla cerniera

Il giunto ha sempre lunghezza libera pari a  $130\text{ mm}$ , una corsa di  $36\text{ mm}$  ed è libero di ruotare attorno alla cerniera collegata alla piastra e di allungarsi o accorciarsi.

Al pistone è collegato un generatore di segnale costante con modulo pari a  $200\text{ N}$  (anche in questo caso se si volesse sostituire la forza costante con una progressiva basterebbe cambiare l'elemento della libreria "Signal, Control" con un altro che produca un segnale lineare crescente o decrescente).

Anche in questo caso, non trattandosi del sistema *push*, è necessaria una forza dell'utente per aprire l'anta. Per simulare questa forza è stato applicato un segnale step ad un convertitore, a sua volta applicato all'estremità dell'asta che rappresenta l'anta, che sviluppa una forza in direzione orizzontale pari a  $10\text{ N}$  finché l'estremità dell'anta non si scosta di  $90\text{ mm}$  dal mobile, superato questo punto il valore della forza si azzera istantaneamente (fig. 5.35).

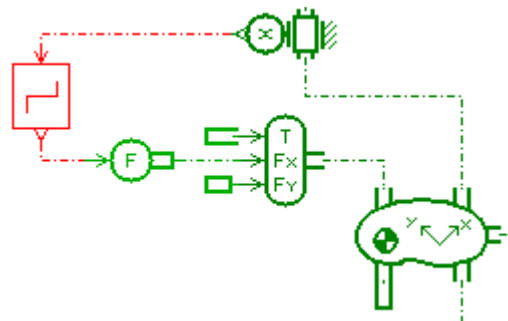


Figura 5.35. Forza dell'utente

Grazie al sensore che indica la posizione angolare dell'anta, quando questa è maggiore di  $69^\circ$  (posizione finale dell'anta) si applica allo smorzatore un coefficiente di smorzamento pari a  $100000 \text{ N/(m/s)}$ , che invece tra  $0$  e  $69^\circ$  assume valore nullo (fig. 5.36).

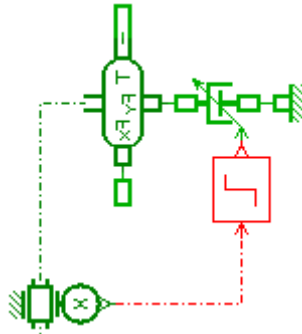


Figura 5.36. Contatto

Infine per arrestare la simulazione quando l'anta si ferma si utilizzano sempre degli elementi di controllo collegati ad uno "stop" (fig. 5.37).

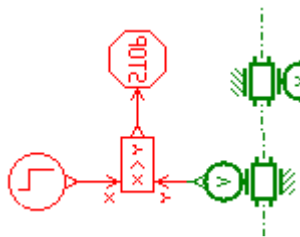
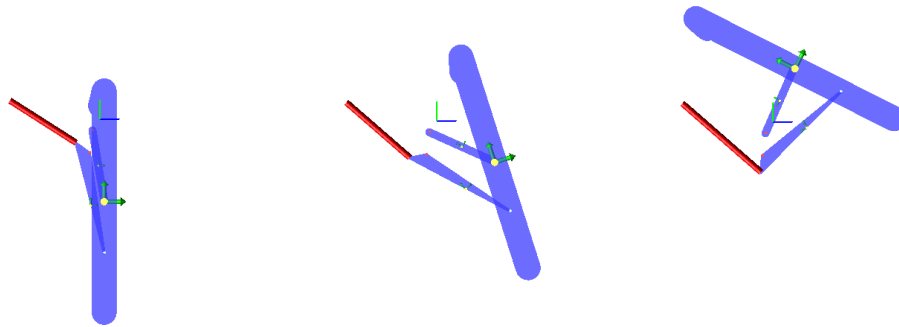


Figura 5.37. Sistema di arresto della simulazione

Vengono quindi riportati alcuni fotogrammi dell'animazione che il software consente di effettuare, in cui vengono visualizzati tutti gli elementi appartenenti alla libreria "Planar Mechanical" (fig. 5.38).

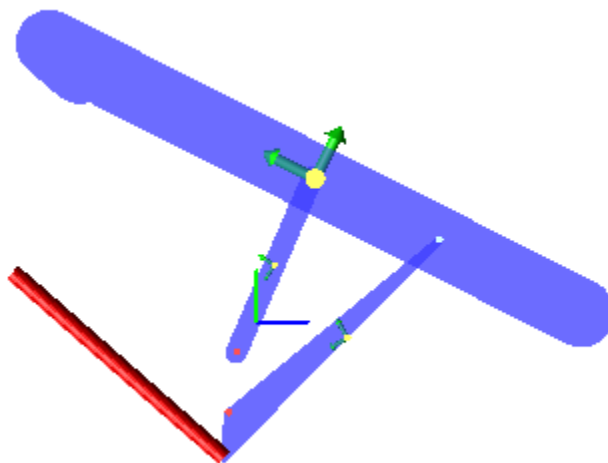


*Figura 5.38 - Tre fotogrammi della fase di apertura*

Complessivamente la durata della simulazione, ovvero il tempo di apertura, risulta intorno a 0,8s, valore che rispecchia l'andamento reale del sistema.

### **5.5 Modello anta basculante, chiusura**

Come per il modello del sistema di sollevamento anta a ribalta, anche per quello di tipo basculante non ci sono sostanziali differenze tra apertura e chiusura. Le coordinate dei vertici delle varie aste sono quelle assunte alla fine della fase di apertura, poiché questa corrisponde alla fase iniziale del modello della chiusura (fig. 5.39).



*Figura 5.39. Raffigurazione del modello del sistema basculante*

Tutti i valori assunti dai vari elementi del sistema, come forza esercitata dal pistone o coefficiente di smorzamento degli smorzatori rimangono invariati. Anche in questo caso la differenza tra apertura e chiusura, oltre all'inserimento dello *Smove*, è l'applicazione ed il modulo della forza che rappresenta la spinta dell'utente. Invece che una forza di 10N in direzione orizzontale, se ne applica una con lo stesso modulo e sempre applicata all'estremità dell'anta ma perpendicolarmente ad essa dall'inizio della simulazione fino alla chiusura completa dell'anta. Il modello all'interno di AMESim è rappresentato nella figura 5.40.

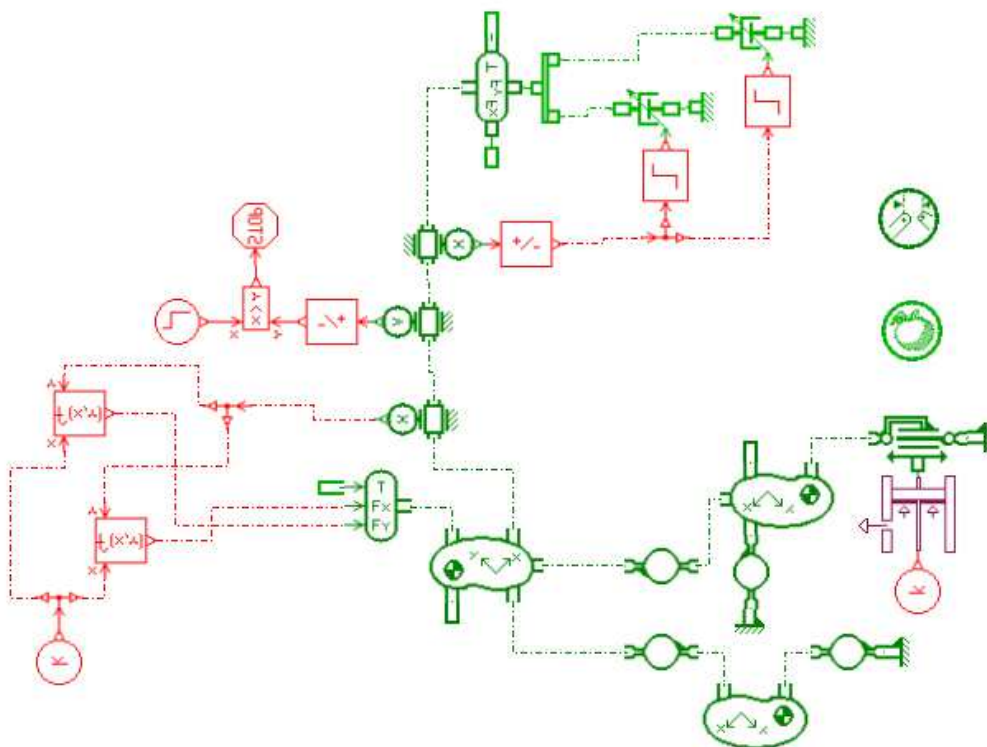


Figura 5.40. Modella anta basculante, chiusura

Come si vede dalla figura e come già esposto sopra, anche in questo caso, come per il sistema di sollevamento anta a ribalta, l'unica parte che cambia tra apertura e chiusura è quella in cui si origina la forza rappresentante la spinta dell'utente e anche qui si è sfruttato un segnale costante che si divide e che tramite due funzioni viene moltiplicato per il seno e per il coseno dell'angolo di inclinazione dell'anta e questi segnali vengono poi inviati sotto forma di forze in direzione orizzontale e verticale all'estremità dell'anta (fig.41).

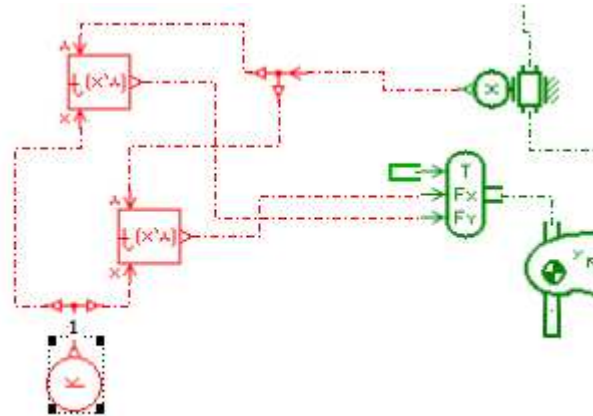


Figura 5.41. Forza dell'utente

Sono di seguito riportati tre fotogrammi presi dall'animazione della fase di chiusura dell'anta (fig. 5.42)

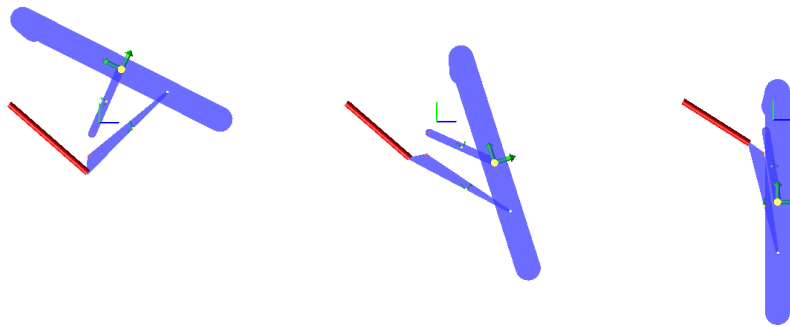


Figura 5.42. Tre fotogrammi della fase di chiusura

Con i parametri così impostati la fase di chiusura avviene all'incirca 0,5s.

## 5.6 Sostituzione della molla a gas con una molla in acciaio

Una volta implementati i modelli nel software LMS-AMESim e verificato che il comportamento del sistema virtuale è molto simile al comportamento di quello reale, come da obiettivo prefissato si è poi sostituita la molla a gas con una molla meccanica. I due parametri di interesse, che influenzano il modulo e l'andamento della forza esercitata sono la rigidità  $k$  e la compressione iniziale della molla.

L'andamento della forza in funzione dell'allungamento della molla è lineare decrescente, quindi, essendo l'allungamento fisso e imposto dalla geometria (per far raggiungere all'anta la posizione finale la molla si deve allungare di circa  $36\text{mm}$ , come per la molla a gas) aumentando la precompressione della molla aumenterà la forza esercitata.

Allo stesso modo, a parità di compressione iniziale, utilizzando una molla con rigidità maggiore sarà maggiore anche la forza esercitata.

Questo risulta chiaro osservando l'equazione della forza che viene esercitata dalla molla:

$$F = k * x$$

dove  $k$  è la rigidità della molla e  $x$  lo spostamento che varia tra il valore iniziale di precompressione (posizione iniziale) e quest'ultimo sommato all'allungamento necessario per raggiungere la posizione finale. Ad esempio con una rigidità pari a  $1000\text{ N/m}$  e  $x$  che varia tra  $3,5\text{ cm}$  e  $0\text{ cm}$  (cioè molla inizialmente precompressa di  $3,5\text{ cm}$  che raggiunge la sua posizione di equilibrio) l'andamento della forza sarà lineare decrescente da  $35$  e  $0\text{ N}$ .

È quindi possibile, combinando in modo diverso i due parametri, ottenere ad esempio l'apertura dell'anta nello stesso tempo ma con una differente variazione di forza tra punto iniziale e finale. Lo stesso vale per la velocità di apertura dell'anta; combinando i due parametri si può cercare di rendere questa velocità quanto più costante possibile, o per lo meno di eliminare dei picchi indesiderati.

Infatti il lavoro compiuto dalla molla è dato dalla forza che questa esercita moltiplicata per il braccio ( $26\text{ mm}$ ) e moltiplicata per il seno dell'angolo compreso tra asse della molla e braccio. Nel caso specifico, durante l'apertura dell'anta, quest'angolo varia tra  $-5^\circ$  quando l'anta è chiusa e  $120^\circ$  quando l'anta è aperta. Quindi essendo la forza ed il braccio costanti, il lavoro compiuto ha l'andamento del seno dell'angolo, ovvero parte all'incirca da  $0$ , raggiunge un massimo a  $90^\circ$  per poi diminuire lievemente fino a  $120^\circ$ .

Può quindi essere utile, per avere delle variazioni di velocità non troppo elevate, avere un modulo della forza maggiore nella parte iniziale ed inferiore in quella finale.

Si va ora ad analizzare l'elemento che rappresenta una molla meccanica all'interno del software.



### 5.6.1 La molla in AMESim

#### Molla

Variabili esterne:

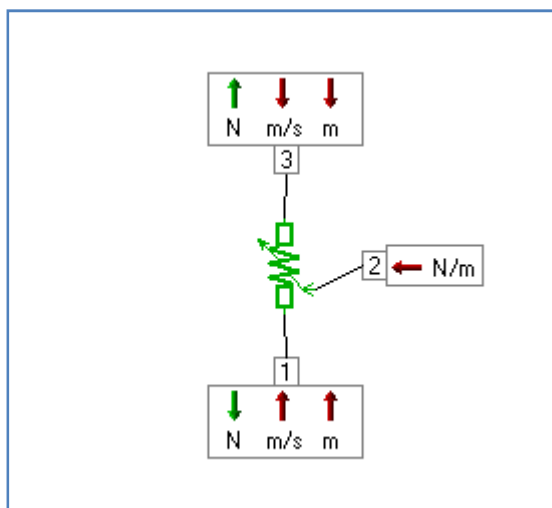


Figura 5.43. Visualizzazione variabili esterne della “molla”

Le porte 1 e 3 ricevono in ingresso uno spostamento in  $m$  ed una velocità in  $m/s$  e restituiscono in uscita una forza in  $N$ .

Dalla porta 2 si ricava la rigidezza della molla impostata dall’utente.

Tabella 5.31. Variabili esterne della “molla”

	Title	Variable name	Unit	Type	In/Out	Default value
<b>Port 1</b>						
1	output force at port 1	force1	N	one line macro	output	$vrate*x$
2	velocity at port 1	vel1	m/s	basic variable	input	-
3	displacement at port 1	x1	m	basic variable	input	-
<b>Port 2</b>						
1	variable spring rate	vrate	N/m	basic variable	input	-
<b>Port 3</b>						
1	duplicate of force1	force3	N	duplicate	output	-
2	velocity at port 3	vel3	m/s	basic variable	input	-
3	displacement at port 3	x3	m	basic variable	input	-

Variabili interne:

Viene regolata la compressione della molla in  $m$  o cambiando l'unità di misura con un suo sottomultiplo.

Tabella 5.32. Variabili interne della "molla"

	Title	Variable name	Unit	Type	Default value
1	spring compression	x	m	multi-line macro	-
2	activity of mechanical capacitance (spring)	actCspring	J	activity variable	-

Parametri iniziali:

Lunghezza a riposo della molla e compressione iniziale sono necessari per il calcolo della forza che questa esercita.

Tabella 5.33. Parametri iniziali della "molla"

	Title	Variable name	Unit	Default value
1	spring compression with both displacements zero	x0	m	0
2	initial spring compression	xinit	m	0

Parametri interni:

Tabella 5.34. Parametri interni della "molla"

	Title	Variable name	Default value
1	spring compression initialization	initenum	1: with both displacements zero

Equazioni:

Lo spostamento della molla è definito come:

$$x = x0 + x1 + x3$$

dove  $x0$  è la lunghezza libera della molla mentre  $x1$  ed  $x3$  sono gli spostamenti che avvengono rispettivamente alle porte 1 e 3.

La forza in output è calcolata come:

$$F = vrate * x$$

dove  $vrate$  rappresenta la rigidità della molla e  $x$  lo spostamento calcolato precedentemente.

### 5.6.2 Risultati ottenuti

Una volta analizzato il comportamento ed i parametri della molla questa è stata sostituita all'interno dei modelli. Come esempio si prende il caso di maggiore interesse, ovvero il modello dell'apertura col sistema di sollevamento basculante (fig. 5.44).

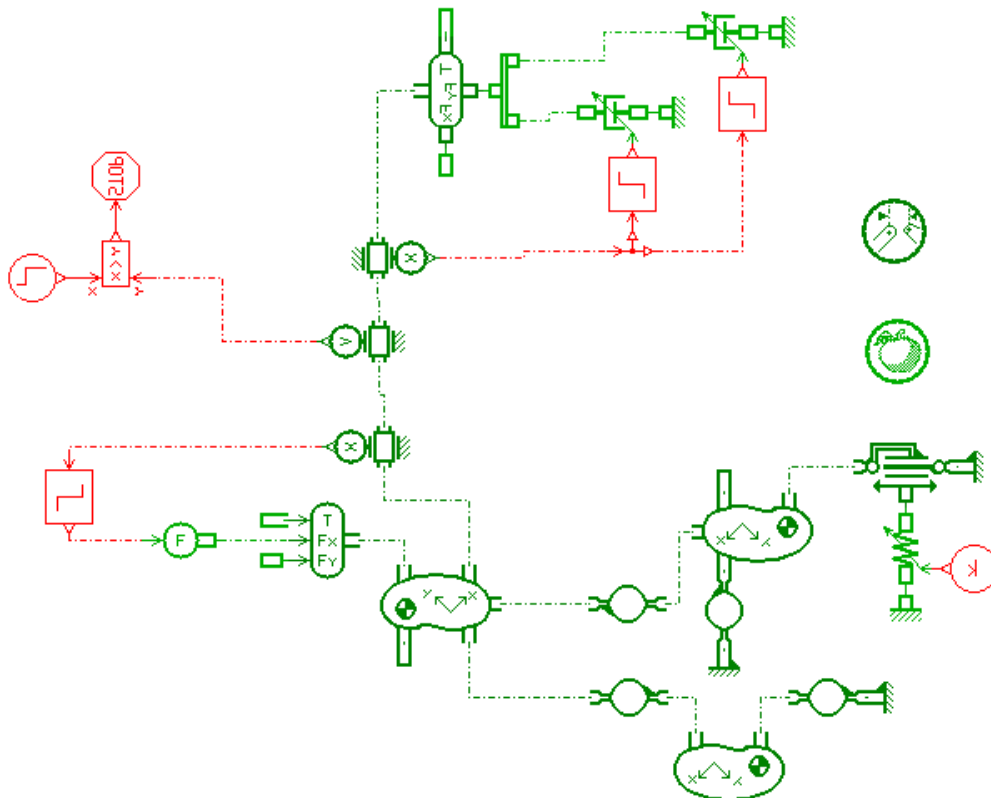


Figura 5.44. Modello del sistema basculante con molla in acciaio

Come si vede il sistema pistone-smorzatore-giunto è stato sostituito dalla molla meccanica ed inoltre è stato inserito un altro smorzatore che rappresenta un altro *Smove*; questo è necessario poiché la molla non ha un sistema di smorzamento interno.

Sono state quindi effettuate delle prove per vedere le caratteristiche della molla che consentano l'apertura dell'anta in tempi simili alla realtà. Vengono di seguito riportati dei grafici, il primo con l'andamento della velocità angolare dell'anta nella versione con molla a gas e successivamente degli esempi con molle in acciaio con diverse coppie di valori  $k-x$  (rigidezza-precompressione), riportando sia l'andamento della forza esercitata dalla molla meccanica in

funzione della compressione della molla stessa sia la velocità angolare dell'anta in funzione della sua posizione angolare.

- Molla a gas da 250 N

Tenendo conto degli attriti la forza reale applicata alla molla a gas è pari a 200 N.

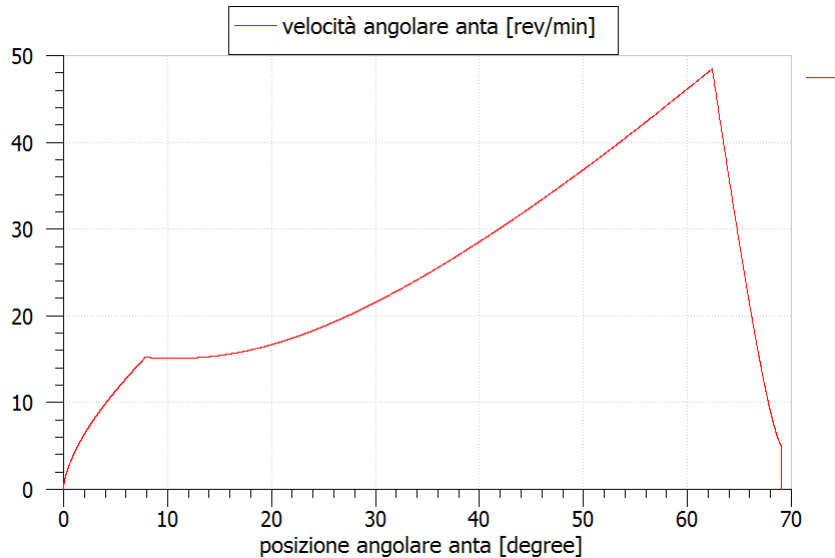


Figura 5.45. Andamento della velocità dell'anta in funzione della posizione angolare

Il primo punto di discontinuità si verifica quando si azzerla la forza che rappresenta la spinta dell'utente, il secondo quando entra in funzione lo *Smove*. La velocità massima raggiunta dall'anta è pari a 48,5rev/min.

- rigidezza 7,5 N/mm – compressione 50 mm

Con una rigidezza di 7,5N/mm (nel *software* si inserisce sempre il 20% in meno per considerare gli attriti, cioè in questo caso 6 N/mm) ed una precompressione di 50mm la forza esercitata della molla varia tra 300N (6N/mm \* 50mm) e84N (togliendo i 36 mm di corsa).

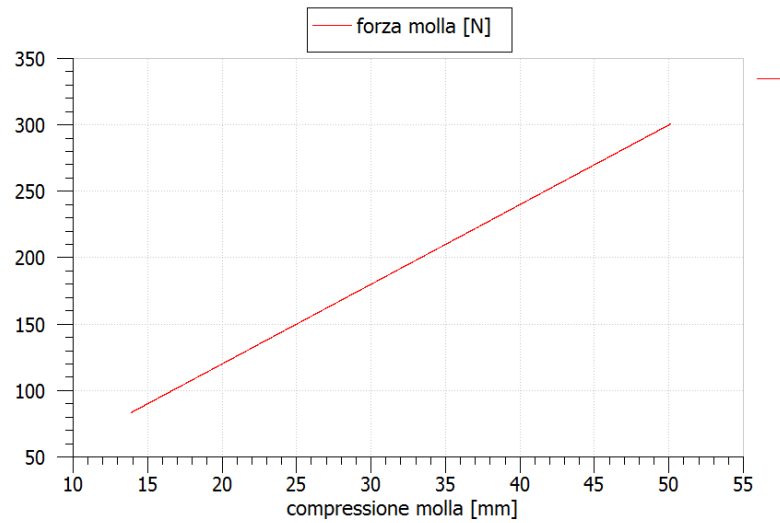


Figura 5.46. Andamento della forza in funzione della compressione

La variazione di forza tra inizio e fine corsa è molto elevata (da 300 a 84 N).

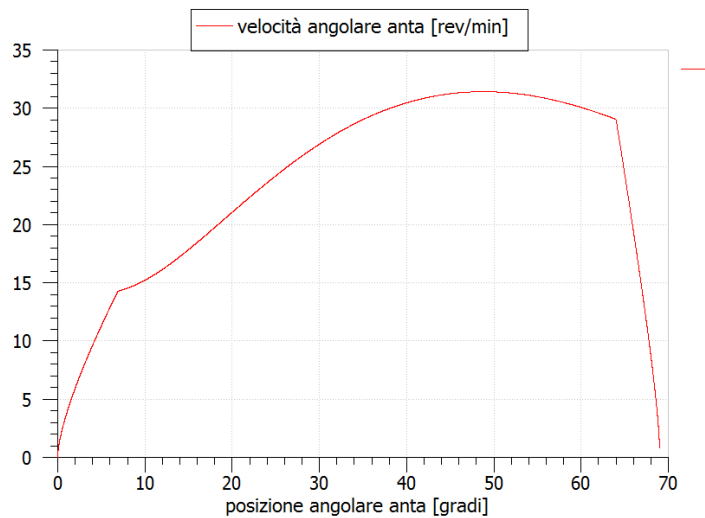


Figura 5.47. Velocità angolare dell'anta in funzione della posizione angolare

Anche in questo caso il primo punto di discontinuità si verifica quando si azzerava la forza che rappresenta la spinta dell'utente, il secondo quando entra in funzione lo *Smove* (inserito con un coefficiente di smorzamento pari a 30  $N/(m/s)$ ). La velocità angolare massima raggiunta è pari a 38,6  $rev/min$ , quasi il 20% in meno rispetto al caso con la molla a gas. Inoltre, paragonando i due tipi di molla, si nota come con la molla in acciaio la velocità aumenti più velocemente nel primo tratto per poi rallentare; infatti mentre la forza esercitata

dalla molla a gas ha un andamento costante di  $200\text{ N}$  quella in acciaio parte con una forza maggiore ( $300\text{ N}$ ) ma arriva a fine corsa con una forza minore ( $84\text{ N}$ ).

- rigidità  $4\text{ N/mm}$  – compressione  $80\text{ mm}$

Con una rigidità di  $4\text{ N/mm}$  (meno il 20% diventa  $3,2\text{ N/mm}$ ) ed una precompressione di  $80\text{ mm}$  la forza esercitata della molla varia tra  $256\text{ N}$  ( $3,2\text{ N/mm} * 80\text{mm}$ ) e  $140,8\text{ N}$ .

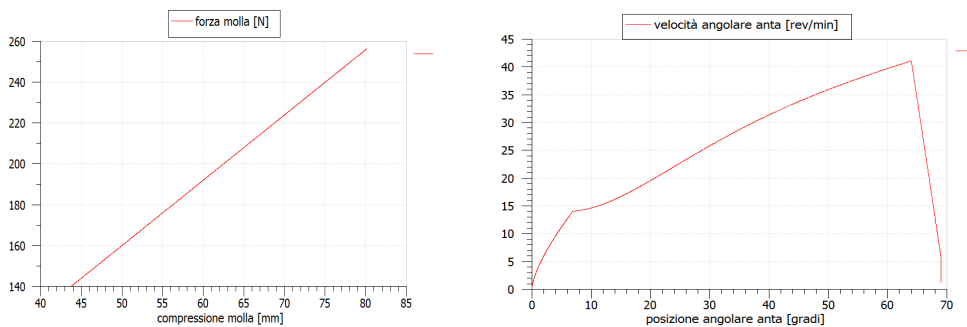
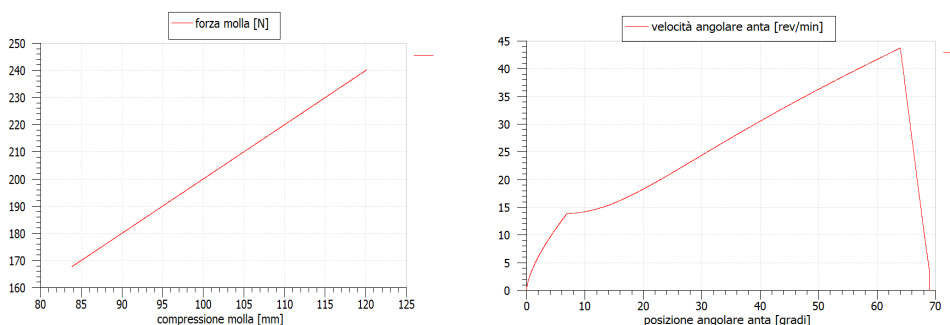


Figura 5.48. Andamento della forza e della velocità

Questa volta il gap tra forza iniziale e finale è inferiore rispetto al caso precedente ( $115,2\text{ N}$  contro i  $216\text{ N}$  precedenti). Essendo la forza finale quasi il doppio rispetto a prima questa volta il coefficiente di smorzamento dello *Smove* è pari a  $50\text{ N/(m/s)}$ . La velocità massima raggiunta è di  $41,7\text{ rev/min}$ .

- rigidità  $2,5\text{ N/mm}$  – compressione  $120\text{ mm}$

Con una rigidità di  $2,5\text{ N/mm}$  ( $2\text{ N/mm}$  nel *software*) ed una compressione iniziale di  $120\text{ mm}$  la forza esercitata della molla varia tra  $240\text{ N}$  ( $2\text{ N/mm} * 120\text{mm}$ ) e  $168\text{ N}$  ( $2\text{ N/mm} * 9,4\text{ mm}$ ).



La forza finale è di  $168\text{ N}$  e quindi è necessario uno *Smove* con coefficiente di smorzamento di  $60\text{ N/(m/s)}$ , la variazione di forza esercitata dalla molla tra

istante iniziale e finale è di 72 N e il picco massimo di velocità, che si registra subito prima che l'anta entri in contatto con lo smorzatore, è pari a 43,7 rev/min. Si nota inoltre come man mano che si aumenta la compressione e si abbassa la rigidità diminuisce il gap tra forza ad inizio e fine corsa e il grafico della velocità si avvicina sempre di più a quello della molla a gas.

Analizzando queste prove si evince quindi che esistono infiniti accoppiamenti tra rigidità e compressione che permettono di effettuare l'apertura dell'anta, permettendo anche di gestire parametri come la velocità di apertura o la forza necessaria alla chiusura dell'anta. All'interno del software compaiono però solo le due variabili rigidità e compressione iniziale. Questi due nella realtà sono legati a caratteristiche fisiche, come il materiale della molla, e geometriche, come lunghezza libera, diametro del filo, passo e diametro interno ed esterno.

Si è, quindi, proceduto alla ricerca sul mercato delle molle meccaniche, per verificare che effettivamente queste siano commercializzate e siano compatibili con il sistema in questione.

Si è riscontrato che tali molle meccaniche sono commercializzate, ad esempio, dalla "MeterSprings", azienda di Biella specializzata nel settore.

Dal catalogo online [22], nella sezione "Light duty", si trova una molla con delle caratteristiche tecniche molto simili a quelle attribuite alla molla assunta a modello nel primo esempio (rigidità 7,5N/mm, precompressione massima consentita 61mm):

Tabella 5.35. Caratteristiche della molla

Hole Diam. (mm)	Rod Diam. (mm)	Free Length (mm)	CATALOG NUMBER	Load at 1 mm Def. (N)	LOAD DEFLECTION TABLE							
					For Optimum Life (25% of free length)		For long life (30% of free length)		Maximum Operating Def. (35% of free length)		Maximum Deflection	
					Load (N)	Deflection (mm)	Load (N)	Deflection (mm)	Load (N)	Deflection (mm)	Load (N)	Deflection (mm)
A	B	C										
20	10	152	R203-424	7,5	285.0	38.0	342.0	45.6	399.0	53.2	457.5	61.0

Il significato di A, B e C è mostrato nella figura sottostante:

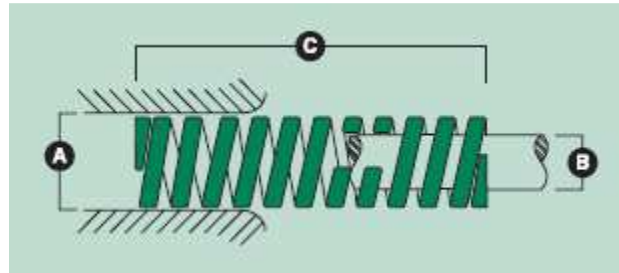


Figura 5.50. Parametri della molla

Con una rigidezza di  $7,5N/mm$  ed una precompressione di  $50mm$  (pari al 33% della lunghezza libera della molla) la molla lavorerebbe in condizioni che superano il limite per una “vita lunga”, ovvero non sarebbe garantito il mantenimento delle sue caratteristiche.

Si devono inoltre valutare gli ingombri; il diametro esterno di  $20\text{ mm}$  sarebbe compatibile con il sistema attuale, mentre ad esempio poiché una lunghezza libera pari a  $152\text{ mm}$  potrebbe essere superiore allo spazio a disposizione per il posizionamento della molla.

Tuttavia nel caso questa non fosse adattabile al sistema per problemi di ingombro si possono trovare altre soluzioni come installare una molla con rigidezza maggiore diminuendo la precompressione e quindi la lunghezza, oppure prendere una molla con rigidezza inferiore e precomprimerla maggiormente (in modo da diminuire anche la lunghezza totale) a scapito però della vita della molla stessa, o anche porre più molle in parallelo per ottenere la stessa forza esercitata ma con un ingombro in profondità minore.

Infine si sottolinea come con la stessa molla sia possibile movimentare carichi di diversa entità.

Dalla tabella 5.35 si vede infatti come con la stessa molla, ad esempio passando da una compressione iniziale del 15% ad una del 20% (+ 33%), la forza esercitata dalla stessa aumenta del 33%.

Prendiamo nuovamente in considerazione il sistema con la molla di rigidezza  $7,5N/mm$  e compressione iniziale di  $50mm$ , ma consideriamo che l’anta questa volta pesi  $7kg$  e non  $5$ .

La molla in queste condizioni non è più in grado di sollevare l’anta. Basta però aumentare la precompressione di solo  $10\text{ mm}$  perché il sistema torni a comportarsi come nel primo esempio, con l’anta di  $5\text{ kg}$  (fig. 5.51).



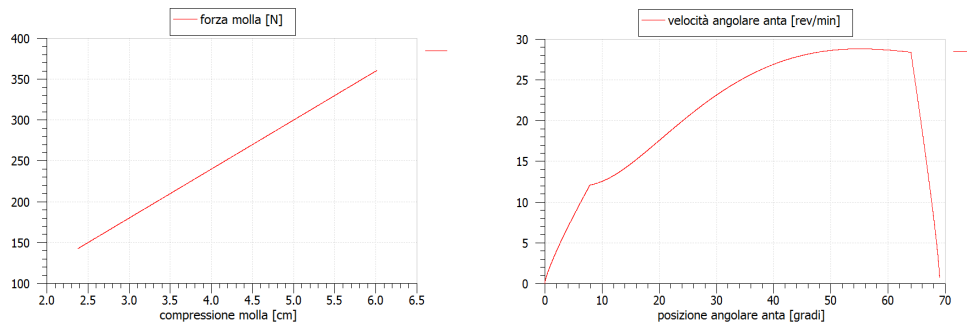


Figura 5.51. Andamento della forza e della velocità con un'anta di 7 kg

Aumentando la compressione di 1 cm la forza esercitata dalla molla varia tra 360 e 144 N, ovvero è aumentata di 60 N ( $10 \text{ mm} * 6 \text{ N/mm}$ ), mentre l'andamento della velocità angolare dell'anta in funzione della sua posizione angolare rimane pressoché identico. Ciò dimostra che con la stessa molla, regolando la compressione iniziale, sarebbe possibile movimentare diversi modelli di anta con carichi di entità anche notevolmente differenti.



## Capitolo 6 – Il prototipo

Una volta studiato il modello tramite il software LMS-AMESim, valutata la fattibilità in linea teorica della sostituzione della molla a gas con una molla in acciaio e verificata la presenza sul mercato di quest'ultima, si è passati allo studio e la formulazione di alcune proposte progettuali per la realizzazione di un prototipo.

I progetti realizzati sono stati due, con un diverso obiettivo. Nel primo si è deciso di lasciare inalterata la geometria del sistema per non renderne troppo onerosa e difficoltosa la realizzazione. Si è proceduto quindi alla sola sostituzione del corpo della molla a gas con un sistema contenente una molla in acciaio. Nel secondo invece si è pensato di poter spostare l'attacco della molla a gas sulla piastra, di poter quindi disporre di più spazio per il progetto e di conseguenza di poter utilizzare molle più lunghe.

La peculiarità richiesta per il sistema per entrambe le tipologie, oltre all'utilizzo di una molla in acciaio, è la possibilità che questa sia regolabile in base al carico da movimentare o alle richieste dell'utente; per questo il sistema dovrà essere regolabile non in fase di assemblaggio ma a posteriori, ovvero anche una volta che il sistema di sollevamento sarà montato sul mobile, ed infine la regolazione dovrà essere un'operazione relativamente semplice, eseguibile anche dall'utente stesso.

### **6.1 Progetto con mantenimento della posizione degli attacchi invariata**

Come anticipato l'idea di fondo è stata quella di mantenere intatta la geometria del sistema, in modo da non rendere troppo laboriosa la realizzazione del prototipo. Si è deciso quindi di sostituire semplicemente il corpo del pistone a gas con un altro elemento contenente la molla in acciaio, facendo in modo che la precompressione iniziale della molla fosse facilmente regolabile.

Non considerando gli attacchi lo spazio a disposizione in lunghezza è di 130 *mm* quando il dispositivo si trova a fine corsa (fig. 6.1).

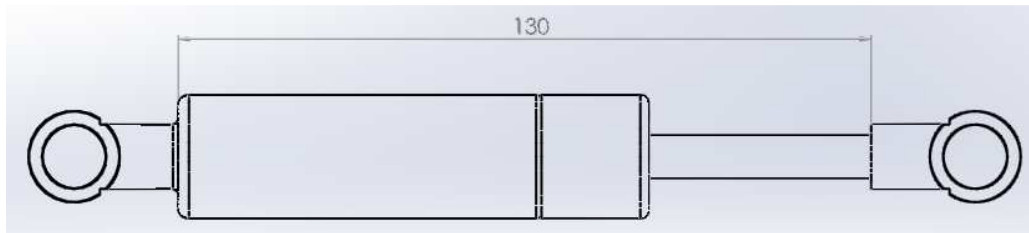


Figura 6.1. Pistone a fine corsa (anta aperta)

Mentre nella posizione iniziale di massima compressione, essendo la corsa pari a 36 mm, la distanza tra gli attacchi è pari a 94 mm.

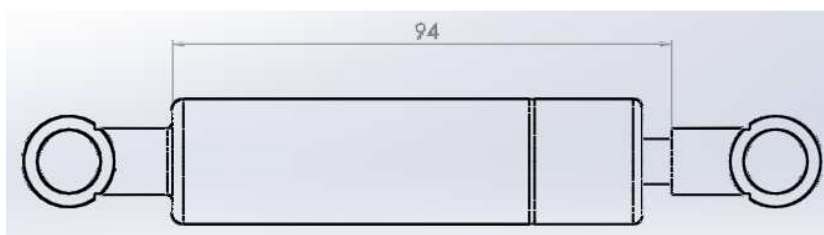


Figura 6.2. Pistone compresso (anta chiusa)

Per maggiore chiarezza durante l'esposizione, prima di vedere nel dettaglio le parti che compongono il nuovo dispositivo e come questo sia stato pensato, viene riportata in fig. 6.3 la messa in tavola dell'assieme con una vista sezionata.

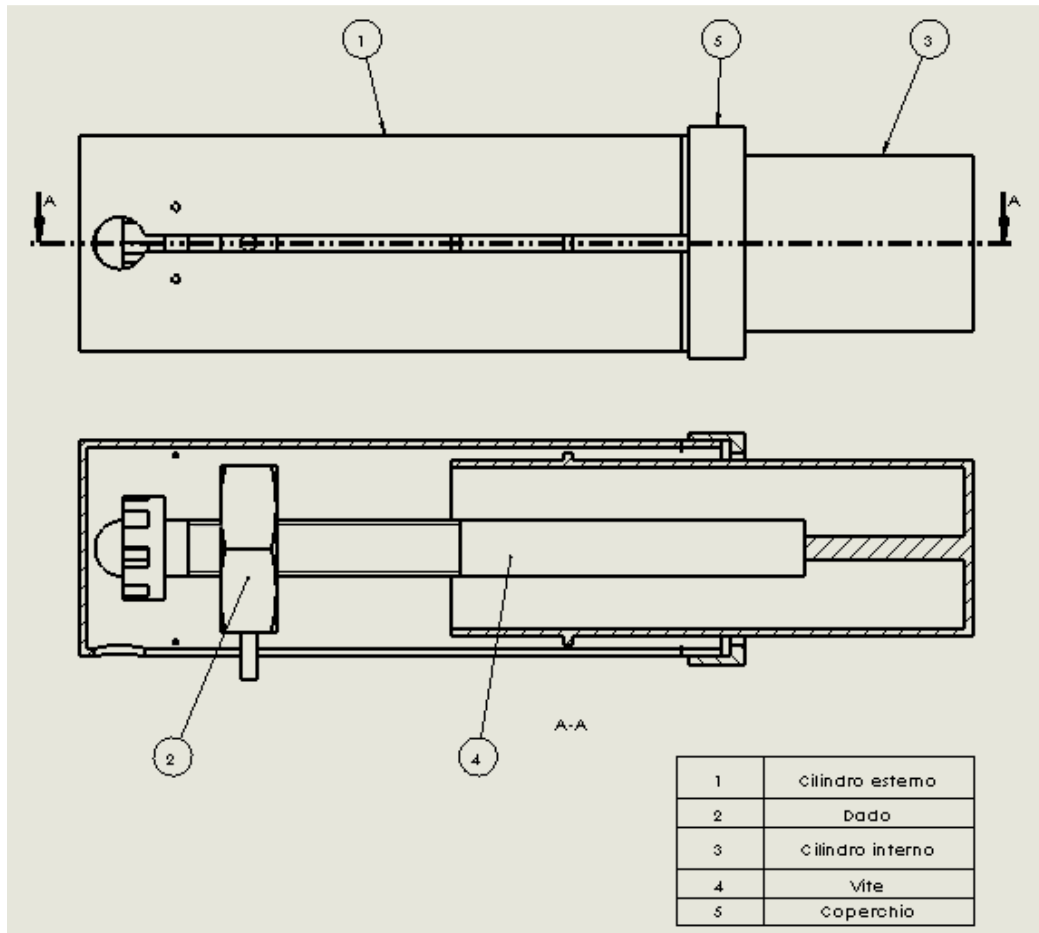


Figura 6.3. Messa in tavola dell'assieme

Come struttura di base si è subito pensato a due cilindri concentrici (uno con diametro esterno leggermente inferiore al diametro interno dell'altro, in modo da potersi inserire uno dentro l'altro), liberi di traslare lungo il loro asse principale (fig. 6.4).

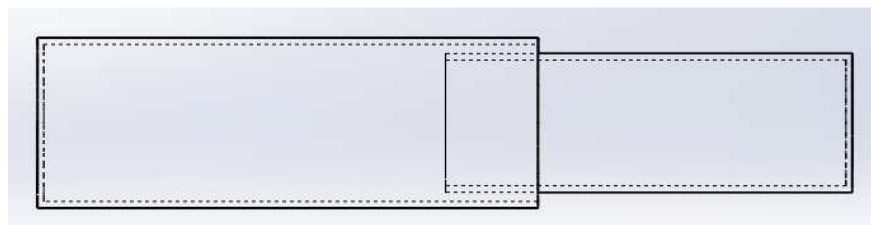


Figura 6.4. Cilindri concentrici

All'interno dei due cilindri deve essere inserita la molla. Per far sì che questa possa essere regolata è però necessario un ulteriore elemento che possa traslare lungo lo stesso asse dei cilindri e che consenta di comprimere la molla. Per fare ciò sono stati inseriti una vite senza fine ed un dado, anche loro con asse principale corrispondente all'asse dei cilindri. Utilizzando una vite senza fine con una testa particolare, che consente di avvitare la vite posizionando il cacciavite perpendicolarmente all'asse della stessa, è possibile far ruotare "a vuoto" la vite, mentre impedendo al dado di ruotare solidalmente alla vite si ottiene che questo trasli lungo la direzione principale (fig. 6.5).

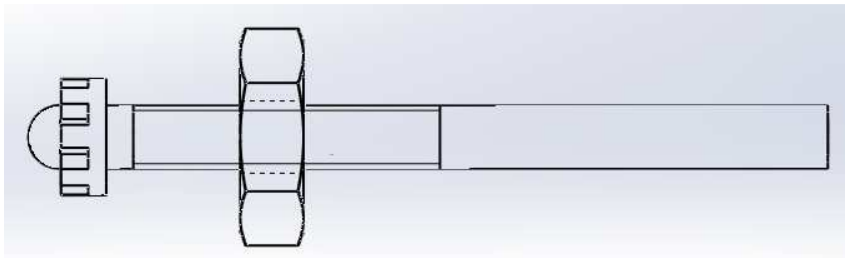


Figura 6.5. Vite senza fine e dado

Essendo la molla a contatto da una parte con la base di un cilindro e dall'altra con il dado, potendo far traslare il dado si realizza quindi la possibilità di regolare la precompressione della molla.

Per impedire al dado di ruotare si è inserita un'asola nel cilindro di dimensioni maggiori e si è posto un perno su una faccia del dado. Questo perno si inserisce all'interno dell'asola ed impedisce dunque al dado di ruotare (fig. 6.6). Inoltre, per rendere più semplice e precisa la regolazione, si è pensato alla possibilità di predisporre delle tacche sulla faccia esterna del cilindro, in corrispondenza dell'asola. Queste tacche, corrispondenti a diverse posizioni del perno del dado e quindi a diversi valori di precompressione, andrebbero ad indicare ad esempio la forza iniziale esercitata dalla molla oppure direttamente il peso dell'anta che questa supporta.

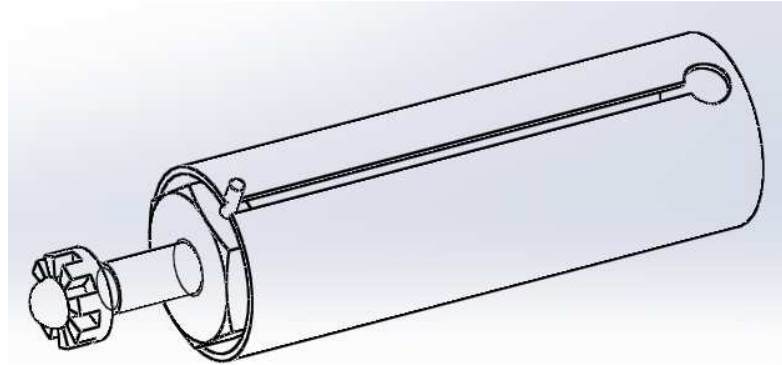


Figura 6.6. Perno del dado inserito nell'asola

Per impedire alla vite di spostarsi sono state inserite delle bacchette alla base della testa, in modo che questa non possa muoversi, specialmente quando si esercita una forza tramite il cacciavite. Inoltre si è pensato di scavare la vite lungo il suo asse principale ed all'interno del foro inserire un'altra barretta cilindrica, collegata all'altra estremità al cilindro con diametro inferiore, che funzioni come guida e consenta di mantenerne fissa l'orientazione (fig. 6.7).

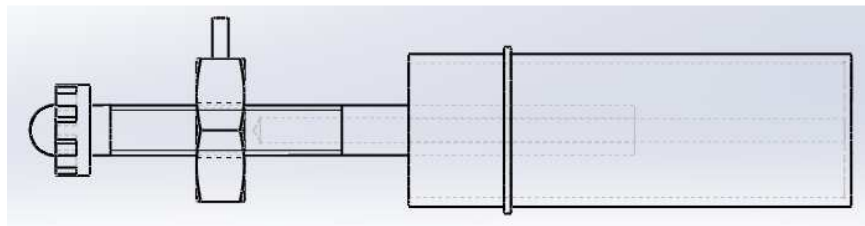


Figura 6.7. Vite e cilindro interno

La soluzione studiata per impedire ai due cilindri concentrici di sfilarsi, dovendo essere la molla sempre in compressione, è stata quella di aggiungere un piccolo spessore al cilindro di diametro inferiore, di filettare la parte finale del cilindro con diametro maggiore e di collegare questi due elementi tramite un "coperchio" che si avvita al cilindro esterno e blocca la corsa quando entra in contatto con lo spessore aggiunto al cilindro interno (fig. 6.7).

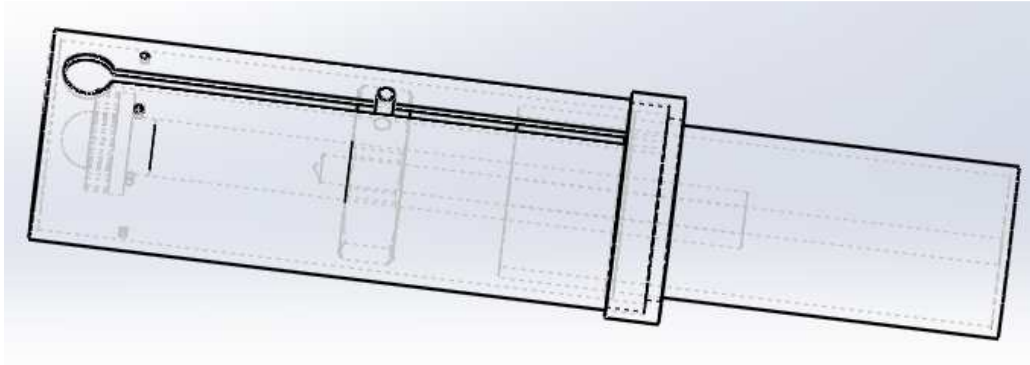


Figura 6.8. Dispositivo finale

Infine per impedire che l'impatto tra coperchio e cilindro interno fosse troppo brusco la scelta più semplice e funzionale è sembrata quella di applicare uno smorzatore (identico a quelli utilizzati per non far sbattere l'anta in fase di chiusura) ad un braccio del sistema di sollevamento, in modo da frenare l'anta nel tratto finale dell'apertura.

Una volta eseguito il progetto e modellato il sistema tramite il software "SolidWorks", partendo dai 130 mm a disposizione inizialmente ed al netto degli ingombri dovuti al sistema progettato, è risultato che lo spazio disponibile per la molla è di circa 108 mm (lunghezza in cui è già compresa la precompressione della molla). Questo spazio risulta molto limitato, in quanto oltre alla precompressione andrà aggiunta la compressione pari alla corsa, 36mm circa, più un altro tratto per consentire la regolazione della molla. In genere però le normali molle in acciaio sul mercato consentono al massimo una compressione del 40% rispetto alla loro lunghezza libera affinché la molla non venga deformata e funzioni correttamente (inoltre minore è la percentuale di compressione e maggiore sarà la vita operativa della molla).

Da questo risulta che la soluzione ideale sarebbe quella di poter disporre di uno spazio maggiore, con una molla più lunga, in cui la corsa qui necessaria corrisponda ad una percentuale di compressione minore. Inoltre essendo l'andamento della forza esercitata dalla molla lineare e proporzionale alla compressione, con una molla più lunga sarebbe possibile diminuire la variazione tra forza iniziale e finale.

Nonostante queste considerazioni, per effettuare un primo prototipo si è comunque deciso di non modificare la geometria e di cercare delle molle adatte alla soluzione del problema per verificare che effettivamente il nuovo sistema funzioni adeguatamente.

Sempre dal sito internet della "MeterSprings", azienda produttrice di vari componenti meccanici tra cui molle a compressione in acciaio, sono stati



individuati due modelli adatti alle caratteristiche geometriche ed alle forze necessarie del sistema.

La prima, identificata a catalogo con il codice “D13030”, è una molla con lunghezza libera pari a 130 mm, che consente una compressione massima di 71,1 mm (pari al 55% della lunghezza iniziale, superiore alle normali molle in commercio), con una rigidezza pari a 5,25 N/mm, diametro esterno di 18,5 mm e diametro del filo di 2,5 mm.

Essendo lo spazio a disposizione all'interno del sistema progettato di 108 mm, la compressione iniziale della molla risulta:

$$130 - 108 = 22 \text{ mm}$$

e quindi la forza esercitata dalla molla a fine corsa sarà pari a:

$$22 \text{ mm} * 5,25 \text{ N/mm} = 115,5 \text{ N}$$

mentre quando l'anta è chiusa, la compressione sarà pari a:

$$22 \text{ mm} + 36 \text{ mm} = 58 \text{ mm}$$

dove 36mm rappresenta la corsa, e la forza esercitata quando l'anta è chiusa sarà quindi pari a:

$$58 \text{ mm} * 5,25 \text{ N/mm} = 305 \text{ N}$$

Inoltre essendo la compressione massima consentita pari a 71,1 mm, risulta un'ulteriore possibilità di regolazione di:

$$71,1 - 58 = 13,1 \text{ mm}$$

che corrispondono ad una variazione di forza pari a:

$$13,1 \text{ mm} * 5,25 \text{ N/mm} = 68,3 \text{ N}$$

Ovvero la forza esercitata dalla molla, ad inizio e fine corsa, può variare da un minimo compreso tra 305 e 115,5 N ad un massimo compreso tra 373,3 e 183,8N.

Sono state eseguite poi diverse prove sul *software*, aumentando poco alla volta la massa dell'anta per vedere questa molla fino a che peso può supportare. Risulta che con questa molla si potrebbero movimentare ante fino ad un peso di 3,25 kg, ma essendo due i sistemi di sollevamento ciò vuol dire che nel

complesso si potrebbero sollevare ante fino a 6,5 kg (sempre con un'anta di dimensioni 480 x 600 mm).

La seconda molla, leggermente più corta ma con rigidità maggiore, adatta quindi ad ante più pesanti, identificata dal codice "D23320", è una molla con lunghezza libera pari a 120 mm, che consente una compressione massima di 50,6 mm (pari al 42,17 % della lunghezza iniziale, valore leggermente superiore alle normali molle in commercio), con una rigidità pari a 11,8 N/mm, diametro esterno di 19,2 mm e diametro del filo di 3,2 mm.

Essendo sempre lo spazio a disposizione all'interno del sistema progettato di 108 mm, la compressione iniziale della molla risulta:

$$120 - 108 = 12 \text{ mm}$$

e quindi la forza esercitata dalla molla a fine corsa sarà pari a:

$$12 \text{ mm} * 11,8 \text{ N/mm} = 141,1 \text{ N}$$

mentre quando l'anta è chiusa, la compressione sarà pari a:

$$12 \text{ mm} + 36 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$$

e la forza esercitata quando l'anta è chiusa sarà quindi pari a:

$$48 \text{ mm} * 11,8 \text{ N/mm} = 564,5 \text{ N}$$

Inoltre essendo la compressione massima consentita pari a 50,6 mm, risulta un'ulteriore possibilità di regolazione di:

$$50,6 - 48 = 2,6 \text{ mm}$$

che corrispondono ad una variazione di forza pari a:

$$2,6 \text{ mm} * 11,8 \text{ N/mm} = 30,6 \text{ N}$$

La forza esercitata dalla molla, ad inizio e fine corsa, può comunque variare da un minimo compreso tra 564,5 e 141,1 N ad un massimo compreso tra 595,1 e 171,7 N. Con questa molla (considerando che i sistemi di sollevamento sono due) si potrebbero sollevare ante fino a 9 kg.

In questo caso la possibilità di regolazione risulta ancora inferiore rispetto al primo caso mentre la variazione di forza tra inizio e fine corsa risulta molto

elevata. Questo problema, come precedentemente esposto, potrebbe essere ovviato tramite l'utilizzo di molle con lunghezza maggiore e rigidità minore.

## 6.2 Progetto con spostamento di un attacco e conseguente allungamento della distanza tra gli attacchi

Di seguito, sapendo che la lunghezza delle molle utilizzate precedentemente non è ideale per le peculiarità del sistema (a causa del poco spazio che impone una variazione di forza molto elevata tra inizio e fine corsa e una possibilità di regolazione molto limitata) è stato progettato un altro sistema, ipotizzando di modificare la piastra su cui si aggancia il sistema di sollevamento anta e di spostare l'attacco su cui si andrà a fissare la molla.

Prima di tutto viene riportata la messa in tavola del dispositivo ideato con una vista in sezione per rendere più immediata poi la spiegazione delle singole parti (fig. 6.9).

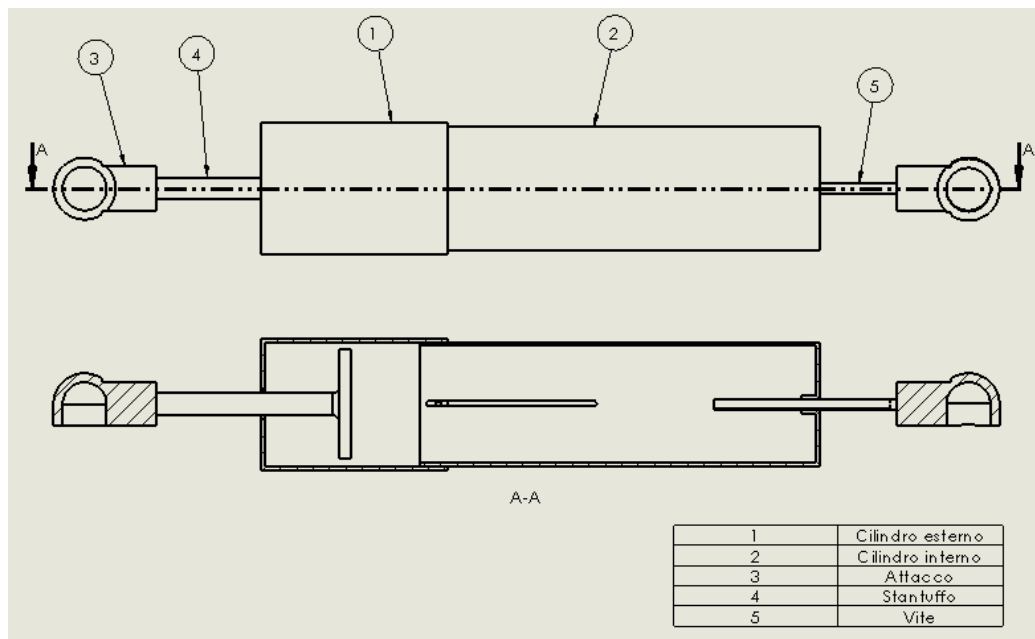


Figura 6.9. Messa in tavola del dispositivo

In questo caso si è progettato un sistema costituito da due cilindri, uno con diametro interno pari al diametro esterno dell'altro, filettati in modo da poter essere avvitati (fig. 6.10).

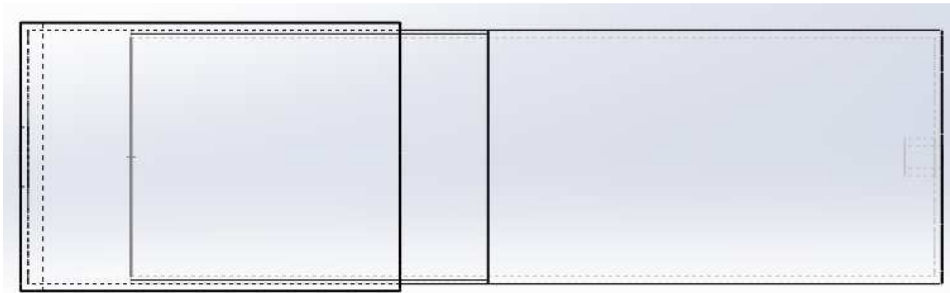


Figura 6.10. Cilindri esterno ed interno avvitati

All'interno del cilindro esterno verrà inserito un perno con uno stantuffo, libero di traslare lungo l'asse del cilindro, e su questo stantuffo andrà ad appoggiare una delle estremità della molla (fig. 6.11).

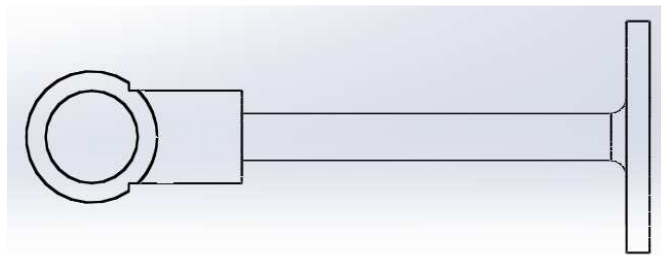


Figura 6.11. Attacco con stantuffo

Per quanto riguarda il cilindro interno invece, sul fondo si lascerà uno spessore ed al centro della base si opererà un foro filettato. All'interno di questo foro andrà ad avvitarsi una vite alla cui estremità andrà agganciato l'attacco. In questo modo avvitando la vite si potrà avvicinare o allontanare l'attacco dal cilindro interno (fig. 6.12).



Figura 6.12. Vite che permette la regolazione dell'attacco

In questo modo, poiché la molla appoggia da una parte sullo stantuffo e dall'altra sulla base del cilindro interno, avvitando i due cilindri è possibile aumentare la precompressione della molla, mentre, dovendo essere la distanza

tra gli attacchi costanti, svitando la vite collegata al cilindro interno si riporta l'attacco nella giusta posizione. Inoltre conoscendo il passo della filettatura e la rigidità della molla è possibile sapere l'incremento della forza per ogni giro effettuato dal cilindro; volendo, per rendere il sistema più preciso anche in questo caso potrebbero essere evidenziate delle tacche sulla faccia esterna del cilindro che indichino ad esempio il valore della forza associato alla posizione. Infine sono state aggiunte due asole al cilindro interno e due fori a quello esterno, in modo che una volta raggiunta la posizione desiderata possano essere inseriti due perni che impediscano la rotazione tra i due. Il sistema complessivo risulta così quello di figura 6.13.

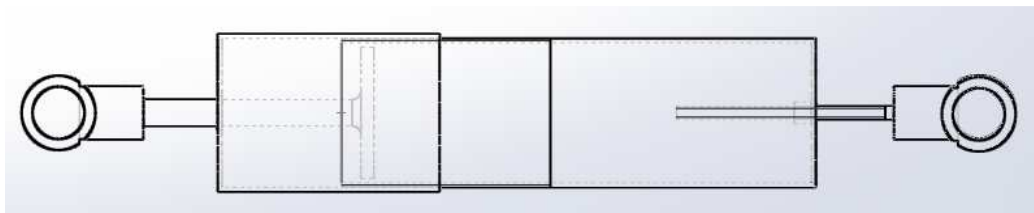


Figura 6.13. Dispositivo finale

Per effettuare un paio di esempi sono state ricercate altre due molle che potrebbero adattarsi a questo sistema.

La prima, identificata a catalogo con il codice "D13420", è una molla con lunghezza libera pari a 200 mm, che consente una compressione massima di 126,8 mm (pari al 63,4% della lunghezza iniziale, superiore alle normali molle in commercio), con una rigidità pari a 3,68 N/mm, diametro esterno di 28,2 mm e diametro del filo di 3,2 mm.

Non avendo più il vincolo dello spazio (potendo spostare un attacco) si ipotizza una precompressione pari a 50 mm, che corrisponde ad una forza esercitata a fine corsa pari a:

$$50 \text{ mm} * 3,7 \text{ N/mm} = 184 \text{ N}$$

mentre quando l'anta è chiusa, la compressione sarà pari a:

$$50 \text{ mm} + 36 \text{ mm} = 86 \text{ mm}$$

dove 36mm rappresenta la corsa, e la forza esercitata quando l'anta è chiusa sarà quindi pari a:

$$86 \text{ mm} * 3,7 \text{ N/mm} = 316,5 \text{ N}$$

Inoltre essendo la compressione massima consentita pari a 126,8 *mm*, risulta un'ulteriore possibilità di regolazione di:

$$126,8 - 86 = 40,8 \text{ mm}$$

che corrispondono ad una variazione di forza pari a:

$$40,8 \text{ mm} * 3,7 \text{ N/mm} = 150,1 \text{ N}$$

Ovvero la forza esercitata dalla molla, ad inizio e fine corsa, può variare da un minimo compreso tra 184 e 316,5N ad un massimo compreso tra 334,1 e 466,6 N.

In questo caso ci sarebbe la possibilità di un range di utilizzo molto elevato, per ante con un peso fino a 9,5 kg (considerando che i sistemi di sollevamento sono due).

La seconda molla, identificata a catalogo con il codice "D23420", ha le stesse caratteristiche geometriche dalla prima ma con una rigidità inferiore, pari a 3,07 N/mm.

Anche in questo caso si ipotizza una precompressione pari a 50 *mm*, che corrisponde ad una forza esercitata a fine corsa pari a:

$$50 \text{ mm} * 3,1 \text{ N/mm} = 153,5 \text{ N}$$

mentre quando l'anta è chiusa, la compressione sarà pari a:

$$50 \text{ mm} + 36 \text{ mm} = 86 \text{ mm}$$

dove 36mm rappresenta la corsa, e la forza esercitata quando l'anta è chiusa sarà quindi pari a:

$$86 \text{ mm} * 3,1 \text{ N/mm} = 264,0 \text{ N}$$

Inoltre essendo la compressione massima consentita pari a 126,8 *mm*, risulta un'ulteriore possibilità di regolazione di:

$$126,8 - 86,0 = 40,8 \text{ mm}$$

che corrispondono ad una variazione di forza pari a:

$$40,8 \text{ mm} * 3,1 \text{ N/mm} = 125,3 \text{ N}$$

Ovvero la forza esercitata dalla molla ad inizio e fine corsa può variare da un minimo compreso tra 153,5 e 264,0N ad un massimo compreso tra 278,8 e 389,3N. Questa molla sarebbe adatta per ante fino ad un massimo di 7 kg (sempre considerando che i sistemi di sollevamento sono due e quindi ovviamente utilizzando due molle).





## Conclusioni

Come da obiettivo prefissato si è riusciti a ricreare un modello funzionale dell'apertura e della chiusura dei sistemi di sollevamento anta a ribalta e basculante, che consentano di effettuare modifiche ed analizzare i risultati previsti in tempi brevi e senza la necessità di creare un modello fisico.

È stata poi verificata la possibilità di sostituire le molle a gas con delle molle in acciaio. Questo permetterebbe di poter effettuare piccole regolazioni sulla molla per impostare la velocità di apertura a piacimento dell'utente ma soprattutto di poter utilizzare la stessa molla per movimentare carichi differenti e quindi anche di poter tenere a stock un numero limitato di varianti del prodotto.

La realizzazione del modello virtuale tramite *LMS Imagine.Lab AMESim* sarebbe quindi uno strumento molto potente per verificare in tempo reale quale sia la molla più adatta al sistema o per stabilire il range di utilizzo di ognuna.

Il tipo di approccio al problema che si è tenuto e gli strumenti utilizzati offrono inoltre altre nuove prospettive. Ad esempio si potrebbe anche collegare il modello creato ad un sistema haptic, così da poter provare direttamente l'apertura e la chiusura attraverso un ritorno in forze. Un produttore che avesse a disposizione questi sistemi potrebbe quindi testare direttamente la configurazione finale del prodotto senza che questo sia stato realmente realizzato oppure un venditore di mobili sarebbe in grado di far provare all'acquirente il suo prodotto e di fargli scegliere la molla e la regolazione della stessa a suo piacimento prima che il sistema di sollevamento anta sia stato effettivamente montato sul mobile.

In questo modo è stato validato l'utilizzo di questo *software* per la soluzione del problema proposto ma è anche emerso come questo abbia delle grandi potenzialità nei più svariati settori e come possa essere di aiuto nella fase di progettazione riducendone costi e tempi.



## Bibliografia

- [1] Antonio Palumbo, “Modelica: stato dell’arte, ambienti di simulazione e principali campi applicativi”, 2012
- [2] <https://modelica.org/>
- [3] <http://www.modelica.it/tutorial/>
- [4] <https://www.modelica.org/libraries>
- [5] <https://www.openmodelica.org/>
- [6] <http://www.3ds.com/products/catia/portfolio/dymola>
- [7] <http://www.scicos.org/scicosmodelica.html>
- [8] <http://www.itisim.com/simulationx/>
- [9] <http://mosim.swt.tu-berlin.de/wiki/doku.php?id=projects:mosilab:home>
- [10] <http://jmodelica.org/>
- [11] <http://www.maplesoft.com/products/maplesim/>
- [12] “Planar Mechanical Demos”, Copyright LMS Imagine 2011
- [13] <http://www.lmsitaly.com/imagine-amesim-intro>
- [14] [http://www.fitavr.com/esterni/stabilus/molle\\_a\\_gas-gas\\_springs/Molle\\_a\\_gas\\_e\\_ammortizzatori.pdf](http://www.fitavr.com/esterni/stabilus/molle_a_gas-gas_springs/Molle_a_gas_e_ammortizzatori.pdf)
- [15] [http://www.weforma.com/uploads/media/Weforma-WM-G-12-13\\_10.pdf](http://www.weforma.com/uploads/media/Weforma-WM-G-12-13_10.pdf)
- [16] [http://www.salice.com/Prodotti.aspx?Language=it#/Lift\\_74/Anta\\_a\\_ribalta\\_248](http://www.salice.com/Prodotti.aspx?Language=it#/Lift_74/Anta_a_ribalta_248)
- [17] Joan Segarra Gasull, “Simulation of the interaction with a cupboard hinge system by means of 3D visualization and haptic interface”, 2010
- [18] [http://www.salice.com/uploads/pdf/ita/Salice\\_Push\\_ita.pdf](http://www.salice.com/uploads/pdf/ita/Salice_Push_ita.pdf)
- [19] [http://www.salice.com/Prodotti.aspx?Language=it#/Lift\\_74/Anta\\_ad\\_apertura\\_b asculante\\_251](http://www.salice.com/Prodotti.aspx?Language=it#/Lift_74/Anta_ad_apertura_b asculante_251)
- [20] <http://www.vapsint.com/wp-content/uploads/2012/03/Furniture-ita.pdf>
- [21] [http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/\\_ontomos/paginas/AMESim4.2.0/libplm/doc/pdf/lib\\_planar\\_mechanical.pdf](http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/_ontomos/paginas/AMESim4.2.0/libplm/doc/pdf/lib_planar_mechanical.pdf)
- [22] [http://www.meterspec.it/download/Molle\\_stampi.pdf](http://www.meterspec.it/download/Molle_stampi.pdf)