

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laure Magistrale

Panda 4WD-Hybrid: Prototipo virtuale per strategie di controllo



Relatore:

Prof. Stefano Carabelli

Candidato:

Stefano Carpentieri

A.A. 2018/2019

Abstract

La tesi fa parte di un progetto il cui obiettivo è la preparazione di una Fiat Panda di prima generazione per la partecipazione alla competizione “Panda Raid”. Il “Panda Raid” è un rally amatoriale di lunga distanza che si svolge annualmente a marzo, in cui gli equipaggi si sfidano a bordo di veicoli Fiat Panda prodotti prima del 2003.

Ci si propone di modificare una Fiat Panda 1108 FIRE aggiungendovi: un motore elettrico sull’asse anteriore, un motore elettrico sull’asse posteriore, un pacco batterie. Si vuole progettare un veicolo a quattro ruote motrici ad assi indipendenti: devono essere studiate delle strategie di torque-split appropriate per affrontare la gara.

Il primo step del progetto, nonché argomento della tesi, è la creazione di un prototipo virtuale utile a: calcoli progettuali preliminari, previsioni attendibili sul comportamento del veicolo, studio di strategie di controllo dei motori.

Durante la tesi sono stati sviluppati tre diversi modelli di simulazione Simulink: un modello di Panda 4x2, un modello di Panda 4x4 ed il modello di prototipo di Panda 4WD-Hybrid. Il confronto dei modelli ha portato a considerazioni per la scelta del veicolo da acquistare per affrontare la gara, ed ha evidenziato i vantaggi del veicolo ibrido a trazione integrale ad assi indipendenti. Sono state studiate le prime strategie di controllo dei motori, che dovranno essere implementate e migliorate a prototipo pronto.

Stefano Carpentieri

SOMMARIO

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | INTRODUZIONE | 7 |
| 1.1 | <i>LA PANDA RAID</i> | 8 |
| 2 | OBIETTIVO | 9 |
| 2.1 | <i>RICHIESTE DI PROGETTO</i> | 9 |
| 2.2 | <i>VINCOLI</i> | 9 |
| 3 | VEICOLO | 10 |
| 3.1 | <i>DIMENSIONI</i> | 12 |
| 3.2 | <i>MASSA</i> | 13 |
| 3.3 | <i>MOTORE</i> | 14 |
| 3.4 | <i>TRASMISSIONE</i> | 15 |
| 3.5 | <i>PNEUMATICI</i> | 17 |
| 3.6 | <i>COPPIA ALLE RUOTE</i> | 17 |
| 4 | MODELLO DI SIMULAZIONE | 18 |
| 4.1 | <i>V-SHAPED MODEL DIAGRAM</i> | 18 |
| 4.2 | <i>MODEL IN THE LOOP</i> | 19 |
| 4.3 | <i>MODELLO PANDA 1108cc 4x4</i> | 20 |
| 5 | VALIDAZIONE DEL MODELLO E INTRODUZIONE ALL'AMBIENTE DI SIMULAZIONE | 36 |
| 5.1 | <i>SIMULAZIONE DI VALIDAZIONE: ASFALTO ASCIUTTO</i> | 37 |
| 5.2 | <i>SIMULAZIONE DI VALIDAZIONE: SUOLO SCONNESSO</i> | 40 |
| 5.3 | <i>SIMULAZIONE DI VALIDAZIONE: ASFALTO BAGNATO</i> | 41 |
| 6 | STUDIO 2WD VS 4WD SU GHIACCIO | 43 |
| 7 | RIPARTIZIONE DELLA COPPIA, CASO PANDA 4X4 1108CC | 45 |
| 7.1 | <i>RIPARTIZIONE DI COPPIA SU ASFALTO ASCIUTTO</i> | 47 |
| 7.2 | <i>RIPARTIZIONE DI COPPIA SU ASFALTO BAGNATO</i> | 47 |
| 7.3 | <i>RIPARTIZIONE DI COPPIA SU SUOLO GHIACCIATO</i> | 48 |
| 8 | PANDA 1GEN HYBRID DESIGN | 50 |
| 8.1 | <i>MODELING DEL VEICOLO IBRIDO</i> | 51 |

| | | |
|------|---|-----|
| 8.2 | <i>MODIFICHE AL PLANT</i> | 52 |
| 8.3 | <i>MODIFICHE AL CONTROLLER</i> | 54 |
| 9 | ANALISI PER LO SVILUPPO DI STRATEGIE DI CONTROLLO | 55 |
| 9.1 | <i>ANALISI RISULTATI</i> | 56 |
| 9.2 | <i>OBIETTIVO 1</i> | 57 |
| 9.3 | <i>OBIETTIVO 2</i> | 84 |
| 10 | SOLUZIONE FINALE | 93 |
| 10.1 | <i>LOGICA DI CONTROLLO</i> | 95 |
| 10.2 | <i>GENERATORE</i> | 96 |
| 10.3 | <i>MOTORE ELETTRICO</i> | 97 |
| 10.4 | <i>MOTORE ICE</i> | 98 |
| 11 | ANALISI ENERGETICA | 99 |
| 11.1 | <i>SIMULAZIONE 1: CONFRONTO ENERGIA 4X4 VS 4WD-H</i> | 100 |
| 11.2 | <i>SIMULAZIONE 2: FRENATA RIGENERATIVA SU SABBIA</i> | 103 |
| 11.3 | <i>SIMULAZIONE 3: FRENATA RIGENERATIVA SU ASFALTO</i> | 104 |
| 12 | ANALISI DI CONFRONTO PRESTAZIONI | 105 |
| 13 | CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI | 107 |

1 INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo progetto è la preparazione di una Fiat Panda per la partecipazione alla competizione "Panda Raid". Il "Panda Raid" è un rally amatoriale di lunga distanza che si svolge annualmente a marzo, in cui gli equipaggi si sfidano a bordo di veicoli Fiat Panda prodotti prima del 2003.

Ci si propone di modificare una Fiat Panda 1108 FIRE aggiungendovi: un motore elettrico sull'asse anteriore, un motore elettrico sull'asse posteriore, un pacco batterie. Si vuole quindi progettare un veicolo a quattro ruote motrici ad assi indipendenti. Dovranno essere studiate delle strategie di torque-split appropriate per affrontare la gara.

Il primo step del progetto, nonché argomento di questo documento, è la creazione di modelli utili a: calcoli progettuali preliminari, previsioni attendibili sul comportamento del veicolo, studio di strategie di controllo dei motori.



Figura 1.1: Fiat Panda

1.1 LA PANDA RAID

La Panda Raid è una gara di regolarità Rally Raid riservata alle Panda storiche, ovvero quelle costruite prima del 2003, nelle versioni 4x2 e 4x4. Il tracciato prevede un percorso di tremila chilometri, da Madrid a Marrakech, divisi in sette tappe percorse su fondi diversi: sono previsti terra; passaggi su pietraie che mettono a dura prova la meccanica delle vetture; fondi fesh fesh, ovvero fondi con sabbia fine, appiccicosa e molto volatile che al passaggio delle macchine provoca grosse nuvole di polvere; sabbia e dune.



Figura 1.2: Panda Raid

La manifestazione motoristica non prevede l'utilizzo di tecnologia: la navigazione avviene utilizzando esclusivamente il road book fornito dall'organizzazione integrato da cartina e bussola. Gli equipaggi non corrono per arrivare al traguardo nel più breve tempo possibile ma il pilota e il suo co-pilota devono raggiungere tappe intermedie prestabilite entro dei tempi predefiniti.

2 OBIETTIVO

Come descritto nell'introduzione, il progetto prevede una sostanziale modifica del powertrain di una Panda prima serie. Il prototipo obiettivo monterà un motore termico, due motori elettrici disposti su due assi indipendenti ed una batteria.

L'obiettivo di questa tesi è la progettazione di una logica di controllo del powertrain del veicolo, al fine di massimizzarne le prestazioni e garantire una gestione dell'energia elettrica efficiente.

In quest'ottica si vuole generare un modello di simulazione del prototipo ibrido per lo studio e la simulazione di una strategia di torque split adatta al tipo di competizione.

I vantaggi dell'utilizzo del modello sono molteplici: possono essere svolti confronti tra diverse strategie di controllo dei motori, analisi preventive sul dimensionamento dei componenti elettrici, nonché utili previsioni sul comportamento del veicolo.

La strategia di controllo dei motori progettata sarà la base per la scrittura del programma di controllo dei motori per la centralina del veicolo.

2.1 RICHIESTE DI PROGETTO

Durante la Panda Raid, rally di regolarità Rally Raid, si prevede che al veicolo siano richieste: capacità di affrontare lunghe distanze su fondi difficili, grande resistenza meccanica e capacità di superare superfici molto inclinate.

Al fine di simulare correttamente le precedenti condizioni, viene richiesto un modello di simulazione adeguato che abbia:

- Una dinamica a 3 gradi di libertà (3 gdl) per simulare il movimento longitudinale, il movimento verticale e il beccheggio. Non è necessario studiare il movimento laterale del veicolo, che non viene quindi considerato
- La possibilità di riprodurre la condizione del terreno con relative aderenza e resistenza al rotolamento specifiche della competizione.
- L'opportunità di riprodurre un profilo di inclinazione da seguire, che simuli dune di sabbia e di imperfezioni del terreno.

2.2 VINCOLI

Le proposte di modifica del powertrain prevedono di mantenere originali: motore, cambio e differenziali.

Questo significa che non dovrà cambiare la velocità massima del veicolo, che rimarrà all'incirca di 130 km/h, e che verranno rispettate le massime coppie tollerate dagli assi anteriore e posteriore. Questi sono infatti vincoli dati dalla progettazione dei componenti già presenti nel veicolo.

Osservazione: il veicolo 4x4 originale è in grado per costruzione di trasferire in particolari condizioni tutta la coppia erogata dal motore termico su uno dei due assi.

3 VEICOLO

Vengono descritte e confrontate in questo capitolo due versioni di fiat Panda prima serie: una FIAT Panda 4x4 1108 Fire una ed FIAT Panda 4x2 1108 Fire. Le vetture sono simili ma si distinguono per:

- Dimensioni
- Pesì
- Distribuzione dei pesi sugli assi
- Architettura del drivetrain

Viene riportato in Figura 3.1 un esempio di vettura.



Figura 3.1: Esempio di Fiat Panda

Vengono descritti nelle prossime sezioni: dimensioni, masse, motore e trasmissione.

Le specifiche delle due versioni sono state ricavate dal manuale allegato a questo documento, di cui vengono riportate alcune pagine di esempio in Figura 3.2.

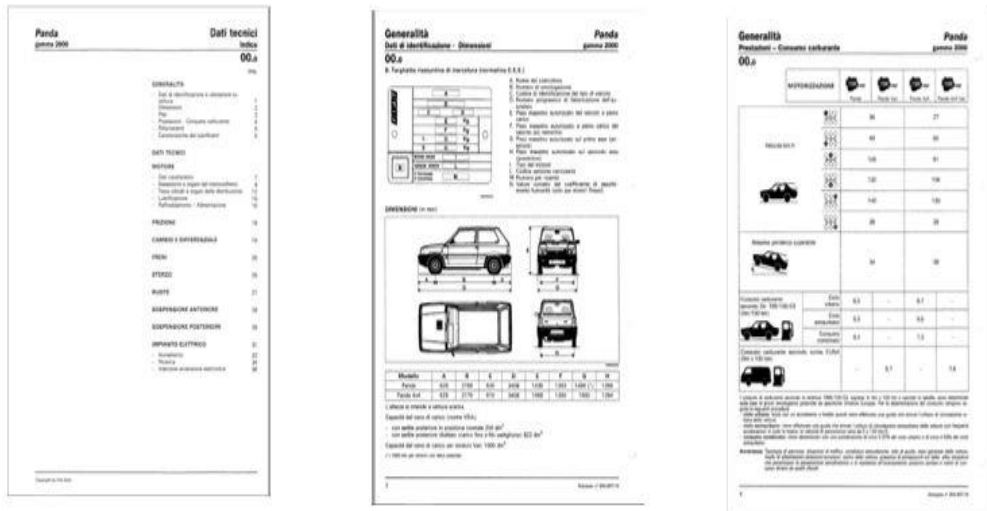
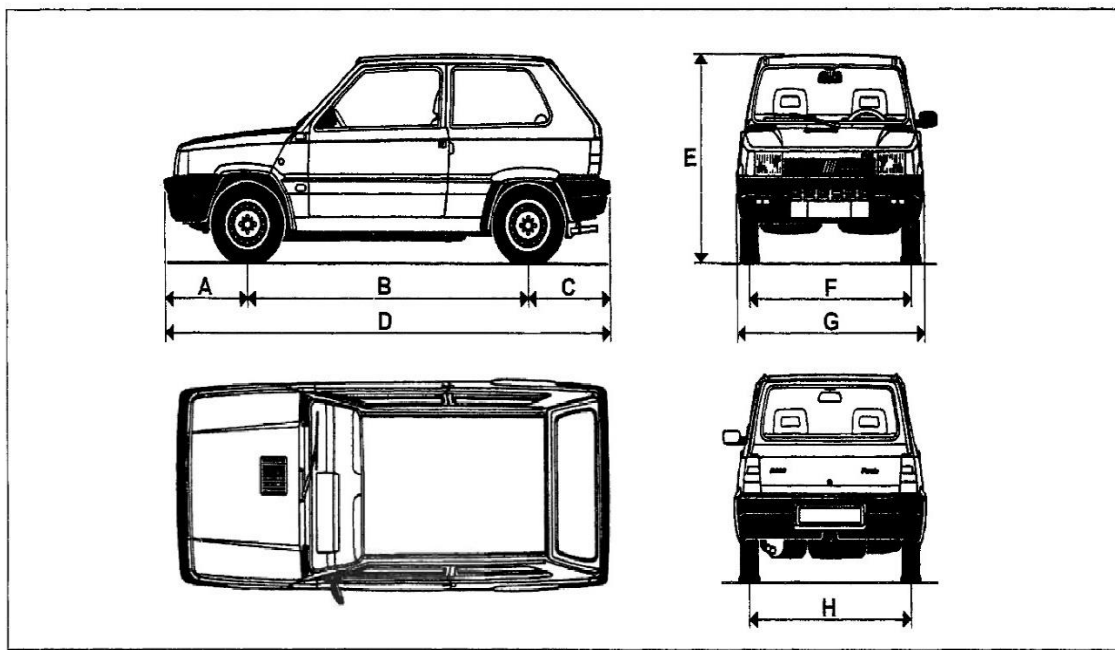


Figura 3.2: Allegato

3.1 DIMENSIONI

Uno schema delle dimensioni delle due versioni del veicolo è riportato in Figura 3.3. Le dimensioni si intendono a veicolo scarico.

DIMENSIONI (in mm)



3X002DA02








| Modello | A | B | C | D | E | F | G | H |
|-----------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|
| Panda | 629 | 2159 | 620 | 3408 | 1435 | 1263 | 1494 | 1265 |
| Panda 4x4 | 628 | 2170 | 610 | 3408 | 1468 | 1260 | 1500 | 1264 |

Figura 3.3: Dimensioni del veicolo

Non sono necessarie ulteriori informazioni sulle dimensioni del veicolo ai fini di questa tesi, qualora si voglia approfondire si faccia riferimento al materiale allegato.

3.2 MASSA

Uno schema delle masse delle varie versioni del veicolo è riportato in Figura 3.4. Le versioni di Panda prese in considerazione sono le “Panda” e “Panda 4x4”.

| MASSE (valori espressi in kg) | MOTORIZZAZIONE | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|---|
| |  1108 mpi Panda |  1108 mpi Panda Van |  1108 mpi CITIVAN |  1108 mpi Panda 4x4 |  1108 mpi Panda Van 4x4 |  1108 mpi CITIVAN 4x4 |
|  | 715 | 755(*) 775(**) | 735 | 800 | 840(*) 860(**) | 820 |

(*) Versioni con portata 260 kg

(**) Versioni con portata 280 kg

Figura 3.4: Masse

Sono da considerare:

- 75 kg aggiuntivi per ogni passeggero
- 50 kg aggiuntivi per motore elettrico e riduttore nella sola versione ibrida
- 30 kg aggiuntivi per il pacco batterie nella sola versione ibrida

Non disponendo di informazioni attendibili, le distribuzioni dei pesi dei veicoli sono stati stimati con le seguenti assunzioni:

- La disposizione del motore ICE ha un forte impatto sulla distribuzione dei pesi sugli assi
- Il resto del veicolo ha i pesi all'incirca bilanciati sui due assi
- I componenti della trazione 4x4 spostano i pesi in direzione dell'asse posteriore

La stima sulla distribuzione dei pesi tra gli assi porta ai risultati in Tabella 3.1.

| Versione | % peso su asse anteriore | % peso su asse posteriore |
|-----------|--------------------------|---------------------------|
| Panda | 60 | 40 |
| Panda 4x4 | 55 | 45 |

Tabella 3.1: Distribuzione pesi

Non sono necessarie ulteriori informazioni sulle masse del veicolo ai fini di questo documento, qualora si voglia approfondire si faccia riferimento al materiale allegato.

3.3 MOTORE

Le Fiat Panda considerate montano motore termico 1108 FIRE benzina. Le caratteristiche del motore sono riportate in Tabella 3.2, mentre le curve caratteristiche del motore sono riportate in Figura 3.5.

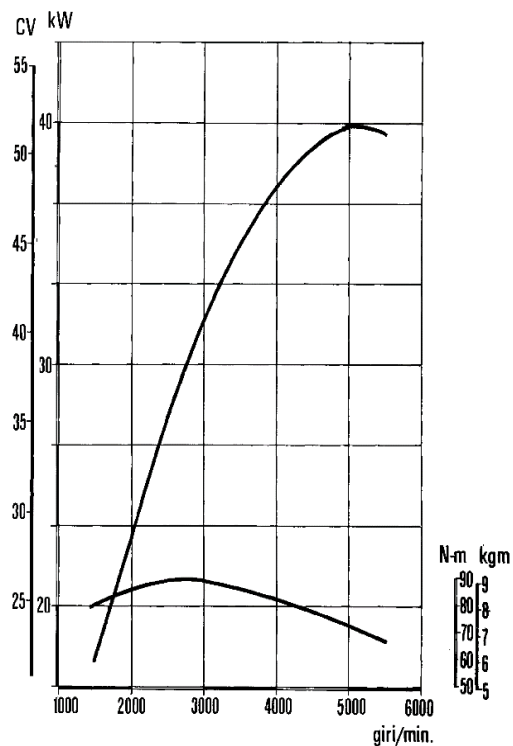


Figura 3.5: Curve caratteristiche

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Cilindri | 4 in linea |
| Cilindrata [cm ³] | 1108 |
| Rapporto di compressione | 9,6 ±2 |
| Potenza massima KW (CV) | 40 (54) a 5000 rpm |
| Coppia massima (Nm) | 88 a 2750 rpm |
| Ciclo | Otto |
| Tempi | 4 |

Tabella 3.2: Caratteristiche del motore

La curva di potenza illustrata è quella ottenibile a motore revisionato e rodato (50 ore di funzionamento), senza ventilatore, con silenziatore di scarico e filtro aria, a livello del mare.

Non sono necessarie ulteriori informazioni sul motore del veicolo ai fini di questo documento, qualora si voglia approfondire si faccia riferimento al materiale allegato.

3.4 TRASMISSIONE

Il sistema di trasmissione permette il flusso di potenza dal motore termico alle ruote anteriori. Una leva vicino al cambio permette l'inserimento della trazione 4x4 con trasmissione della coppia motrice anche all'asse posteriore. Uno schema della trasmissione del moto alle quattro ruote motrici è riportato in Figura 3.6. Il sistema di trasmissione è stato progettato e messo a punto con la collaborazione della Steyer-Puch.

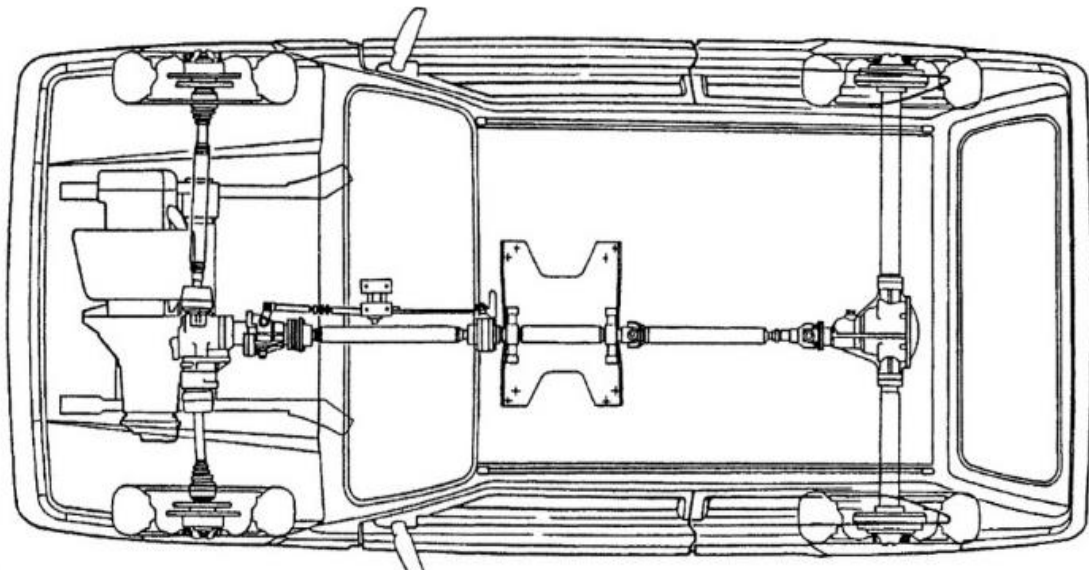


Figura 3.6: Schema della trasmissione del moto alle quattro ruote motrici

All'uscita del cambio la coppia cilindrica muove il differenziale anteriore; accanto all'ingranaggio cilindrico un aggancio conico muove un corto alberino longitudinale. Sull'estremità dell'alberino longitudinale si trova un manicotto d'innesto che, a comando della leva nell'abitacolo, collega la trasmissione all'albero che trasmette il moto alle ruote posteriori.

L'albero di trasmissione è suddiviso in tre parti:

- La parte anteriore mobile provvista di due giunti scorrevoli alle estremità che ha il compito di compensare i movimenti del gruppo motore
- il corto segmento centrale è fisso tramite il supporto collegato al pianale
- La sezione finale collegata al segmento centrale e al differenziale posteriore tramite giunti cardanici. Questa sezione è dotata di un giunto di allungamento per sopportare i movimenti ampi del ponte posteriore.

In Figura 3.7 vengono riportati:

- il rapporto di riduzione della coppia cilindrica con la ruota del differenziale
- il rapporto di riduzione della coppia conica di riduzione del rinvio
- i rapporti di riduzione degli ingranaggi del cambio per ogni marcia
- i rapporti di riduzione sulle ruote


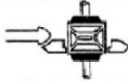


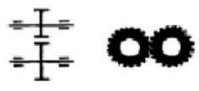
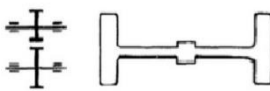
| DIFFERENZIALE - RINVIO | | Panda 1108 mpi | Panda 4 x 4 1108 mpi |
|---|---|------------------|----------------------|
|  | Rapporto coppia cilindrica di riduzione | 16/57 (3,562) | 11/60 (5,455) |
| |  | — | 14/41 (2,929) |
|  | Rapporto coppia cilindrica di riduzione | 16/57 (3,562) | 11/60 (5,455) |
| |  | — | — |
|  | Rapporto ingranaggi | 3,909 | 3,909 |
| | 1 | 2,158 | 2,056 |
| | 2 | 1,345 | 1,272 |
| | 3 | 0,974 | 0,978 |
| | 4 | 0,766 | 0,731 |
| | 5 | 3,818 | 3,727 |
|  | Rapporto sulle ruote | 13,924 | 21,324 |
| | 1 | 7,868 | 11,215 |
| | 2 | 4,791 | 6,939 |
| | 3 | 3,469 | 5,335 |
| | 4 | 2,728 | 3,988 |
| | 5 | 13,600 | 20,331 |

Figura 3.7: Rapporti di trasmissione

3.5 PNEUMATICI

In tabella 3.3 sono riportati gli pneumatici standard che montano le due Panda:

| Versione | Tipo di Pneumatico | Raggio esterno del pneumatico | Larghezza pneumatico |
|-----------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| Panda | 135/80 R13 | 27,3 cm | 13,5 cm |
| Panda 4x4 | 145/80 R13 | 28,1 cm | 14,5 cm |

Tabella 3.3: Pneumatici

3.6 COPPIA ALLE RUOTE

In base ai dati esposti nelle sezioni “Motore”, “Trasmissione”, “Ruote” è stata costruita la curva di coppia alle ruote della “Panda” riportata in Figura 3.8. Questa evidenzia le coppie disponibili alle ruote in funzione della velocità del veicolo e della marcia inserita.

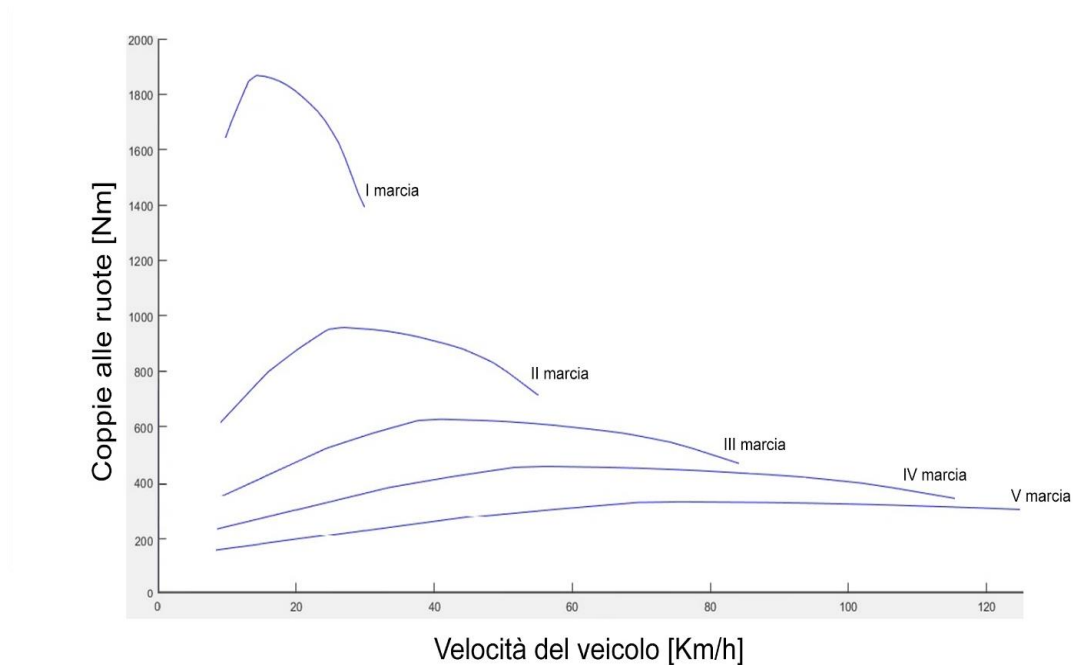


Figura 3.8: Coppia alle ruote di una Panda

4 MODELLO DI SIMULAZIONE

Nei prossimi paragrafi viene analizzato il modello Simulink usato per le simulazioni. Il modello Simulink è stato creato in accordo con il diagramma a V.

4.1 V-SHAPED MODEL DIAGRAM

La progettazione secondo diagramma a V è una rappresentazione grafica del processo di sviluppo di un sistema. Il V-model è utilizzato per produrre dei modelli di sviluppo di prodotti e modelli di project management rigorosi. Il diagramma riassume i principali passi che devono essere affrontati per lo sviluppo di un prodotto. Un diagramma di modello a V è riportato in Figura 4.1.

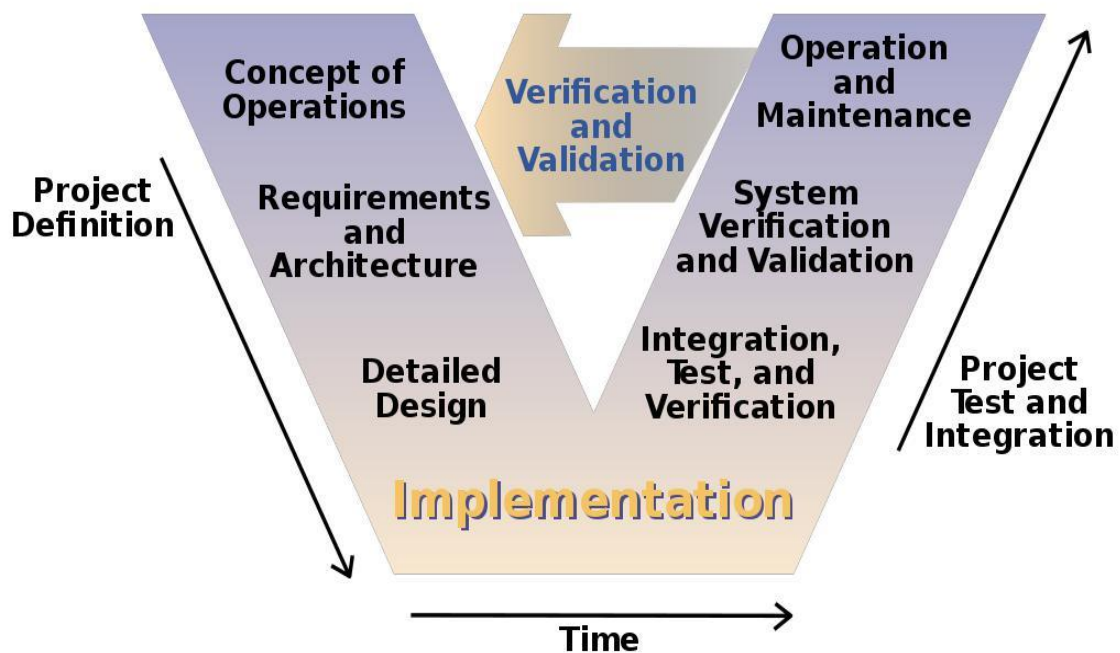


Figura 4.1: V-Shaped Diagram

Il lato sinistro della V rappresenta la scomposizione delle richieste. In base alle richieste, vengono definite le specifiche fino ad arrivare ad un design dettagliato.

La base della V rappresenta l'implementazione del modello e la creazione del prototipo.

Il lato destro della V rappresenta l'integrazione delle parti e la loro verifica e validazione. Verifiche e validazione vengono fatte su due livelli: rispetto alle richieste tecniche e rispetto alle richieste dell'utente finale. Successivamente, va verificata anche l'attinenza alle richieste dell'utente finale. Le verifiche sul prototipo (lato destro della V) portano alla correzione o ridefinizione dei modelli (lato sinistro della V).

4.2 MODEL IN THE LOOP

Il lavoro di tesi non prevede la codificazione del software, quindi lo studio riguarderà solo lo sviluppo di “model in the loop”, in cui il modello esiste interamente nell’ambiente di simulazione di origine. L’ambiente di simulazione selezionato per lo sviluppo di questa tesi è Simulink.

4.3 MODELLO PANDA 1108cc 4x4

Si modella dapprima il veicolo originale Panda 1108cc 4x4, a cui vengono poi apportate alcune modifiche nella sezione relativa al progetto ibrido.

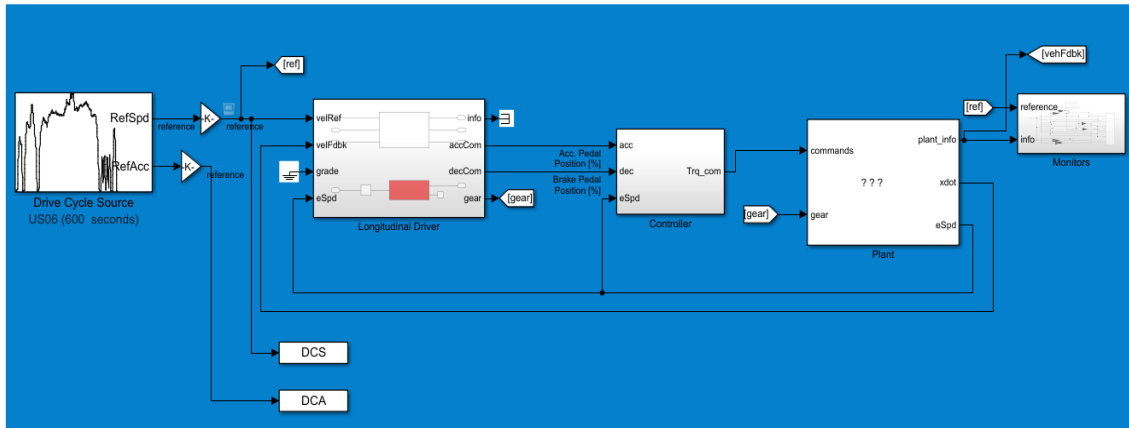


Figura 4.2: Modello Panda 1008c 4x4

Lo schema del modello di Figura 4.2 è diviso in 4 blocchi principali: il tracciato, il pilota, il sistema di controllo del veicolo, il veicolo.

4.3.1 TRACCIATO

La modellazione del tracciato include: un profilo di velocità, un profilo di aderenza, un profilo di inclinazione e la definizione di coefficienti di aderenza.

Profilo di velocità

Il profilo di velocità è necessario per fornire al pilota un riferimento di velocità da seguire durante la simulazione. Il blocco Simulink “Drive Cycle Source” può generare un ciclo guida standard o specifico che è possibile creare ad hoc per simulare un preciso percorso. Il blocco definisce uno speed reference come output.

Il drive cycle source è rappresentativo di una “velocità obiettivo”: misurando la differenza di velocità tra il riferimento e la velocità effettivamente raggiunta si ha un parametro di caratterizzazione del modello.

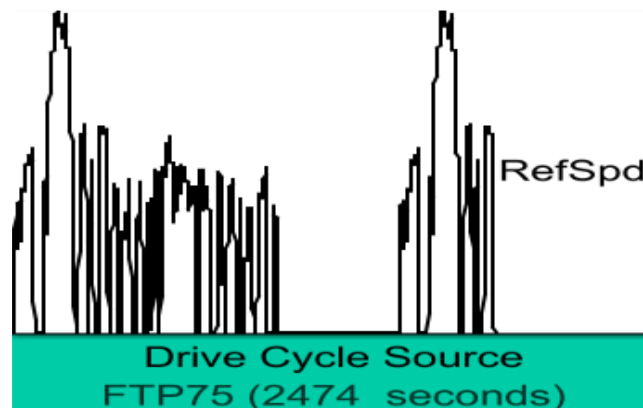


Figura 4.3: Drive Cycle source

Profilo di inclinazione

Il profilo di inclinazione viene modellato in base alla variazione dell'angolo di inclinazione della strada durante la simulazione. Può essere quindi simulato qualsivoglia ostacolo in base ai parametri di simulazione.

Dal momento che l'input di inclinazione è una funzione che varia in funzione del tempo, l'altezza e le dimensioni delle colline da superare sono proporzionali alla velocità del veicolo. Possono quindi essere combinati velocità e durata dell'inclinazione per ottenere diverse dimensioni di ostacoli o colline.

L'input di inclinazione comunica con i blocchi driver e dinamica del veicolo e verrà descritto in seguito.

Coefficienti di attrito

La dinamica del contatto tra pneumatico e terreno è basata sul modello di Pacejka.

Per simulare l'effetto dell'attrito tra il terreno e le ruote della macchina, i parametri della "Magic Formula Constant Value" vengono modificati in base alle condizioni del terreno secondo la tabella 4.1.

| | COEFFICIE NT | D-peak value | C- shape factor | B- stiffness factor | E- curvature factor | a | b | c | α | β |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|-------|---|---|----------|---------|
| SURFACE | | | | | | | | | | |
| Dry Asphalt | | 1 | 1.9 | 10 | 0.97 | 0.013 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Wet Asphalt | | 0.82 | 2.3 | 12 | 1 | 0.015 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Soil/Sand | | 0.5 | 2 | 10 | 1 | 0.05 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Snow | | 0.3 | 2 | 5 | 1 | 0,025 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ice | | 0.1 | 2 | 4 | 1 | 0.013 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabella 4.1: Coefficienti Magic Formula

I due parametri più influenti sono il D-peak value ed il coefficiente di resistenza al rotolamento: in aggiunta agli altri coefficienti questi permettono di ottenere leggi dinamiche di aderenza dello pneumatico specifiche in base al tipo di superficie considerata.

I valori in Tabella 4.1 sono un set di coefficienti della Magic Formula fornito da Simulink per superfici comuni, eccetto per quelli relativi alla dinamica della ruota sulla sabbia, scelti appositamente.

Coefficienti di attrito per la Sabbia

I coefficienti della sabbia C, B, E sono stati scelti in base a quelli assegnati per l'asfalto bagnato e il fondo innevato.

Il coefficiente di resistenza al rotolamento a, selezionato per simulare il contatto tra la ruota e la sabbia è stato stimato considerando il caso peggiore tra ghiaia e fondi fangosi.

| Surface | D-Peak friction coefficient | a-Rolling resistance coefficient |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Asphalt or concrete Dry | ~ 0.9 | 0.013 |
| Asphalt or concrete Wet | ~ 0.8 | 0.015 |
| Gravel | 0.6 | 0.025 |
| Dirt road | 0.55 | 0.05 |
| Ice | 0.1 | – |

Tabella 4.2: Coefficienti di attrito fondo sabbioso

Viene assegnato un valore variabile al coefficiente di aderenza D, per considerare la variazione di aderenza durante la simulazione in un range di [0.4-0.6], avendo stimato un valore medio di 0.5 derivato dal valore di strada fangosa approssimato per difetto.

Osservazione: l'approssimazione del coefficiente D a 0.5 ha peggiorato l'attrito.

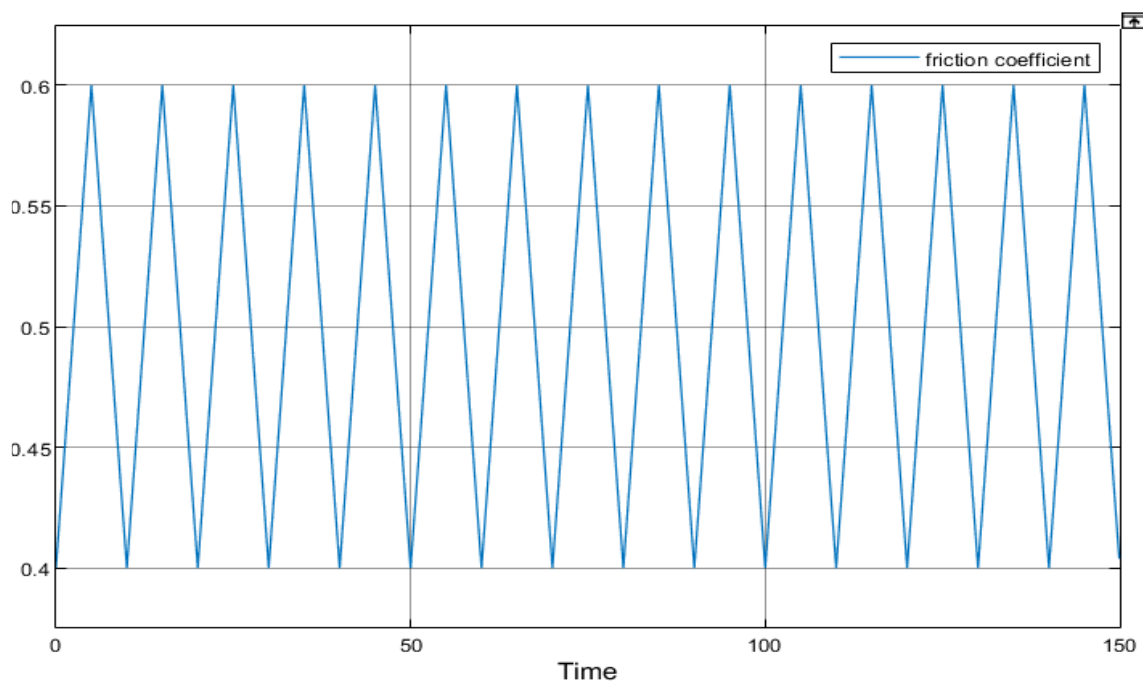


Figura 4.4: Variazione coefficiente di aderenza D

4.3.2 PILOTA

È utilizzato il blocco di simulazione di pilota virtuale di Simulink accoppiato ad una logica di selezione delle marce personalizzata come schematizzato in Figura 4.5.

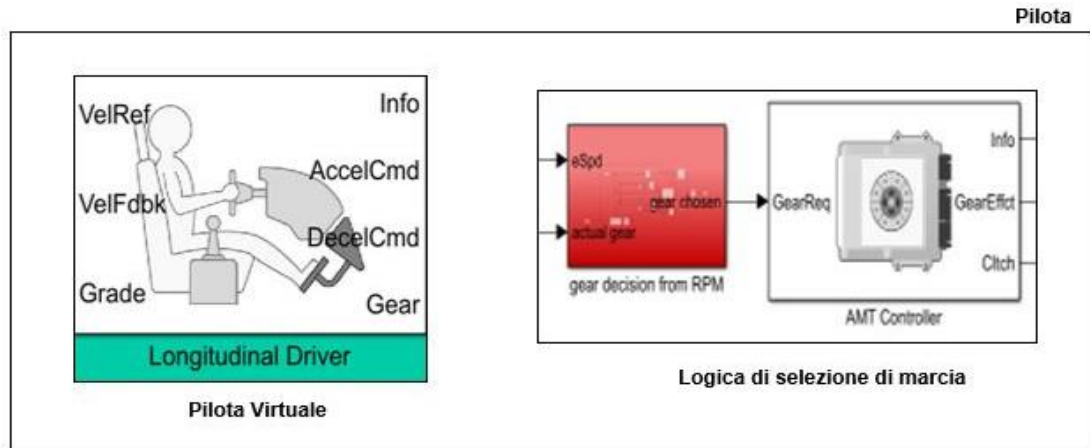


Figura 4.5: Modello di Pilota

Il pilota virtuale di Simulink riceve in ingresso:

- Il profilo di velocità di riferimento
- La velocità del veicolo
- L'inclinazione della strada

Restituisce in uscita:

- I comandi di accelerazione
- I comandi di decelerazione

Logica di Selezione delle marce

La logica di selezione delle marce riceve in ingresso la velocità del motore e restituisce in uscita la marcia inserita.

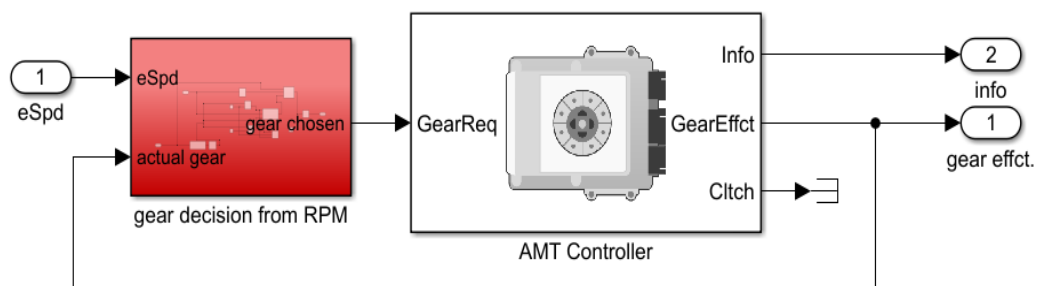


Figura 4.6: Logica di selezione di Marcia

Nel dettaglio il sistema di selezione di marce prevede:

- Un gruppo decisionale che stabilisce che marcia inserire in base al numero di giri del motore (Figura 4.6 in rosso)
- Un AMT (Automated Manual Transmission) controller che determina i comandi alla frizione in base alla marcia richiesta e ai parametri di tempo necessario per l'attuazione della frizione. Il tempo stimato per l'attuazione della frizione è di 0,1s.

Il gruppo decisionale a sinistra seleziona:

- Una marcia superiore se i giri del motore superano un valore di 4000 RPM
- Una marcia inferiore se i giri del motore sono inferiori ai 2000 RPM

Questa logica, rappresentata in Figura 4.7, è stata pensata per una guida che utilizzi il motore in un range di velocità che garantisca buoni valori di coppia.

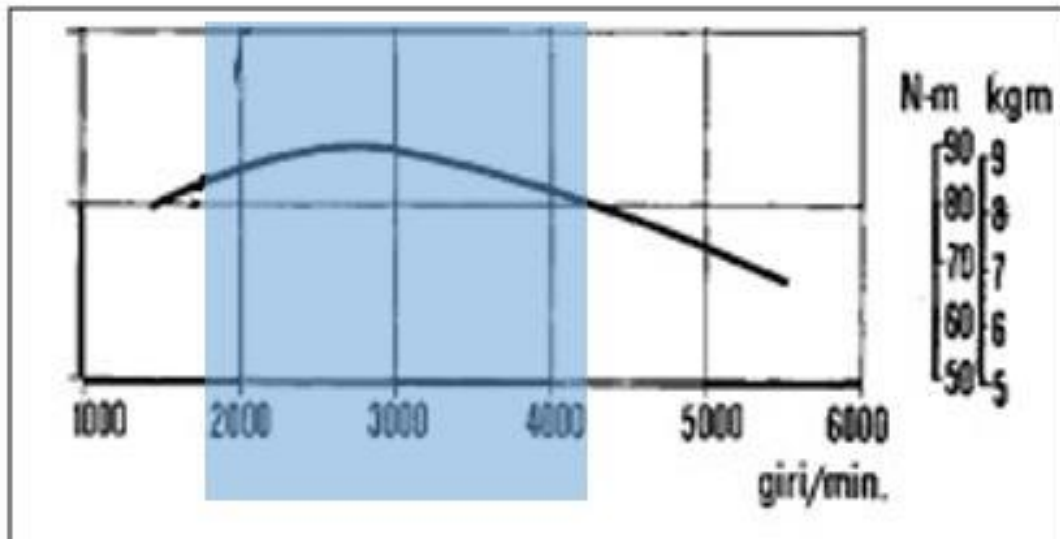


Figura 4.7: Curva di Coppia 1108 Fire

4.3.3 SISTEMA DI CONTROLLO

Il sistema di controllo è un gruppo di comando che ha come input:

- Il comando di accelerazione
- Il comando di decelerazione

Restituisce come output:

- Il comando di coppia al motore ed i comandi all'impianto frenante

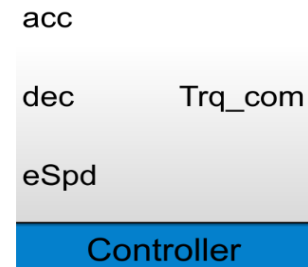


Figura 4.8: Blocco di controllo

La logica utilizzata nel blocco di controllo è rappresentata in Figura 4.9.

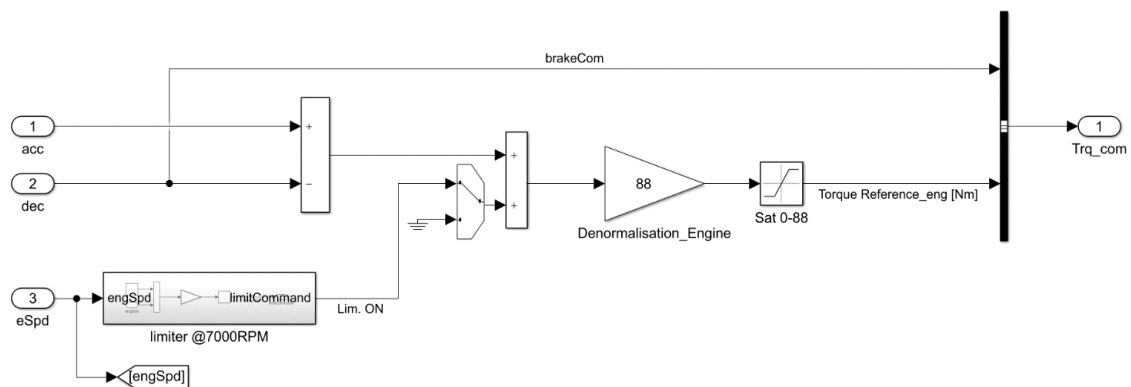


Figura 4.9: Logica del sistema di controllo

Il comando di accelerazione è moltiplicato in base alle possibilità del motore (considerata la sua coppia massima di 88 Nm) e viene inviato direttamente al blocco motore come riferimento. Il valore di riferimento di coppia richiesta al motore sarà sicuramente più alto di quello raggiunto della coppia effettivamente erogata dallo stesso.

Il comando di decelerazione è stato modellato come segnale trasmesso dai comandi di coppia e viene trasmesso al sistema frenante implementato sulle ruote.

Importanza del blocco di controllo

Il blocco di controllo permette di implementare qualsivoglia logica di controllo sul veicolo. Aggiungendo funzioni a questo blocco è possibile fare un uso intelligente dei motori in base a qualsiasi segnale proveniente dal modello di simulazione.

Come esempio delle possibilità di controllo è stato riportato in Figura 4.9 un limitatore per il motore che prende in input la velocità del motore in uscita dal veicolo.

4.3.4 VEICOLO

Uno schema del modello del veicolo è riportato in Figura 4.10.

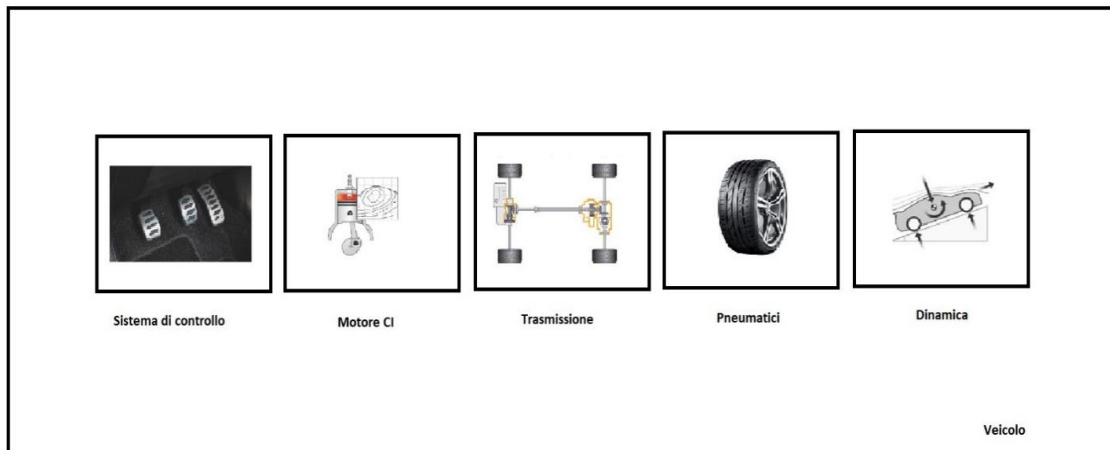


Figura 4.10: Modello del veicolo

Vengono di seguito descritte le varie parti del modello.

Motore

Questo gruppo (Figura 4.11) riceve in ingresso:

- Il comando di coppia al motore termico
- La velocità angolare del motore termico

Restituisce:

- La coppia erogata dal motore termico

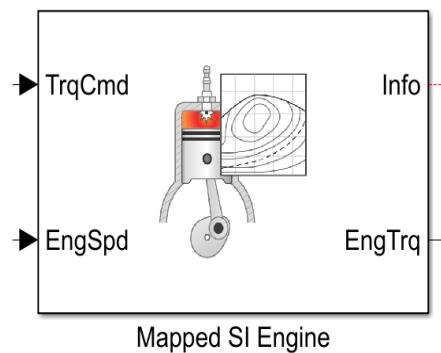


Figura 4.11: Engine

Affinché il modello funzioni conformemente al motore 1108 FIRE che la Panda monta, è stato necessario stimare i seguenti parametri:

- Firing map
- Non Firing Map
- Air Mass Flow Rate
- Fuel Mass Flow Rate

Firing Map

Questa è stata ricavata dalle curve di coppia trovate nei manuali tecnici e riportata in Figura 4.12.

Non Firing Map

Questa è la curva di funzionamento del motore con comando di coppia nullo. Non disponendo di alcuna mappa, sono stimati dei valori di coppia resistente del motore.

Air Mass Flow Rate

E' stato calcolato come:

$$\text{cicli al secondo} = \frac{rpm}{2 * 60}$$

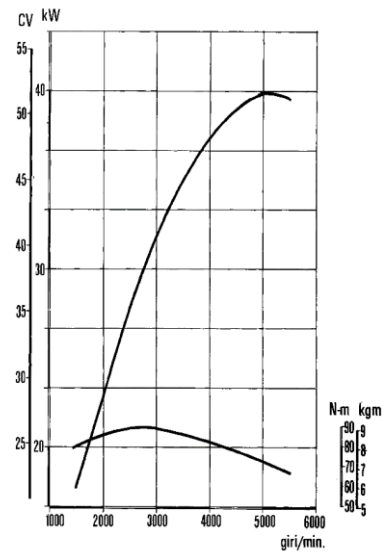


Figura 4.12: Curva di coppia

Osservazione: sono necessari due giri di manovella per fare un ciclo termodinamico.

$$\text{Air Mass Flow Rate} = \text{engd} * \rho_{aria} * \text{cicli al secondo}$$

Dove:

- engd è la cilindrata: 0.001108m³
- ρ_{aria} è la densità dell'aria N.C.: 1,225kg/m³ a 1atm, 15 gradi

Fuel Mass Flow Rate

E' stata ipotizzata una miscela perfetta con Air-to-Fuel ratio pari a 14,7.

$$\text{Fuel Mass Flow Rate} = \frac{\text{Air Mass Flow Rate}}{14,7}$$

A seguito della mappatura, il modello del motore lavorerà secondo il grafico in Figura 4.13.

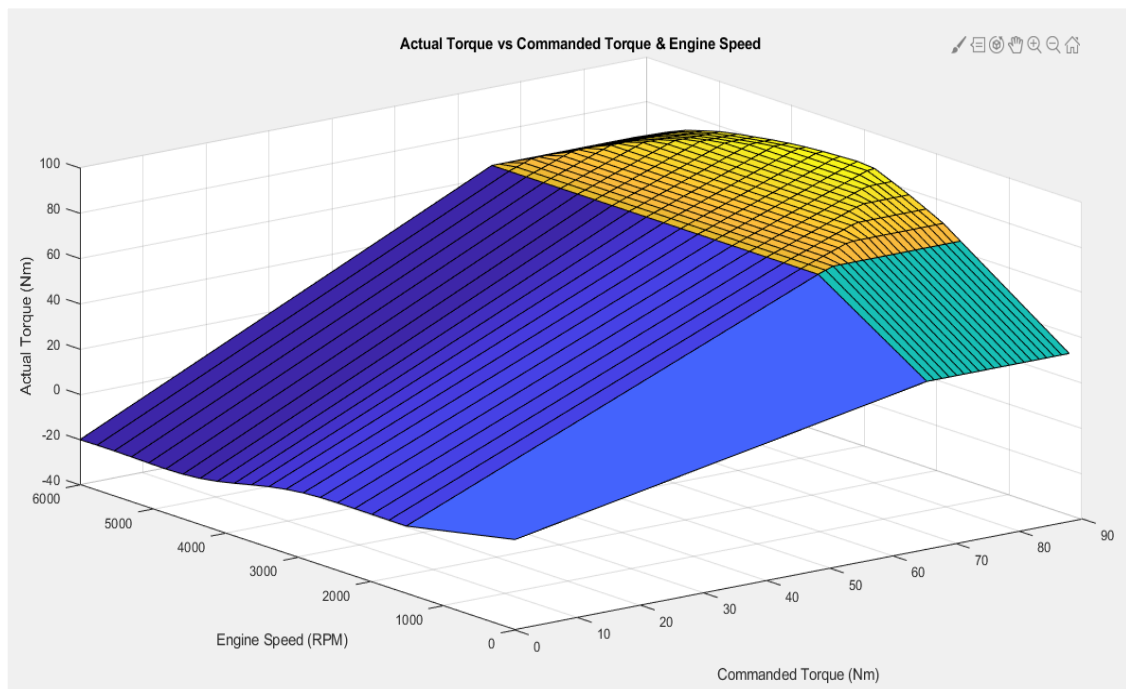


Figura 4.13: Mappa Motore

Trasmissione

Il modello della trasmissione si divide in due gruppi: cambio di velocità, differenziali e altri organi della trasmissione. Uno schema è riportato in Figura 4.14.

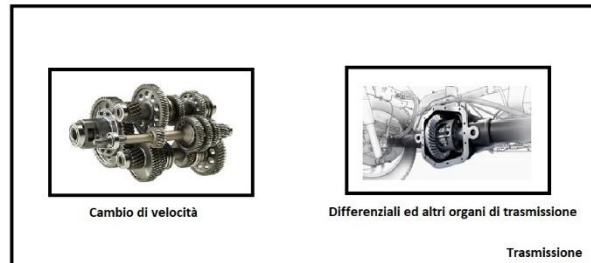


Figura 4.14: Modello della trasmissione

Il gruppo di simulazione del cambio di velocità riceve in ingresso:

- La coppia erogata dal motore termico
- La marcia inserita
- La velocità delle ruote anteriori
- La velocità delle ruote posteriori

Restituisce:

- La velocità del motore termico
- La coppia sull'albero di trasmissione
- Il rapporto di riduzione

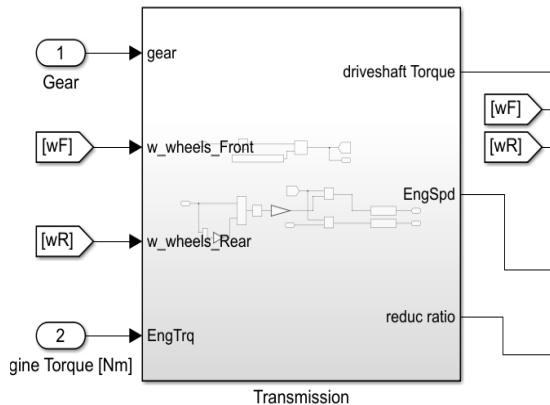


Figura 4.15: Gruppo di simulazione del cambio

La logica al suo interno seleziona il rapporto di riduzione in base alla marcia inserita, ed esegue le dovute moltiplicazioni. E' necessario selezionare al suo interno se si vuole simulare la vettura 4x2 o 4x4.

Il gruppo dei differenziali è riportato in Figura 4.16. E' necessario selezionare al suo interno se si vuole simulare la vettura 4x2 o 4x4.

Riceve in ingresso:

- La coppia all'albero di trasmissione
- Le velocità delle ruote anteriori e quella delle ruote posteriori

Restituisce:

- La coppia sull'asse anteriore

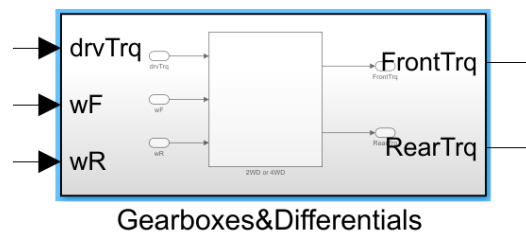


Figura 4.16: Differenziali

- La coppia sull'asse posteriore

Ruote

Il gruppo di simulazione delle ruote (Figura 4.17) riceve in ingresso:

- Il comando di frenata
- La coppia sull'asse anteriore
- La coppia sull'asse posteriore
- Le forze verticali sull'asse anteriore e sul posteriore
- La velocità del veicolo

Restituisce in uscita:

- la forza longitudinale sull'asse anteriore
- La forza longitudinale sull'asse posteriore
- Le velocità di rotazione delle ruote anteriore e posteriore

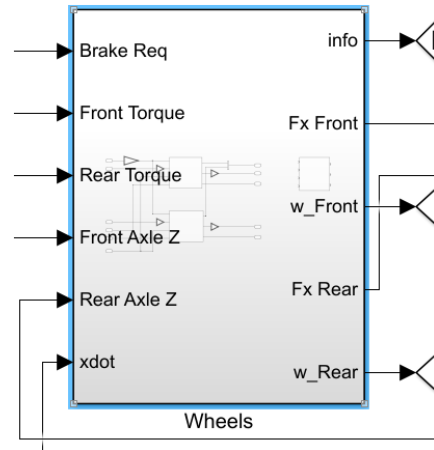


Figura 4.17: Gruppo di simulazione delle ruote

Modello di ruota

Le ruote montano freni a disco funzionando secondo il modello di Pacejka Magic Formula Constant Value.

Si utilizza la seguente configurazione:

- Longitudinal force: Magic formula constant Value
- Rolling resistance: Pressure and velocity
- Vertical motion: mapped stiffness and damping
- Brake type: Disc

Il blocco calcola la risposta inerziale della ruota soggetta a:

- Perdite dell'asse
- Coppia di frenata o accelerazione
- Resistenza al rotolamento
- Contatto col terreno sull'interfaccia pneumatico-strada

La coppia di input è la somma tra le coppie sull'asse, la coppia in frenata ed il momento dello pneumatico associato.

Per il momento dello pneumatico associato, il blocco implementa le forze di trazione della ruota e la resistenza al rotolamento con equazioni dinamiche del primo ordine. La resistenza al rotolamento ha una costante di tempo parametrizzata in termini di dimensioni a riposo.

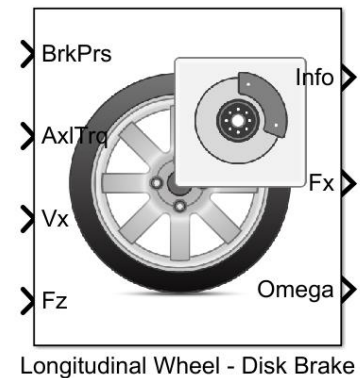


Figura 4.18: Modello di Ruota

Per modellare le forze longitudinali il blocco utilizza la Magic formula. Il modello utilizza la funzione stazionaria dello pneumatico , la forza longitudinale sullo pneumatico basata su:

- Forza verticale
- Slittamento della ruota

La Magic Formula utilizza quattro coefficienti adimensionali (B, C, D, E) basati su dati empirici dello pneumatico, e sono riportati in Tabella 4.3.

| Superficie | B | C | D | E |
|------------|----|-----|------|------|
| Dry tarmac | 10 | 1.9 | 1 | 0.97 |
| Wet tarmac | 12 | 2.3 | 0.82 | 1 |
| Snow | 5 | 2 | 0.3 | 1 |
| Ice | 4 | 2 | 0.1 | 1 |

Tabella 4.3: Coefficienti della magic formula

La coppia di input è la somma tra la coppia del motore su un asse, la coppia frenante e la coppia di trazione associata con lo pneumatico.

$$T_i = T_a - T_b + T_d$$

La coppia di trazione viene calcolata automaticamente all'interno del blocco implementando la forza di trazione e la resistenza al rotolamento con equazioni dinamiche del primo ordine. La resistenza al rotolamento è parametrizzata con il tempo in termini di dimensioni dello pneumatico a riposo (L_e).

$$\dot{T}_d = \frac{\omega R_e}{L_e + \omega R_e} (F_x R_e + M_y)$$

Dinamica

Il modulo di Figura 4.19 a lato studia la dinamica del veicolo.

Riceve in ingresso:

- Le forze totali scambiate con il terreno
- L'inclinazione della strada

Restituisce:

- La velocità del veicolo
- Le forze sulle ruote anteriori e posteriori

Le leggi fisiche che regolano questo modulo vengono di seguito descritte.

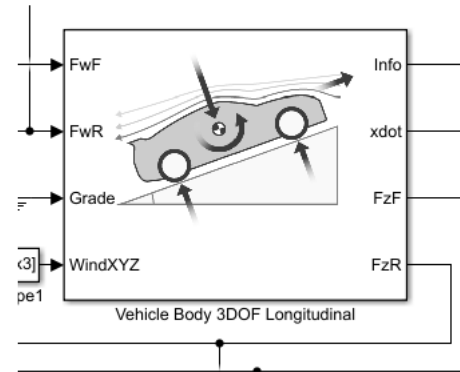


Figura 4.19: Dinamica del veicolo

Dinamica 3 dof

E' un modello di corpo rigido con rigidità degli assi configurabile, usato per calcolare:

1. Movimenti Longitudinali
2. Movimenti Verticali
3. Beccheggio

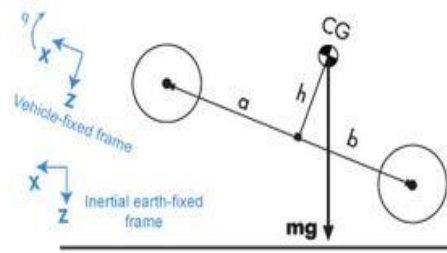


Figura 4.20: Diagramma di corpo rigido

Prende in considerazione la massa del veicolo, la resistenza aerodinamica e al rotolamento, l'inclinazione della strada e la distribuzione di peso tra gli assi, dovuta all'accelerazione ed al profilo della strada.

Vengono utilizzati i moti di corpo rigido del veicolo, i sistemi di forze sulle sospensioni, le componenti della forza esercitata dal vento e gli attriti aerodinamici per calcolare le forze normali agenti sugli assi anteriore e posteriore. Le componenti di forza ed i momenti agenti sul corpo rigido vengono calcolati secondo le equazioni:

$$\begin{aligned}
 F_x &= F_{wF} + F_{wR} - F_{d,x} - F_{sx,F} - F_{sx,R} + F_{g,x} \\
 F_z &= F_{d,z} - F_{sz,F} - F_{sz,R} + F_{g,z} \\
 M_y &= aF_{sz,F} - bF_{sz,R} + h(F_{wF} + F_{wR} + F_{sx,F} + F_{sx,R}) - M_{d,y}
 \end{aligned}$$

Rigid-Body Vehicle motion

Gli assi del veicolo sono paralleli e formano un piano. La direzione longitudinale giace su questo piano ed è perpendicolare agli assi. Se il veicolo si sta muovendo su di un profilo di strada inclinato, la direzione normale non è parallela alla gravità, ma è sempre perpendicolare al piano longitudinale su cui giacciono gli assi.

Viene usato l'effetto netto di tutte le forze ed i momenti che agiscono sul veicolo per determinarne il moto. Le forze longitudinali sugli pneumatici muovono il veicolo in avanti o indietro. Il peso del veicolo agisce attraverso il suo baricentro. Al variare dell'angolo di inclinazione della strada, il peso spinge il veicolo in avanti o indietro. In base al moto del veicolo, la resistenza aerodinamica rallenta il veicolo. Si assume che le forze aerodinamiche agiscano sul centro di massa.

Vengono implementate queste equazioni:

$$\ddot{x} = \frac{F_x}{m} - qz$$

$$\ddot{z} = \frac{F_z}{m} - qx$$

$$\dot{q} = \frac{M_y}{I_{yy}}$$

$$\dot{\vartheta} = q$$

Sospensioni

Le sospensioni vengono modellate con rigidità e smorzamento non lineari. Le forze delle sospensioni anteriore e posteriore sono date dalle equazioni:

$$F_{S_F} = N_F[F_{k_F} - F_{b_F}]$$

$$F_{S_R} = N_R[F_{k_R} - F_{b_R}]$$

Per tenere in conto di non linearità cinematiche e dei materiali, includendo collisioni di fine corsa, le rigidità sono funzione dell'allungamento.

$$F_{k_F} = f(dZ_F)$$

$$F_{k_R} = f(dZ_R)$$

$$F_{b_F} = f(d\dot{Z}_F)$$

$$F_{b_R} = f(d\dot{Z}_R)$$

Wind and Drag Forces

Le velocità del vento vengono sottratte dalla velocità del veicolo per ottenere una velocità relativa netta. Per calcolare la resistenza aerodinamica e la relativa coppia che agisce sul veicolo vengono utilizzate le seguenti equazioni. Le equazioni usano le variabili descritte in Tabella 4.4.

$$F_{d,x} = \frac{1}{2TR} C_d A_f P_{abs} (\dot{x} - w)^2$$

$$F_{d,z} = \frac{1}{2TR} C_l A_f P_{abs} (\dot{x} - w)^2$$

$$M_{d,y} = \frac{1}{2TR} C_{pm} A_f P_{abs} (\dot{x} - w)^2 (a + b)$$

Osservazione: le forze del vento non sono state utilizzate durante le simulazioni.

| | |
|------------------------|--|
| F_x | Forza longitudinale sul veicolo |
| F_z | Forza normale sul veicolo |
| M_y | Coppia sul veicolo attorno all'asse del veicolo fissato y |
| F_{wF}, F_{wR} | Forze longitudinali sugli assi anteriore e posterior lungo l'asse x del veicolo fissato. |
| $F_{d,x}, F_{d,z}$ | Resistenze longitudinali e normali sul baricentro del veicolo |
| $F_{sx,F}, F_{sx,R}$ | Forze longitudinali delle sospensioni sull'asse anteriore e posteriore |
| $F_{sz,F}, F_{sz,R}$ | Forze normali delle sospensioni sugli assi anteriore e posteriore |
| $F_{g,x}, F_{g,z}$ | Componenti longitudinale e normale della forza gravitazionale sul veicolo rispetto |
| $M_{d,y}$ | Coppia dovuta alla resistenza aerodinamica sul veicolo attorno all'asse y |
| a, b | Distanza degli assi anteriore e posteriore, rispettivamente, dalla proiezione del |
| h | Altezza del baricentro sul piano degli assi, lungo l'asse z del sistema di riferimento |
| F_{sF}, F_{sR} | Forze delle sospensioni sull'asse anteriore e posteriore e lungo l'asse z nel sistema |
| Z_{wF}, Z_{wR} | Coordinate z-normale anteriore e posteriore del veicolo nel Sistema di riferimento |
| θ | Beccheggio del veicolo lungo l'asse y del sistema di riferimento solidale al veicolo |
| m | Massa del veicolo |
| N_F, N_R | Numero di route anteriori e posteriori |
| I_{yy} | Momento d'inerzia del veicolo attorno all'asse y nel sistema di riferimento del |
| x, \dot{x}, \ddot{x} | Posizione longitudinale del veicolo, velocità ed accelerazione lungo l'asse x del |
| z, \dot{z}, \ddot{z} | Posizione longitudinale del veicolo, velocità ed accelerazione lungo l'asse z del |

| | |
|----------------|--|
| Fk_F, Fk_R | Forza elastica delle sospensioni lungo l'asse z del sistema di riferimento solidale al |
| Fb_F, Fb_R | Forza viscosa delle sospensioni lungo l'asse z del sistema di riferimento solidale al |
| dZ_F, dZ_R | Deflessione degli assi delle sospensioni anteriori e posteriori lungo l'asse z al |
| $d'Z_F, d'Z_R$ | Velocità di deflessione degli assi delle sospensioni anteriori e posteriori lungo l'asse |
| C_d | Coefficiente di resistenza aerodinamica frontale lungo l'asse x del veicolo |
| C_l | Coefficiente di resistenza aerodinamica laterale agente lungo l'asse z del sistema di |
| C_{pm} | Momento della resistenza aerodinamica attorno all'asse y del sistema di |
| A_f | Area frontale |
| P_{abs} | Pressione assoluta |
| R | Costante dei gas |
| T | Temperatura dell'aria |
| w_x | Velocità del vento lungo l'asse del veicolo |

Tabella 4.4: Variabili Dinamica 3 dof

5 VALIDAZIONE DEL MODELLO E INTRODUZIONE ALL'AMBIENTE DI SIMULAZIONE

In questo capitolo viene validato il modello dell'auto Panda 1108cc con trazione 4x4 disattiva, evidenziando velocità, potenza e altri parametri del veicolo, verificando che siano coerenti con quelli attesi. Inoltre, per dare una prova delle potenzialità dello strumento utilizzato, vengono proposte delle simulazioni con parametri di input differenti tra loro.

Per lo scopo citato, è utilizzato un ciclo guida tale da evidenziare i limiti prestazionali del veicolo. È scelto il ciclo guida US 06 moltiplicato per un fattore di 1.3:

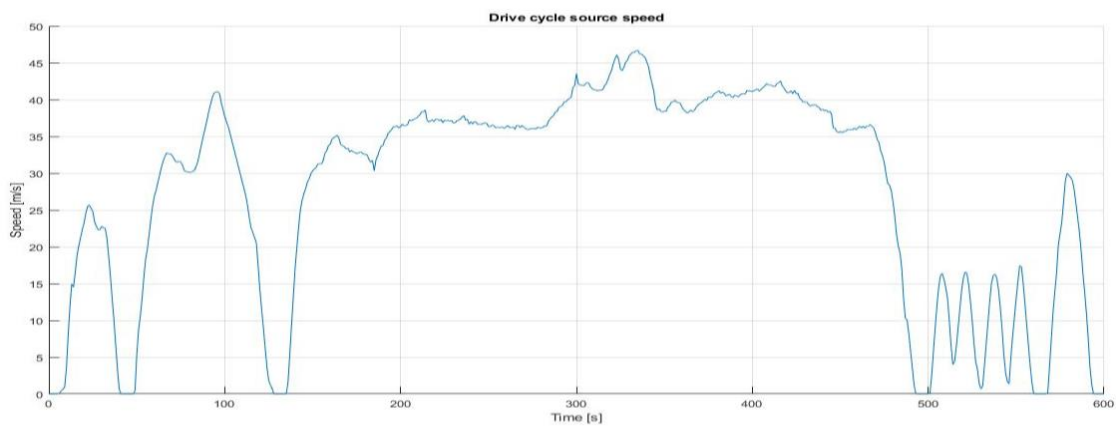


Figura 5.1: Profilo di velocità "US06 modificato"

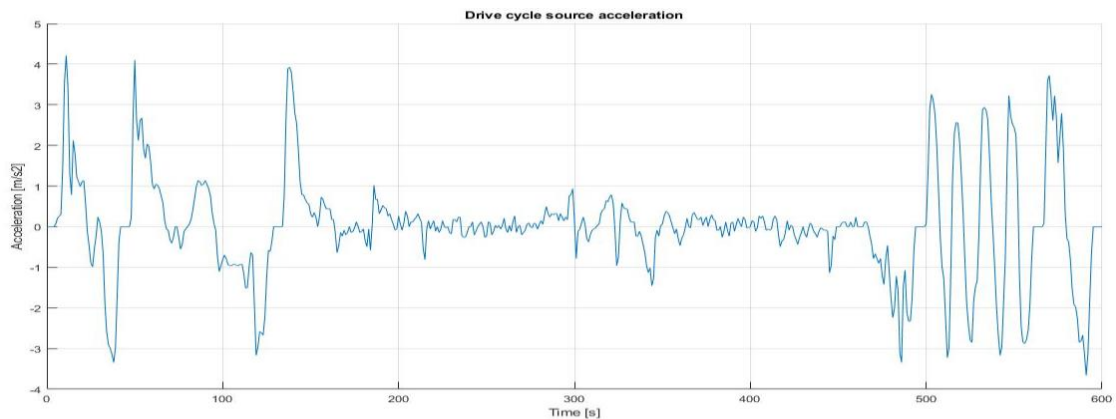


Figura 5.2: Profilo di accelerazioni "US06 modificato"

Come mostrato, il ciclo così impostato ha tali caratteristiche:

- velocità di picco di 170 km/h
- accelerazione di picco di $4,2 \text{ m/s}^2$
- durata di 600 secondi

5.1 SIMULAZIONE DI VALIDAZIONE: ASFALTO ASCIUTTO

Si inizia con una simulazione su asfalto asciutto per consentire all'auto la massima aderenza quando scarica sul suolo tutta la coppia disponibile. Si richiamano i parametri della Magic Formula utilizzati in Tabella 5.1.

| Superficie | B | C | D | E |
|------------------|----|-----|---|------|
| Asfalto asciutto | 10 | 1.9 | 1 | 0.97 |

Tabella 5.1: Coefficienti "Magic Formula" per asfalto asciutto

Sono riportati nelle prossime immagini i risultati della simulazione utili alla validazione del modello.

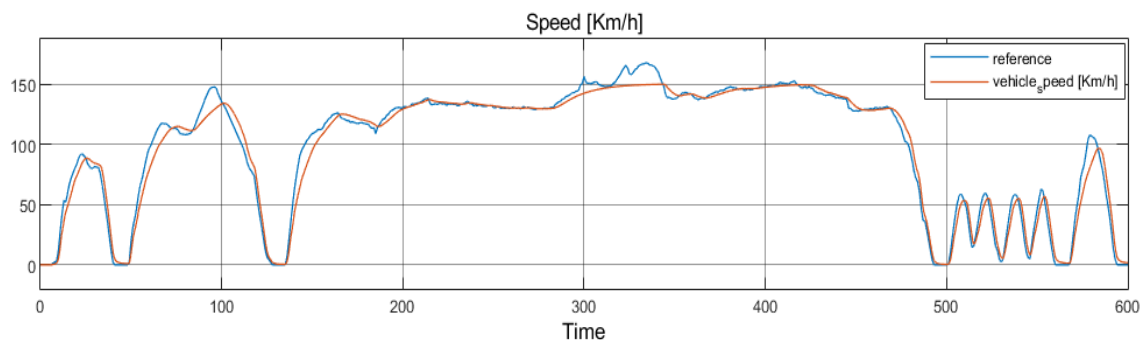


Figura 5.3: Velocità asfalto asciutto, risultato validazione

La massima velocità raggiunta dal veicolo è di 150 km/h e, considerando che non si è tenuto conto delle inefficienze meccaniche della trasmissione, il dato risulta attendibile.

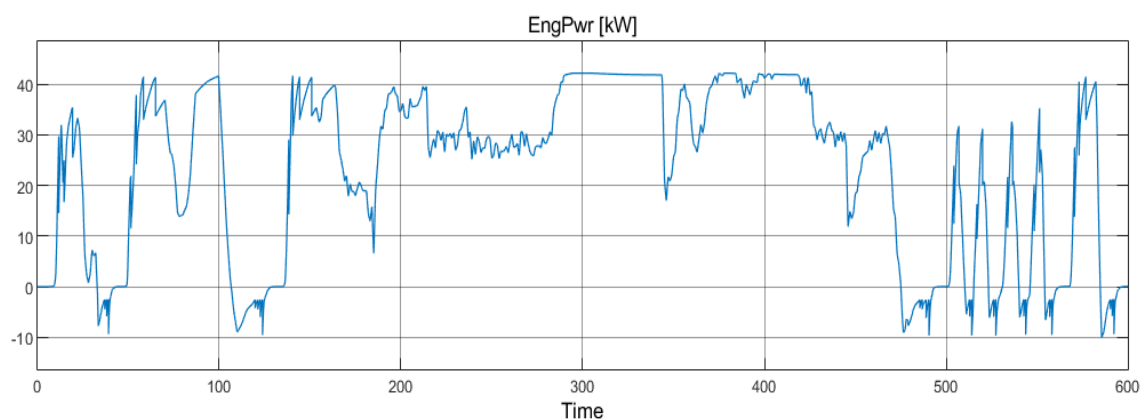


Figura 5.4: Potenza erogata asfalto asciutto, risultato validazione

La potenza massima erogata dal motore è di poco superiore ai 40 kWatt (54 cv) come atteso.

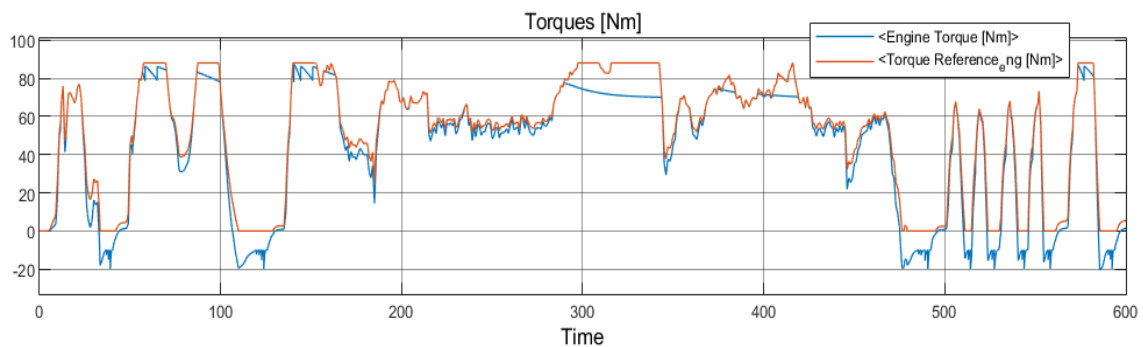


Figura 5.5: Coppia erogata dal motore asfalto asciutto, risultato validazione

La coppia massima erogata dal motore è di 88 Nm come previsto. Si evidenzia una netta differenza tra la coppia richiesta e quella erogata, poiché è simulata anche la dinamica del motore termico.

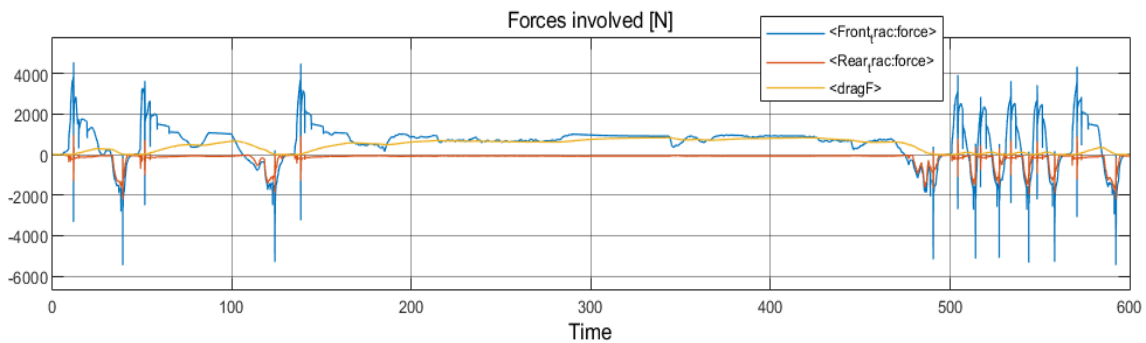


Figura 5.6: Forze di trazione asfalto asciutto, risultati validazione

Si evidenzia in Figura 5.6 che l'unico asse in trazione è quello anteriore. Il picco di forza di 4500N circa è giustificato come segue:

$$57Nm \text{ (coppia motore di picco)} * 3.909 \text{ (rapporto 1° marcia)} * 5.455 \text{ (rapporto diff.)} \\ * 1 / 0.27m \text{ (raggio ruota)} = 4501 Nm$$

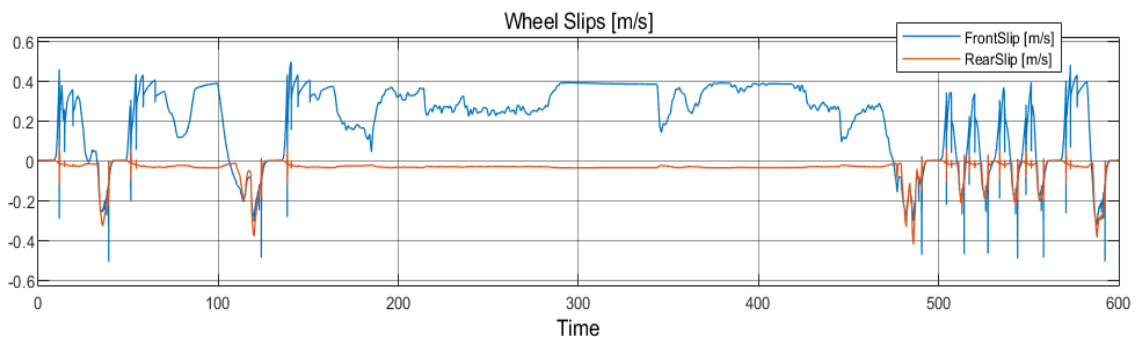


Figura 5.7: Slittamento ruote asfalto asciutto, risultati validazione

Essendo le ruote anteriori le uniche motrici in questa simulazione, l'unico slittamento positivo, utile al grip dello pneumatico in trazione, è fornito dall'asse anteriore, invece le ruote posteriori comportano uno slittamento negativo poiché condotte.

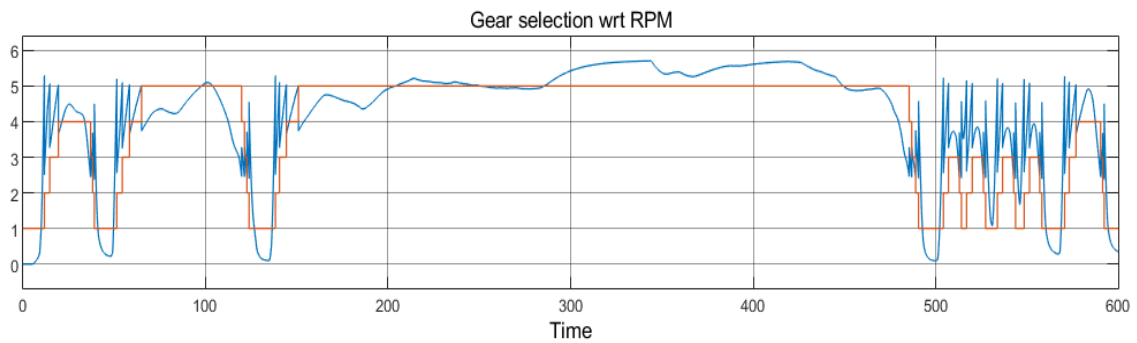


Figura 5.8: Marcia selezionata asfalto asciutto, risultati validazione

Si riporta un grafico con le cambiate in funzione dei giri del motore in cui risulta una selezione della marcia superiore e inferiore rispettivamente per un numero di giri maggiore di 5000rpm e inferiore ai 3000rpm.

5.2 SIMULAZIONE DI VALIDAZIONE: SUOLO SCONNESSO

Questa simulazione è realizzata ancora su asfalto asciutto ma vede l'introduzione di un profilo di inclinazione non nullo durante il percorso, tale da modellare una serie di dossi periodici di angolo 30° che il veicolo deve affrontare:

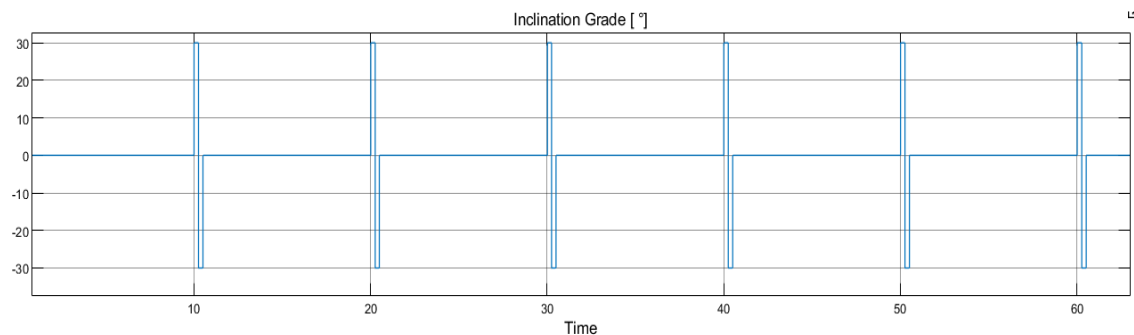


Figura 5.9: Inclinazione della strada

Gli sbalzi ottenuti sono quasi istantanei, quindi si otterrà un profilo di riferimento simile a quello di partenza con l'aggiunta di dossi ad intervalli di 10 secondi.

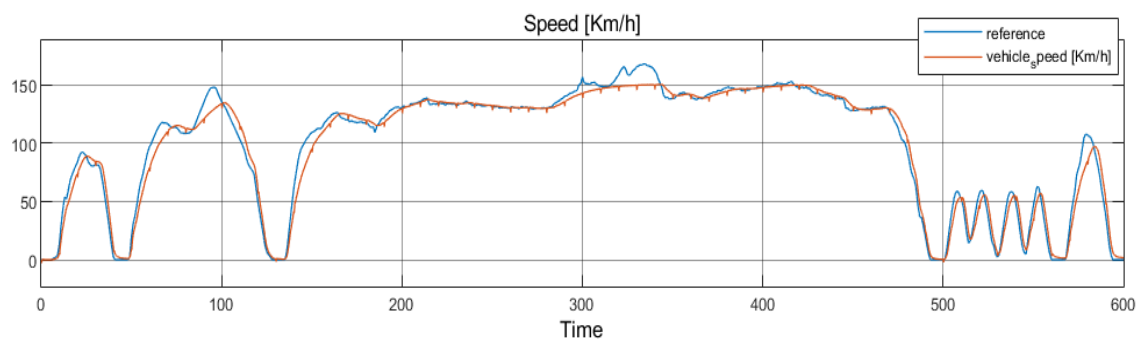


Figura 5.10: Velocità con dossi, risultati validazione

L'andamento della velocità del veicolo dimostra la presenza degli ostacoli. La velocità media, così come i restanti dati, risultano piuttosto immutati rispetto alla prova precedente.

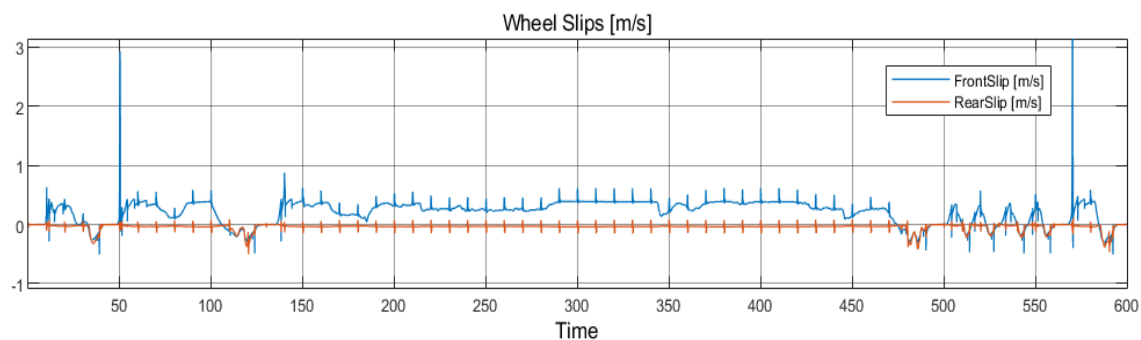


Figura 5.11: Slittamento con dossi, risultati validazione

Il risultato più interessante è quello mostrato dallo slittamento degli pneumatici, sono presenti dei picchi in presenza dei dossi anche per le ruote condotte ma i valori più alti sono comunque raggiunti dalle ruote in trazione.

5.3 SIMULAZIONE DI VALIDAZIONE: ASFALTO BAGNATO

La seguente simulazione è effettuata su suolo non inclinato con minore aderenza, per questo si scelgono dei coefficienti di aderenza che riproducano il caso di asfalto bagnato.

| Superficie | B | C | D | E |
|-----------------|----|-----|------|---|
| Asfalto bagnato | 12 | 2.3 | 0.82 | 1 |

Tabella 5.2: Coefficienti Magic Formula per "Asfalto Bagnato"

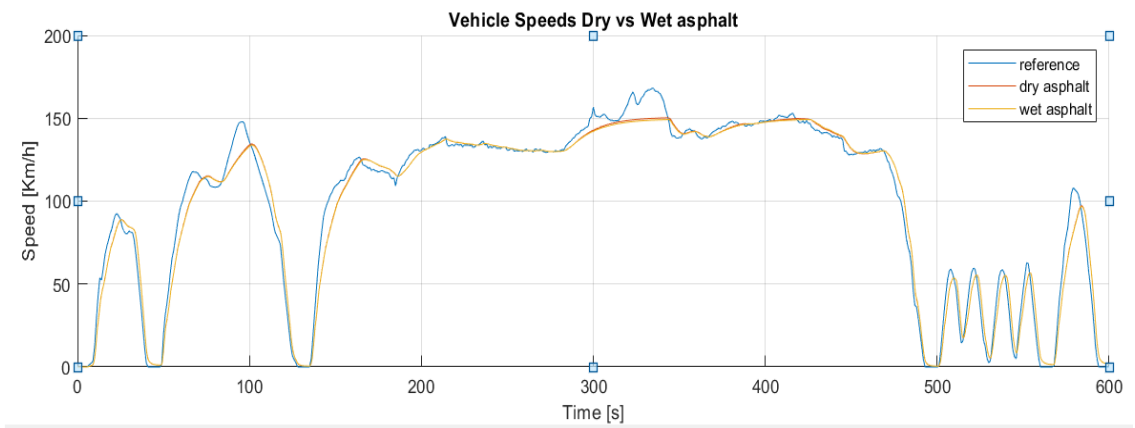


Figura 5.12: Confronto velocità, risultati validazione

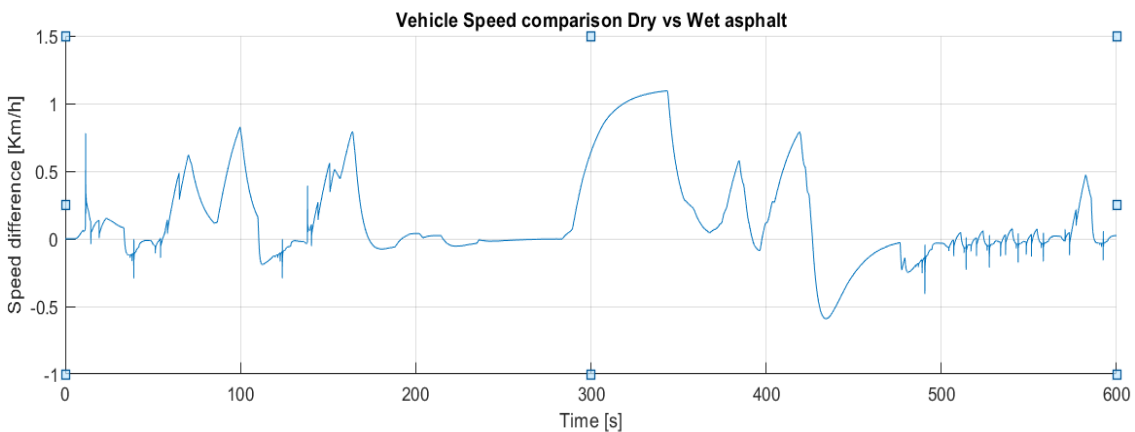


Figura 5.13: Delta velocità, risultati simulazione

Il grafico di Figura 5.13 mostra la perdita di velocità del veicolo dovuta alla minore aderenza del suolo. Tuttavia, le differenze sono esigue poiché lo è anche la diminuzione dell'aderenza stessa, ancora sufficiente in questo caso a scaricare a terra la coppia a disposizione.

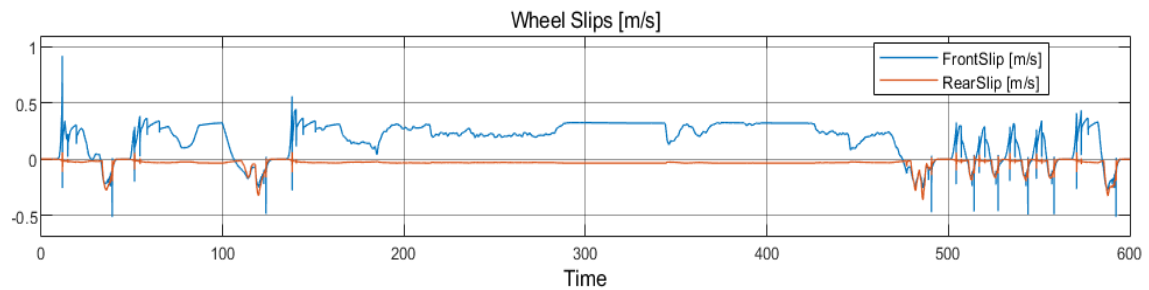


Figura 5.14: Slittamento asfalto bagnato, risultati validazione

Si evidenzia un considerevole aumento dello slittamento degli pneumatici rispetto alla simulazione effettuata su asfalto asciutto.

6 STUDIO 2WD VS 4WD SU GHIACCIO

In questo capitolo si sceglie di inserire la trazione 4x4 sul veicolo Panda 1108cc allo scopo di evidenziarne differenze e vantaggi rispetto alla sola trazione anteriore. Nella seguente simulazione viene utilizzato un profilo di velocità moderato (US 06*0.6) da seguire su un suolo ghiacciato. I parametri di Pacejka per la simulazione sono riportati in Tabella 6.1.

| Superficie | B | C | D | E |
|------------|---|---|-----|---|
| Ghiaccio | 4 | 2 | 0.1 | 1 |

Tabella 6.1: Coefficienti "Magic Formula" su ghiaccio

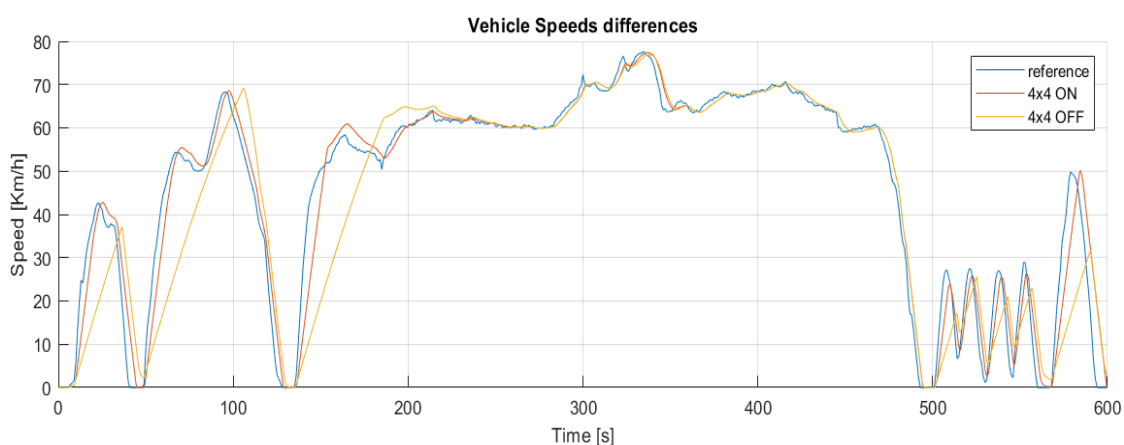


Figura 6.1: Velocità 2WD VS 4WD su ghiaccio

I risultati mostrano una netta differenza nel seguire il profilo da parte dei due modelli. Il veicolo con trazione 4x4 attiva è perfettamente in grado di seguire il profilo imposto, al contrario il veicolo con trazione anteriore arriva facilmente al limite delle condizioni di trazione possibili sul suolo così simulato.

È possibile notare che entrambi i veicoli sono in grado di raggiungere la massima velocità imposta ed hanno normali prestazioni in la frenata. Il veicolo a due ruote motrici non riesce tuttavia a raggiungere le accelerazioni richieste.

Vengono mostrate in Figura 6.2 e 6.3 le differenze nello slittamento degli pneumatici nei due casi considerati.

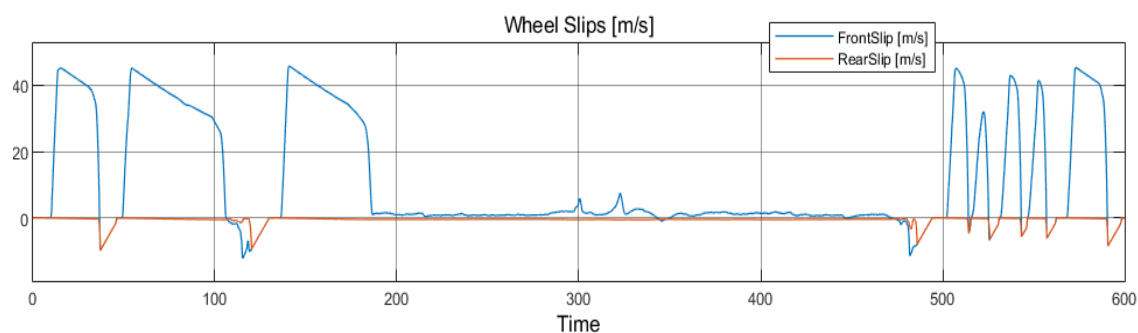


Figura 6.2: Slittamento pneumatici su ghiaccio, trazione anteriore

Il veicolo a trazione anteriore lavora in condizione di forte slittamento anche a basse velocità. Lo slittamento si riscontra solo sull'asse anteriore, l'unico in trazione (naturalmente si tratta di condizioni di lavoro estreme atte esclusivamente a confrontare i due modelli).

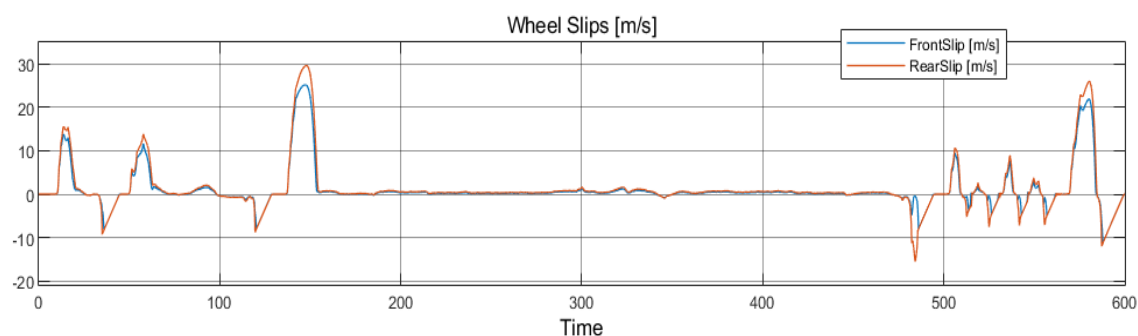


Figura 6.3: Slittamento ruote trazione integrale

Con la **trazione 4x4** le quattro ruote presentano lo stesso grado di slittamento, perché connesse cinematicamente, ne consegue una trazione del veicolo più omogenea e distribuita su entrambi gli assi nonché valori di slittamento degli pneumatici nettamente inferiori.

7 RIPARTIZIONE DELLA COPPIA, CASO PANDA 4X4 1108CC

Viene brevemente descritta in questo capitolo la ripartizione di coppia per una Panda 4x4. È riportato in Figura 7.1 uno schema della trasmissione del moto del veicolo a trazione integrale.

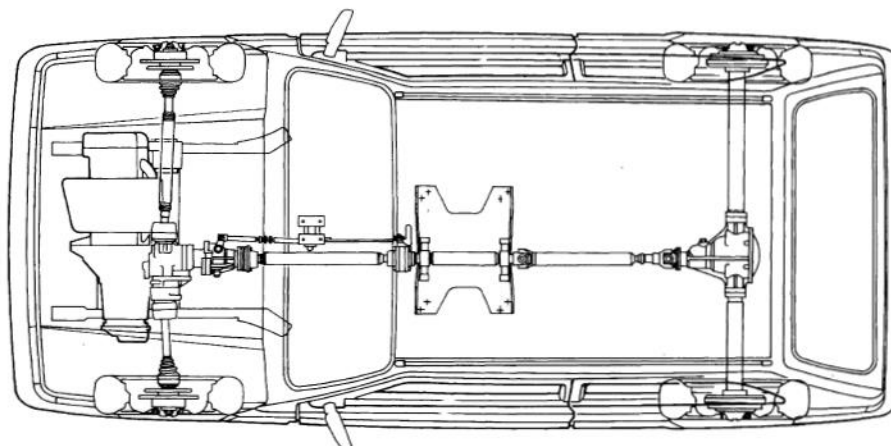


Figura 7.1: Schema della trasmissione del moto Panda 4x4

Inserita la trazione 4x4, gli assi anteriore e posteriore vengono connessi cinematicamente, ovvero le velocità dei rispettivi differenziali sono le medesime.

L'unico organo interposto tra i differenziali è l'albero di trasmissione, diviso in tre sezioni, che si fa carico sia del trasferimento della coppia motrice all'asse posteriore, sia di eventuali differenze di condizioni di aderenza tra i differenziali.

I due assi possono avere condizioni di aderenza differenti in base alla dinamica del contatto suolo-pneumatico per:

- Differente carico sull'asse (derivante dalla posizione del baricentro del veicolo, dall'inclinazione del suolo, dall'accelerazione o decelerazione)
- Differente coefficiente di aderenza, se il suolo è sconnesso e disomogeneo (si pensi alla presenza di una pozza d'acqua, di breccia sul tracciato, ecc.)

In diverse situazioni può risultare che uno dei due assi ostacoli la rotazione dell'altro. In questi casi, non potendo avere i differenziali velocità discordanti, la coppia scaricata sull'asse che presenta maggior resistenza al moto sarà maggiore della metà erogata dal motore. Un caso limite è quello in cui un asse è totalmente libero di ruotare, questa situazione vede l'intera coppia erogata scaricata sull'altro asse.

Per un'analisi più esplicativa si procede con delle simulazioni in condizioni differenti, focalizzando l'attenzione sulla distribuzione di coppia tra gli assi.

7.1 RIPARTIZIONE DI COPPIA SU ASFALTO ASCIUTTO

Viene riportata in Figura 7.2 la distribuzione di coppia tra gli assi durante una simulazione con profilo di velocità US 06 (*1.3) su asfalto asciutto.

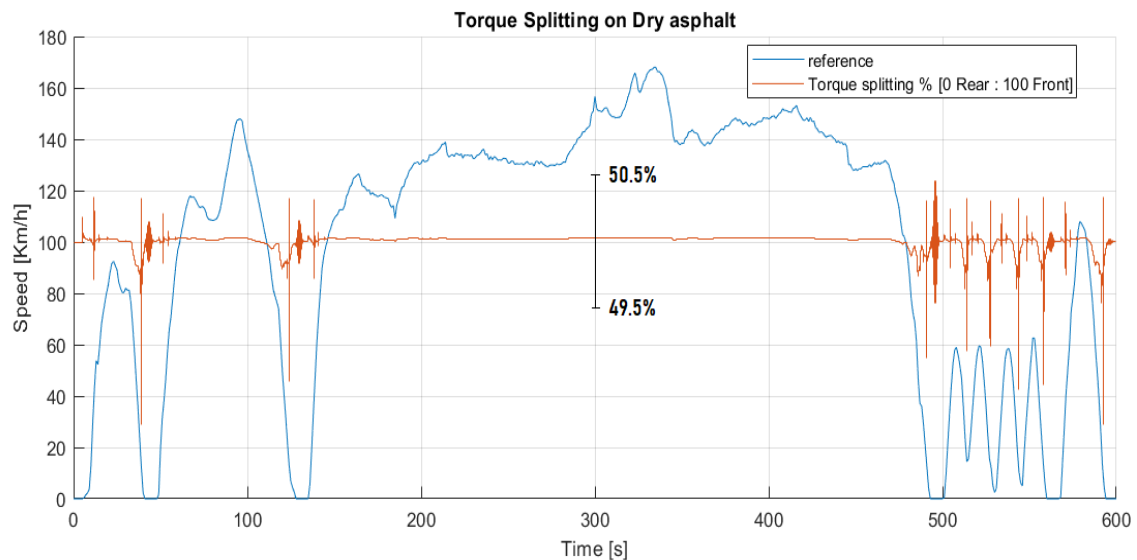


Figura 7.2: Ripartizione di coppia tra gli assi su asfalto asciutto Panda 4x4

Si può facilmente dedurre che in condizioni di perfetta aderenza, come quella analizzata, la distribuzione di coppia tra gli assi è all'incirca **50:50** anche in presenza di forti accelerazioni.

In casi come questo, dunque, la differenza di peso tra avantreno e retrotreno e il beccheggio del veicolo hanno un'influenza trascurabile sulla distribuzione della coppia, poiché il modello lavora sempre in condizioni di totale aderenza rispetto alle coppie in gioco sugli assi e non vi è alcuna possibilità di slittamento per gli pneumatici che possa comportare una differenza di coppia nell'albero di trasmissione.

7.2 RIPARTIZIONE DI COPPIA SU ASFALTO BAGNATO

Viene riportata in Figura 7.3 la distribuzione di coppia tra gli assi durante una simulazione con profilo di velocità US 06 (*1.3) su asfalto bagnato.

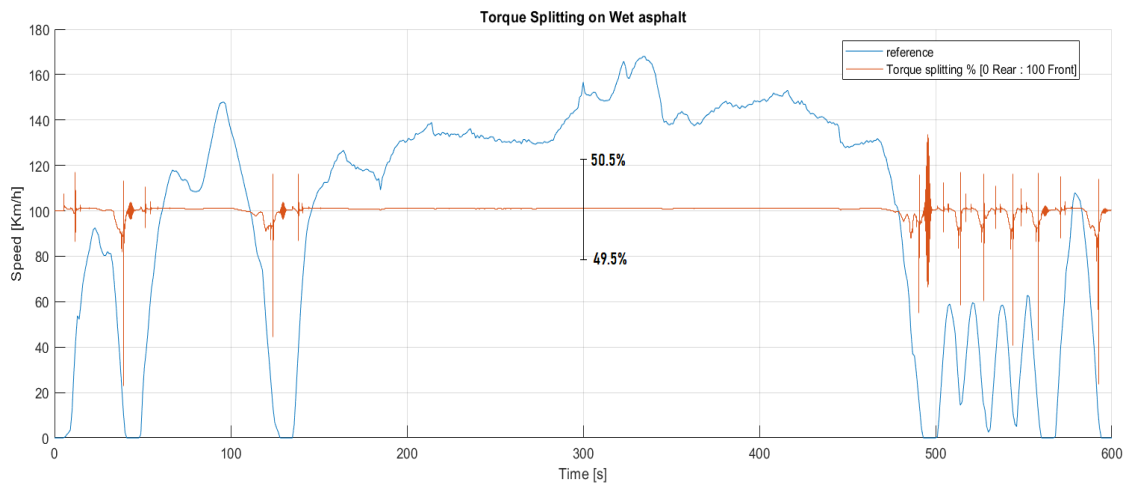


Figura 7.3: Ripartizione di coppia tra gli assi su asfalto bagnato Panda 4x4

Non si notano particolari differenze rispetto alla prova su asfalto asciutto, permane una divisione di coppia tra gli assi 50:50.

7.3 RIPARTIZIONE DI COPPIA SU SUOLO GHIACCIATO

Viene riportata in Figura 7.4 la distribuzione di coppia tra gli assi durante una simulazione con profilo di velocità US 06 (*0,6) su asfalto bagnato.

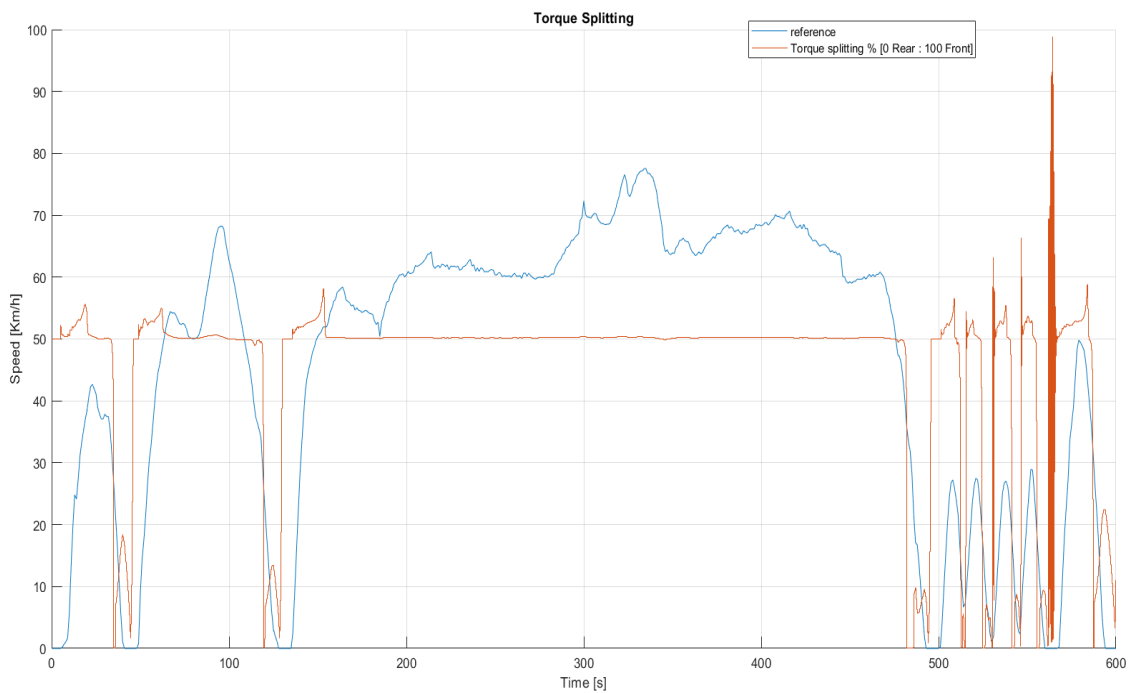


Figura 7.4: Ripartizione di coppia tra gli assi su ghiaccio Panda 4x4

In questa simulazione la differenza di coppia scaricata tra gli assi risulta evidente. Si evince che:

- A **velocità costante**, facendo eccezione per poche oscillazioni, ogni asse è mosso da circa il 50% della coppia del motore.
- In **accelerazione**, la coppia fornita all'asse anteriore supera facilmente un valore del **60%** poiché il baricentro dell'auto è più vicino all'avantreno e il minor carico sull'asse posteriore provoca uno slittamento consistente quando si eroga maggiore coppia in queste condizioni.
- In **frenata**, le ruote posteriori sono le prime a giungere al completo bloccaggio (la pressione dell'impianto frenante risulta troppo elevata per questa superficie) e questo comporta maggiore coppia resistente ("freno motore") scaricata sull'asse posteriore.

8 PANDA 1GEN HYBRID DESIGN

Viene in questo capitolo descritto il modello di Panda ibrida generato durante il lavoro di tesi.

Come descritto nell'introduzione, la Panda ibrida prevede cambio manuale e assi indipendenti. Il veicolo ibrido sarà costituito da:

- **Motore termico** originario sull'asse anteriore accoppiato con un **Generatore** tramite cinghia
- **Motore elettrico** sull'asse posteriore
- **Batteria** da 2kWh

Il generatore elettrico è accoppiato al motore termico sull'asse anteriore. Questo generatore, la cui funzione principale è quella di produrre energia elettrica da immagazzinare nelle batterie, può essere anche usato come motore o come freno rigenerativo.

Il motore elettrico eroga coppia sull'asse posteriore e può essere anche usato come freno rigenerativo.

È riportato in Tabella 8.1 uno schema dell'architettura dei motori.

| | | |
|------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Motore Termico | 40kW | |
| Generatore | 7kW nominale-10kW max | Rapporto di riduzione: 2 |
| Motore Elettrico | 15 kW nominale-25kW max | Rapporto di riduzione: 10,5 |

Tabella 8.1: Riassunto Architettura Motori

Si riassumono di seguito i componenti aggiuntivi che il veicolo presenta:

1. Belt-Drive Starter-Generator di potenza nominale 7 kW [max 10kW] accoppiato al motore con rapporto di riduzione di 2
2. Motore elettrico di potenza nominale di 15 kW [max 25 kW] e rapporto di riduzione di 10.5 sull'asse posteriore
3. High voltage battery [96V]
4. DC/DC converter

8.1 MODELING DEL VEICOLO IBRIDO

Per realizzare il modello ibrido precedentemente discusso si è partiti dal modello di Panda originale. E' stato necessario aggiungere al modello un opportuno sistema elettrico che comprendesse la batteria, il motore elettrico ed il generatore.

Lo schema di Panda Ibrida generato è riportato in Figura 8.1. Si noti come la struttura esterna del modello Simulink di Panda Ibrida sia pressoché identica a quella del modello di Panda originale. Sono infatti state apportate solamente modifiche interne al modello, che coinvolgono i sistemi "Plant" e "Controller". Le modifiche apportate vengono presentate nei prossimi capitoli.

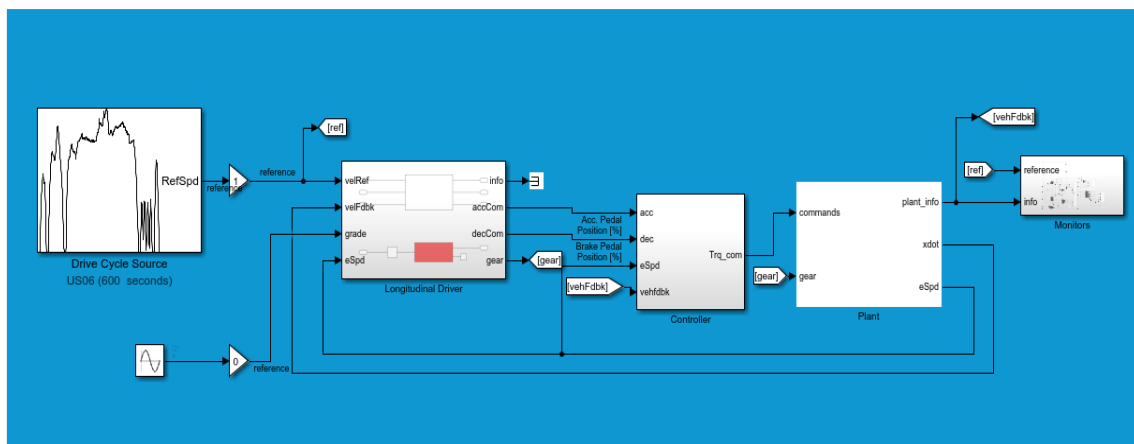


Figura 8.1: Modello ibrido

8.2 MODIFICHE AL PLANT

Le modifiche al “Plant” prevedono l’aggiunta al modello di un opportuno sistema elettrico che comprende la batteria, il motore elettrico ed il generatore.

Questi sono stati inseriti nel sistema di propulsione del modello all’interno di un opportuno “Subsystem” definito “Electric Plant”.

Il sistema di propulsione in discussione è riportato in Figura 8.2.

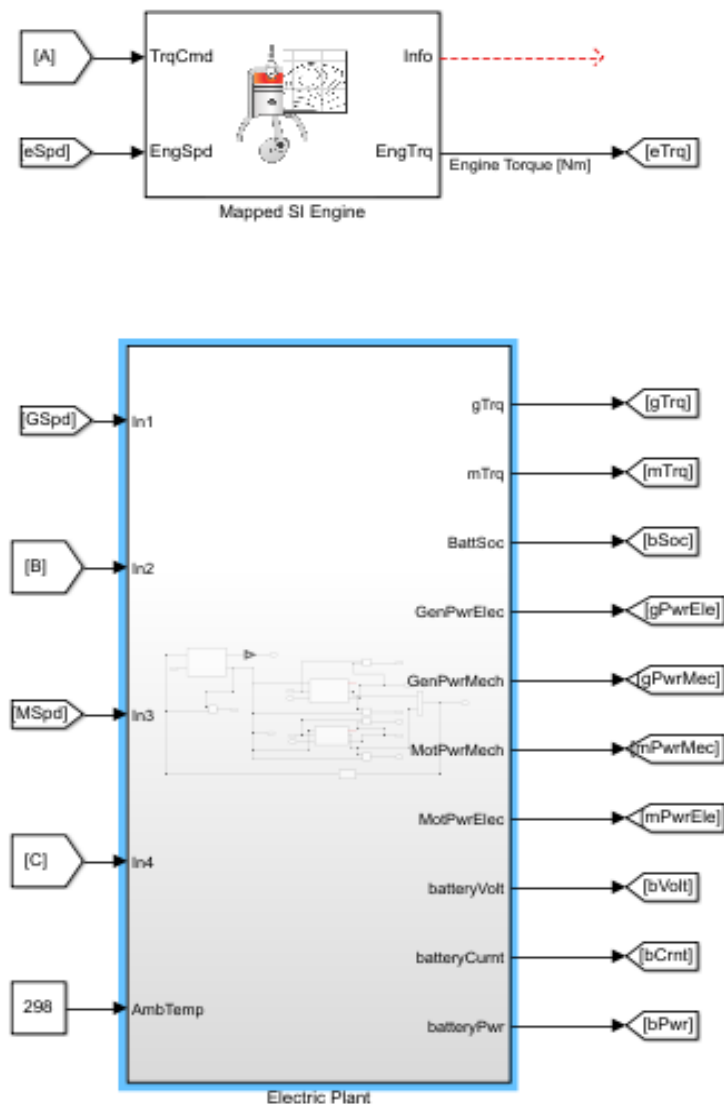


Figura 8.2: Sistema di propulsione

La struttura del sottosistema “Electric Plant” è riportata in Figura 8.3, e viene di seguito descritta.

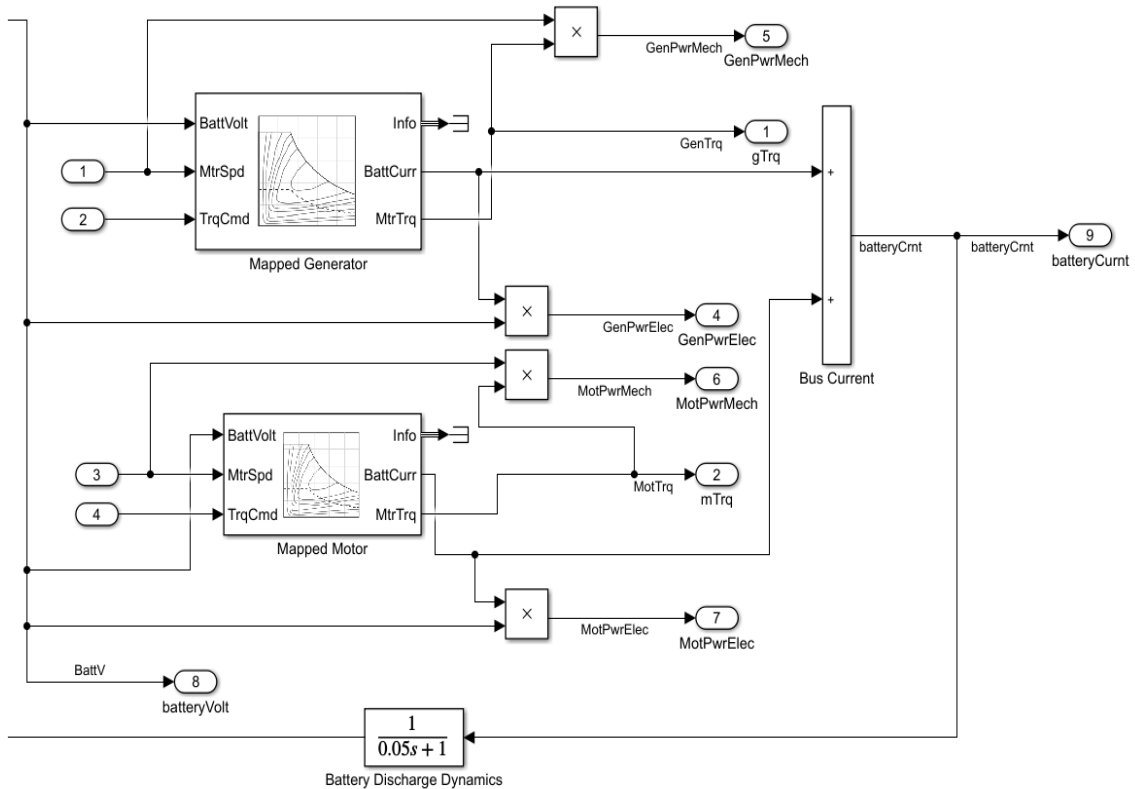


Figura 8.3: Electric Plant Model

L’impianto elettrico così progettato simula un sistema a 96V costanti (condizioni ideali) dotato di una batteria da 2kWh con uno stato iniziale di carica del 60%. Le due macchine elettriche sono state modellate come blocco “Mapped Motor” dato dall’ambiente di simulazione di Simulink. Questi blocchi implementano un motore mappato e l’elettronica relativa. Operano a controllo di coppia, specificando il range di coppia elettrica ed i valori di massima coppia e potenza.

Possono essere specificate le perdite elettriche in un singolo punto di funzionamento che permette di stimare le perdite su tutto il range di funzionamento, le perdite misurate o l’efficienza misurata.

Questo design di Plant elettrico fornisce i parametri di funzionamento di ogni singolo elemento, come la corrente e i livelli di voltaggio del Sistema, lo stato di carica della batteria e le potenze elettriche e meccaniche scambiate.

Come per il motore ICE, gli unici input di questo sistema sono i comandi di coppia richiesti al generatore e al motore, provenienti dal controller, e le velocità delle macchine elettriche ottenute come feedback dal modello.

8.3 MODIFICHE AL CONTROLLER

Nel caso del modello del veicolo ibrido, la sezione più importante del sistema diviene quella del controller. Infatti, senza l'applicazione delle giuste logiche di controllo dei 3 motori utilizzati, l'utilizzo del veicolo modificato potrebbe risultare meno efficiente di quello di partenza, rendendo vano l'intero lavoro di progettazione. Lo sviluppo del sistema di controllo dei motori è l'obiettivo di questo lavoro di tesi e sarà ampiamente descritto nel prossimo capitolo.

9 ANALISI PER LO SVILUPPO DI STRATEGIE DI CONTROLLO

Viene in questo capitolo descritto il vero lavoro di tesi, ovvero vengono riportate le considerazioni, le analisi e gli studi che hanno condotto alla definizione della strategia di torque split obiettivo della tesi.

Il primo sistema di controllo del veicolo ibrido prevede un controllo standard o proporzionale simile a quello del veicolo tradizionale, ovvero un controllo in cui viene richiesta coppia ai motori proporzionalmente alla coppia massima erogabile da ognuno dei motori ed alle richieste del driver.

Si procede poi con la ricerca di una migliore strategia di controllo dei motori sviluppata nel perseguimento di due obiettivi:

- Necessità di ottimizzare la distribuzione di coppia sugli assi al fine di ridurre al minimo lo slittamento delle ruote e massimizzare le prestazioni del veicolo
- Necessità di avere il miglior utilizzo possibile dell'architettura elettrica del veicolo, garantendo livelli di carica sufficienti della batteria durante tutta la competizione

I due obiettivi devono essere conciliati alla ricerca del miglior compromesso nell'ottica della competizione.

Vengono nel seguente capitolo presentati i ragionamenti seguiti per lo sviluppo di strategie di controllo dei motori nell'ottica dei due obiettivi, per poi essere descritta la soluzione finale il cui raggiungimento è l'obiettivo di questa tesi.

9.1 ANALISI RISULTATI

Si ritiene utile descrivere per il lettore il “Simulation Data Inspector” di Simulink, ovvero lo strumento che viene utilizzato in questa sezione per le analisi dei risultati. Un esempio di risultato dell’analisi è riportato in Figura 9.1.

Come evidenzia la Figura 9.1 il “Simulation Data Inspector” dà all’utente la possibilità di muovere lungo i risultati due cursori che indicano in ogni punto il valore dei dati inchiestati. Il “Simulation Data Inspector” può accoppiare da 1 a 5 grafici, tutti in funzione del tempo.

Tramite il “Simulation Data Inspector”, è possibile personalizzare i grafici in base alle esigenze dell’utente, per questo un’etichetta in alto a sinistra indica quali risultati sono rappresentati in ogni grafico.

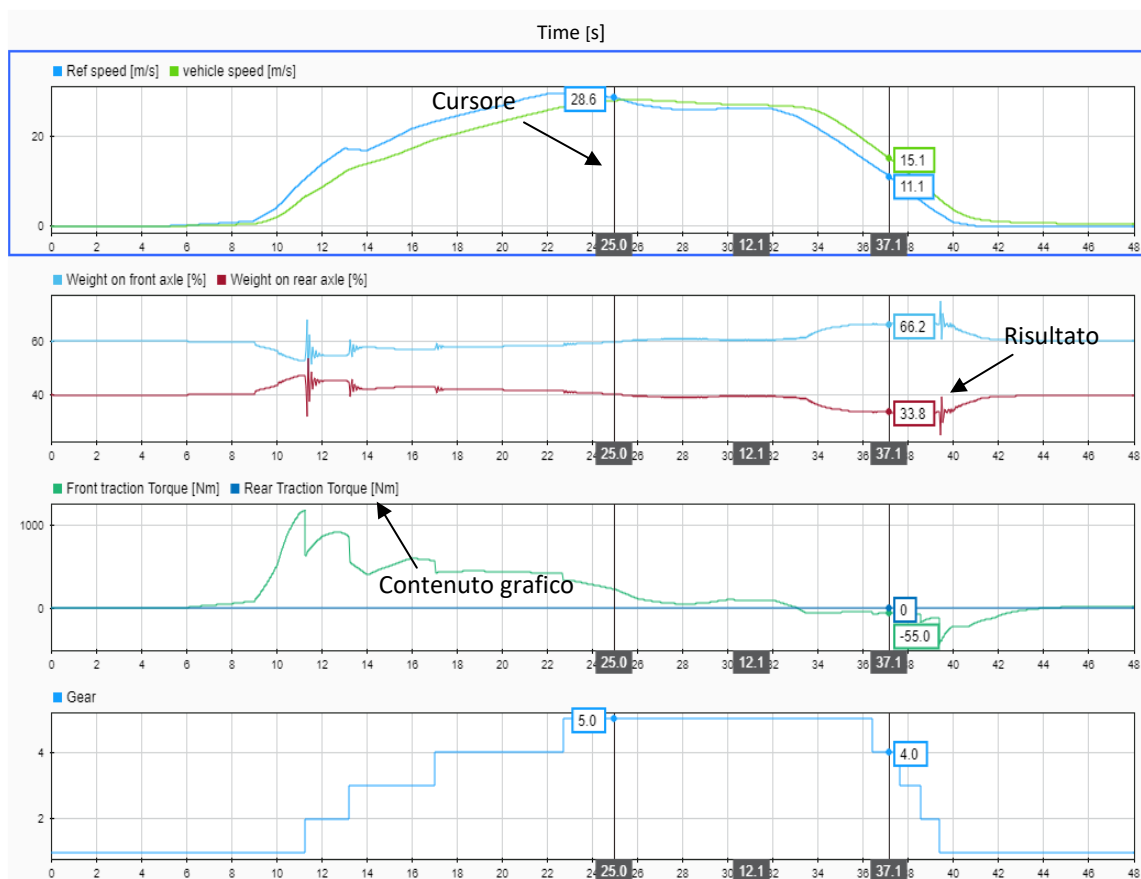


Figura 9.1: Strumento di analisi dei risultati

9.2 OBIETTIVO 1

Necessità di ottimizzare la distribuzione di coppia sugli assi al fine di ridurre al minimo lo slittamento delle ruote e massimizzare le prestazioni del veicolo.

9.2.1 ANALISI PESI

Vengono in questo capitolo descritte alcune simulazioni per un'analisi focalizzata sulla distribuzione dei pesi nel veicolo, al fine di ottimizzare lo scarico della coppia a terra in base ai carichi sulle ruote. Vengono confrontati i modelli di Panda originali con il modello di Panda 4WD-Hybrid.

Viene presentato un riassunto delle masse del veicolo a veicolo fermo con due passeggeri a bordo in Tabella 9.1. La tabella segue le assunzioni del capitolo "3.2 Massa".

| Versione | Massa [kg] | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] |
|-------------|------------|---|
| Panda | 865 | 60:40 |
| Panda 4x4 | 950 | 55:45 |
| Panda 4WH-H | 1030 | 55:45 |

Tabella 9.1: Distribuzione dei pesi a veicolo fermo

Le informazioni riportate in Tabella 9.1 valgono solo a veicolo fermo. Se il veicolo è in movimento, in base alle condizioni dinamiche a cui è sottoposto, presenta una distribuzione di peso più o meno sbilanciata rispetto alle condizioni di equilibrio. La condizione dinamica è funzione dell'intensità delle coppie scambiate con il terreno, e della posizione delle stesse: la coppia scaricata sul retrotreno ad esempio ha un effetto dinamico diverso rispetto alla coppia scaricata sull'avantreno.

Vengono nelle prossime simulazioni analizzati i comportamenti dei modelli a cui viene dato il riferimento di velocità riportato in Figura 9.2. Il riferimento di velocità prevede un'accelerazione marcata fino a circa 100 km/h seguita da una decelerazione come riportato in Figura 9.2. La prova ha una durata complessiva di 48s.

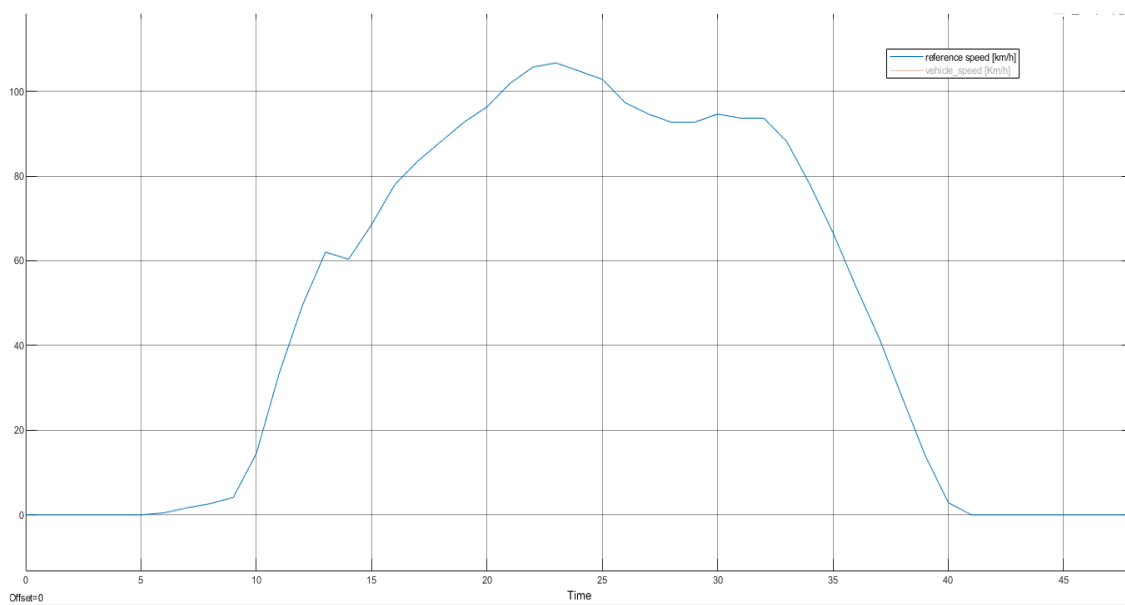


Figura 9.2: Riferimento di velocità custom

Vengono riportati nei grafici delle simulazioni:

- Velocità del veicolo
- Peso sugli assi
- Coppia agli assi
- Marcia ingranata

9.2.1.1 Simulazione 1: Focus sulla distribuzione di peso del veicolo 4x2

Veicolo: Panda 4x2

Fondo: Asfalto

Durata prova: 48 s

Vengono riportati in Tabella 9.3 i dati di massa e distribuzione dei pesi del veicolo fermo.

| Versione | Massa [kg] | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] |
|-----------|------------|---|
| Panda 4x2 | 865 | 60:40 |

Tabella 9.2: Pesi Panda 4x2

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.3.

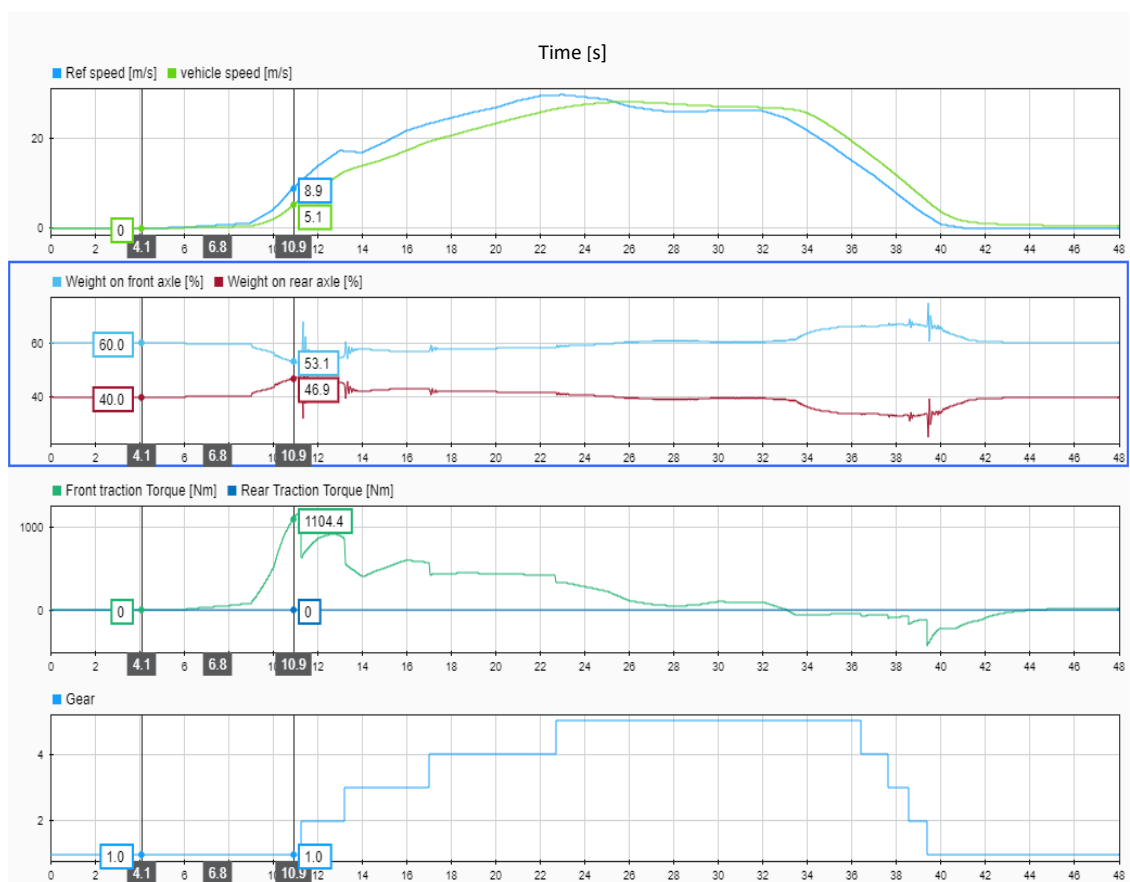


Figura 9.3: Risultati Simulazione 1 in accelerazione

Come è evidente dai grafici in Figura 9.3, la distribuzione che a veicolo fermo è 60:40 viene sbilanciata dalla coppia sulle ruote anteriori che sposta il baricentro indietro rispetto alla sua posizione di equilibrio in accelerazione. Il picco si ha in corrispondenza della prima marcia al massimo della coppia erogata.

La Figura 9.4 riporta le condizioni dinamiche del veicolo in frenata.

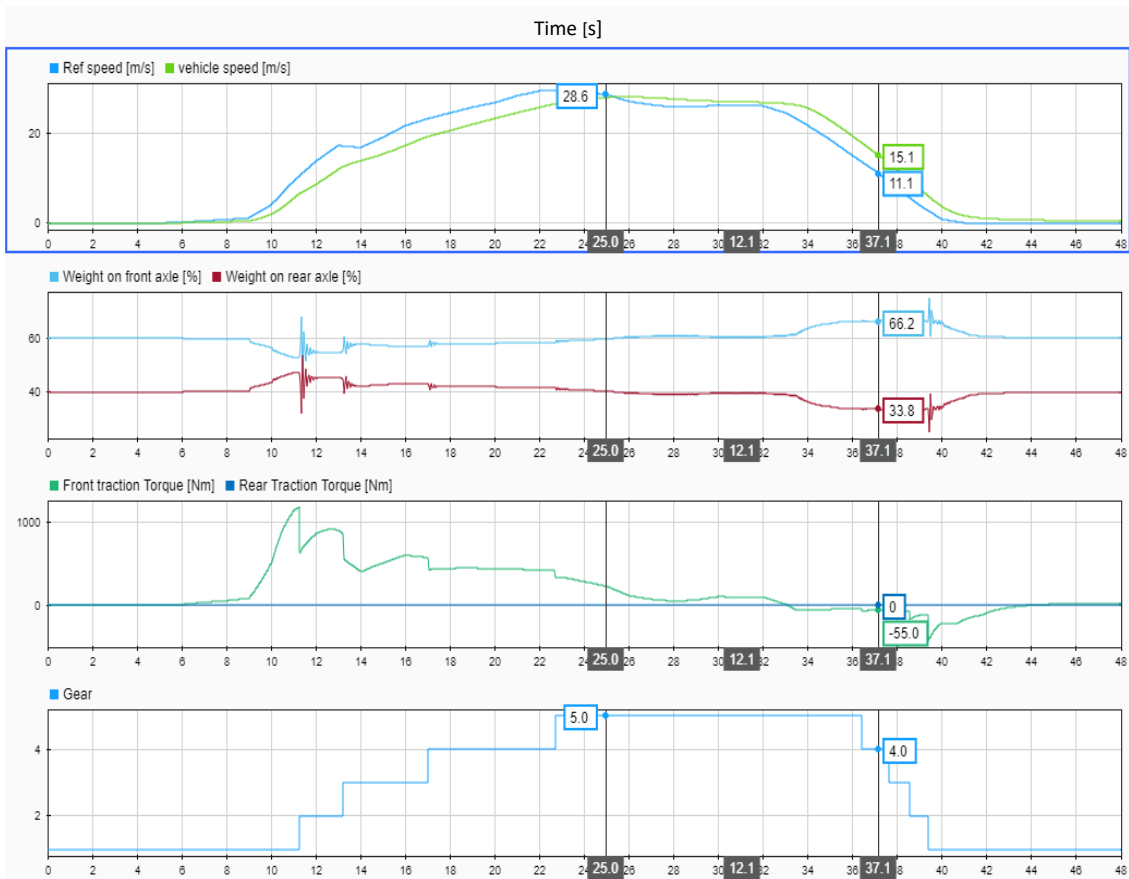


Figura 9.4: Risultati Simulazione 1 in Frenata

In fase di raggiungimento della velocità desiderata il veicolo si riporta in una condizione vicina alla sua condizione di equilibrio 60:40 per poi sbilanciarsi in avanti nella fase di decelerazione come riportato in Figura 9.4.

Un riassunto dei risultati è riportato in Tabella 9.4:

| Versione | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] | Distribuzione pesi dinamica in massima accelerazione [ant:post] | DELTA |
|----------|---|--|-------|
| Panda | 60:40 | 53:47 | 7% |

Tabella 9.3: Riassunto risultati Simulazione 1

9.2.1.2 Simulazione 2: Focus sulla distribuzione di peso del veicolo 4x4

Veicolo: Panda 4x4

Fondo: Asfalto

Durata prova: 48 s

Vengono riportati in Tabella 9.5 i dati di massa e distribuzione dei pesi del veicolo fermo.

| Versione | Massa [kg] | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] |
|-----------|------------|---|
| Panda 4x4 | 950 | 55:45 |

Tabella 9.4: Pesì Panda 4x4

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.5.

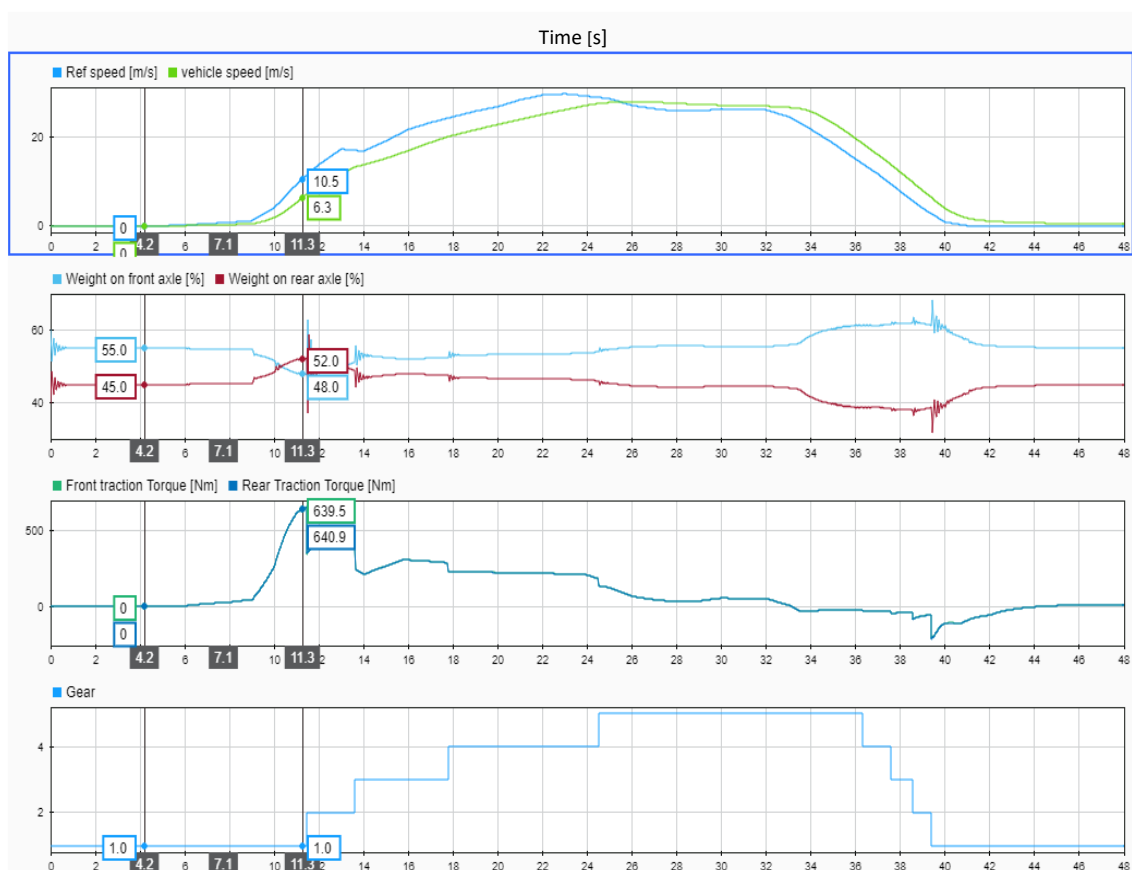


Figura 9.5: Risultati Simulazione 2 in accelerazione

Come è evidente dal grafico in Figura 9.5, la distribuzione che a veicolo fermo è 55:45 viene sbilanciata dalla coppia alle 4 ruote che sposta il veicolo indietro. il picco si ha in corrispondenza della prima marcia al massimo della coppia erogata.

Si nota che durante questa prova, in corrispondenza del massimo di coppia più della metà del peso sollecita l'asse posteriore.

In fase di raggiungimento della velocità desiderata il veicolo si riporta in una condizione vicina alla sua condizione di equilibrio 55:45 per poi sbilanciarsi in avanti nella fase di decelerazione come riportato in Figura 9.6.

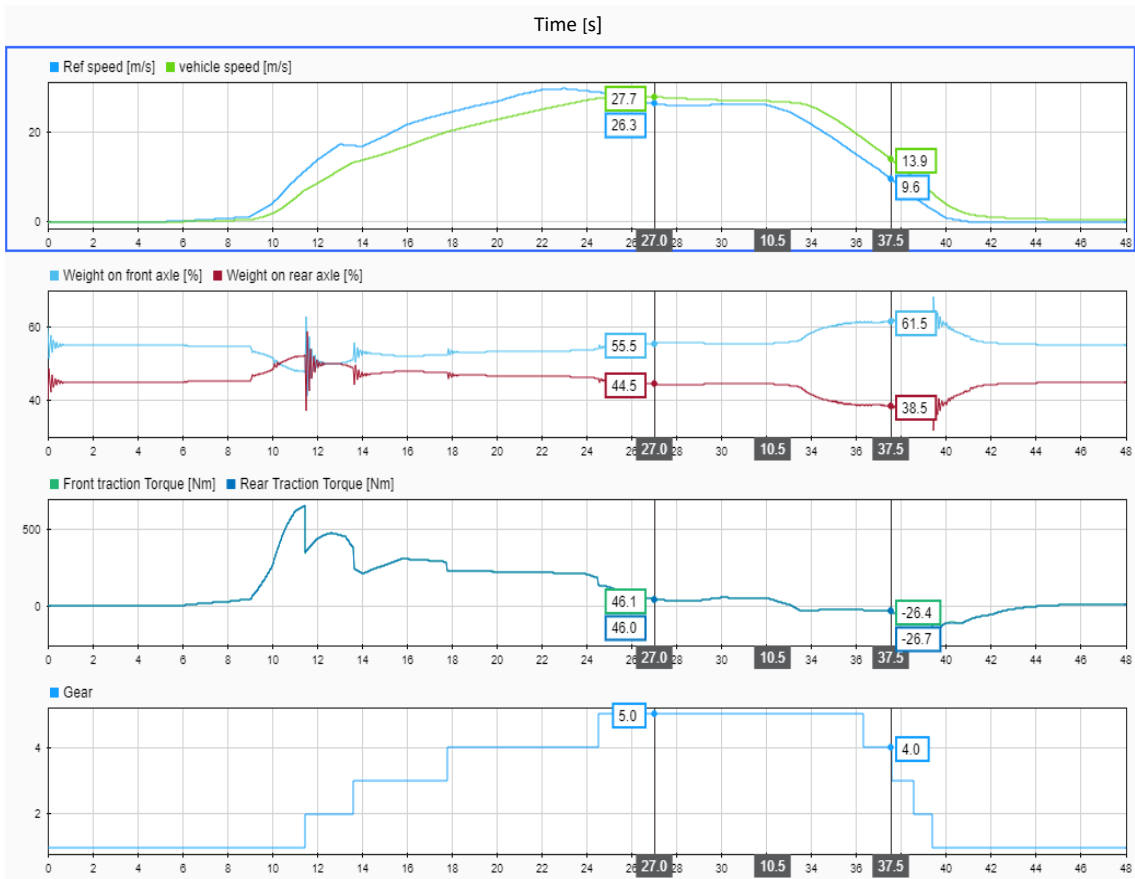


Figura 9.6: Risultati Simulazione 2 in Frenata

Un riassunto dei risultati è riportato in Tabella 9.6.

| Versione | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] | Distribuzione pesi dinamica in massima accelerazione [ant:post] | DELTA |
|-----------|---|---|-------|
| Panda 4x4 | 55:45 | 48:52 | 8% |

Tabella 9.5: Riassunto Risultati Simulazione 2

Si può osservare come il delta di distribuzione nella stessa prova, nelle stesse condizioni, sia maggiore per il veicolo 4x4. Questo è in linea con le attese in quanto il veicolo 4x4 ha una diversa distribuzione di coppia sugli assi.

9.2.1.3 Simulazione 3: Focus sulla distribuzione di peso del veicolo 4WD-H

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controllo motori: Standard

Fondo: Asfalto

Durata prova: 48 s

Vengono riportati in Tabella 9.7 i dati di massa e distribuzione dei pesi del veicolo fermo.

| Versione | Massa [kg] | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] |
|------------------|------------|---|
| Panda 4WD-Hybrid | 1030 | 55:45 |

Tabella 9.6: Pesi Panda 4WD-H

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.7.

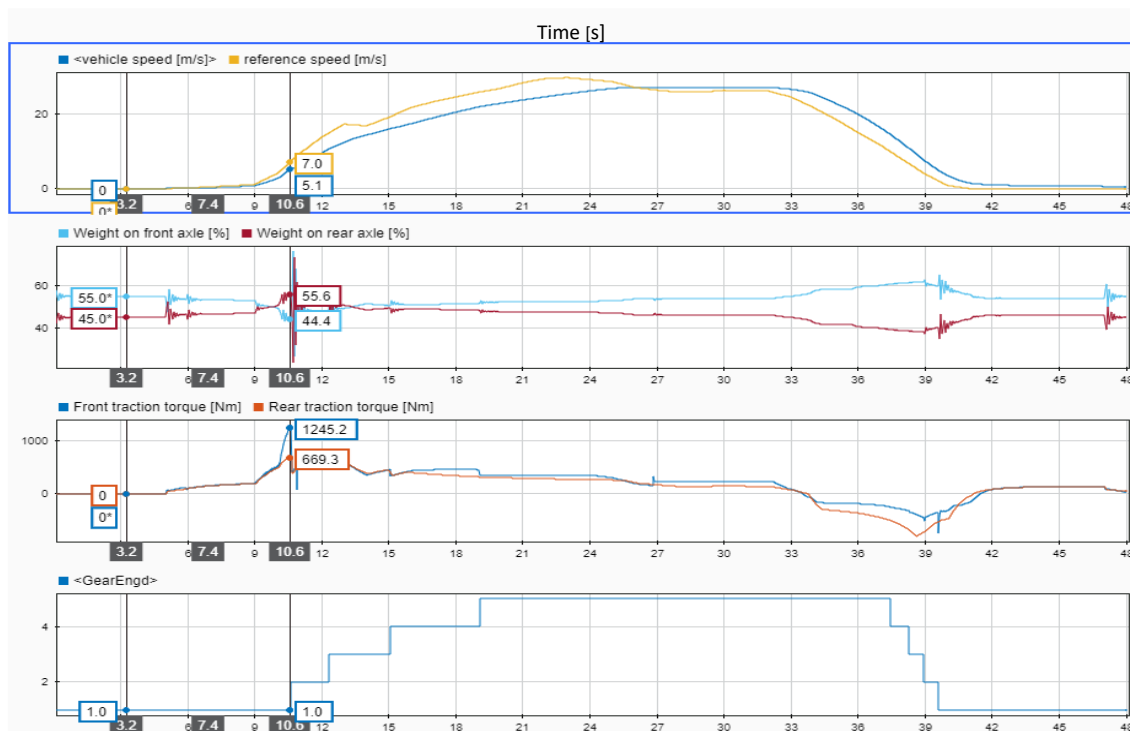


Figura 9.7: Risultati Simulazione 3 in accelerazione

Come è evidente dal grafico in Figura 9.7, la distribuzione che a veicolo fermo è 55:45 viene sbilanciata dalla coppia delle ruote anteriori e posteriori che sposta il veicolo indietro. Il picco si ha in corrispondenza della prima marcia al massimo della coppia erogata.

Si nota che durante questa prova, l'effetto dello sbilanciamento è molto più marcato, per due motivi: il veicolo ibrido possiede più potenza, la coppia scaricata sull'asse posteriore è maggiore rispetto a quella scaricata dal veicolo 4x4.

In fase di raggiungimento della velocità desiderata il veicolo si riporta in una condizione vicina alla sua condizione di equilibrio 55:45 per poi sbilanciarsi in avanti nella fase di decelerazione come riportato in Figura 9.8.

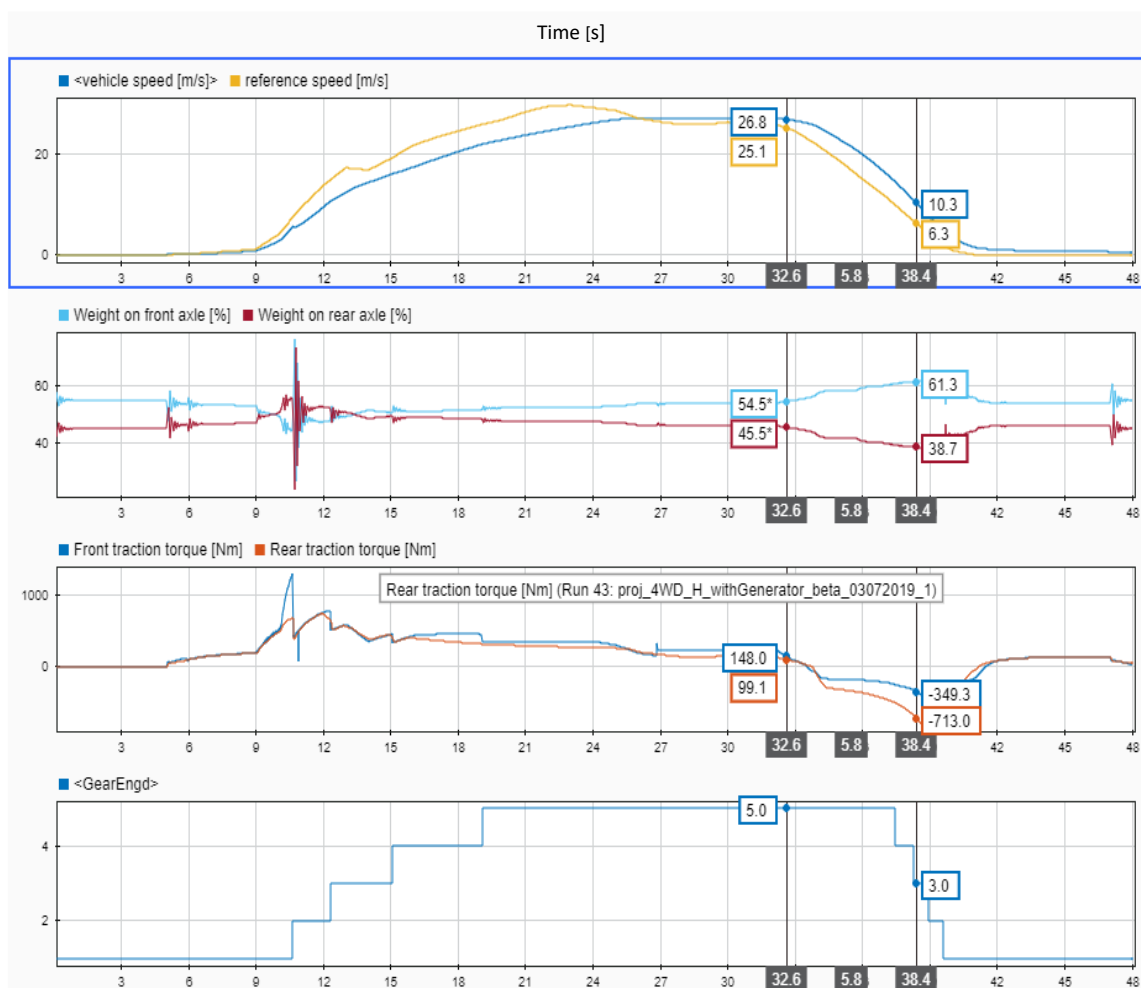


Figura 9.8: Risultati Simulazione 3 in decelerazione

Un riassunto dei risultati è riportato in Tabella 9.8.

| Versione | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] | Distribuzione pesi dinamica in massima accelerazione [ant:post] | DELTA |
|------------------|---|--|-------|
| Panda 4WD-Hybrid | 55:45 | 44:56 | 11% |

Tabella 9.7: Riassunto Risultati Simulazione 3

Si può osservare come il delta di distribuzione nella stessa prova, nelle stesse condizioni di asfalto sia un delta maggiore per il veicolo 4WD-Hybrid. Questo è in linea con le attese in quanto il veicolo 4x4 ha una diversa distribuzione di coppia sugli assi.

Osservazione: La di distribuzione pesi può essere molto influenzata dall'inclinazione del percorso. Si suppone che durante la Panda Raid, vi siano molte salite o discese a causa delle dune. Per accentuare la distribuzione di peso, e volendo richiedere ai motori più potenza, può essere introdotta in questa simulazione una piccola salita.

9.2.2 ANALISI RELAZIONE PESI E SLITTAMENTI VEICOLO 4WD-H

Viene in questa sezione presentato un focus sullo slittamento delle ruote in relazione alla coppia sugli assi ed ai pesi su ogni asse, al fine di fare delle valutazioni sulla strategia di torque split più appropriata.

Il parametro che indica lo slittamento delle ruote è riportato nel quinto grafico del “Data Inspector” ed è calcolato come differenza tra la velocità periferica delle ruote e la velocità assoluta del veicolo .

Vengono nella sezione seguente presentati i risultati del veicolo ibrido con controlli ai motori **standard**, ovvero la coppia richiesta al motore è proporzionale alla coppia erogabile dal motore stesso dalla sola posizione dell’acceleratore. Il generatore in queste prove rimane spento.

9.2.2.1 Simulazione 1: Focus su distribuzione di peso del veicolo 4WD-H e analisi slittamenti su sabbia

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controlli ai motori: Standard

Fondo: Sabbia

Durata prova: 48 s

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.9.

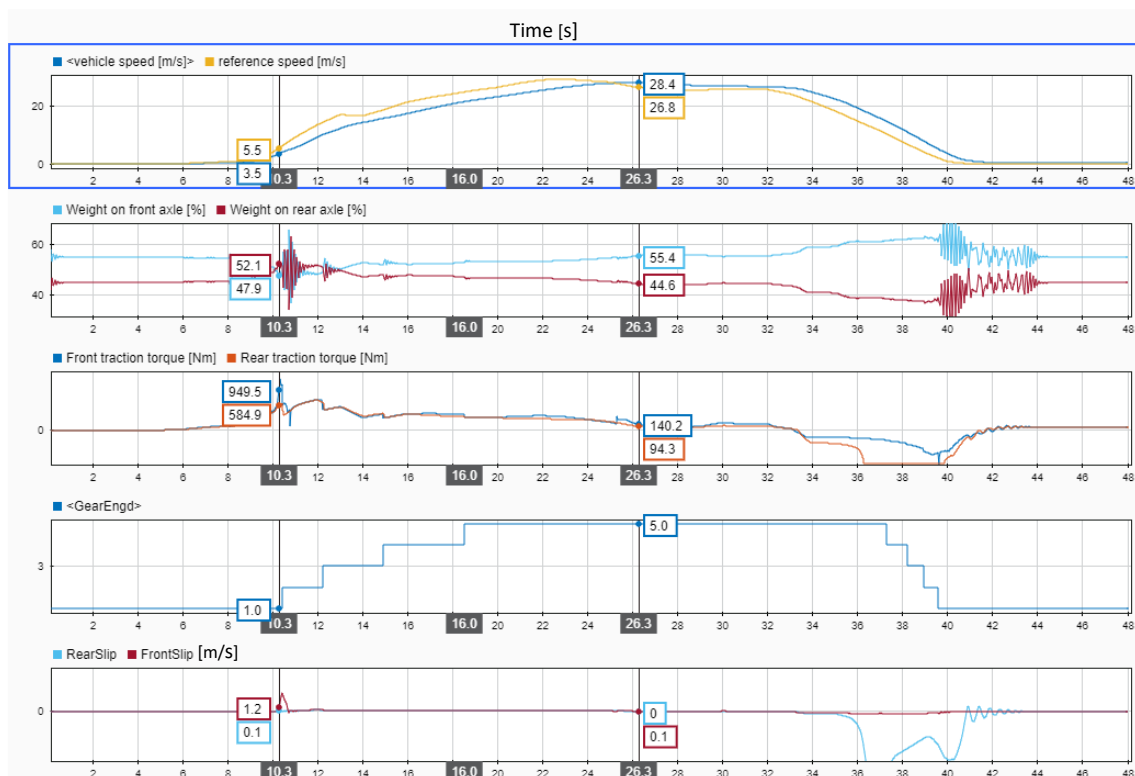


Figura 9.9: Risultati Simulazione 1

Si nota come il modello ibrido sul fondo sabbioso, a fronte dello sbilanciamento del peso sull'asse posteriore ed una forte coppia sull'asse anteriore, presenti lo slittamento delle ruote anteriori, fino ad un valore di 5m/s.

Il problema in questo caso viene risolto dal pilota che cambia marcia accorgendosi che i giri del motore sono troppo elevati.

Viene riportato in Tabella 9.9 il risultato ottenuto:

| Versione | Slittamento max | Asse | Causa |
|------------------|-----------------|-----------|--|
| Panda 4WD-Hybrid | 5,2 m/s | Anteriore | Coppia troppo elevata sull'asse in relazione al peso sull'asse |

Tabella 9.8: Riassunto Risultati Simulazione 1

Viene riportato in Figura 9.10 il massimo slittamento raggiunto dalle ruote anteriori:

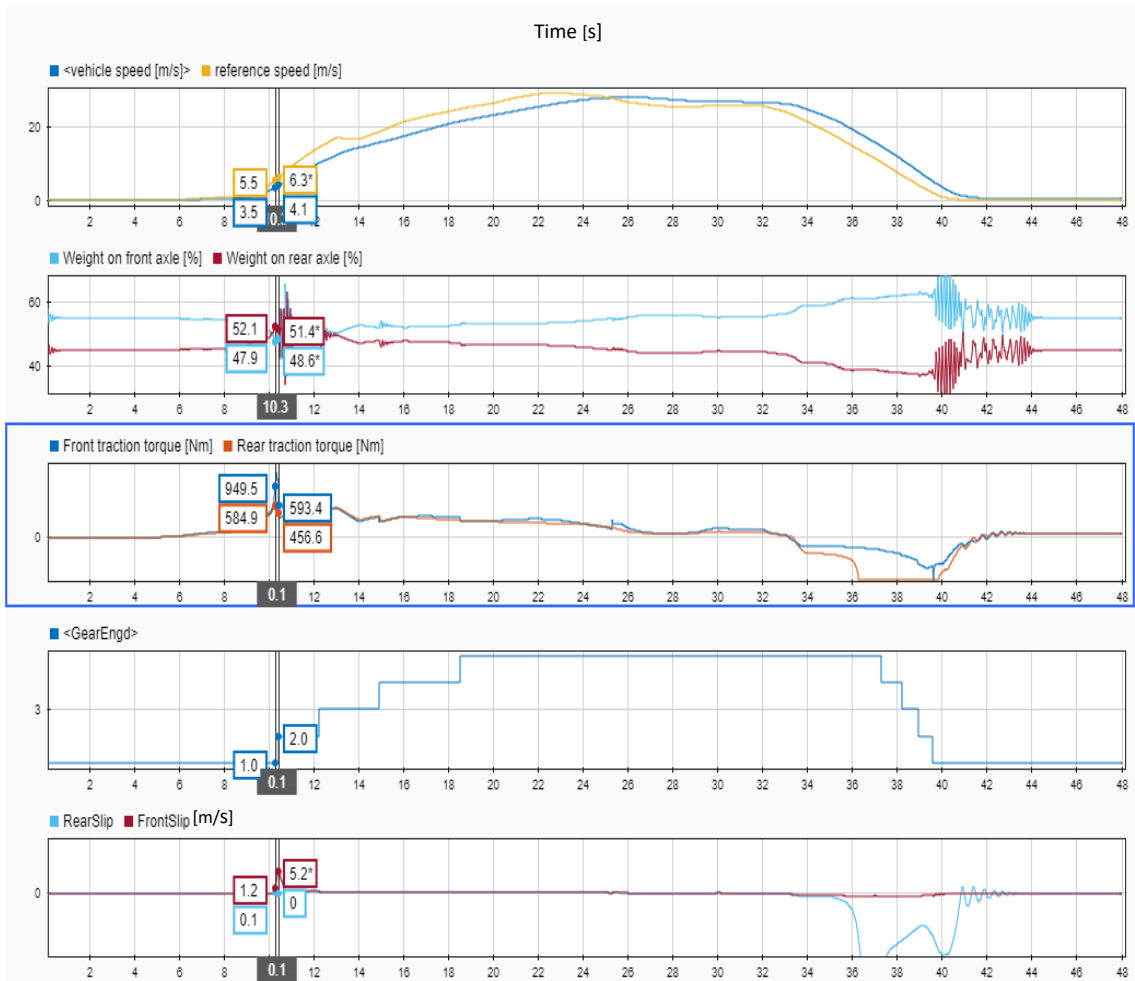


Figura 9.10: Risultati Simulazione 1 - Slittamento

Per estremizzare le condizioni di perdita di trazione che la logica di controllo motori standard favorisce sono riportate due simulazioni:

- Simulazione 2: Iso Simulazione 1 con riferimento di velocità 1.5 x
- Simulazione 3: Iso Simulazione 2 con aggiunta inclinazione

Osservazione: si noti che queste condizioni rendono le Simulazioni più coerenti con il "Panda Raid". La competizione prevede infatti accelerazioni marcate e passaggi su dune.

9.2.2.2 Simulazione 2: Focus su distribuzione di peso del veicolo 4WD-H e analisi slittamenti su sabbia – coeff. moltiplicativo

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controlli ai motori: Standard

Fondo: Sabbia

Durata prova: 48 s

Note: Velocità 1.5x

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.11.

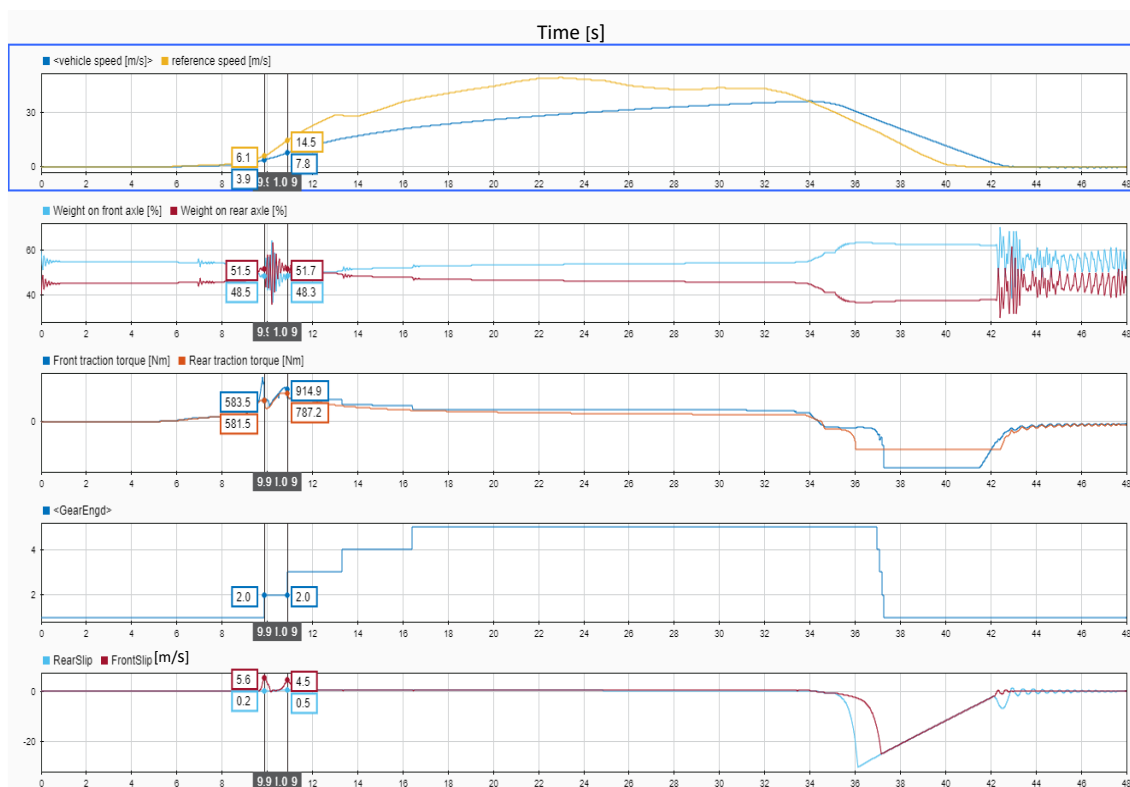


Figura 9.11: Risultati Simulazione 2

I cursori sono stati posizionati nelle zone in cui vi è il massimo slittamento. Si nota che lo slittamento delle ruote posteriori è trascurabile rispetto a quello delle ruote anteriori. Lo slittamento avviene sempre a fronte di una coppia troppo elevata rispetto al peso sull'asse anteriore dovuta allo sbilanciamento del veicolo indietro.

Viene riportato in Tabella 9.10 un riassunto dei due risultati.

| Versione | Slittamento | Slittamento Max | Asse | Causa |
|------------------|-------------|-----------------|-----------|--|
| Panda 4WD-Hybrid | Due picchi | 5.6 m/s | Anteriore | Coppia troppo elevata sull'asse in relazione al peso sull'asse |

Tabella 9.9: Riassunto Risultati Simulazione 2

9.2.2.3 Simulazione 3: Focus su distribuzione di peso del veicolo 4WD-H e analisi slittamenti su sabbia – coeff. moltiplicativo e inclinazione

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controlli ai motori: Standard

Fondo: Sabbia

Durata prova: 48 s

Note: Velocità 1.5x, inclinazione

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.12.

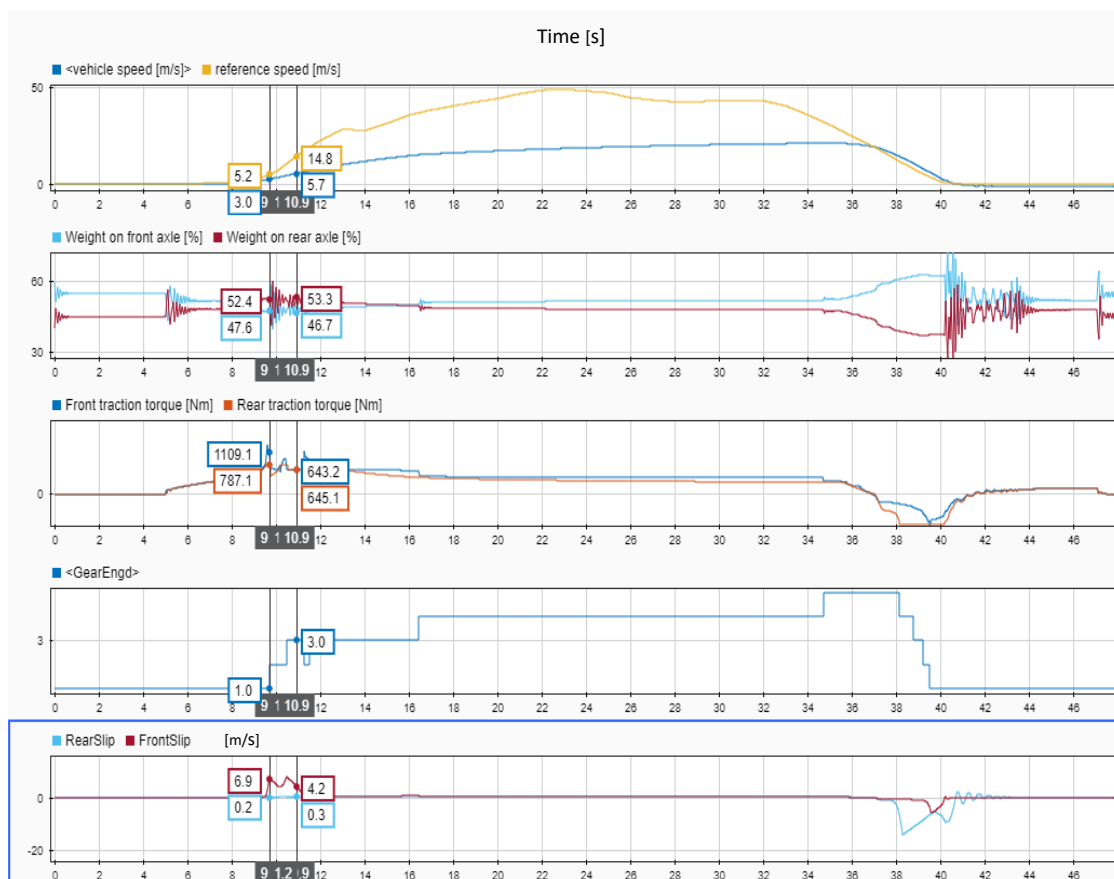


Figura 9.12: Risultati Simulazione 3

Come da attese, si riscontra una perdita di aderenza maggiore per l'asse anteriore dovuta allo spostamento del baricentro verso il retrotreno. Questo è dovuto alla diversa distribuzione dei pesi del veicolo in salita.

Si sono evidenziati tramite cursori i massimi di slittamento. Si noti anche la forma dell'area di slittamento rispetto alla Simulazione 5.

9.2.3 SVILUPPO DI STRATEGIA DI CONTROLLO SU PESO

Dalle simulazioni in cui viene controllata la distribuzione di peso sugli assi, si ottiene che nei tre veicoli (Panda 4x2, Panda 4x4, Panda 4WD-Hybrid) ci sono notabili variazioni di distribuzione di peso sugli assi in accelerazione. Si nota inoltre che maggiore è la quota parte di coppia che viene destinata all'asse posteriore, maggiore è il beccheggio. Un riassunto viene riportato in Tabella 9.13.

| Versione | Distribuzione pesi veicolo fermo [ant:post] | Distribuzione pesi dinamica in massima accelerazione [ant:post] | DELTA |
|------------------|---|--|-------|
| Panda | 60:40 | 53:47 | 7% |
| Panda 4x4 | 55:45 | 48:52 | 8% |
| Panda 4WD-Hybrid | 55:45 | 44:56 | 11% |

Tabella 9.10: Riassunto Risultati controllo su pesi

Questo risultato può essere considerato una validazione dei modelli ed il punto di partenza delle considerazioni che portano alla strategia di controllo di seguito descritta.

Un controllo di distribuzione di coppia agli assi del veicolo che non è possibile per il veicolo 4x4 originale per le limitazioni dovute alla trasmissione meccanica, è invece sviluppabile per il veicolo 4WD-Hybrid.

Dalle simulazioni in cui viene controllato lo slittamento delle ruote è evidente che con controllo dei motori standard, ovvero in cui i comandi di coppia ai motori tengono solamente conto della posizione dell'acceleratore e delle massime coppie erogabili dai motori, si hanno delle inefficienze e slittamenti. Questo perché non solo non si riesce a sfruttare l'effetto della distribuzione dinamica del peso del veicolo, ma si giunge a condizioni in cui, data la maggiore potenza del motore termico anteriore, viene erogata più coppia sull'asse meno carico.

Viene per questo studiata una strategia di controllo dei motori che tenga conto del peso su ogni asse. Il blocco Simulink riportato in Figura 9.14 è la logica che porta alla creazione di due coefficienti compresi tra 0 e 1 che vanno a moltiplicare i comandi di coppia ai motori al fine di modulare l'erogazione di coppia in base alle condizioni dinamiche di ogni asse.

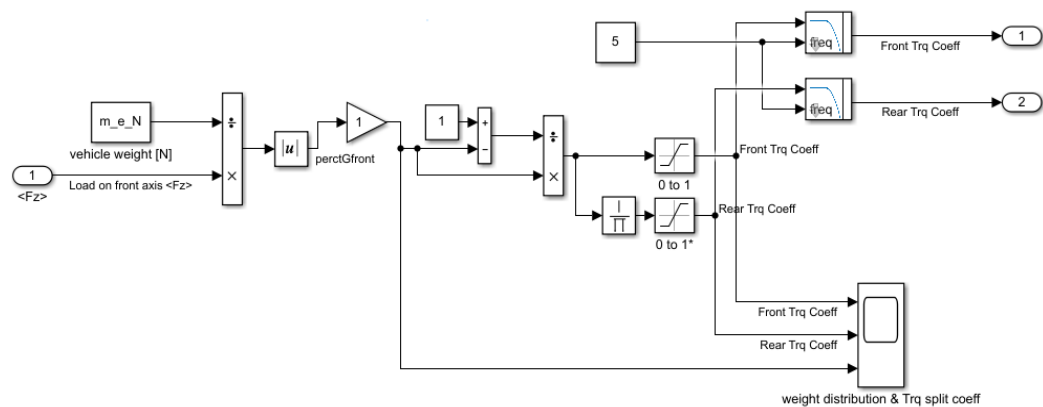


Figura 9.13: Logica di distribuzione di coppia

9.2.4 RISULTATI SIMULAZIONI CON CONTROLLO SUL PESO

Vengono in questo capitolo analizzate le migliorie portate dal controllo sul peso del veicolo. Vengono ripetute le prove precedenti per analizzare le migliorie in slittamento apportate da questa soluzione.

9.2.4.1 Simulazione 1: Focus su distribuzione di peso del veicolo 4WD-H e analisi slittamenti con controllo distribuzione peso attivo

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controlli ai motori: Controllo su peso

Fondo: Sabbia

Durata prova: 48 s

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.15.

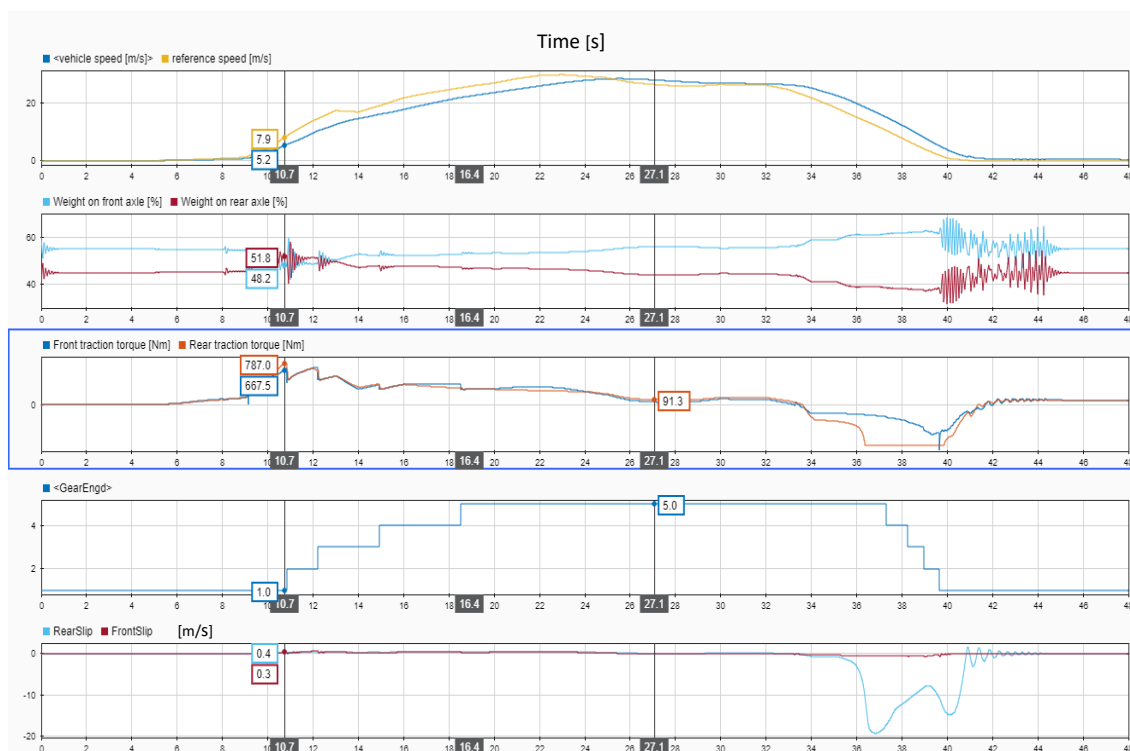


Figura 9.14: Risultati Simulazione 1 con controllo su peso

Come mostrato in Figura 9.15, il controllo sul peso porta ad una forte riduzione della coppia erogata dall'asse frontale, viene invece erogata più coppia dall'asse posteriore che ha un maggiore forza verticale sull'asse. La simulazione non dimostra che si hanno valori di

slittamento uguali anche in frenata, questo perché normalmente è il generatore a fornire la giusta coppia che assicura totale aderenza, ma adesso è spento.

Viene riportato in Tabella 9.11 di confronto dei risultati che evidenzia le migliorie apportate da questo controllo.

| Versione | Controllo Motori | Slittamento Max | Asse |
|------------------|-------------------|-----------------|------------|
| Panda 4WD-Hybrid | Standard | 5.2 m/s | Anteriore |
| Panda 4WD-Hybrid | Controllo su peso | 0.4 m/s | Posteriore |
| DELTA | | -92 % | |

Tabella 9.11: Confronto Simulazione 1

Come risulta dalla Tabella 9.11 di confronto il controllo sulle forze verticali sugli assi porta ad una riduzione del massimo slittamento del 92%. Da un'analisi dei risultati riportati in Figura 9.15 si nota che grazie al controllo sul peso le coppie sono distribuite più uniformemente e sono concordi con la distribuzione del peso del veicolo (c'è più coppia sugli assi più carichi).

9.2.4.2 Simulazione 2: Focus su distribuzione di peso del veicolo 4WD-H e analisi slittamenti con controllo distribuzione peso attivo – coeff. moltiplicativo

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controlli ai motori: Controllo su peso

Fondo: Sabbia

Durata prova: 48 s

Note: Velocità 1.5x

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.16.

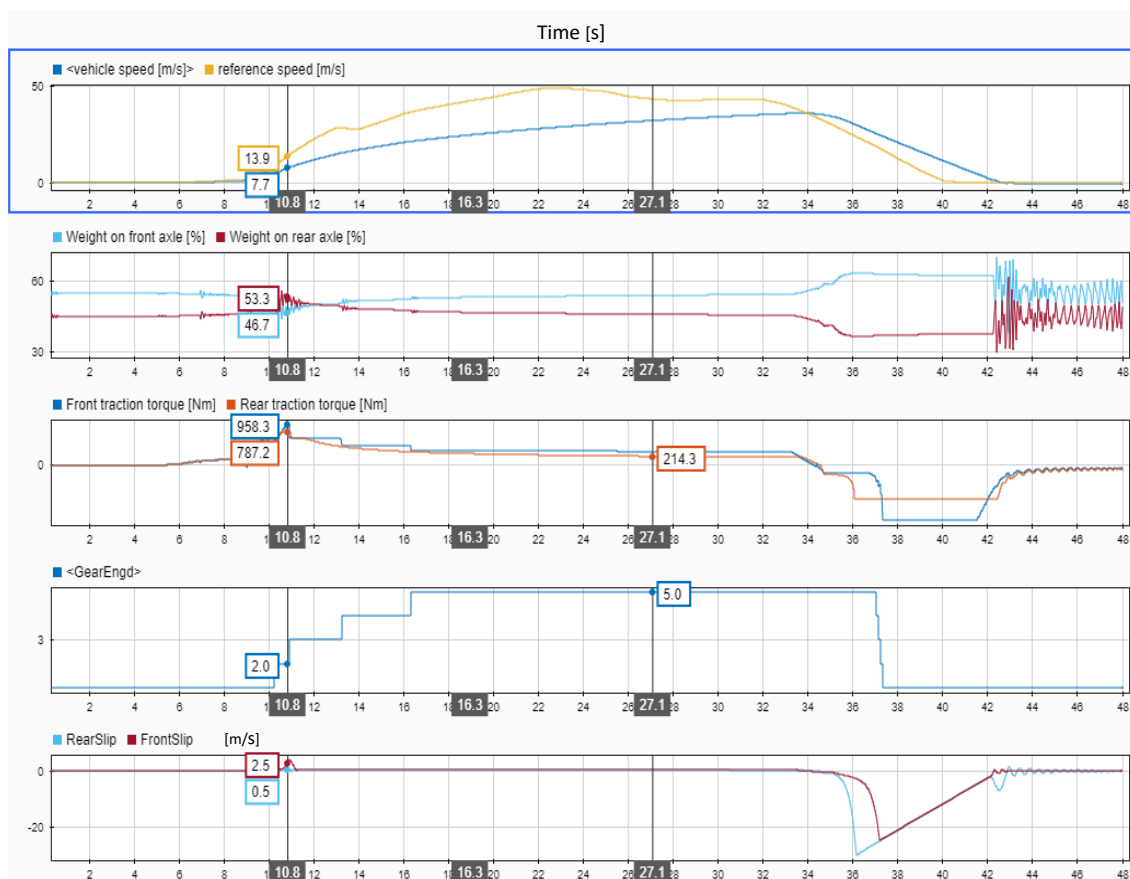


Figura 9.15: Risultati Simulazione 2 con controllo su peso

Anche in questo caso si hanno miglieorie evidenti. Si evidenzia che lo slittamento è sulle ruote anteriori: **questo non succede perché il controllo sul peso non ha funzionato ma perché il motore elettrico si trova in saturazione di potenza, e l'unica fonte disponibile è il motore termico, a cui viene richiesta coppia.**

Viene riportato in Tabella 9.12 un confronto dei risultati che evidenzia le miglieorie apportate da questo controllo in questa simulazione.

| Versione | Controllo Motori | Slittamento Max | Asse |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------|
| Panda 4WD-Hybrid | Standard | 5.6 m/s | Anteriore |
| Panda 4WD-Hybrid | Controllo su peso | 2.5 m/s | Anteriore |
| DELTA | | -55 % | |

Tabella 9.12: Confornto Simulazione 2

Come risulta dalla Tabella 9.12 di confronto il controllo sulle forze verticali sugli assi porta ad una riduzione del massimo slittamento del 55%. Da un'analisi dei risultati riportati in Figura 9.16 si nota che grazie al controllo sul peso le coppie sono distribuite più uniformemente e sono concordi con la distribuzione del peso del veicolo (c'è più coppia sugli assi più carichi) al netto delle zone in cui si entra in saturazione di potenza.

9.2.4.3 Simulazione 3: Focus su distribuzione di peso del veicolo 4WD-H e analisi slittamenti con controllo distribuzione peso attivo – coeff. Moltiplicativo e inclinazione

Veicolo: Panda 4WD-Hybrid

Controlli ai motori: Controllo su peso

Fondo: Sabbia

Durata prova: 48 s

Note: Velocità 1.5x, inclinazione

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.17.

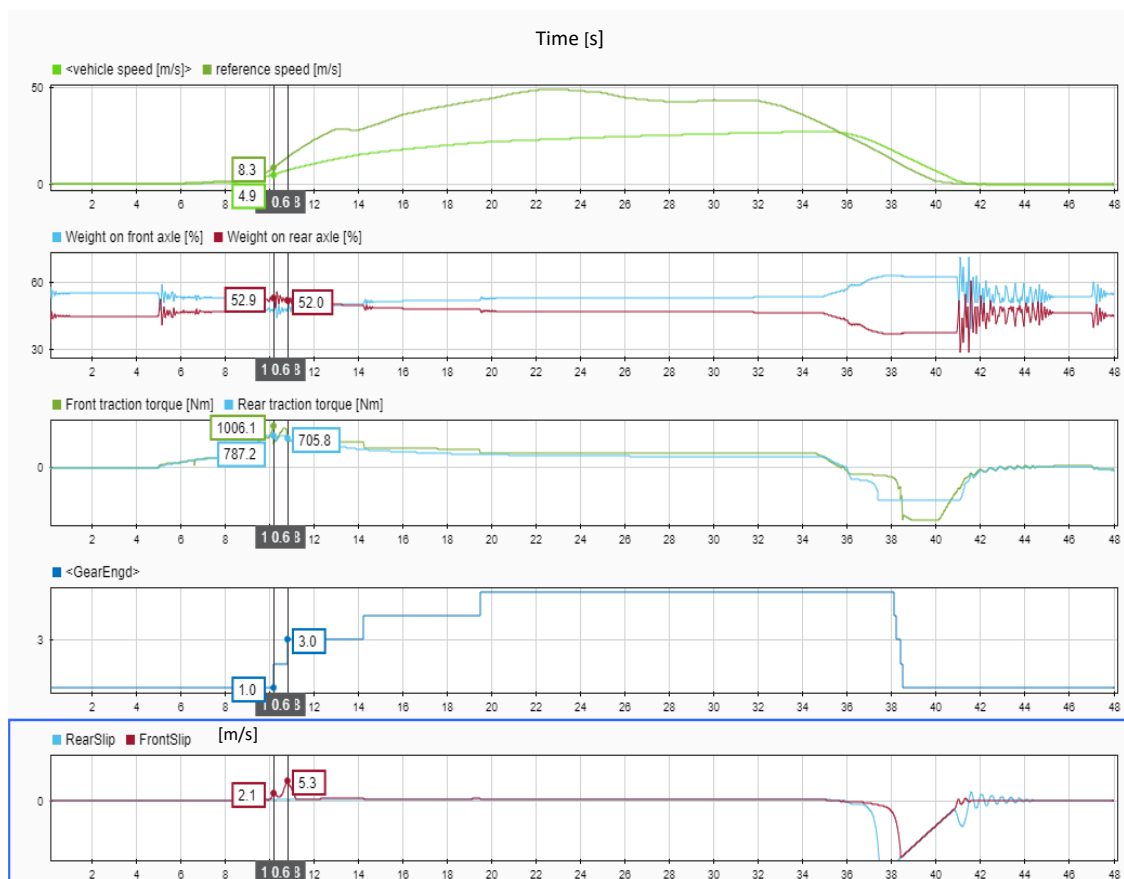


Figura 9.16: Risultati Simulazione 3 con controllo su peso

Anche qui si nota che le coppie sugli assi sono meglio distribuite. Si nota una distribuzione di slip diverso, con una riduzione del tempo di slittamento ed una forte riduzione dello slip

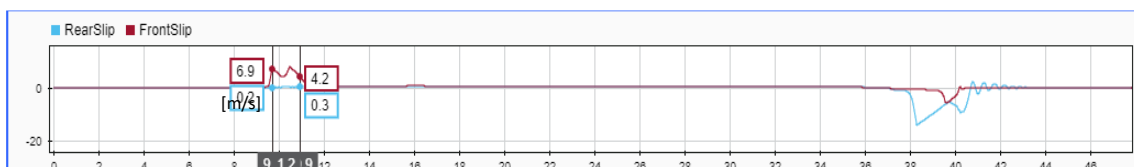


Figura 9.17: Risultati Slittamento senza controllo su peso

massimo. Per comodità, viene riportato in Figura 9.18 lo slittamento della simulazione senza controllo su peso.

Si evidenzia che lo slittamento è sulle ruote anteriori: anche in questo caso ciò succede non perché il controllo sul peso non abbia funzionato ma perché il motore elettrico si trova in saturazione di potenza, e l'unica fonte disponibile è il motore termico, a cui viene richiesta coppia.

Viene riportato in Tabella 9.13 un confronto dei risultati che evidenzia le migliorie apportate da questo controllo in questa simulazione.

| Versione | Controllo Motori | Slittamento Max | Asse |
|------------------|-------------------|-----------------|-----------|
| Panda 4WD-Hybrid | Standard | 6.9 m/s | Anteriore |
| Panda 4WD-Hybrid | Controllo su peso | 5.3 m/s | Anteriore |
| DELTA | | -23 % | |

Tabella 9.13: Confronto Risultati Simulazione 3

Come risulta dalla Tabella 9.13 di confronto il controllo sulle forze verticali sugli assi porta ad una riduzione del massimo slittamento del 23% e ad una riduzione dei tempi di slittamento. Da un'analisi dei risultati riportati in Figura 9.17 si nota che grazie al controllo sul peso le coppie sono distribuite più uniformemente e sono concordi con la distribuzione del peso del veicolo (c'è più coppia sugli assi più carichi) al netto delle zone in cui si entra in saturazione di potenza.

9.2.5 CONCLUSIONI SUI RISULTATI PRIMO OBIETTIVO

Questa strategia è stata messa a punto a generatore spento, al fine di studiare la miglior distribuzione di coppia per massimizzare le prestazioni del veicolo.

Nei risultati si sono evidenziate le migliorie portate dalla strategia di controllo dei motori con controllo su peso. Si ritiene che il controllo della coppia richiesta agli assi in funzione delle forze verticali sia efficace e porti a risultati consistenti, si considera quindi raggiunto il primo obiettivo.

9.3 OBIETTIVO 2

Il secondo obiettivo è quello di avere il miglior utilizzo possibile dell'architettura elettrica del veicolo, garantendo livelli di carica sufficienti della batteria durante tutta la competizione.

9.3.1 STRATEGIA DI RICARICA

Viene in questo capitolo descritta l'analisi effettuata per valutare quale sia il miglior utilizzo possibile dell'architettura elettrica del veicolo, al fine di ottimizzare l'uso dei motori e garantire livelli di carica sufficienti della batteria durante tutta la competizione. Vengono quindi in questa sezione valutate le possibili strategie di ricarica dei motori.

Si parte dall'assunto che si vuole rigenerare in due condizioni:

- Frenata
- Accelerazioni modeste o velocità costante

Mentre la prima condizione è ottimale ed è una condizione in cui bisogna massimizzare la ricarica di energia, la seconda condizione va analizzata e modulata secondo il tipo di competizione.

Viene per questa sezione utilizzato il ciclo guida US 06 riportato in Figura 9.19.

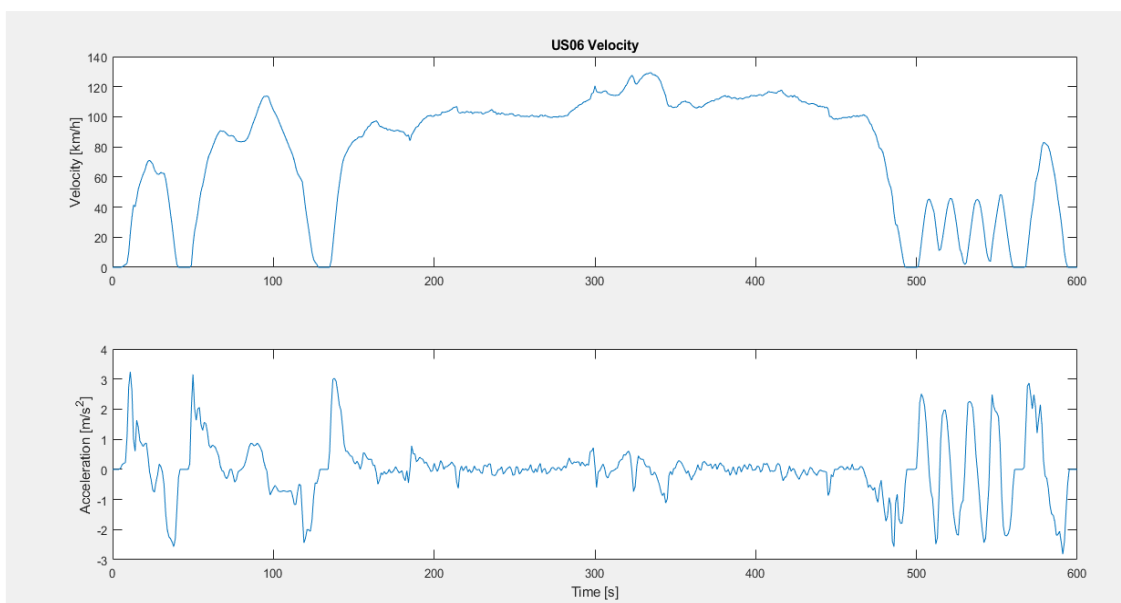


Figura 9.18: Profilo di velocità US 06

Si ritiene questo ciclo un ottimo compromesso per lo studio della strategia di ricarica, in quanto presenta diverse accelerazioni e decelerazioni fino a veicolo fermo, e mantiene per una buona parte del ciclo la velocità costante. Si ritiene l'US 06 un ciclo guida equilibrato in termini di prestazioni richieste ai motori.

Vengono dapprima svolte delle simulazioni su asfalto asciutto, per poi fare delle simulazioni su terra.

Per il comando al generatore vengono introdotti due parametri di controllo:

- Acceleration Threshold
- Braking Coefficient

Entrambi i parametri fanno riferimento ai comandi forniti dal guidatore, rispettivamente di accelerazione e decelerazione. Nello specifico, solo se il comando di accelerazione è minore dell' "Acceleration Threshold" (soglia di accelerazione) il veicolo funziona in modalità rigenerativa.

La modalità rigenerativa consiste nel richiedere su "surplus" di coppia al motore termico tramite un coefficiente moltiplicativo (EngCmd), da andare a immagazzinare sotto forma di energia elettrica tramite il generatore. La logica consiste quindi nel mettere un coefficiente moltiplicativo alla richiesta di coppia del motore termico, e dare un input di rigenerazione al generatore, che assorba il surplus di coppia erogato.

il comando di frenata sarà minore del Braking Coefficient (soglia di frenata) allora il veicolo sarà frenato soltanto utilizzando la coppia resistente delle macchine elettriche, escludendo l'impianto frenante.

La scelta di questi parametri, fissi durante le simulazioni, sarà importante per capire se il dimensionamento della batteria scelto è sufficiente a sostenere una simulazione di gara su sterrato senza che la carica sia esaurita prima della conclusione dell'evento.

I seguenti grafici riportano:

- Profilo di velocità, velocità del veicolo e carica della batteria
- Comando di accelerazione, Acceleration Threshold e attivazione comando di rigenerazione
- Coppie ai motori

9.3.1.1 Simulazione 1: Strategia di ricarica su Asfalto

Veicolo: Panda 4WD-H

Profilo di velocità: US 06

Fondo: Asfalto

Note: EngCmd x2.3, AccThres =0.4

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.20.

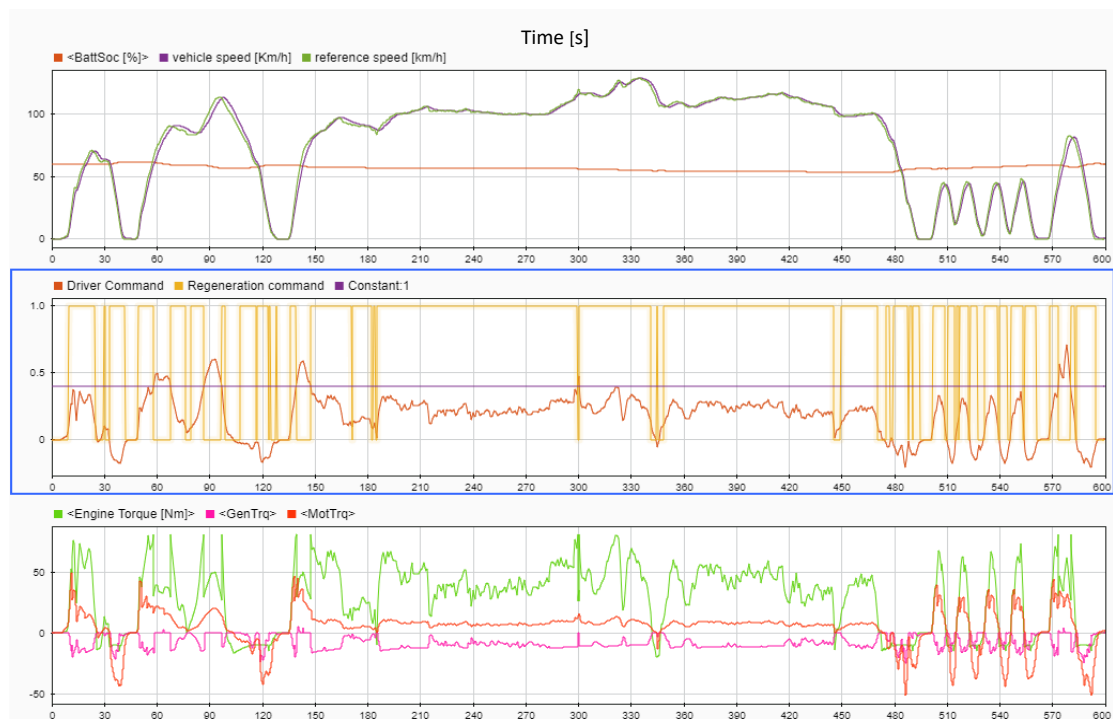


Figura 9.19: Risultati Simulazione US06 su asfalto

Si osserva che:

- Il comando di rigenerazione funziona coerentemente rispetto a quanto imposto dalla logica di controllo. Generatore e motore elettrico lavorano coerentemente alle richieste sia in frenata che in accelerazione.
- Il veicolo riesce a seguire coerentemente il profilo di velocità nonostante il generatore richieda coppia negativa durante la maggior parte della simulazione

Si cerca tramite i cursori di ricavare qualche risultato:



Figura 9.20: Risultati US 06 su asfalto

Viene evidenziato in Figura 9.21 il livello di batteria finale rispetto a quello iniziale. Il modello si trova a seguito dell'ultima frenata nella condizione in cui si trova ad avere più carica rispetto a quella iniziale.

Si considera questo risultato un ottimo risultato di partenza. La Panda Raid ha tuttavia un profilo di velocità più richiedente rispetto all'US 06 e non si svolge su asfalto.

Si decide ora di verificare il comportamento del modello in condizioni più simili di gara. Per il buon equilibrio tra accelerazioni, decelerazioni viene utilizzato il ciclo guida US06 modulato con un coefficiente moltiplicativo di 0.8. Il terreno che viene utilizzato per questa prova è lo sterrato. Viene inoltre dato in input al modello un profilo di inclinazioni sinusoidale di ampiezza 5 gradi.

9.3.1.2 Simulazione 2: Strategia di ricarica su Terra

Veicolo: Panda 4WD-h

Profilo di velocità: US 06x0.8

Fondo: Sabbia

Profilo di inclinazioni: sinusoidale, amplitude=5 gradi

Note: Engcmd x2.8, Acc Thres =0.5

A seguito di simulazione si ottengono i risultati mostrati in Figura 9.22.

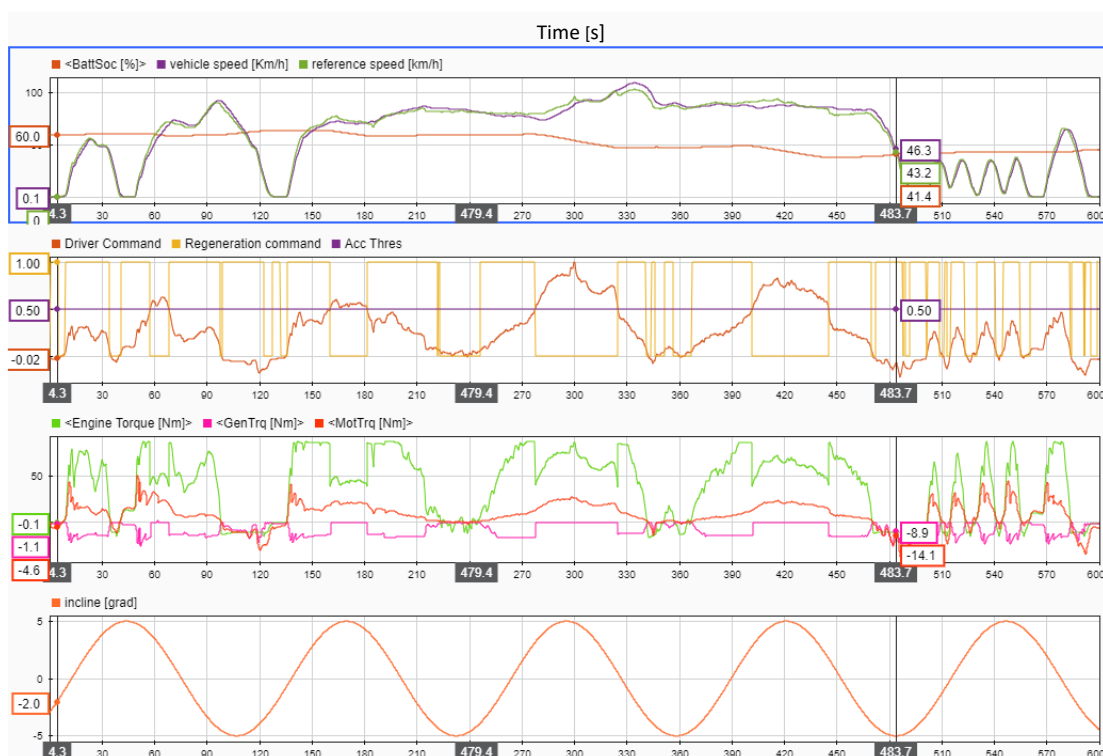


Figura 9.21: Risultati US 06 su sabbia

Si osserva che:

- Il veicolo riesce a seguire coerentemente il profilo di velocità nonostante il profilo di inclinazioni che incontra durante la gara
- La strategia di carica della batteria funziona correttamente ed è attiva per gran parte della simulazione
- Lo stato di carica della batteria ha un minimo del 41,4% durante la simulazione, dovuto alla necessità di seguire un profilo di velocità intorno ai 100 km/h con numerose salite per circa 5 minuti.

9.3.1.3 Simulazione 3: WLTP Class 3

Viene ora presentata la simulazione condotta su un profilo di velocità di 30 minuti, per verificare il comportamento della batteria. Questa simulazione prevede diversi picchi di velocità, e può essere rappresentativa della Panda Raid. Anche in questo caso la prova viene condotta su terra e viene messo un profilo di inclinazioni sinusoidale durante la prova che simuli condizioni simili al Panda Raid.

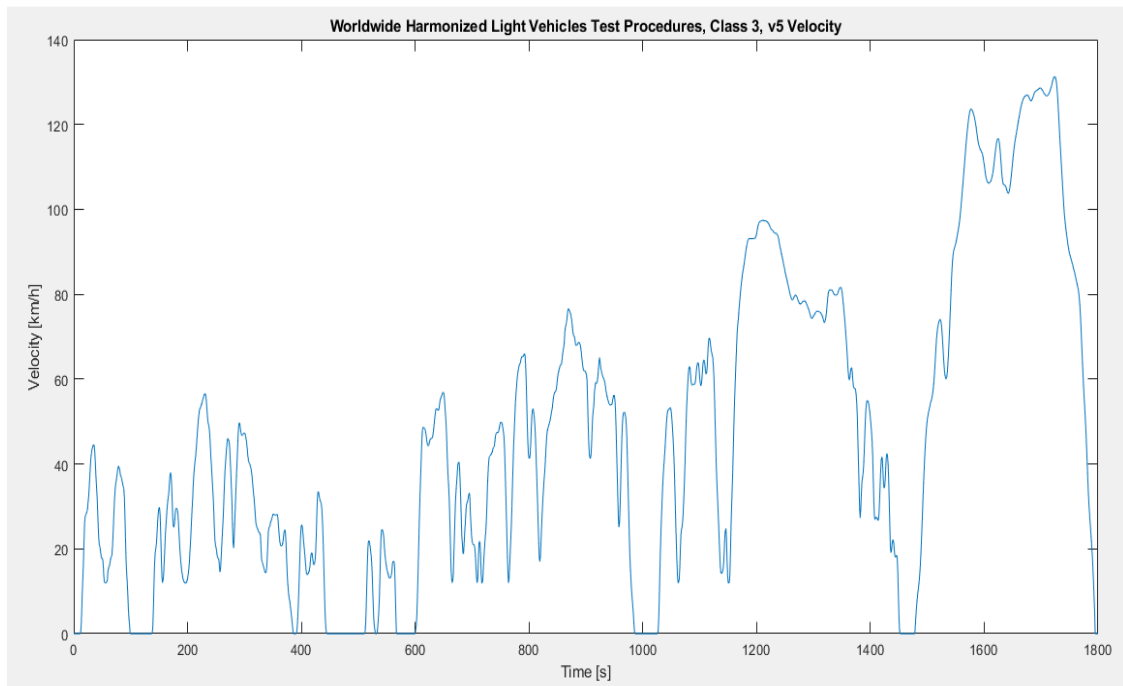


Figura 9.22: Profilo di velocità WLTP

Veicolo: Panda 4WD-H

Profilo di velocità: WLTP Class 3

Fondo: Terra

Profilo di inclinazioni: sinusoidale, amplitude=5 gradi

Note: Engcmd x2.8, Acc Thres =0.5

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati di Figura 9.24.

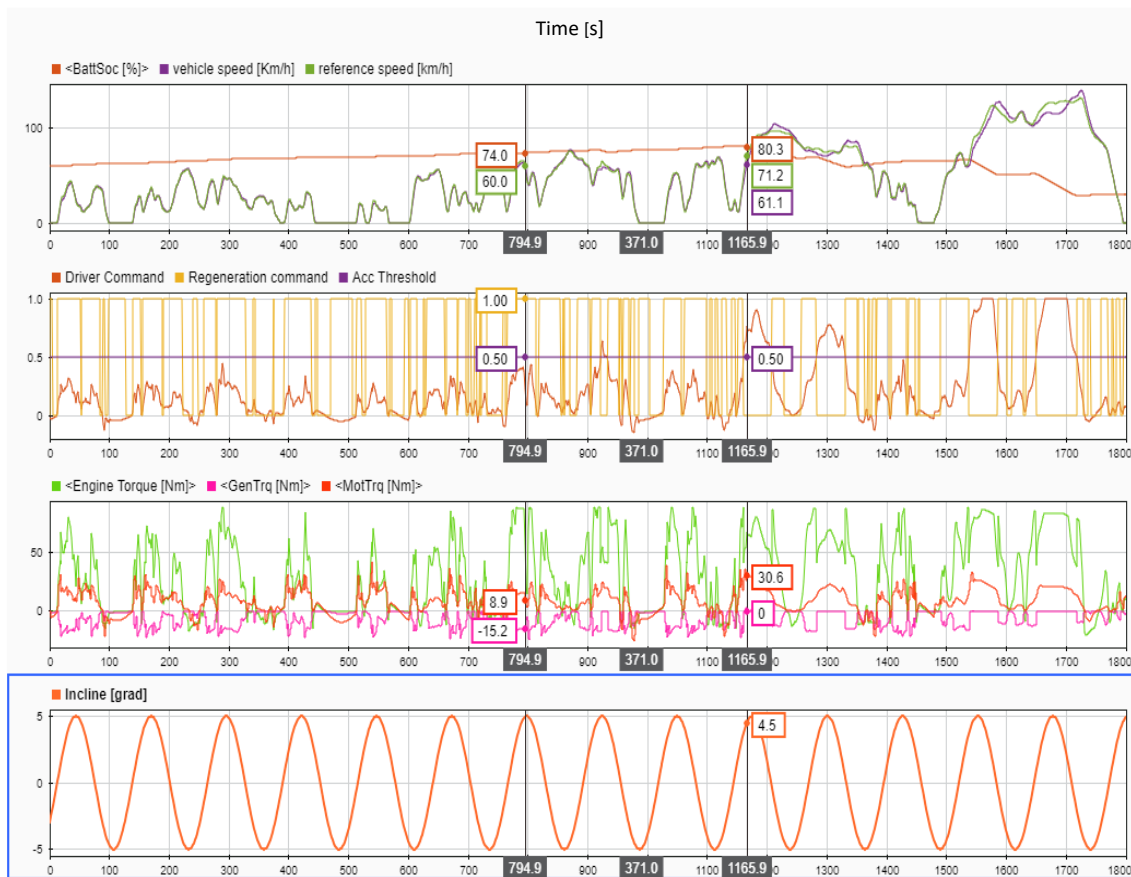


Figura 9.23: Risultati Simulazione su WLTP

Si arriva a importanti conclusioni sul comportamento dinamico della batteria nei trenta minuti:

- Nonostante si raggiungano velocità di 70 all'ora in salita, la carica della batteria ha un trend positivo per buona parte della simulazione fino a un picco di 80%: la rigenerazione si attiva spesso.
- Nel momento in cui servono velocità e prestazioni migliori (135 km/h su terreno fangoso) il veicolo riesce a soddisfare le richieste, avendo a disposizione abbastanza energia.

9.3.2 CONCLUSIONI SUI RISULTATI SECONDO OBIETTIVO

La strategia di carica della batteria messa a punto si ritiene efficace. Si è evidenziato nell'ultima prova che la batteria in un percorso di 30 minuti tipo Pana Raid ha una carica sufficiente per tutta la simulazione.

Si ritiene che questa strategia di carica della batteria sia in prima battuta efficace e si considera quindi raggiunto il secondo obiettivo. Si ritiene però necessario al fine di garantire sempre un buon livello di carica della batteria di migliorare la strategia di ricarica inserendo una soglia dinamica che si modifichi in base al livello di batteria.

10 SOLUZIONE FINALE

Come mostrato nelle sezioni precedenti si è riusciti a raggiungere i due obiettivi, da una parte migliorando le prestazioni del veicolo con una distribuzione della coppia tra gli assi coerente con il carico distribuito sugli assi, dall'altra garantendo un livello di carica delle batterie sufficiente ad affrontare la gara. Viene in questo capitolo spiegata la soluzione compromesso adottata per la gara.

Il sistema di controllo finale è riportato a scopo indicativo in Figura 10.1.

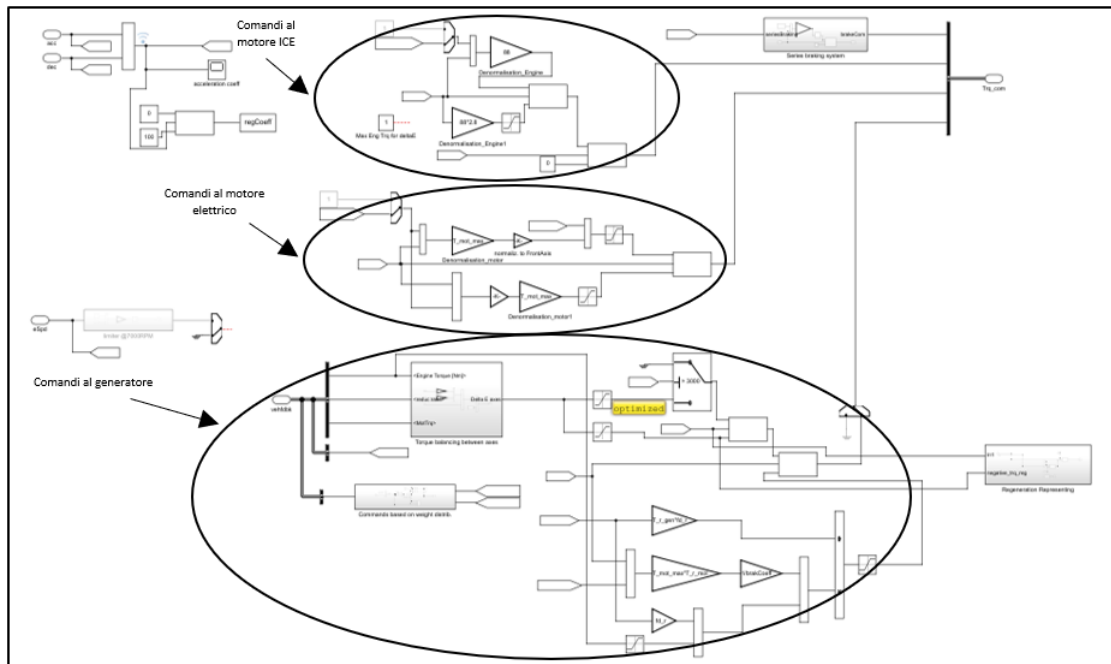


Figura 10.1: Schema controlli veicolo ibrido

Dallo schema si può osservare come i 3 blocchi di controllo dei motori siano ben distinti, ma non per questo lavorano separatamente. Infatti, per il suo funzionamento ogni motore utilizza le informazioni del sistema, che non sono semplici dati come avviene nel modello, nella realtà saranno delle vere misure acquisite da opportuni sensori installati sul veicolo.

Per integrare i due obiettivi la soluzione finale prevede di:

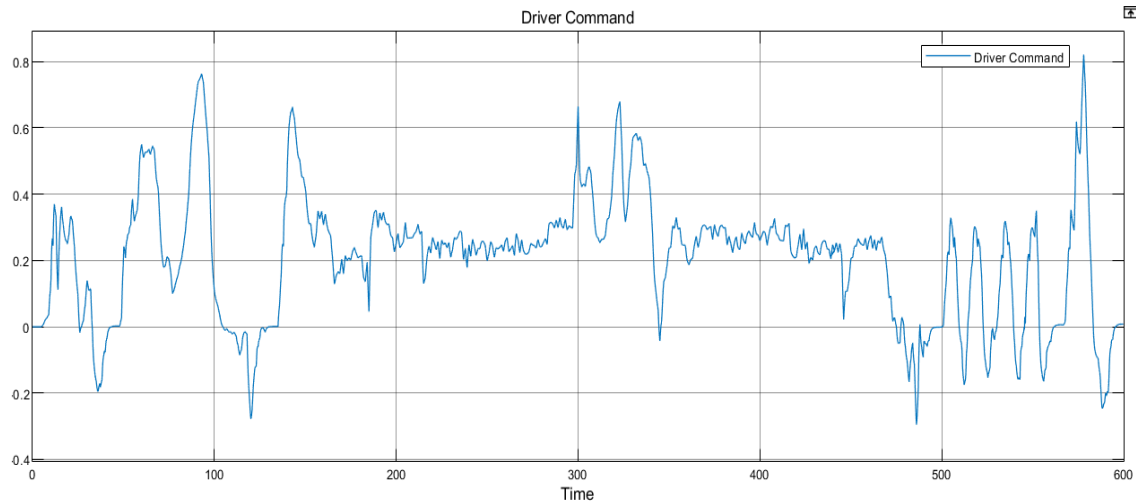
- Utilizzare il controllo di distribuzione di coppia modulato sul peso quando al veicolo vengono richieste forti accelerazioni, in modo da ottimizzare le prestazioni quando ce n'è più bisogno. Viene quindi utilizzata la logica di controllo sul peso solamente quando il comando di accelerazione sfiora l'acceleration threshold
- Utilizzare il controllo di distribuzione di coppia modulato sul peso durante ogni frenata

- Utilizzare la strategia di rigenerazione quando non ci sono grandi richieste prestazionali (ovvero per valori di accelerazione inferiori all'Acceleration Threshold) ed in ogni frenata. La rigenerazione avviene aumentando la richiesta di coppia al motore termico, e richiedendo coppia negativa al generatore, che assorbe il surplus di coppia erogato

10.1 LOGICA DI CONTROLLO

Si riassume brevemente il funzionamento della logica di controllo. Stabilite le di “Acceleration Threshold” e di “Braking Coefficient” si ha che:

- Per valori di accelerazione minori della soglia, il motore termico riceve un comando di coppia nettamente maggiore dell’elettrico e il buco di coppia fra l’asse anteriore e posteriore è compensato dal generatore (fino al massimo delle sue capacità) per ricaricare la batteria.
- Superata la soglia di accelerazione, i motori elettrico e termico ricevono gli stessi comandi di coppia rispetto agli assi, limitati in maniera diversa da un coefficiente che tiene conto del carico su ogni asse, affinché si ottenga una trazione più omogenea su tutte le ruote.
- Per valori di decelerazione minori della soglia, si ha una frenata totalmente rigenerativa, in cui i due motori elettrici oppongono la massima resistenza al moto, superata tale soglia si avrà anche l’intervento dell’impianto frenante.



*Figura 10.2: Esempio comando di accelerazione su veicolo 4wd-H, in condizioni di asfalto asciutto e profilo velocità US06*1.2*

Nei prossimi paragrafi saranno analizzate nello specifico tutte le logiche di controllo di ciascun motore, evidenziando soprattutto le teorie delle varie modalità di funzionamento del veicolo ibrido realizzato.

10.2 GENERATORE

Il primo motore analizzato è il generatore, poiché è l'elemento più interessante e versatile del veicolo ibrido.

Il "generatore" è chiamato in questo modo perché il suo scopo principale è quello di generare energia elettrica. Esso applica una forza frenante al motore termico sia in momenti in cui è richiesta poca coppia di trazione, meccanismo utile a mantenere la batteria carica per sfruttarla quando invece è più necessaria, sia in frenata.

Ove necessario, essendo il generatore una macchina elettrica, può essere utilizzato anche come motore.

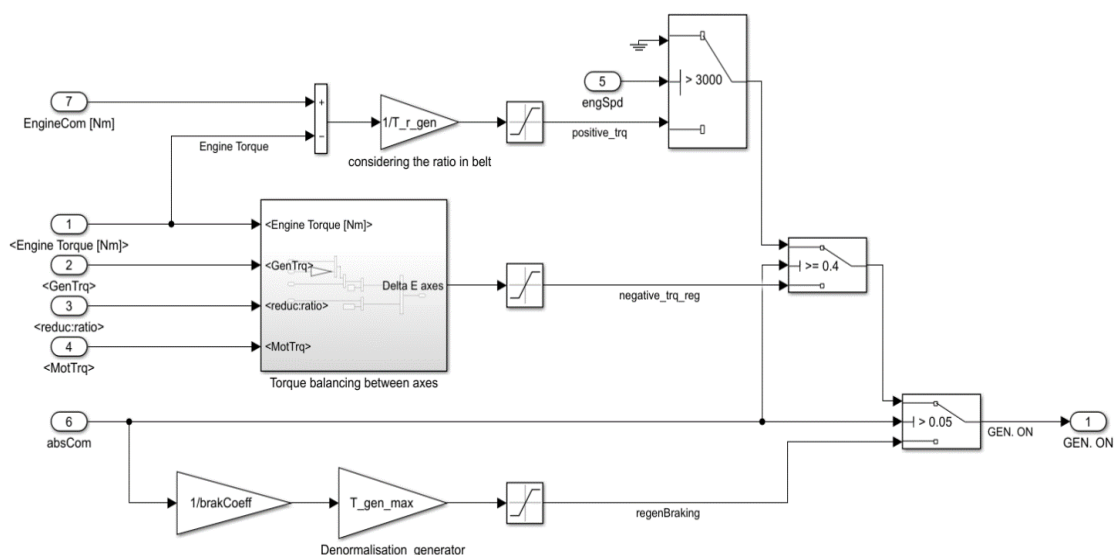


Figura 10.3: Blocco di comando con generatore

Il generatore è accoppiato al motore ICE considerando il riduttore meccanico scelto e modellando la architettura a cinghia precedentemente descritta.

Il generatore, in base alla modalità di funzionamento, fornisce:

- **Coppia positiva**, per giri del motore inferiori a 3000 RPM e comando di accelerazione superiore all'acceleration threshold.
- **Coppia resistente in Modalità Rigenerativa**, per comandi di accelerazione inferiori all'acceleration threshold, per qualsiasi velocità del motore.
- **Coppia resistente in Frenata Rigenerativa**, per qualsiasi valore del comando di decelerazione.

Nel secondo caso si sceglie di dare un comando al generatore di almeno 2.5 circa volte quello del motore elettrico, in modo sia che il motore termico lavori ad alti regimi, sia per usare meno il motore elettrico in questa condizione, altrimenti si rischierebbe di utilizzare più energia di quella rigenerata.

Considerate le richieste di questo progetto, il controllo del generatore per la modalità rigenerativa è stato realizzato in modo tale da ottenere un comando che bilancia la coppia sugli assi:

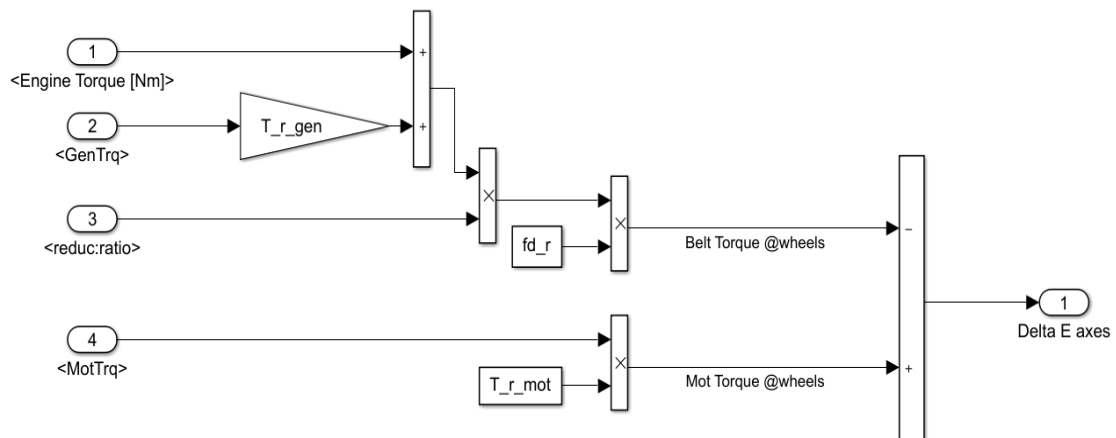


Figura 10.4: Logica di misurazione di deltaC tra gli assi

10.3 MOTORE ELETTRICO

Il motore presenta solo due modalità di utilizzo, in trazione e in frenata rigenerativa, rispettivamente la parte superiore e inferiore della logica presentata in Figura 10.5.

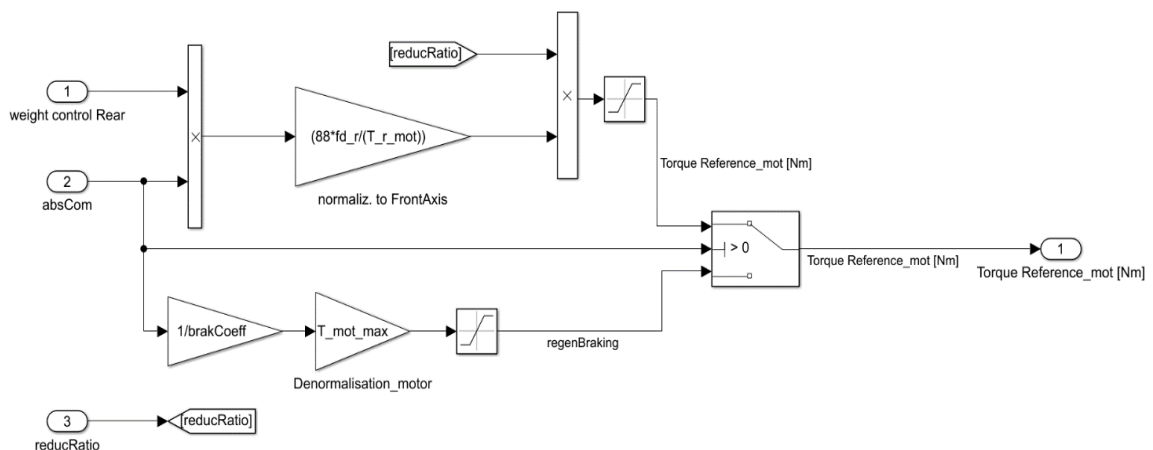


Figura 10.5: Logica di comando motore

Anche per il comando del motore elettrico si tiene conto dei rapporti di riduzione della trasmissione, delle coppie massime erogabili dell'elettrico e del termico, e delle marce utilizzate dal guidatore, in modo da fornire all'asse posteriore una coppia pari a quella frontale.

Circa la modalità di frenata rigenerativa, è necessario chiarire la logica adottata sul motore elettrico in quanto fa riferimento anche all'uso del generatore nella medesima fase.

10.4 MOTORE ICE

Per completezza si riporta anche la logica di controllo del motore termico, benché già introdotta nei paragrafi precedenti.

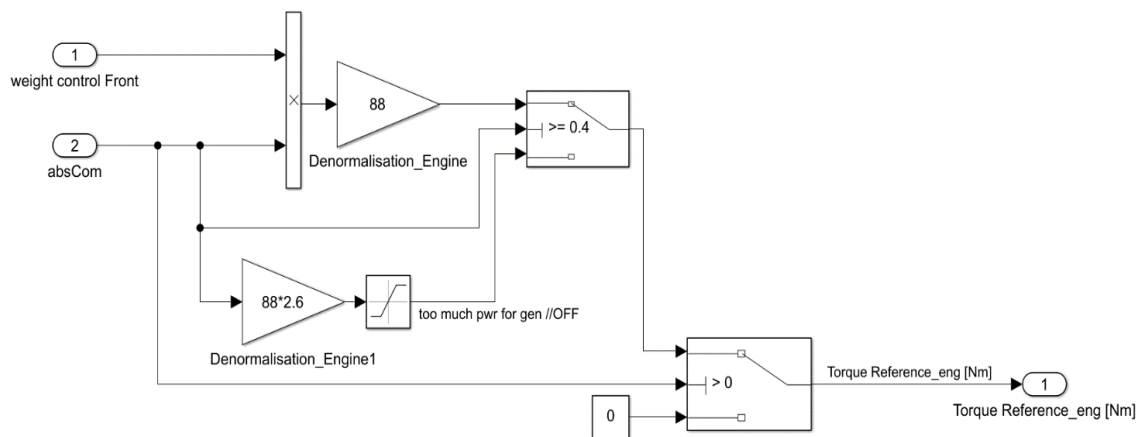


Figura 10.6: Logica di controllo del motore termico

Il controllo del motore termico del veicolo ibrido si differenzia da quello del modello basato sul veicolo originale per il solo comando legato alla modalità rigenerativa e consiste in un comando di:

- Richiesta di coppia standard, normalizzata alla coppia massima erogabile e proporzionale al comando di accelerazione, nel caso di accelerazione maggiore dell'acc thres.
- Richiesta di coppia elevata, superiore al doppio di quella richiesta all'elettrico in rigenerazione. Questo comando è dato se il valore di accelerazione è inferiore all'acc thres.
- Richiesta di coppia nulla che, dal momento che il modello cerca di riprodurre la realtà, risulta in coppia resistente nota come "freno motore".

11 ANALISI ENERGETICA

Viene in questa sezione presentata un'analisi energetica per mostrare le differenze del 4WD-H rispetto al veicolo originale 4x4.

Si sceglie di confrontare i due veicoli usando il ciclo guida US06 già utilizzato nelle prove precedenti. Per comodità ne viene riportato l'andamento in Figura 11.1.

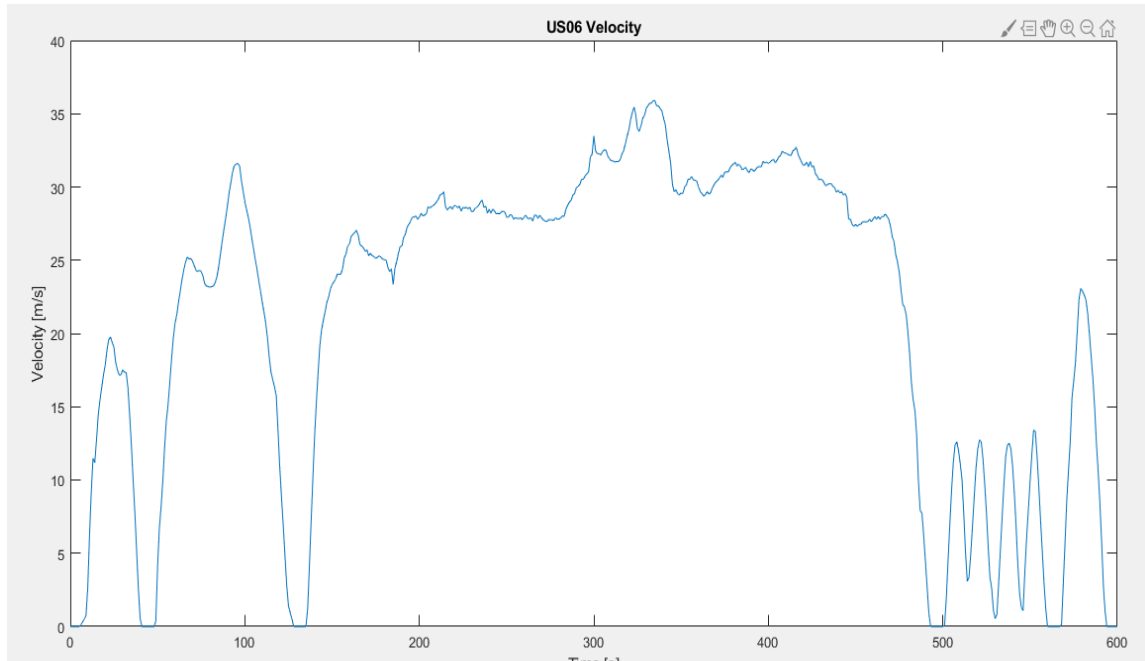


Figura 11.1: Profilo di velocità US06

Si decide di svolgere la simulazione su sabbia per avere condizioni simili al Panda Raid. Viene riportato nei risultati l'energia totale spesa dai veicoli durante la gara, per trarre alcune conclusioni.

11.1 SIMULAZIONE 1: CONFRONTO ENERGIA 4X4 VS 4WD-H

Profilo di velocità: US 06

Fondo: Sabbia

Il riassunto delle caratteristiche dei veicoli è riportato in Tabella 11.1.

| Veicolo | Peso | Potenza disponibile a bordo |
|-------------|---------|-----------------------------|
| Panda 4x4 | 950 kg | 40 kW |
| Panda 4WD-H | 1030 kg | 65 kW |

Tabella 11.1: Pesì e potenze dei veicoli

A seguito di simulazione si ottengono i risultati in Figura 11.2.

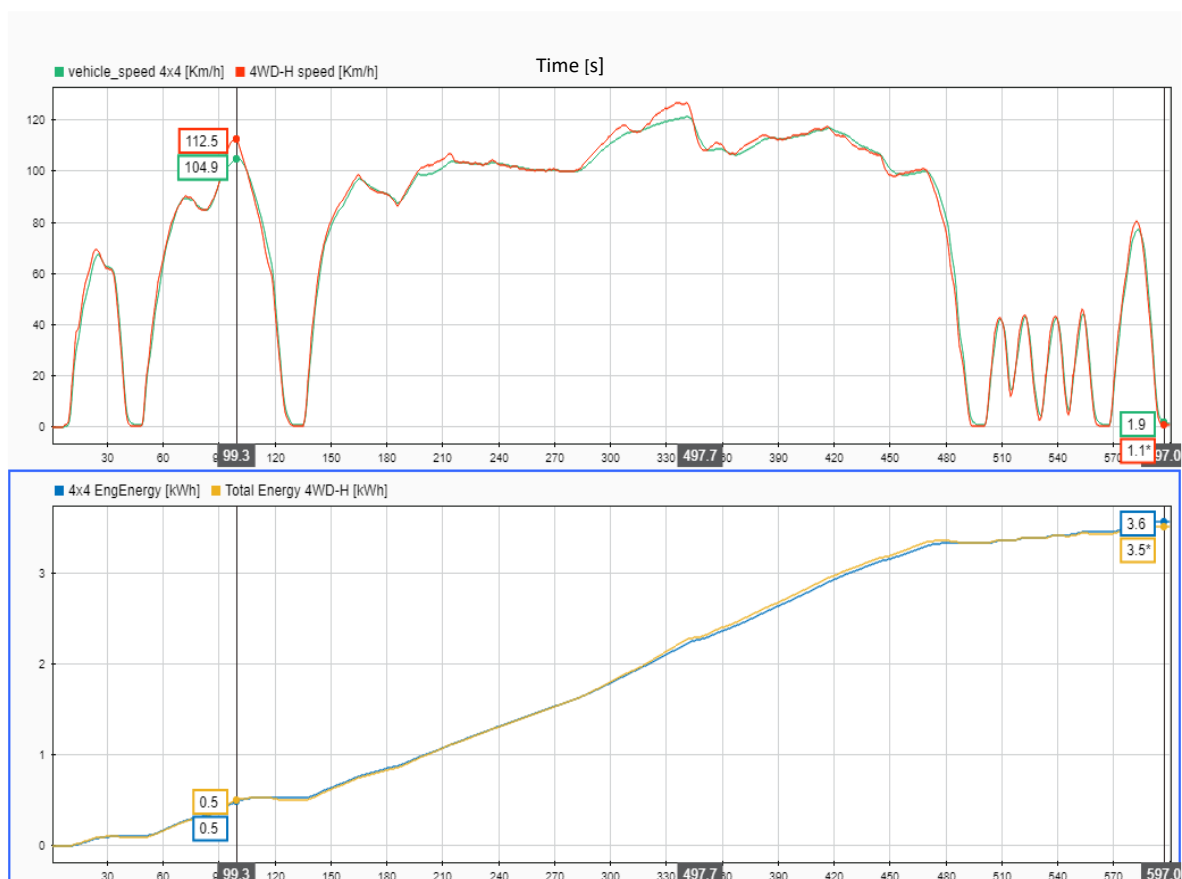


Figura 11.2: Confronto spesa energetica 4x4 vs 4WD-H

Si nota che l'energia utilizzata dai due veicoli a fine prova è all'incirca la stessa. C'è un piccolo vantaggio di risparmio di energia nell'utilizzo del veicolo ibrido.

Si possono però fare le seguenti considerazioni:

- Il veicolo ibrido pesa di più ed eroga più potenza, il cui contributo si nota nelle velocità maggiori raggiunte durante la prova
- I due veicoli a fine prova hanno utilizzato la stessa energia

Si conclude quindi che il veicolo ibrido ha un migliore bilancio energetico dato dal fatto che è in grado di recuperare l'energia durante le decelerazioni per erogare quando ce n'è più bisogno.

Sono riportati nelle prossime figure dei focus su alcuni punti del grafico: il totale di energia utilizzata dal veicolo ibrido supera quella utilizzata dal veicolo 4x4 quando lo supera in velocità. Si torna invece nella condizione opposta nella serie di frenate rigenerative finale.

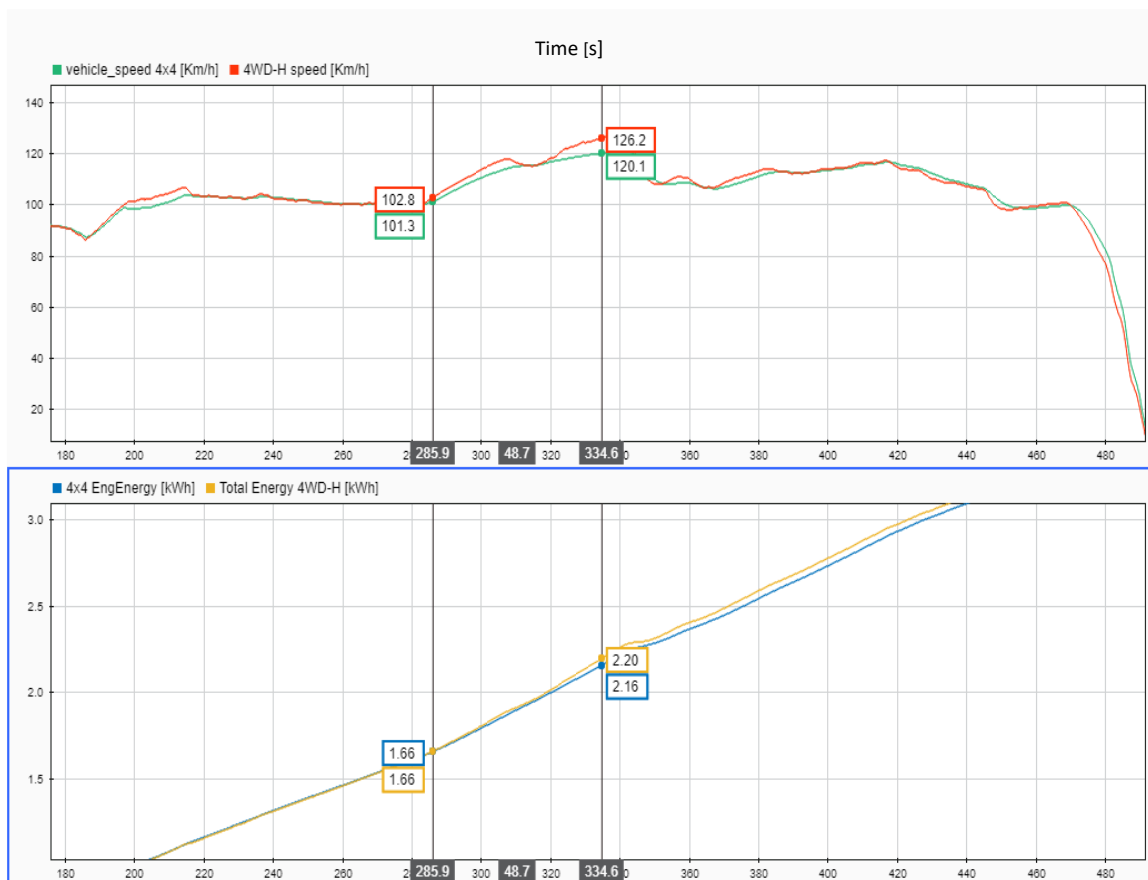


Figura 11.3: Focus 1 confronto veicoli 4x4 vs 4WD-H

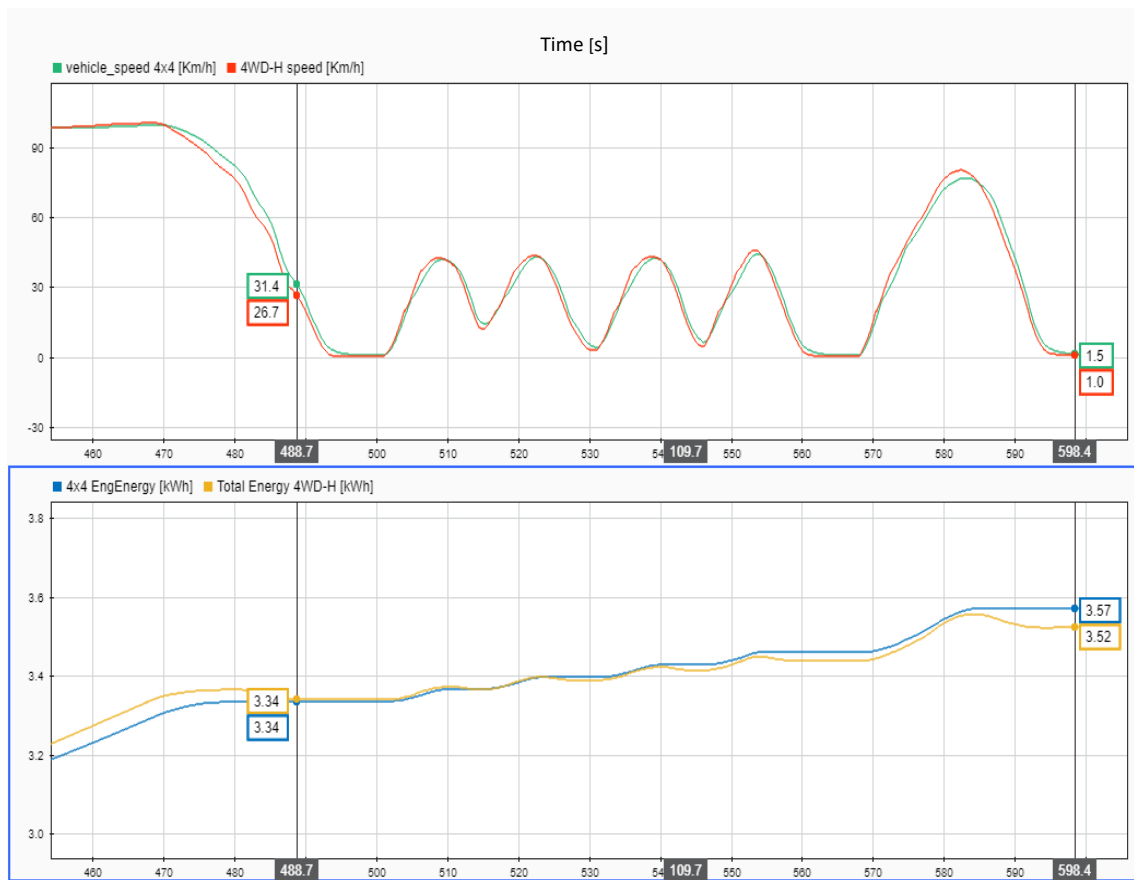


Figura 11.4: Focus 2 confronto Panda 4x4 vs 4WD-H

Viene presentata in ultimo un’analisi per mostrare a fine di una prova qual è il contributo della frenata rigenerativa con due diverse simulazioni.

11.2 SIMULAZIONE 2: FRENATA RIGENERATIVA SU SABBIA

Profilo di velocità: US 06

Veicolo: Panda 4WD-H

Fondo: Sabbia

Note: Velocità 0.8x

A seguito di simulazione si ottengono i risultati riportati in Figura 11.5.

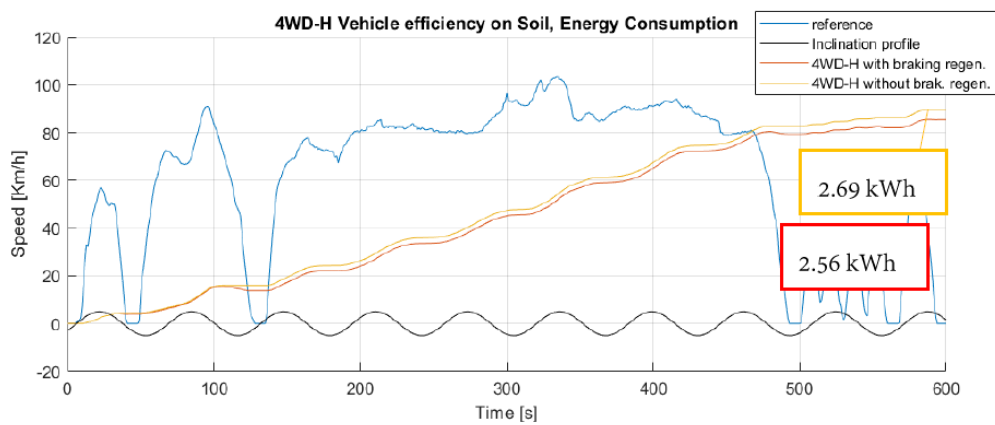


Figura 11.5: Contributo frenata rigenerativa su sabbia

I risultati a seguito di simulazione sono riassunti in Tabella 11.2.

| Veicolo | Energy consumption |
|-----------------------------|--------------------|
| Panda 4WD-H no reg. braking | 2,69 KWh |
| Panda 4WD-H reg. braking | 2.56 KWh |
| Delta | 0.13 KWh |
| Delta [%] | 4.8% |

Tabella 11.2: Contributo frenata rigenerativa su sabbia

L’utilizzo della frenata rigenerativa in un ciclo guida di 10 minuti su sabbia porta ad un risparmio energetico del 5%.

11.3 SIMULAZIONE 3: FRENATA RIGENERATIVA SU ASFALTO

Profilo di velocità: US 06

Veicolo: Panda 4WD-H

Fondo: Asfalto

Note: Velocità 1.2x

A seguito di simulazione si ottengono i risultati riportati in Figura 11.6.

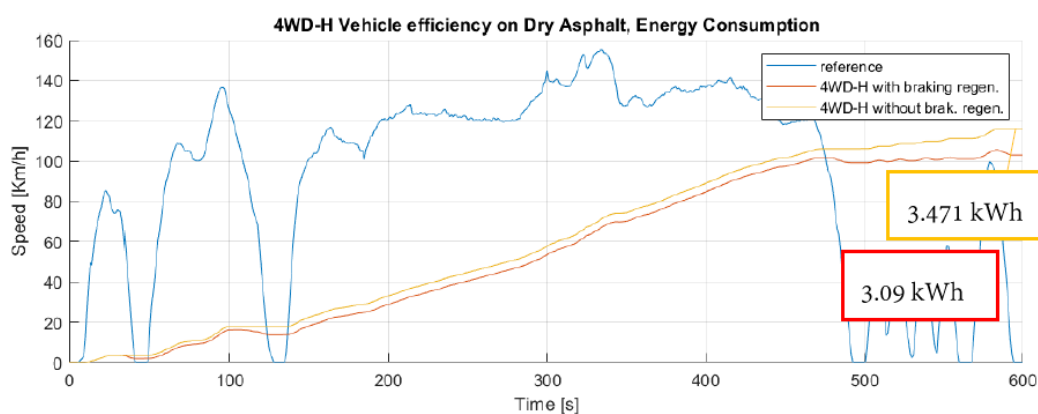


Figura 11.6: Frenata rigenerativa su asfalto

Come evidenziato in Figura 11.6 a fine prova la i consumi di energia sono stati i seguenti:

| Vettura | Energy consumption |
|-----------------------------|--------------------|
| Panda 4WD-H no reg. braking | 3.47 KWh |
| Panda 4WD-H reg. braking | 3.09 KWh |
| Delta | 0.38 KWh |
| Delta [%] | 10.9% |

Tabella 11.3: Contributo frenata rigenerativa su asfalto

L'utilizzo della frenata rigenerativa in un ciclo guida di 10 minuti su asfalto porta ad un risparmio energetico del 10%.

12 ANALISI DI CONFRONTO PRESTAZIONI

Viene in questo capitolo presentata un'analisi di confronto prestazionale tra le vetture 4x2, 4x4 e 4WD-H. Viene dato un ciclo guida alle vetture con un input di velocità istantaneo per analizzare i comportamenti delle vetture quando vengono richieste forti prestazioni. Le simulazioni vengono svolte su sabbia. Vengono svolte due prove: una in cui i veicoli hanno tutti lo stesso peso, ed una in cui i veicoli hanno pesi differenti.

A seguito di simulazione, si ottengono i risultati riportati nelle figure

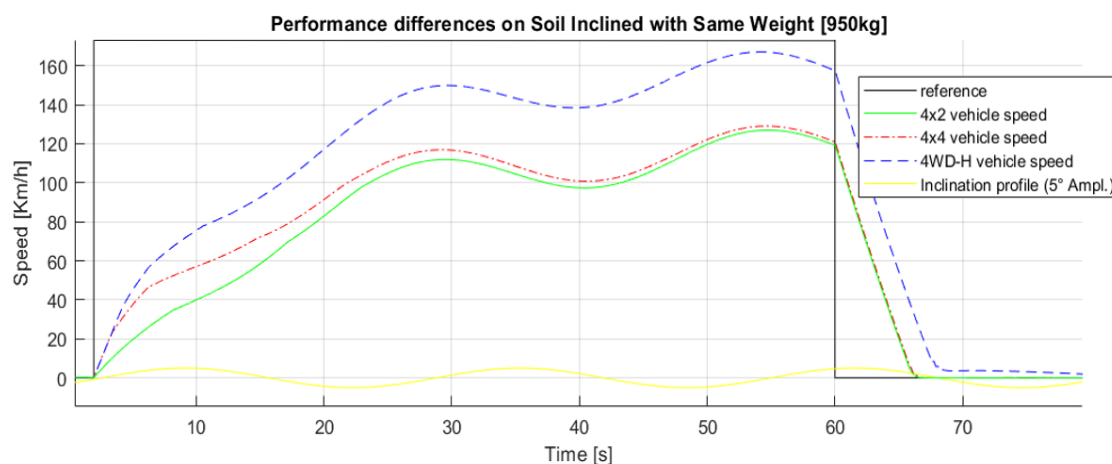


Figura 12.1: Confronto prestazioni a parità di peso

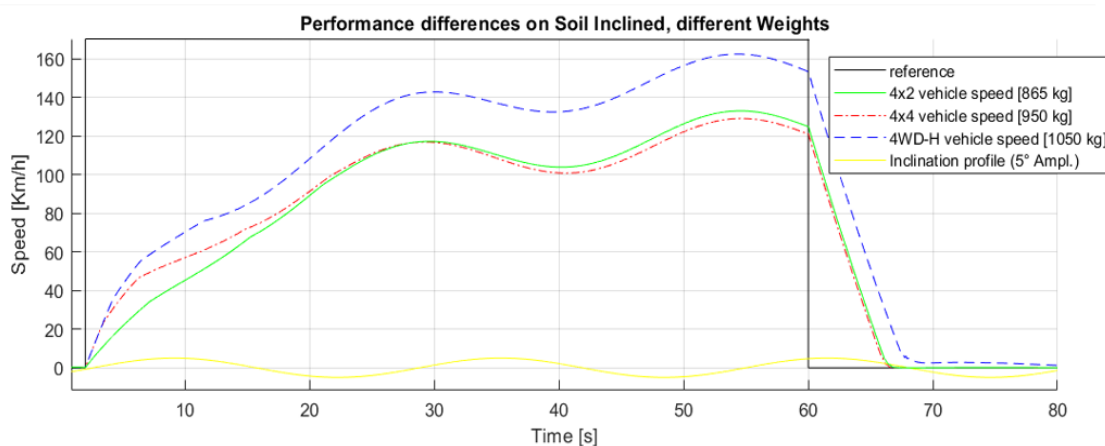


Figura 12.2: Confronto prestazioni con peso

Dai risultati riportati nelle figure 12.1 e 12.2 si nota che i veicoli hanno prestazioni molto diverse: il veicolo ibrido è molto più potente rispetto agli altri due. Si evidenzia in queste prove quanto la distribuzione di coppia sia importante su sabbia: si nota come il veicolo 4x4 abbia un'accelerazione molto più marcata rispetto al 4x2 nei primi quindici secondi. Da queste simulazioni, si nota anche l'influenza dei pesi sulla velocità massima. Infatti, il

veicolo 4x2 che nella simulazione a parità di peso va più lento del veicolo 4x4, nella simulazione a pesi differenti ha una velocità massima maggiore del 4x4.

13 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'obiettivo di questo lavoro era quello di creare un modello di veicolo ibrido partendo da una Fiat Panda 1108cc per partecipare al Panda Raid.

Il veicolo originale è stato modellato in ambiente Simulink con un modello a 3 GDL che include motore, trasmissione, dinamica del veicolo e dinamica di contatto ruota terreno basata sul modello di Pacejka. Sono stati individuati i parametri per simulare un profilo di velocità ed un terreno di gara, ed è stata evidenziata l'importanza della trazione a 4 ruote motrici sul veicolo originale.

Al modello di veicolo originale sono in seguito stati aggiunti due motori elettrici ed una batteria, così da ottenere il modello di veicolo ibrido.

È stata quindi studiata una strategia di torque split basata sulle forze verticali agenti su ogni asse ed una strategia di ricarica delle batterie per una gestione dell'energia elettrica efficiente.

La soluzione finale prevede che la macchina elettrica sull'asse anteriore lavori come generatore durante decelerazioni ed in modalità rigenerativa, e lavori come motore per assistere il motore ICE durante le accelerazioni. La macchina elettrica sull'asse posteriore è stata progettata per lavorare in abbinamento al motore termico in accelerazione e per rigenerare le batterie in frenata. Il modello ibrido si dimostra una buona soluzione per la rigenerazione di energia durante la simulazione, si nota tuttavia che il generatore raggiunge spesso la saturazione di potenza. Il controllo sul peso dà ottimi risultati e si rivela utile sia in accelerazione che durante le frenate rigenerative.

La strategia di controllo dei motori deve essere implementata sul veicolo al fine di valutarne accuratezza ed efficacia. Si ritiene che la logica possa essere migliorata con l'implementazione di una "Acceleration Threshold" dinamica che permetta al veicolo di modulare le condizioni di rigenerazione in base alla carica della batteria, l'implementazione di una strategia di controllo su peso anche in fase di rigenerazione ed una richiesta di "surplus" di coppia al motore termico dinamica. Si ritiene inoltre che il modello possa essere modificato considerando gli effetti dei fenomeni dissipativi dei motori, per rendere il modello più realistico. Deve essere inoltre trovata una soluzione per evitare il funzionamento in saturazione di potenza del generatore.

Bibliografia

- [1] Manuale officina Fiat Panda,
web “<http://www.bunkeringegnere.altervista.org/>”.
- [2] Panda Raid website, “<http://www.pandaraid.com/>”.
- [3] Hans B. Pacejka, “Tyre and Vehicle Dynamics” 3rd ed., 2012.
- [4] Mathworks website, “<https://it.mathworks.com/>”.
- [5] Powertrain Blockset Documentation,
“https://it.mathworks.com/help/autoblks/index.html?searchHighlight=powertrain%20blockset&s_tid=doc_srchtile” .
- [6] Giancarlo Genta, Lorenzo Morello “The automotive chassis vol.1: Component design” .
- [7] Giancarlo Genta, Lorenzo Morello “The automotive chassis vol.2: System design” .
- [8] Schmid, Steven R., Bernard J. Hamrock, and Bo. O. Jacobson,
“Fundamentals of Machine Elements, Chapter 18: Brakes and Clutches”, 2014 .