

Report per Assignment 1: Vehicle Modeling and Simulation

Francesco Caligiuri

Matr.146666

Corso: Platforms and Algorithms for Autonomous Driving

Modulo: Planning and Control Module

Anno Accademico 2024/2025

Data di Consegna: 09/12/2024

Indice

1	Introduzione	2
2	Parametri del Veicolo	2
3	Esercizio 1: Vehicle Modeling and Simulation	2
3.1	Descrizione dell'Esercizio	2
3.2	Risultati e Discussione	3
3.2.1	Risposta alla Domanda	3
4	Esercizio 2: Sterzata Costante	5
4.1	Descrizione dell'Esercizio	5
4.2	Risultati e Discussione	5
4.2.1	Risposta alla Domanda	5
4.2.2	Dettagli Aggiuntivi	7
5	Esercizio 3: Confronto dei Metodi di Integrazione Numerica	8
5.1	Descrizione dell'Esercizio	8
5.2	Risultati e Discussione	8
5.2.1	Risposta alla Domanda	8
5.2.2	Dettagli Aggiuntivi	9
6	Conclusioni	10

1 Introduzione

L'obiettivo di questo assignment è familiarizzare con i modelli matematici standard utilizzati per descrivere la dinamica dei veicoli. Attraverso la modellazione e la simulazione, si acquisisce esperienza nell'implementazione di questi modelli e nel loro utilizzo per scopi di simulazione. Il presente report descrive i risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate, includendo motivazioni, osservazioni e conclusioni basate sui grafici generati.

2 Parametri del Veicolo

I parametri utilizzati nelle simulazioni sono i seguenti:

- **Massa del veicolo:** 1200 kg
- **Momento d'inerzia:** 1792 kg·m²
- **Geometria del veicolo:**
 - Distanza dall'asse anteriore al centro di gravità (l_f): 1.156 m
 - Distanza dall'asse posteriore al centro di gravità (l_r): 1.42 m
- **Parametri della Formula Magica di Pacejka per la modellazione dei pneumatici:**
 - $B = 7.1433$
 - $C = 1.3507$
 - $D = 1.0489$
 - $E = -0.0074722$
- **Parametri di resistenza aerodinamica e rotolamento:**
 - Densità dell'aria (ρ): 1.225 kg/m³
 - Coefficiente di drag (C_d): 0.3
 - Area frontale (A): 2.2 m²
 - Coefficiente di resistenza al rotolamento (C_{rr}): 0.015

3 Esercizio 1: Vehicle Modeling and Simulation

3.1 Descrizione dell'Esercizio

In questo esercizio sono stati implementati tre modelli di veicolo:

- **Modello Cinematico**
- **Modello Lineare**
- **Modello Nonlineare**

La simulazione ha incluso le seguenti condizioni:

- Comando di sterzata sinusoidale con ampiezza massima di 0.1 rad e frequenza di 0.5 Hz.
- Velocità costanti di 10 m/s e 27 m/s.
- Accelerazione longitudinale costante di 1.0 m/s².
- Durata della simulazione: 5 secondi.
- Passo temporale: 0.001 secondi.

3.2 Risultati e Discussione

3.2.1 Risposta alla Domanda

Qual è la causa della differenza nell'angolo di scivolamento tra i modelli lineare e non lineare?

La differenza nell'angolo di scivolamento tra i modelli lineare e non lineare è principalmente dovuta alla **linearizzazione delle forze laterali dei pneumatici** nel modello lineare. Il modello lineare assume che le forze laterali siano proporzionali agli angoli di scivolamento, trascurando effetti non lineari come la saturazione e la dipendenza dall'angolo di scivolamento stesso. Al contrario, il modello non lineare utilizza la Formula Magica di Pacejka, che cattura meglio il comportamento reale dei pneumatici, inclusi gli effetti di saturazione a grandi angoli di scivolamento. Di conseguenza, il modello non lineare può prevedere angoli di scivolamento più realistici rispetto al modello lineare, specialmente in condizioni di alta dinamica.

Riferimento ai Grafici: Come mostrato in Figura 1, Figura 2, Figura 3 e Figura 4, gli angoli di scivolamento nei modelli non lineare mostrano una risposta più complessa e realistica rispetto ai modelli lineare e cinematica a velocità di 10 m/s e 27 m/s. A 27 m/s, la differenza diventa ancora più evidente, evidenziando l'effetto delle non linearità introdotte dai modelli non lineari. In particolare, Figura 4 dimostra uno slittamento significativo delle gomme posteriori nel modello non lineare, indicando un comportamento più realistico in condizioni di alta velocità.

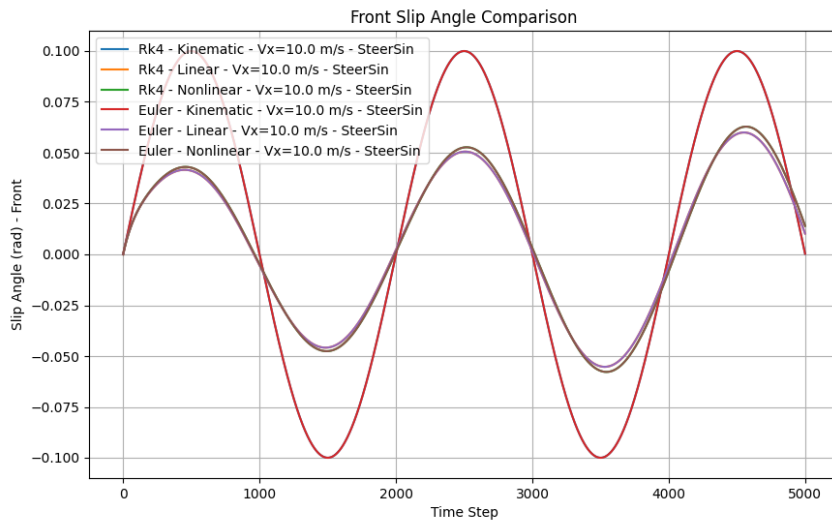


Figura 1: Confronto dell'angolo di scivolamento anteriore (α_f) tra modelli a 10 m/s.

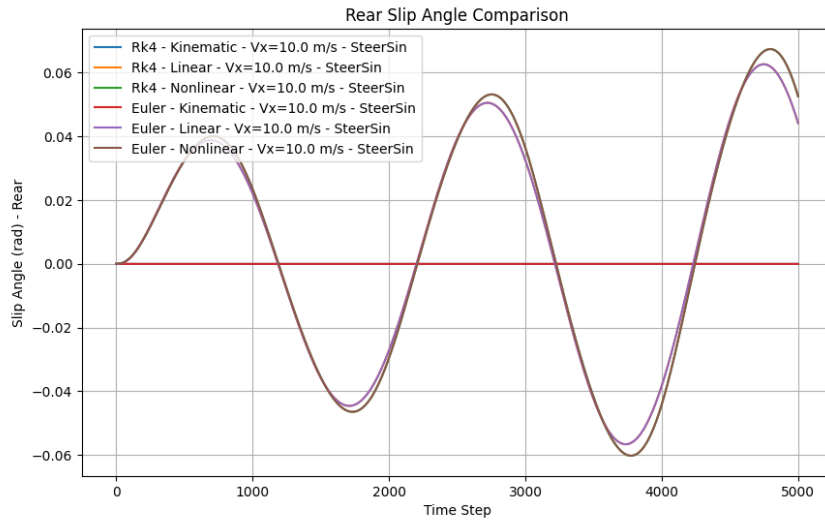


Figura 2: Confronto dell'angolo di scivolamento posteriore (α_r) tra modelli a 10 m/s.

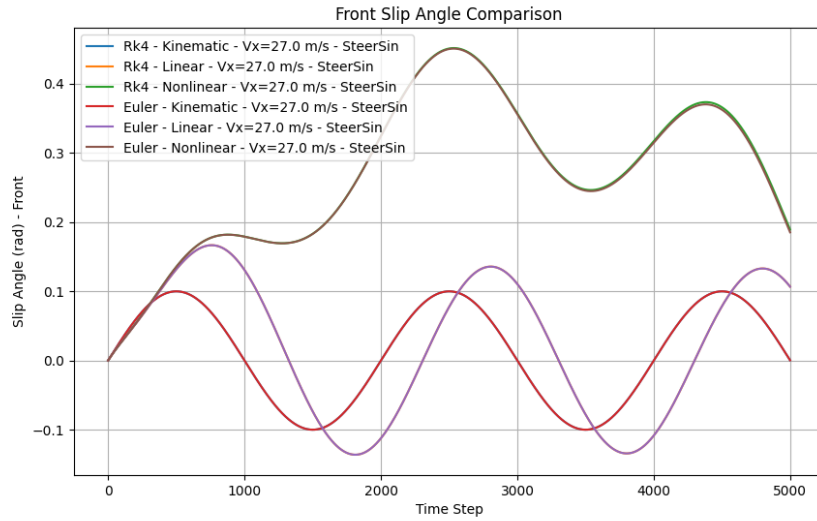


Figura 3: Confronto dell'angolo di scivolamento anteriore (α_f) tra modelli a 27 m/s.

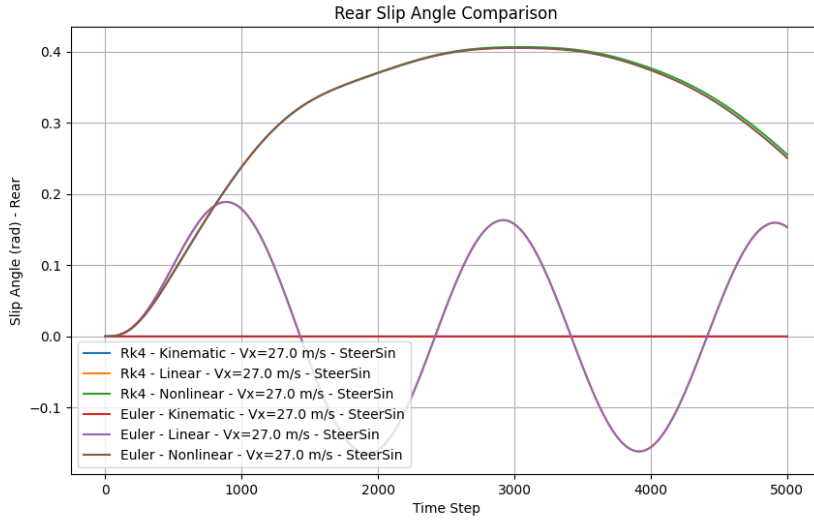


Figura 4: Confronto dell'angolo di scivolamento posteriore (α_r) tra modelli a 27 m/s.

4 Esercizio 2: Sterzata Costante

4.1 Descrizione dell'Esercizio

In questo esercizio sono state eseguite due simulazioni con le seguenti condizioni:

1. Sterzata costante di 0.01 rad e accelerazione longitudinale costante di 1.0 m/s^2 a una velocità di 24 m/s.
2. Sterzata costante di 0.055 rad e accelerazione longitudinale costante di 1.0 m/s^2 a una velocità di 24 m/s.

La simulazione ha una durata di 5 secondi e un passo temporale di 0.001 secondi.

4.2 Risultati e Discussione

4.2.1 Risposta alla Domanda

Noti differenze significative tra le traiettorie o altri dati ottenuti dai diversi modelli? Qual è la causa principale della grande differenza osservata nel secondo test, quando l'angolo di sterzata è aumentato a 0.055 rad?

Sì, sono state osservate differenze significative tra le traiettorie e altri dati derivanti dai diversi modelli, specialmente quando l'angolo di sterzata è aumentato a 0.055 rad. Le differenze principali includono variazioni nella traiettoria del veicolo, negli angoli di imbardata e negli angoli di scivolamento dei pneumatici.

La causa principale della grande differenza osservata nel secondo test con un angolo di sterzata maggiore è l'introduzione di **non linearità significative nel comportamento dei pneumatici**. A angoli di sterzata elevati, il modello non lineare della Formula Magica di Pacejka risponde in modo più accurato catturando fenomeni come la saturazione delle forze laterali e la perdita di aderenza. Il modello lineare, invece, continua a presupporre una relazione proporzionale tra forza laterale e angolo di scivolamento, risultando

in previsioni meno accurate e più distorte rispetto al comportamento reale del veicolo in condizioni di alta dinamica.

Riferimento ai Grafici: In Figura 5 e Figura 6, si osserva una deviazione più marcata nelle traiettorie del modello non lineare rispetto ai modelli lineari e cinematica. Nella condizione di sterzata a 0.055 rad, essendo l'angolo di sterzata più stretto, si nota che nei grafici dello slip frontale (α_f) il modello non lineare mostra effettivamente uno slittamento, accompagnato da un aumento delle forze laterali (F_{yf}) e della velocità longitudinale (v_x).

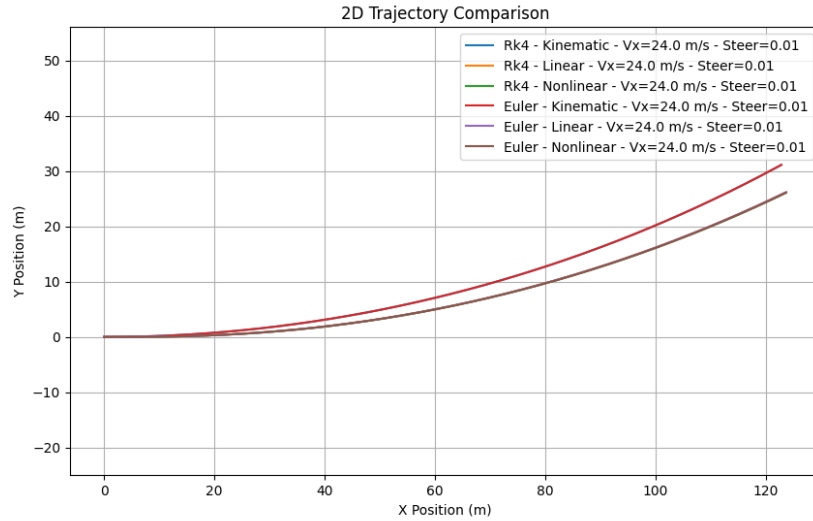


Figura 5: Confronto delle traiettorie con sterzata costante di 0.01 rad.

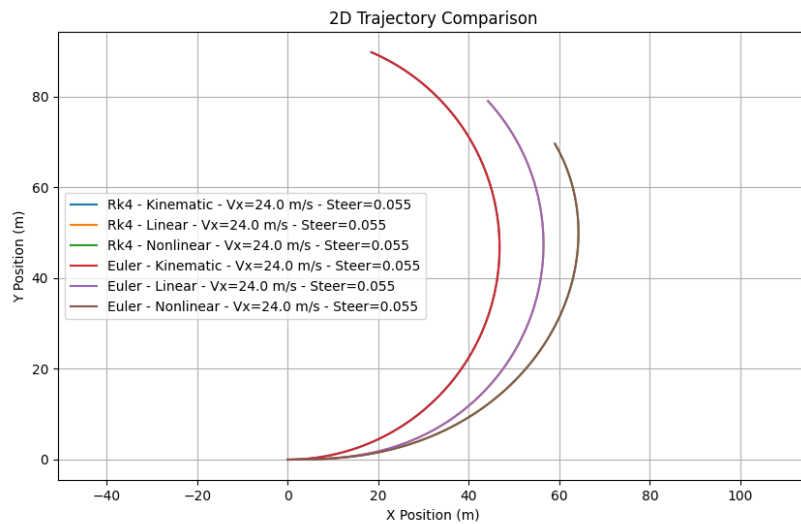


Figura 6: Confronto delle traiettorie con sterzata costante di 0.055 rad.

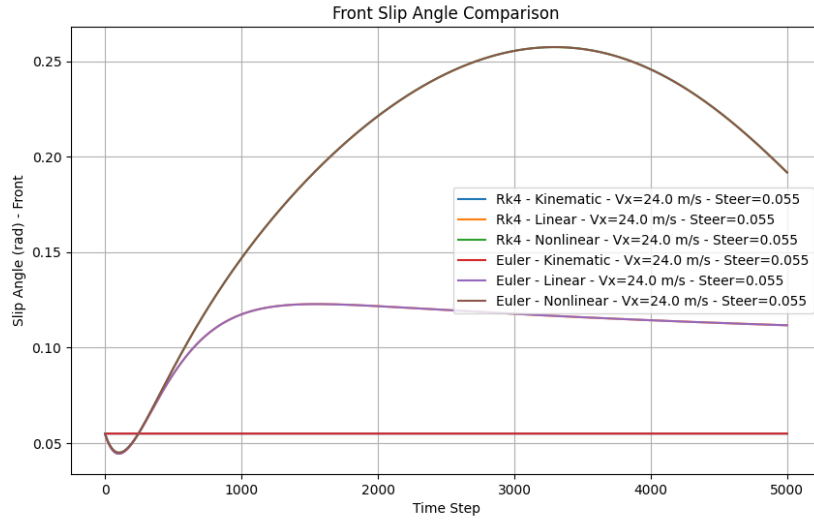


Figura 7: Confronto dell'angolo di scivolamento anteriore (α_f) tra modelli con sterzata di 0.055 rad.

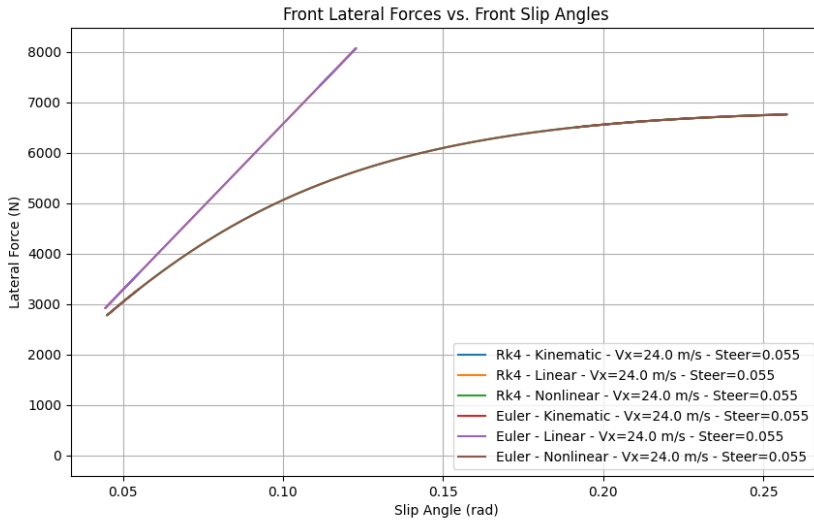


Figura 8: Confronto delle forze laterali frontali (F_{yf}) in funzione dell'angolo di scivolamento con sterzata di 0.055 rad.

4.2.2 Dettagli Aggiuntivi

Osservazioni Aggiuntive: Essendo l'angolo di sterzata di 0.055 rad più stretto rispetto a 0.01 rad, si osserva nei grafici dello slip frontale (α_f) che il modello non lineare presenta uno slittamento effettivo, evidenziando un comportamento più realistico. Inoltre, si nota un aumento delle forze laterali (F_{yf}) e della velocità longitudinale (v_x), indicando una maggiore risposta dinamica del veicolo in condizioni di sterzata più intensa. Questo evidenzia come i modelli non lineari siano fondamentali per simulare accuratamente il comportamento del veicolo in condizioni di alta dinamica.

5 Esercizio 3: Confronto dei Metodi di Integrazione Numerica

5.1 Descrizione dell'Esercizio

In questo esercizio è stato effettuato un confronto tra i metodi di integrazione numerica di **Euler** e **Runge-Kutta (RK4)**. Le simulazioni hanno replicato le condizioni dell'Esercizio 2, ma con un **passo temporale aumentato a 0.04 secondi**.

5.2 Risultati e Discussione

5.2.1 Risposta alla Domanda

Perché si osserva una differenza visibile nei risultati della simulazione quando si confrontano il metodo di Euler e RK4 con un passo temporale di 0.04 secondi?

Le differenze visibili nei risultati della simulazione tra i metodi di Euler e RK4 con un passo temporale di 0.04 secondi sono dovute principalmente alla **precisione e alla stabilità numerica** di ciascun metodo. Il metodo di **Euler**, essendo un metodo di primo ordine, presenta una precisione inferiore e una maggiore suscettibilità agli errori di approssimazione quando il passo temporale è grande. Questo porta a una **maggiore propagazione degli errori** e a una soluzione meno accurata.

Al contrario, il metodo **Runge-Kutta di quarto ordine (RK4)** offre una maggiore precisione grazie al suo approccio a più stadi, riducendo significativamente gli errori di approssimazione anche con passi temporali più grandi. Di conseguenza, RK4 fornisce risultati più stabili e accurati rispetto al metodo di Euler, specialmente in simulazioni con passi temporali maggiori come nel presente esercizio.

Confronto con l'Esercizio 2: Confrontando i risultati ottenuti con un passo temporale di 0.04 secondi in questo esercizio con quelli dell'Esercizio 2 che utilizzava un passo temporale di 0.001 secondi, si nota che le differenze tra i metodi di integrazione numerica diventano più evidenti con passi temporali più grandi. Il metodo di Euler tende a deviare significativamente dai risultati attesi, mentre RK4 mantiene una maggiore aderenza al comportamento fisico del sistema, dimostrando la sua superiorità in termini di accuratezza e stabilità numerica.

Riferimento ai Grafici: Come evidenziato in Figura 9 e Figura 10, le traiettorie e le forze laterali frontali (F_{yf}) ottenute con RK4 mostrano una maggiore aderenza alle aspettative fisiche, mentre quelle con il metodo di Euler presentano discrepanze dovute agli errori numerici accumulati.

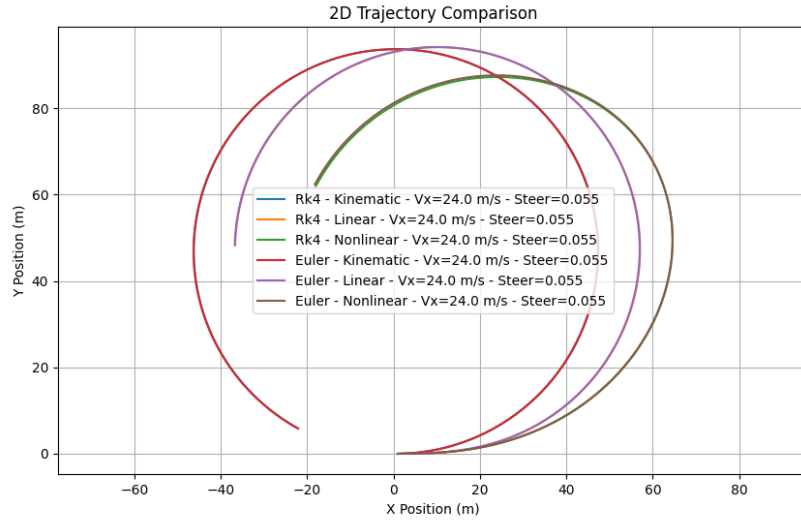


Figura 9: Confronto delle traiettorie ottenute con i metodi di Euler e RK4 a passo temporale di 0.04 secondi.

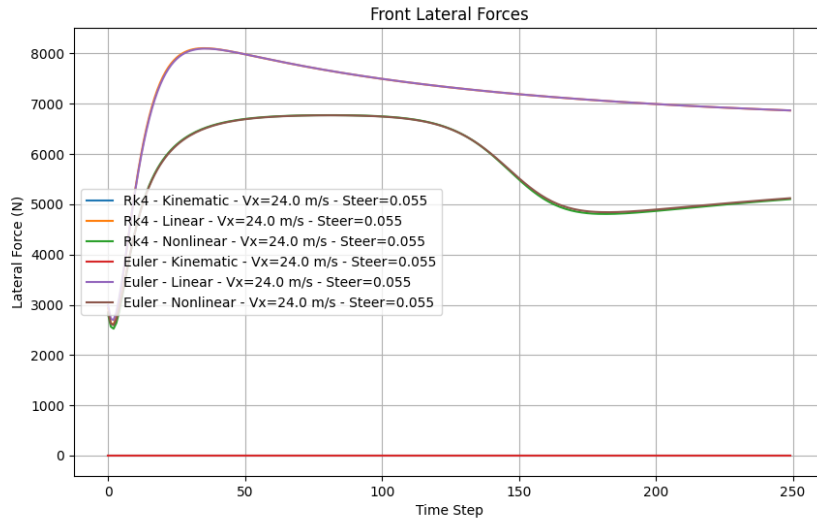


Figura 10: Confronto delle forze laterali frontali (F_{yf}) tra i metodi di Euler e RK4 a passo temporale di 0.04 secondi.

5.2.2 Dettagli Aggiuntivi

Osservazioni Aggiuntive: Nel grafico della forza laterale frontale (F_{yf}) in Figura 10, si evidenzia come il metodo RK4 riesca a mantenere una tracciatura più accurata rispetto al metodo di Euler, soprattutto nel corso del tempo. Questo dimostra come RK4 si adatti meglio alla fisica del sistema, riducendo gli errori numerici che si accumulano con passi temporali più grandi. Inoltre, confrontando le traiettorie (Figura 9) si osserva che RK4 segue più fedelmente il comportamento previsto del veicolo, mentre Euler mostra deviazioni dovute alla minore precisione.

6 Conclusioni

Le simulazioni condotte in questo assignment hanno evidenziato l'importanza della scelta del modello di veicolo e del metodo di integrazione numerica appropriati per ottenere risultati accurati e realistici. I modelli non lineari, in particolare quelli che utilizzano la Formula Magica di Pacejka, hanno dimostrato una capacità superiore di catturare il comportamento reale dei pneumatici, soprattutto in condizioni di alta dinamica. Questo è stato particolarmente evidente a velocità maggiori (27 m/s) e con angoli di sterzata più elevati (0.055 rad), dove le non linearità giocano un ruolo cruciale nel comportamento del veicolo.

Inoltre, l'uso di metodi di integrazione numerica avanzati come RK4 si è rivelato fondamentale per mantenere la precisione delle simulazioni con passi temporali maggiori. Il confronto con il metodo di Euler ha dimostrato come RK4 possa adattarsi meglio alla fisica del sistema, riducendo gli errori numerici e fornendo risultati più stabili e accurati nel tempo. Questo sottolinea l'importanza di selezionare metodi numerici adeguati in base alla complessità e ai requisiti di precisione delle simulazioni.