



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Progettazione circuito oleodinamico di un carrello aereo

*Nicola Rossi, Mattia Sittoni, Veton Sulejmani,
Giovanni Mamone Capria*

CORSO DI OLEODINAMICA E PNEUMATICA

1 luglio 2019

Indice

1	Introduzione	1
2	Analisi meccanica	2
2.1	Descrizione dei componenti	2
2.2	Modello meccanico proposto	3
2.3	Funzionamento	4
2.3.1	Apertura	4
2.3.2	Chiusura	4
2.3.3	Riposo	4
2.4	Analisi delle forze	5
2.4.1	Analisi analitica	5
2.4.2	Analisi numerica	6
3	Analisi oleodinamica	7
3.1	Elenco dei componenti	7
3.2	Descrizione e dimensionamento dei componenti	8
3.2.1	Pistone principale	8
3.2.2	Pistone di blocco	9
3.2.3	Valvole direzionali 4/3	10
3.2.4	Valvola riduttrice di pressione	11
3.2.5	Filtro	12
3.2.6	Accumulatore	13
3.2.7	Valvola di sovrappressione	14
3.2.8	Pompa	15
3.2.9	Fluido oleodinamico	17
3.2.10	Piping	17
3.2.11	Serbatoio	18
3.3	Perdite di carico	19
3.3.1	Perdite di carico distribuite	19
3.3.2	Perdite di carico localizzate	20
4	Simulazione su software	22
4.1	Circuito principale	22
4.1.1	Descrizione circuito principale	22
4.1.2	Analisi della simulazione	25
4.2	Circuito dell'accumulatore	27
4.2.1	Descrizione del circuito dell'accumulatore	27
4.2.2	Analisi della simulazione	29
4.3	Considerazioni finali	31

1 Introduzione

Questa relazione di progetto è volta all'illustrazione e progettazione di un circuito oleodinamico relativo al carrello di atterraggio di un aereo di linea con le dovute approssimazioni, ma realizzabile. Lo studio è stato effettuato sulla base del carrello di atterraggio retrattile di un Airbus A320, uno fra i modelli più utilizzati per tratte a medio raggio nell'aviazione civile. Il sistema meccanico ha la funzione di sostenere il peso del velivolo quando è a terra e ne permette le manovre di decollo e atterraggio. In un generico sistema di atterraggio, sono individuabili solitamente tre singoli carrelli, due posteriori ed uno anteriore.

Si è deciso di concentrare lo studio su un singolo carrello posteriore, poiché dal punto di vista oleodinamico rappresenta un sistema sufficientemente completo. Il lavoro è stato dunque concentrato sullo studio del cinematismo di un solo carrello posteriore nella fase di apertura e chiusura, al fine di dimensionare correttamente i componenti che lo costituiscono, garantendone funzionalità e margini di sicurezza.

2 Analisi meccanica

2.1 Descrizione dei componenti

Il carrello di atterraggio di un Airbus A320 può essere verosimilmente semplificato da un modello costituito dai seguenti componenti:

1. **Corpo Principale:** rappresenta la struttura portante del carrello a cui sono collegati pistone principale e ruote; inoltre è libero di ruotare attorno al suo punto di aggancio al telaio.
2. **Ruote:** per la nostra analisi rappresentano solamente una componente massiva del sistema.
3. **Telaio:** struttura dell'aereo, interna alle ali, a cui si aggancia il carrello.
4. **Pistone principale:** organo idraulico che ha il compito di movimentare l'intero sistema e deve dunque sostenerne il peso, fino a raggiungimento di una delle due posizioni limite.
5. **Pistone di blocco:** ha la funzione di bloccare il meccanismo nel momento in cui esso si trova nella posizione di massima estensione.
6. **Bracci ausiliari:** sono necessari per consentire il corretto funzionamento del sistema di bloccaggio.
7. **Impianto oleodinamico:** sistema idraulico in grado di trasferire l'energia necessaria per movimentare il carrello attraverso l'estensione e la contrazione dei pistoni.

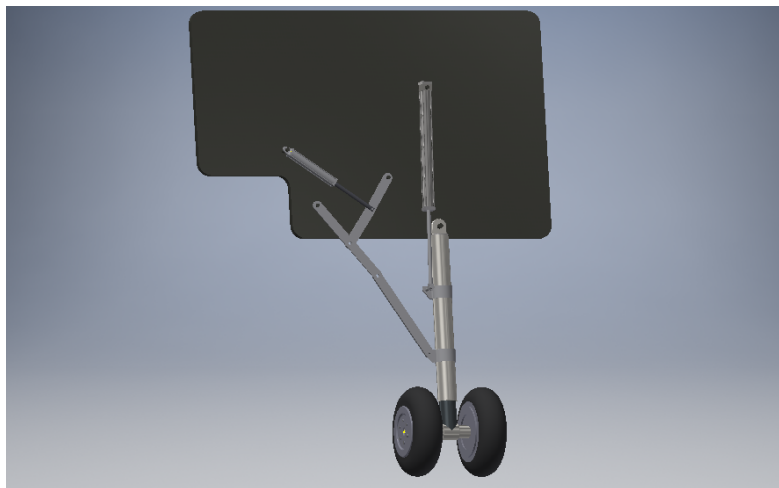


Figura 1: Modello meccanico software 3D.

2.2 Modello meccanico proposto

Come indicato precedentemente, si è deciso di limitare lo studio della cinematica ai carrelli posteriori dell'aereo, perché questi si aprono e chiudono su un piano perpendicolare alla direzione della velocità del velivolo e quindi della componente di drag (resistenza) della forza aerodinamica. Per quanto riguarda questi carrelli, il drag viene dunque sostenuto dai vincoli (cerniere) del sistema a telaio.

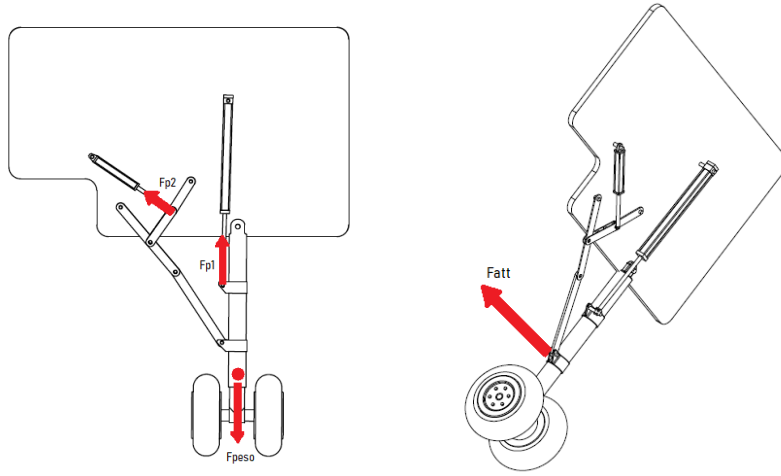


Figura 2: Forze in gioco.

Per il carrello anteriore, questa assunzione non sarebbe stata valida, in quanto l'apertura di esso avviene proprio nella direzione in cui agisce il drag, perciò sarebbe stato necessario uno studio cinematico più articolato, che è stato evitato in quanto concentrarsi sulla cinematica non è il fine ultimo della progettazione. Successivamente è stato ulteriormente semplificato il problema, studiando un meccanismo per cui l'apertura e chiusura dei carrelli lavorino su un unico piano, in modo da non dover considerare movimenti tridimensionali che avrebbero il solo scopo di ridurre l'ingombro del sistema.

Per quanto riguarda i contributi delle masse in gioco dei componenti nel modello proposto, è stato pensato di considerare unicamente l'elemento di massa preponderante, e dunque concentrarla in un unico punto, che sarà il centro di massa del sistema. Ciò significa che il quadrilatero di bracci che sostengono il pistone di blocco/sblocco, e quest'ultimo, non contribuiscono in maniera significativa alla massa totale del carrello.

2.3 Funzionamento

2.3.1 Apertura

Nella fase antecedente all'azionamento, il carrello si trova all'interno dell'ala, in posizione quasi orizzontale. I pistoni saranno quindi in fase di completa contrazione, ed il peso totale del carrello sarà sostenuto da un sistema di aggancio. Successivamente all'azionamento meccanico, ordinato dalla cabina di pilotaggio, i portelloni si apriranno, permettendo ai pistoni di azionarsi e dunque al carrello di iniziare la fase di discesa.

Il pistone principale ha lo scopo di permettere una discesa graduale e controllata del corpo principale, mentre il pistone secondario segue il movimento dei bracci ausiliari, andando poi a bloccare il carrello una volta che esso è totalmente esteso. Questo accorgimento è finalizzato a mantenere in sicurezza il sistema, impedendo che eventuali perturbazioni esterne possano alterarne la posizione. Nel momento dell'atterraggio, il carrello è sottoposto infatti a numerose sollecitazioni, ed è perciò necessario garantirne il fissaggio.

2.3.2 Chiusura

Nella fase di chiusura, in risposta all'azionamento da cabina, il pistone secondario, ritraendosi, andrà a sbloccare il meccanismo di sicurezza e permetterà dunque al pistone primario di completare la fase di risalita.

Una volta conclusasi, i portelloni si richiuderanno, bloccando le ruote in posizione orizzontale.

Per entrambe le fasi, apertura e chiusura, è stato assunto un tempo di manovra di circa 12 secondi.

2.3.3 Riposo

Durante la fase di volo, il sistema oleodinamico che permette il movimento del carrello di atterraggio rimane spento, ed esso è sostenuto meccanicamente dalla fusoliera dell'aereo.

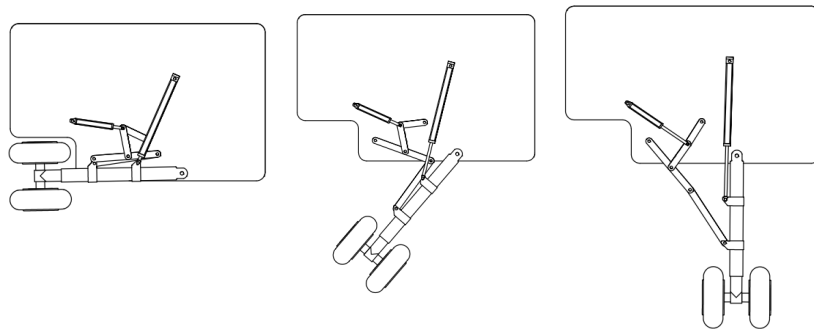


Figura 3: Fasi di apertura.

3 Analisi oleodinamica

3.1 Elenco dei componenti

Il circuito oleodinamico, progettato per garantire il corretto funzionamento del carrello di atterraggio, si compone di due parti: la prima comune ad entrambi gli attuatori, la seconda divisa in due diramazioni contenenti gli elementi necessari al controllo differenziato dei due pistoni.

I componenti del circuito sono:

1. **Pistone principale:** lavora contemporaneamente al pistone di blocco. Ha il ruolo di movimentare l'intero meccanismo.
2. **Pistone di blocco:** segue il movimento dei bracci in apertura e chiusura, bloccandone la dinamica nella posizione di massima estensione.
3. **Valvole direzionali 4/3:** attraverso un azionamento di tipo diretto permette di direzionare il fluido in modo da ottenere un movimento di estensione, blocco o chiusura dell'attuatore.
4. **Valvola riduttrice di pressione** viene impiegata per ridurre la pressione in una determinata parte del circuito.
5. **Filtro:** purifica l'olio da eventuali impurità. È posizionato in scarico al serbatoio.
6. **Accumulatore:** sopprime come fonte di energia di riserva per completare un ciclo operativo nel caso di guasto della pompa o simile emergenza.
7. **Valvola di sovrappressione:** in caso di pressione troppo elevata nella condotta, devia il flusso a scarico al fine di preservare tutti i componenti del circuito.
8. **Pompa:** converte l'energia meccanica fornita dal motore in energia idraulica. Sfrutta dunque quest'ultima per generare una differenza di pressione e portata nel circuito.
9. **Motore:** macchina elettrica che permette di azionare la pompa.
10. **Fluido oleodinamico:** mezzo usato per trasmettere l'energia erogata dal generatore (pompa) all'utenza (attuatore).
11. **Piping:** insieme di tubature e raccordi, che collegano i componenti del circuito e permettono il trasporto del fluido.
12. **Serbatoio:** contenitore in cui viene immagazzinato e reso disponibile il fluido necessario al funzionamento delle componenti.

3.2 Descrizione e dimensionamento dei componenti

3.2.1 Pistone principale

Questo componente è stato scelto secondo la stima fatta nella parte di analisi numerica delle forze, la quale ha restituito la forza massima necessaria per il funzionamento del meccanismo. Si è dunque deciso di optare per un modello che potesse garantire una forza, lato spinta e lato stelo, a livello teorico almeno doppia rispetto a quella necessaria per garantire un buon margine di sicurezza. L'attuatore che meglio risponde alle necessità del meccanismo è dunque un cilindro a tiranti di tipo differenziale. Dal modello meccanico proposto risulta necessaria una corsa di almeno 1060 mm per completare adeguatamente entrambe le fasi (apertura e chiusura).

Si è di conseguenza verificato che le dimensioni del pistone, il diametro lato pistone e lato stelo ed il tipo di fissaggio non fossero limitanti per le forze in gioco.

Modello: Bosch Rexroth, cilindro differenziale serie CD210

Caratteristiche:

- Forza massima: 100.00 kN;
- Forza lato pistone: 257.71 kN;
- Forza lato stelo: 216.49 kN;
- Pressione nominale: 210 bar;
- Lunghezza corsa: 1160 mm;
- Diametro cilindro D: 125 mm;
- Diametro stelo d: 50 mm;
- Tipo di fissaggio: R;
- Forze e velocità:
 - Area di spinta: $A_1 = \frac{(\pi \cdot D^2)}{4} = 1.2272 \text{ dm}^2$
 - Area di tiro: $A_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = 1.0308 \text{ dm}^2$
 - Forza idraulica: $F_p = |p_1 \cdot A_1 - p_2 \cdot A_2| = 41.220 \text{ kN}$
 - Velocità teorica: $V = \frac{Q}{A} = 0.0871 \text{ m/s}$

3.2.2 Pistone di blocco

Per il pistone di blocco non si può avere una stima sufficientemente precisa della forza che deve esercitare poichè, quando il carrello si trova nelle posizioni limite, il sistema è in una situazione statica, dunque la sua funzione è solo quella di mantenerla tale. L'unica grandezza su cui ci si è basati per la scelta di questo pistone è perciò la corsa dell'attuatore, necessaria a seguire correttamente il movimento dei bracci secondari, pari a 722 mm. Il pistone scelto ci garantisce una corsa di 760 mm.

Modello: Bosch Rexroth, cilindro differenziale serie CD210

Caratteristiche:

- Forza massima: 8 kN;
- Forza lato pistone: 14.7 kN;
- Forza lato stelo: 7.1 kN;
- Pressione nominale: 75 bar;
- Lunghezza corsa: 760 mm;
- Diametro cilindro D: 50 mm;
- Diametro stelo d: 36 mm;
- Tipo di fissaggio: B;
- Forze e velocità:
 - Area di spinta: $A_1 = \frac{(\pi \cdot D^2)}{4} = 0.1963 \text{ dm}^2$
 - Area di tiro: $A_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = 0.0946 \text{ dm}^2$
 - Forza idraulica: $F_p = |p_1 \cdot A_1 - p_2 \cdot A_2|$
 - Velocità teorica: $V = \frac{Q}{A} = 0.063 \text{ m/s}$

Secondo il modello scelto i pistoni andranno fissati secondo l'immagine seguente:

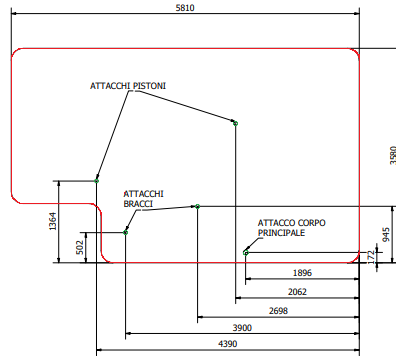


Figura 5: Posizioni con quote degli attacchi (in verde) a telaio (in rosso).

3.2.3 Valvole direzionali 4/3

Per entrambi i pistoni sono state scelte le stesse valvole direzionali, con la differenza che lavorano a pressioni diverse.

Per quanto riguarda il primo attuatore, attraverso un segnale adeguatamente imposto la valvola scelta permette di coordinare le 3 fasi del movimento. Durante la prima fase del segnale la valvola si sposta in posizione A (quella di mandata), in modo che il fluido possa spingere il cilindro per effettuare il movimento di apertura del carrello. Quando questa fase viene portata a compimento il segnale riporta la valvola in posizione intermedia, cosicchè non ci sia movimento di fluido e il sistema resti in una situazione stazionaria. La terza e ultima fase è quella di chiusura, di conseguenza il segnale non farà altro che portare la valvola in posizione B in modo che si invertano mandata e scarico per poter permettere al pistone un movimento contrario a quello precedente.

Un discorso analogo può essere fatto per il pistone di bloccaggio; la meccanica di funzionamento è la stessa

Modello: Bosch Rexroth, valvola direzionale proporzionale 4/3, a controllo diretto, con feedback posizione elettronico, con elettronica integrata (OBE). Tipo: 4WREE.



Figura 6: Valvola 4/3 utilizzata.

Caratteristiche valvola pistone primario:

- grandezza nominale: 10
- pressione d'esercizio massima: 315 *bar*
- portata nominale: 75 *l/min*
- portata massima: 180 *l/min*
- campo di temperatura fluido: da -20 a +80 °C

Caratteristiche valvola pistone secondario:

- grandezza nominale: 6
- pressione d'esercizio massima: 315 *bar*
- portata nominale: 16 *l/min*
- portata massima: 80 *l/min*
- campo di temperatura fluido: da -20 a +80 °C

3.2.4 Valvola riduttrice di pressione

Il dispositivo è posizionato dopo la valvola 4/3 relativa al secondo pistone, dato che quest'ultimo lavora ad una pressione inferiore rispetto a tutto il resto del circuito (ovvero lavora a 75 bar). Il fluido in eccesso viene quindi mandato in scarico, in modo da avere la pressione desiderata.

Modello: Bosch Rexroth, valvola riduttrice di pressione, a controllo diretto.
Tipo: ZDR.

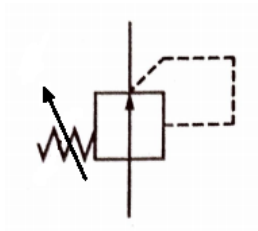


Figura 7: Valvola riduttrice di pressione.

Caratteristiche:

- pressione d'esercizio massima d'ingresso: 315 *bar*
- pressione d'esercizio massima d'uscita: 75 *bar*
- portata massima: 80 *l/min*
- campo di temperatura fluido: da -20 a +80 °C

3.2.5 Filtro

Nei circuiti oleodinamici è importante la presenza di questo componente, il quale ha funzione di pulizia e filtraggio di eventuali impurità che possono essere presenti all'interno del fluido idraulico.

Nel circuito progettato si è deciso di posizionare un unico filtro nella linea di ritorno antecedente al serbatoio; questa soluzione ci garantisce che la pompa prelevi sempre da quest'ultimo olio non contaminato. Ha il compito di trattenere eventuali particelle metalliche presenti nel fluido generate dagli utilizzatori. È importante inoltre sottolineare come il filtro sia dotato di una valvola di bypass, che consente il passaggio del fluido se la differenza di pressione supera i 6 bar. Tale situazione si può presentare in caso di mancata manutenzione del macchinario, poichè le impurità filtrate possono risultare talmente tante da non permettere il passaggio di fluido. Prima che tale situazione si presenti, la valvola scarica dunque il fluido.

Modello: FBN filtro serie PF2-A05-DB

Caratteristiche:

- pressione d'esercizio massima: 300 *bar*
- pressione di scoppio: 560 *bar*
- pressione di collasso cartuccia: 210 *bar*
- portata massima: 180 *l/min*
- campo di temperatura fluido: da -20 a +80 °C
- pressione di apertura valvola di bypass: 6 *bar*

Prestazioni:

Si è optato per un filtraggio delle particelle dalla dimensione superiore ai 5 µm. L'elemento filtrante scelto, invece, risulta corrispondente alla lettera G, che da tabelle riporta ad un β di valore 1250.

Attraverso esso viene calcolata dunque l'efficienza di $e = 1 - \frac{1}{\beta} = 0.9992$.

La valutazione delle perdite di carico del filtro può essere effettuata mediante i grafici riportati sulla documentazione tecnica. I risultati di tale lettura evidenziano come alla portata di 72 l/min, la perdita di carico è inferiore ai 0.3 bar.

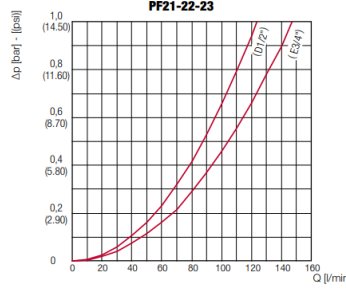


Figura 8: Perdite di carico del filtro.

Questo risultato giustifica la decisione di considerare trascurabile tale contributo alle perdite di carico totali.

3.2.6 Accumulatore

In questo dispositivo è presente una riserva di fluido che ha la funzione di garantire la portata e la pressione necessarie al compimento di un eventuale ciclo di emergenza (inteso come un'apertura o chiusura). In questo caso, se ci fosse un guasto alla pompa durante la fase di volo, l'accumulatore sarebbe in grado di movimentare abbastanza fluido per permettere la totale apertura dei pistoni e quindi un atterraggio sicuro.

La scelta del componente si è basata principalmente sulla pressione necessaria e sul volume che occorre per riempire completamente entrambe le camere degli attuatori.

La tipologia di accumulatore che può adempiere alle nostre necessità è quindi uno di tipo a sacca precaricato a gas. Essendo i volumi

$$V_1 = (\text{Area di spinta } 1 = A_1) \cdot (\text{Corsa}) = 1.2272 \text{ dm}^2 \cdot 11.6 \text{ dm} = 13.92 \text{ l}$$

$$V_2 = (\text{Area di spinta } 2 = A_2) \cdot (\text{Corsa}) = 0.1963 \text{ dm}^2 \cdot 7.6 \text{ dm} = 1.49 \text{ l}$$

la quantità di fluido necessaria deve essere almeno pari alla somma dei due valori precedenti:

$$V_t = V_1 + V_2 = 15.41 \text{ l}$$

Conoscendo le pressioni utili per il funzionamento dell'accumulatore, cioè

- pressione precarica gas a T ambiente: $p_0 = 100 \text{ bar}$
- pressione minima operativa: $p_1 = 120 \text{ bar}$
- pressione massima operativa: $p_2 = 210 \text{ bar}$

4 Simulazione su software

4.1 Circuito principale

4.1.1 Descrizione circuito principale

Per effettuare una simulazione del circuito oleodinamico, si è deciso di utilizzare il software Matlab, in particolare Simscape, un'estensione delle librerie di Simulink che permette di modellare sistemi fisici multidominio.

Il circuito oleodinamico inserito nel software è composto da una struttura principale che comprende i dispositivi essenziali al suo funzionamento, e viene poi accompagnato da componenti ausiliari che ne permettono la corretta simulazione.

Lo scheletro principale è costituito da due pistoni, uno primario ed uno di blocco, che vengono alimentati da una pompa ed azionati da due valvole 4/3 che ne coordinano il movimento. Inoltre sono presenti una valvola riduttrice di pressione in corrispondenza del cilindro di blocco, ed una valvola di sovrappressione con funzione di sicurezza, che va ad impedire ci sia una pressione troppo elevata nell'intero circuito.

Per quanto riguarda il filtro, che andrebbe posizionato in scarico al serbatoio, non risulta essere presente nel circuito oleodinamico poichè non è stato trovato nelle librerie di Simscape utilizzate.

L'eventuale inserimento del filtro oleodinamico non dovrebbe comunque comportare alcuna variazione sull'andamento dei risultati grafici ottenuti.

Il circuito appena descritto è stato poi implementato attraverso una serie di strumenti, presenti nella libreria del software, che permettono di simulare correttamente il funzionamento dello stesso e restituire graficamente l'andamento delle diverse grandezze che lo caratterizzano.

Gli strumenti elencati consistono in generatori ed amplificatori di segnale, filtri passa basso ed una serie di sorgenti meccaniche ideali.

Queste ultime sono generatori di forze ideali, i quali simulano le forze che i due pistoni devono sopportare e tengono conto degli attriti traslazionali statici e dinamici.

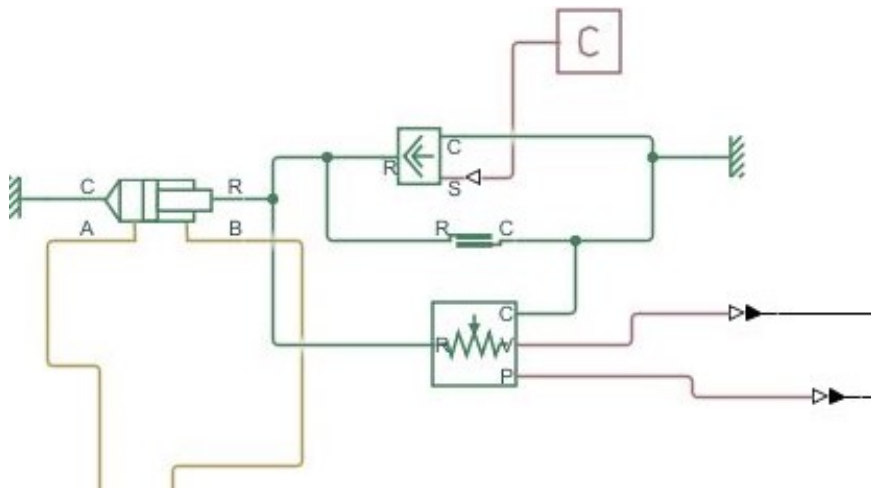


Figura 14: Sezione del pistone nel circuito.

Le valvole 4/3 vengono azionate da un segnale, il quale è costituito da una fase di apertura ed una di chiusura, che si traducono in una estensione e ritrazione dei due cilindri.

Il segnale stesso è modellato su un'onda quadra, che rispetta i tempi di azionamento dei cilindri, e viene intervallata da fasi di transizione a tempo non nullo (che sono necessarie per garantire la stabilità del movimento).

Il movimento della pompa viene invece simulato da una sorgente ideale di velocità angolare, alla quale è collegato un blocco di supporto in cui viene indicato il valore di quest'ultima.

L'andamento di velocità e posizione dei pistoni e l'andamento del segnale vengono poi restituiti graficamente grazie a degli oscilloscopi.

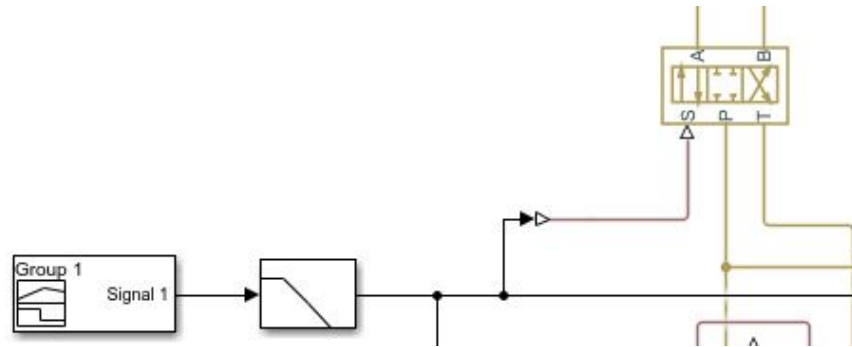


Figura 15: Segnale e filtro.

4.1.2 Analisi della simulazione

I seguenti grafici rappresentano l'andamento di velocità, posizione e del segnale elettrico inviato in ingresso alle valvole 4/3 relative ai due pistoni. Come si può notare dalle immagini, all'apertura della valvola corrisponde l'avanzamento del pistone primario, che completa la sua apertura nel tempo previsto da progetto di 12 secondi.

Conseguentemente si vede che, finita la fase di apertura del pistone primario, avviene la completa estensione del pistone secondario. Questa posizione corrisponde al momento in cui il carrello è totalmente estratto e mantenuto in posizione dal pistone di blocco.

La fase di chiusura comincia con la completa ritrazione del pistone di blocco e successiva ritrazione di quello principale. Essa viene rappresentata dallo stesso segnale elettrico a scalino, opportunamente modellato, specchiato negativamente rispetto alla prima fase, che porta le valvole nella posizione relativa alla ritrazione dei pistoni.

Dalla restituzione grafica della posizione emerge come il pistone ritragga con una velocità leggermente superiore rispetto alla fase di apertura, poichè, a parità di portata, il liquido necessario al riempimento della camera di ritorno sarà minore, a causa della presenza dello stelo.

4 SIMULAZIONE SU SOFTWARE

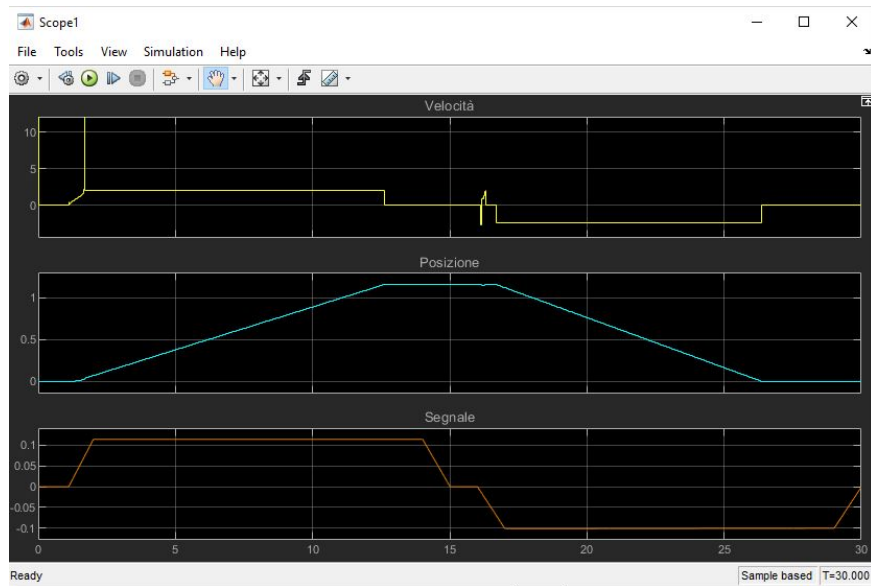


Figura 16: Posizione e velocità cilindro 1.

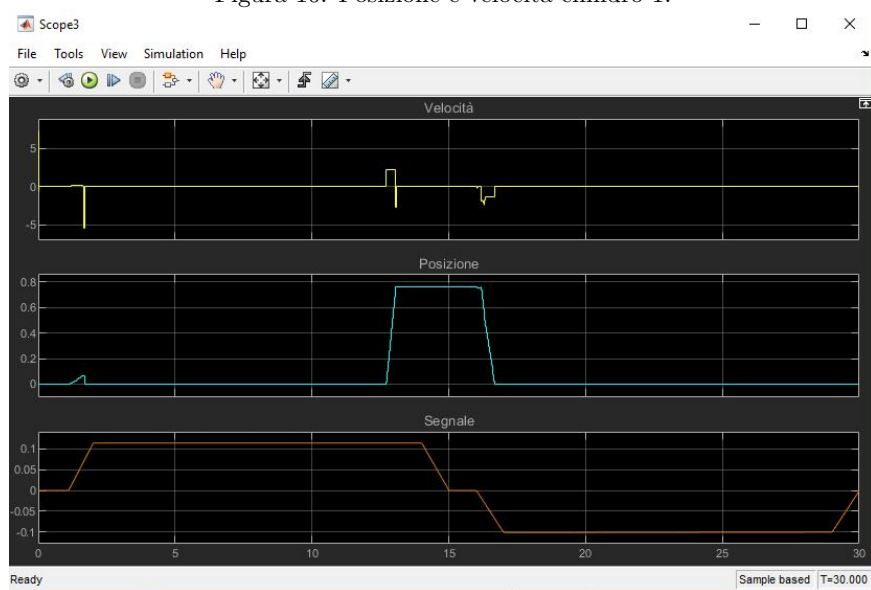


Figura 17: Posizione e velocità cilindro 2.

4.2 Circuito dell'accumulatore

4.2.1 Descrizione del circuito dell'accumulatore

Per lo studio del comportamento del circuito oleodinamico funzionante tramite l'accumulatore, è stata costruita una seconda simulazione.

In questa, per semplicità si è deciso di inserire solamente il pistone principale, poichè a livello "didattico" garantisce comunque una rappresentazione verosimile e funzionante del modello reale.

Questa semplificazione non è stata ritenuta essere eccessiva, in quanto l'apertura del carrello, in caso di emergenza, avverrebbe anche con il solo utilizzo del pistone primario. Per questa simulazione sono state inserite due valvole ausiliarie per permettere di visualizzare al meglio l'eventuale mancato funzionamento della pompa.

4.2.2 Analisi della simulazione

Innanzitutto sono stati realizzati degli opportuni segnali di controllo, sfruttati poi per la corretta gestione delle seguenti fasi:

- le valvole di pompa ed accumulatore risultano essere aperte contemporaneamente, simulando il caricamento dell'accumulatore mediante la portata fornita dalla pompa
- chiusura sequenziale della valvola dell'accumulatore e della valvola della pompa; in questa fase, è stato inserito un tempo in cui l'accumulatore si mantiene carico
- in questa ultima fase viene azionata in mandata la valvola 4/3, ed aperta quella dell'accumulatore, il quale fornisce la portata e la pressione (adeguatamente stimate) necessarie alla completa estensione del pistone.

4 SIMULAZIONE SU SOFTWARE

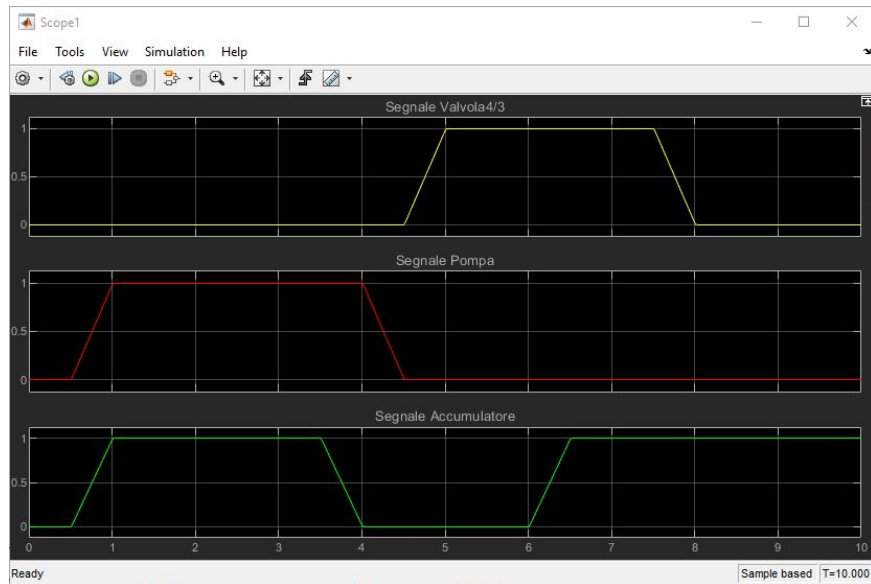


Figura 19: Segnali accumulatore.

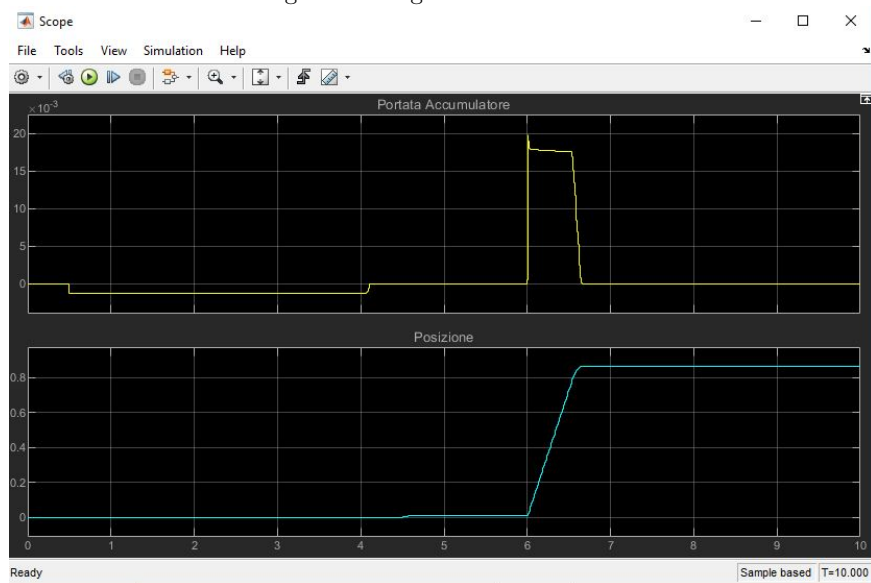


Figura 20: Posizione portata accumulatore.

Dal grafico [Figura 20] si può leggere come, nelle prime due fasi, la portata all'accumulatore sia negativa (il fluido entra nell'accumulatore caricandolo). In seguito, si può notare come, in corrispondenza all'apertura delle valvole di pistone ed accumulatore, vi sia un picco di portata in uscita dall'accumulatore e il corrispondente avanzamento dello stelo del pistone.

In conclusione, attraverso questo circuito è stato quindi reso possibile visualizzare l'andamento di un completo ciclo di apertura del carrello, in caso di malfunzionamento della pompa, grazie alla presenza dell'accumulatore.

4.3 Considerazioni finali

Attraverso la simulazione del circuito su Simscape abbiamo potuto verificare l'effettiva compatibilità del nostro progetto con un sistema effettivamente implementato per un velivolo Airbus A320.

I dimensionamenti effettuati lungo il percorso progettuale, e le scelte che ne sono conseguite, sono state fatte in ottica della possibilità di garantire prestazioni (carichi, velocità e tempi di funzionamento) che potessero verosimilmente ripercorrere la risposta del sistema meccanico-oleodinamico reale.

Lo studio dei grafici dell'andamento di ogni pistone, assieme ad una simulazione del movimento del carrello, realizzata basandosi su un modello attualmente commercializzato, ha infine cercato di avvalorare la funzionalità del nostro progetto.