

HYBRID ANALYSIS TEST DRIVE DELLA VERITÀ

TOYOTA PRIUS IV

Rapporto finale

24/06/2016

Ultima Revisione maggio 2018

Sommario

1	Premessa	4
2	Definizione test.....	5
2.1	Numero e caratterizzazione delle prove	5
2.2	Numero e caratteristiche driver	6
2.3	Lunghezza, caratteristiche e tempo di percorrenza del percorso	6
2.4	Significatività del percorso definito.....	9
3	Acquisizione e analisi preliminare dei parametri	11
3.1	Definizione e acquisizione dati	11
3.2	Elaborazioni preliminari post acquisizione.....	12
4	Elaborazione dati acquisiti.....	15
4.1	Parametri relativi al funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo	15
4.2	Parametri per l'analisi energetica.....	17
5	Analisi dei risultati	19
6	Conclusioni	30

Simbologia

EVt: percentuale nel tempo di funzionamento come veicolo elettrico

EVs: percentuale nello spazio di funzionamento come veicolo elettrico

GE: Generatore elettrico

MCI: Motore a combustione interna

ME: Motore elettrico

ZEV: Zero Emission Vehicle

ZEVS: percentuale nello spazio di funzionamento come ZEV

ZEVt: percentuale nel tempo di funzionamento come ZEV

1 Premessa

L'obiettivo del lavoro è lo studio del comportamento energetico di veicoli Toyota PRIUS HYBRID per la verifica della ripartizione percentuale dell'energia totale alle ruote tra ME ed MCI con particolare interesse alla percentuale di percorrenza durante la quale il veicolo è in comportamento ZEV (cioè con MCI spento).

Il lavoro è articolato nelle seguenti fasi

- Definizione test
- Acquisizione e analisi preliminare dei parametri
- Elaborazioni preliminari post acquisizione
- Elaborazione dati acquisiti
- Analisi dei risultati

Nella prima fase sono state definite le modalità di prova: caratteristiche del percorso (lunghezza, localizzazione, ecc), numero e caratteristiche dei driver, numero di prove complessive. Tale definizione è stata fatta con l'obiettivo di avere risultati scientificamente corretti e, per quanto possibile generalizzabili.

Nella fase di Acquisizione e analisi preliminare dei parametri sono stati selezionati i dati da acquisire tra quelli disponibili nel Data List Hybrid Control System.

Nell'elaborazione dei dati acquisiti, per ogni prova e per ciascuna tratta in cui la prova è stata suddivisa, sono stati calcolati parametri relativi al funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo, parametri per l'analisi energetica e altre grandezze (cinematiche e caratterizzanti lo stile di guida) utili per definire eventuali correlazioni tra i parametri citati e le grandezze stesse.

Infine sono stati analizzati i risultati ottenuti, evidenziando gli aspetti più rilevanti dell'analisi sia per quanto riguarda il funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo, sia per il comportamento energetico del veicolo stesso.

2 Definizione test

2.1 Numero e caratterizzazione delle prove

In base alla teoria convenzionale del campione per dimensionare il numero di driver da impiegare per sesso, fascia di età e fascia censuaria, la dimensione complessiva imporrebbe un campione di oltre 300 driver. Inoltre, una misura significativa dei parametri monitorati si può avere facendo ripetere il percorso ai driver almeno 3 volte ciascuno.

Per questo lavoro, si è optato per un diverso tipo di approccio, suddividendo la popolazione in 2 categorie (uomini e donne) e, per ognuna delle categorie, ulteriormente in gruppi (con età fino a 35 anni e oltre 35 anni, come le due principali fasce centrali dalle compagnie di assicurazione che prevedono essenzialmente soggetti con meno di 25 anni, tra i 25 e i 34, tra i 35 e i 44 anni, tra i 45 e i 64 anni e, infine, gli ultrasessantenni).

Il test drive è stato così strutturato prevedendo 20 driver (cinque per ognuno dei quattro insiemi sopra identificati) con un impegno di tre prove ciascuno, su di uno specifico percorso disegnato ad hoc, per un totale di 60 test drive.

Le prove sono state, inoltre, articolate all'interno di tre specifiche differenti fasce orarie (fasce di traffico):

- Fascia Mattutina (10:00-12:00)
- Fascia Pranzo (13:00-15:00)
- Fascia Pomeridiana (15:00-17:00)

Tutte le 60 prove pianificate sono state regolarmente effettuate e ogni driver ha regolarmente effettuato i tre test previsti. Per tutte le prove sono stati acquisiti i dati di interesse.

Come detto, il numero di prove e le unità di driver definiti, rende significativi i dati acquisiti ed elaborati, in quanto ogni conducente può avere uno stile di guida “mediato su tre prove” che lo caratterizza ed i 20 diversi driver possono rappresentare uno spettro significativo di diversi stili di guida. L'aspetto dello stile di guida è essenziale nella conduzione di analisi di tipo energetico emmissive di veicoli. I veicoli ibridi consentono, certamente, di ridurre l'impatto ambientale causato dal trasporto stradale, ma anch'essi non sono immuni dall'influenza dello stile di guida. Come dimostrato nell'articolo *“Valutazione dell'influenza dello stile di guida sulle prestazioni energetiche ed ambientali di veicoli a basso impatto: analisi sperimentale di consumi ed emissioni”*¹, diversi guidatori su uno stesso percorso possono produrre livelli di consumi ed emissioni molto diversi (l'articolo confronta diverse tipologie veicoli tra i quali quelli ibridi).

Infine, per poter rendere comparabili tra loro le 60 prove effettuate, si sono imposte delle caratterizzazioni specifiche dei veicoli utilizzati e delle modalità di guida degli stessi.

- Veicolo:
 - Nuova Prius (3 unità utilizzate)
 - Versione con cerchi da 17”
- Modalità di guida:
 - Veicolo:
 - Eco Mode

¹ 2008, 63° Congresso Nazionale ATI Associazione Termotecnica Italiana, Fabio Orecchini et al.

- Aria condizionata spenta
- Codice stradale
 - Rispetto limiti di velocità (compatibilmente con le condizioni del traffico)

2.2 Numero e caratteristiche driver

La scelta di campionare tre prove per ogni conducente, come detto, nasce dalla necessità scientifica di poter mediare la guida del singolo conducente in quanto il fattore umano (stato d'animo, stato di salute, stato di fatica), i flussi di traffico (regolari o eccezionali), le condizioni climatiche (sole o pioggia) influenzano lo stile di guida che si ripercuote sui valori energetico emissivi della prova.

Altro aspetto che influenza lo stile di guida di cui si è voluto tenere conto nella scelta del campione di driver, proprio nello specifico caso di veicolo ibrido, è la conoscenza ed esperienza di guida ibrida. Questo aspetto può consentire al conducente di sfruttare in modo specifico le potenzialità energetiche offerte da un veicolo di questo tipo (ad esempio, le modalità di accelerazione e decelerazione del mezzo).

Schematizzando quanto specificato, il campione di driver è così composto:

- **Donne: 10** (*tre con esperienza di guida di veicoli ibridi e sette senza esperienza di guida di veicoli ibridi*)
 - 5: con età fino a 35 anni (cinque senza esperienza di guida di un veicolo ibrido)
 - 5: con età superiore ai 35 anni (tre con e due senza esperienza di guida di un veicolo ibrido)
- **Uomini: 10** (*cinque con esperienza di guida di veicoli ibridi e cinque senza esperienza di guida di veicoli ibridi*)
 - 5: con età fino ai 35 anni (due con e tre senza esperienza di guida di un veicolo ibrido)
 - 5: con età superiore ai 35 anni (tre con e due senza esperienza di guida di un veicolo ibrido)

2.3 Lunghezza, caratteristiche e tempo di percorrenza del percorso

Il "Percorso di Test" è stato costruito su una **distanza complessiva di 37 km**, per una durata media di **1 ora e 35 minuti**, articolato su tre macro tratti, 1° Tratto-Andata, 2° Tratto-Urbano, 3° Tratto-Ritorno (nel seguito dettagliati).

Il percorso è composto da un tratto extraurbano ed urbano ad alto scorrimento e da un tratto urbano come visualizzato nella vista d'insieme in Figura 2-1 contestualizzata anche alle fasce di salvaguardia ambientale di Roma.

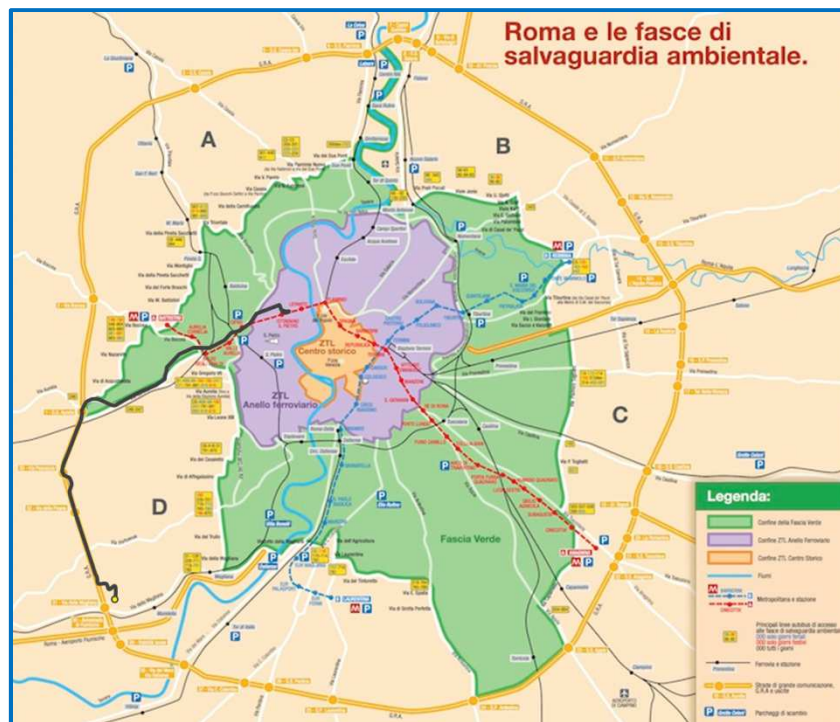


Figura 2-1. Percorso Prova (linea scura) riferito alle fasce di salvaguardia ambientale di Roma.

- **1° Tratto - Andata:** percorso extraurbano ed urbano ad alto scorrimento (Sede Toyota Motor Italia - Via Generale Amedeo Mecozzi, Via Colonnello Tommaso Masala, Complanare GRA, GRA, Via Aurelia, Via Baldo degli Ubaldi, Via Angelo Emo, Via Candia, Viale Giulio Cesare):
 - **Lunghezza:** 14,7 km
 - 13,1 (89%) km fuori dell'anello ferroviario (Figura 2-1)
 - **Durata media:** 27 min



Figura 2-2. Andata: percorso extraurbano ed urbano ad alto scorrimento

- **2° Tratto - Urbano:** percorso urbano che si sviluppa su tre giri di itinerario pensato ad hoc (Ingresso circuito urbano - angolo V.le Giulio Cesare_Via Silla, Viale Germanico, Piazza dei Quiriti, Via Attilio Regolo, Via Virgilio, Via Cassiodoro, Via Tacito, Via Plinio, Via Catullo, Via Terenzio, Via dei Gracchi, Via Catone, Viale Germanico):
 - **Lunghezza:** 6 km
 - Tutto all'interno dell'anello ferroviario
 - **Durata media:** 35 min



Figura 2-3. Urbano: percorso che si sviluppa su tre giri.

- **3° Tratto - Ritorno:** percorso urbano ad alto scorrimento ed extraurbano (Uscita circuito urbano - angolo V.le Germanico_Via Fabio Massimo, Viale delle Milizie, Via Andra Doria, Via Ruggiero di Lauria, Via Francesco Caracciolo, Via Vittor Pisani, Via Angelo Emo, Via Baldo degli Ubaldi, Via Aurelia, GRA complanare, GRA, GRA Complanare, Via Generale Amedeo Mecozzi, Via Colonnello Tommaso Masala - Sede Toyota Motor Italia):
 - **Lunghezza:** 16,3 km
 - 14,3 (88%) km fuori dell'anello ferroviario (Figura 2-1)
 - **Durata media:** 33 min



Figura 2-4. Ritorno: percorso urbano ad alto scorrimento ed extraurbano.

Tale percorso è stato inoltre caratterizzato in funzione delle pendenze di percorrenza per la tratta Andata (e quindi anche Ritorno, mentre la Tratta Urbana si sviluppa su di una assenza di dislivelli). Il dislivello nel Tratto Andata (tra inizio prova e fine andata-entrata Tratto Urbano) è di 31 m (analogo al Tratto Ritorno tra uscita Tratto Urbano-inizio- e fine ritorno).



Figura 2-5. Profilo Altimetrico del Percorso di Test

Nell'articolazione complessiva dei **60 test drive**, svolti in un periodo di tempo di circa **un mese e mezzo** (dal 30 marzo 2016 al 13 maggio 2016), le **acquisizioni** dati sono relative ad **oltre 2.200 km** di percorrenza per un **totale di circa 95 ore**. Durante le prove non si sono verificati incidenti e non sono state elevate contravvenzioni per infrazioni al codice della strada.

2.4 Significatività del percorso definito

Il percorso pianificato è in linea con le distanze medie giornaliere percorse pro capite in Italia indicate dal *Rapporto sulla mobilità in Italia* dell'ISFORT (Istituto Superiore Formazione e Ricerca per i Trasporti) - Rapporto Congiunturale di Fine Anno - Dati campionari 2014 - "AUDIMOB" - Osservatorio sui comportamenti di mobilità degli italiani. Risulta, infatti che la lunghezza media generale dei percorsi giornalieri è di 33,4 km nel 2014 (38,7 km nel 2013).

Territorialmente, sempre secondo lo studio dell'ISFORT, solo il Nord-Est, rispetto a Centro e Mezzogiorno, ha un dato medio generale di 36,4 km (superiore alla media). Altro aspetto interessante è che gli abitanti delle grandi città² hanno percorrenze medie giornaliere inferiori ai 25 km.

Altro dato di sicuro interesse è quello degli spostamenti percentuali in funzione dei raggi di mobilità illustrati in Figura 2-6 per gli anni 2012, 2013 e 2014.

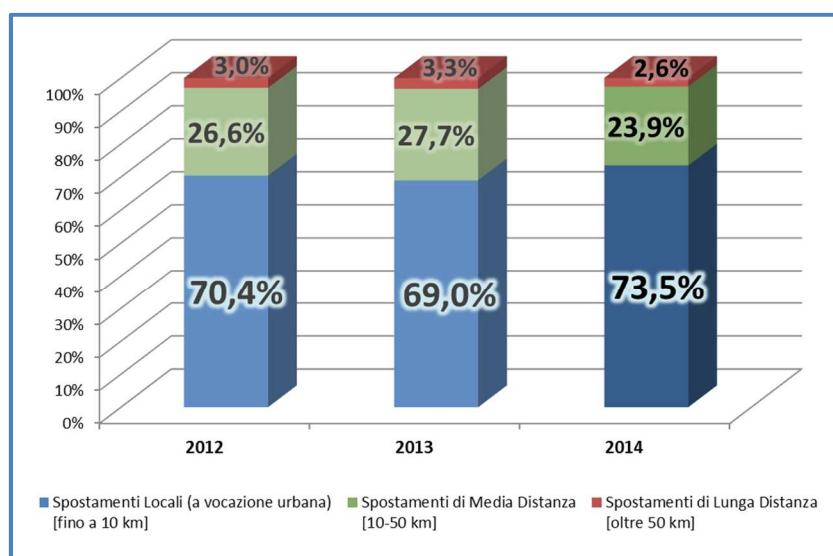


Figura 2-6. Percentuale mobilità per raggio di percorrenze (2012, 2013, 2014)³.

In Figura 2-7 è riportato il dettaglio degli spostamenti per il 2014.

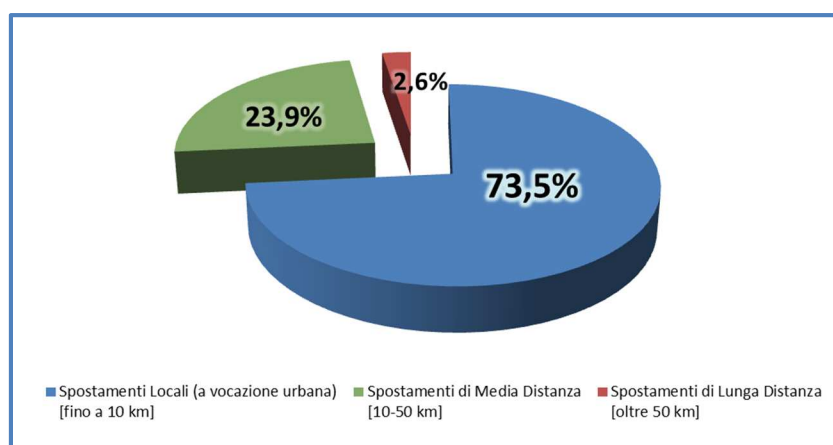


Figura 2-7. Percentuale mobilità per raggio di percorrenze (2014)⁴.

² Percorrenze medie giornaliere per dimensione dei comuni. Grandi città, comuni con oltre 250.000 abitanti 24,6 km; comuni con 50.001÷250.000 abitanti 29,2 km; comuni con 20.001÷50.000 abitanti 30,4 km; comuni con 5.001÷20.000 abitanti 38,8 km; comuni fino a 5.000 abitanti 42,2 km.

³ Fonte: ISFORT, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani.

⁴ Fonte: ISFORT, Osservatorio "Audimob" sulla mobilità degli italiani.

3 Acquisizione e analisi preliminare dei parametri

I parametri necessari all'analisi energetica oggetto del presente studio riguardano oltre alle grandezze energetiche del sistema di trazione ibrido, anche le grandezze cinematiche che definiscono il moto del veicolo: spazio percorso, velocità e accelerazione. Alcune di queste sono disponibili tra i dati acquisibili, altre devono essere calcolate da quelle acquisite.

3.1 Definizione e acquisizione dati

I dati sono acquisiti su PC dalla presa OBD dell'auto utilizzando il software TechStream.

I dati da acquisire sono stati selezionati da quelli disponibili nel Data List **Hybrid Control System**: i dati selezionati sono sovrabbondanti rispetto agli obiettivi specifici del presente lavoro e sono stati selezionati considerando eventuali future elaborazioni di comune interesse che potranno essere sviluppate senza ripetere le procedure di acquisizione.

I dati acquisiti sono i seguenti:

1. Vehicle Speed (km/h): velocità del veicolo
2. Execute Engine Power (W): potenza erogata dal MCI
3. Engine Speed (rpm): velocità di rotazione del MCI
4. Engine Mode: stato di funzionamento del MCI
5. Engine Stop F/C Status: alimentazione del MCI
6. Accelerator Position (%): angolo della posizione del pedale dell'acceleratore
7. Master Cylinder Control Torque (Nm): coppia frenante
8. Total Distance Traveled (km): distanza percorsa
9. WIN Control Limit Power (W): controllo in tensione della carica delle batterie di trazione
10. WOUT Control Limit Power (W): controllo in tensione della scarica delle batterie di trazione
11. Generator Torque (Nm): coppia MG1
12. Generator Revolution (rpm): velocità di rotazione di MG1
13. Motor Torque: coppia MG2
14. Motor Revolution: velocità di rotazione di MG2
15. Hybrid Battery SOC (%): stato di carica delle batterie di trazione
16. Hybrid Battery Voltage (V): tensione delle batterie di trazione
17. Hybrid Battery Current (A): corrente dalle batterie di trazione
18. Calculate Load (%): potenza erogata dal motore termico rispetto alla massima potenza erogabile
19. Intake Manifold Absolute Pressure (kPa): pressione aria di alimentazione del MCI
20. Intake Air Temperature (C°): temperatura dell'aria di alimentazione del MCI
21. Hybrid Battery Current for Driving Control (A): corrente dalle batterie di trazione il controllo di guida
22. Hybrid Battery Current for Hybrid Battery Control (A): corrente dalle batterie di trazione il controllo delle batterie
23. Auxiliary Battery Current (V): tensione della batteria ausiliaria
24. Auxiliary Battery Voltage (A): corrente dalla batteria ausiliaria
25. Hybrid Battery Temperature 1 (C°): temperatura del sensore n° 1 delle batterie di trazione
26. Hybrid Battery Temperature 2: (C°): temperatura del sensore n° 2 delle batterie di trazione
27. Hybrid Battery Temperature 3: (C°): temperatura del sensore n° 3 delle batterie di trazione

Techstream (Ver 11.00.019) - 2977

File Funzione Setup TechDoc Utente Aiuto

Selezione del sistema | Dati memorizzati | **Controllo ibrido Live**

PRIUS ZVW5#

002362 km

JTKB3FU503502161

Codici guasti

Elenco dati

Test attivo

Monitor

Programma d'utilità

Lista dati doppi

Stampa

Chiudi

Parametro	Valore	Unità	Parametro	Valore	Unità
Vehicle Speed	1	km/h			
Execute Engine Power	0	W			
Engine Speed	0.00	rpm			
Engine Mode	Stop				
Engine Stop F/C Status	ON				
Accelerator Position	0.0	%			
Master Cylinder Control Torque	0.00	Nm			
Total Distance Traveled	2362	km			
WIN Control Limit Power	-31.92	kW			
WOUT Control Limit Power	21.00	kW			
Generator Torque	0.00	Nm			
Generator Revolution	0	rpm			
Motor Torque	-0.13	Nm			
Motor Revolution	-1	rpm			
Hybrid Battery SOC	40.00	%			
Hybrid Battery Voltage	213.00	V			
Hybrid Battery Current	1.4	A			
Calculate Load	0.00	%			
Intake Manifold Absolute Pressure	99.43	kPa			
Intake Air Temperature	64	C			
Hybrid Battery Current for Driving Control	1.40	A			
Hybrid Battery Current for Hybrid Battery Control	1.47	A			
Auxiliary Battery Current	3.88	A			
Auxiliary Battery Voltage	13.93	V			
Hybrid Battery Temperature 1	37.3	C			
Hybrid Battery Temperature 2	37.9	C			
Hybrid Battery Temperature 3	34.6	C			

STATO: In attesa Tipo attivaz: Manual Durata: Massimo

Fotogramma: Ora: Conteggio flag: Punto d'attivazione: Inizio

S305-03 | Controllo ibrido | 109 ms | Tempo residuo: 002:23:45 | Default User | DLC 3

Figura 3-1. Schermata acquisizione dati con TechStream dalla presa OBD.

Le grandezze riportate sono acquisite mediamente ogni 50 ms, quindi con una frequenza media di acquisizione pari a circa 20 Hz (20 acquisizioni al secondo), quindi sono disponibili per ciascun dei **28 parametri** acquisiti circa **100.000 valori** istantanei relativi alla durata di ciascuna delle **60 prove**, per un totale di **168.000.000 di valori acquisiti**.

3.2 Elaborazioni preliminari post acquisizione

Tra i dati disponibili per l'acquisizione non è presente l'accelerazione del veicolo che quindi è stata calcolata derivando numericamente la velocità: dagli N valori istantanei della velocità si calcolano N-1 valori istantanei dell'accelerazione

$$a_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad i = 2, 3, \dots, N$$

Il parametro velocità (Vehicle Speed) è acquisito come intero in km/h, quindi i valori disponibili variano in modo discreto con un passo di discretizzazione pari a 1 km/h = 0,278 m/s valore troppo elevato soprattutto in considerazione del fatto che, essendo l'intervallo medio di tempo tra due acquisizioni pari a circa 50 ms, l'accelerazione calcolata avrebbe un passo di discretizzazione di circa 5,556 m/s², valore decisamente troppo elevato.

La velocità è stata quindi calcolata a partire dalla velocità di rotazione di MG2 che è meccanicamente collegato ai semiassi attraverso due rapporti di trasmissione fissi (uno con rapporto 17/53, l'altro 21/73); questo consente di calcolare la velocità di rotazione delle ruote a partire da quello di MG2.

$$\omega_r = \frac{n_r \cdot \pi}{30} = \frac{n_{MG2}}{103,4908}$$

Il raggio di rotolamento per il calcolo della velocità è calcolato a partire dalle caratteristiche dei cerchi e degli pneumatici delle vetture utilizzate:

- Cerchio: 17"
- Pneumatico: 215/45
- Schiacciamento: 3%

Con tali parametri si ottiene un raggio di rotolamento pari a 303,27 mm; la velocità calcolata è

$$v = \omega_r \cdot R_{rot} = \frac{n_{MG2}}{341,2497}$$

Il numero di giri di MG2 (rpm) è un intero (passo di discretizzazione 1), quindi il passo di discretizzazione della velocità così calcolata è pari a 0,0029 m/s e di quello dell'accelerazione a 0,058 m/s², valori decisamente accettabili.

Anche lo spazio percorso (Total Distance Traveled) è acquisito come intero (in km), il che comporta un passo di discretizzazione pari a 1.000 m, valore eccessivo per le elaborazioni richieste. Anche lo spazio percorso è stato calcolato tramite integrazione numerica della velocità; lo spazio percorso ΔS_i nell'intervallo di tempo Δt_i tra t_{i-1} e t_i è

$$\Delta S_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} t_i - t_{i-1}$$

Con tale definizione, anche a velocità elevate (oltre 100 km/h) il passo di discretizzazione risulta inferiore a 2 m, valore assolutamente accettabile.

Tra i dati disponibili nel Data List Hybrid Control System non ci sono parametri relativi al consumo di combustibile; i valori dei consumi sono stati letti da display e assegnati per tutte le prove e, per ciascuna prova, per le tratte in cui la prova è stata suddivisa (vedi paragrafo 2.3).

I valori dei consumi chilometrici sono disponibili a display espressi in l/100 km con una cifra decimale (Figura 3-2).



Figura 3-2. Consumi chilometrici indicati sul display.

L'approssimazione di tale lettura ($\pm 0,1$ l/100 km) comporta incertezza nel calcolo dei consumi modesta sull'intera prova (circa $\pm 1\%$), ma elevata per le singole tratte, in particolare per la tratta urbana⁵ (circa $\pm 25\%$); comunque il cumulo massimo degli errori è decisamente poco probabile⁶ e il dato mediato sulle 60 prove effettuate è assolutamente affidabile.

In ogni caso per analisi più precise ed affidabili dei consumi sono necessarie ulteriori indagini ad hoc.

Dai dati acquisiti sono stati calcolati i seguenti parametri necessari al calcolo delle grandezze oggetto del presente lavoro:

- Potenza MG1
 - Potenza meccanica in ingresso a MG1 nel funzionamento da generatore
 - Potenza meccanica in uscita da MG1 nel funzionamento da motore
- Potenza MG2
 - Potenza meccanica in ingresso a MG2 nel funzionamento da generatore
 - Potenza meccanica in uscita da MG2 nel funzionamento da motore
- Potenza elettrica (in ingresso e in uscita) del pacco batterie di trazione
- Potenza elettrica (in ingresso e in uscita) del pacco batterie ausiliarie
- Potenza alla trasmissione⁷ dal MCI
- Potenza totale alla trasmissione

La Tabella 3-1 riporta il riepilogo dei parametri calcolati e i relativi parametri (dati acquisiti) utilizzati per il calcolo.

Parametro calcolato	Parametri per il calcolo (dati acquisiti)
Potenza MG1 (W)	Generator Torque (Nm)
	Generator Revolution (rpm)
Potenza MG2 (W)	Motor Torque (Nm)
	Motor Revolution (rpm)
Potenza elettrica batterie di trazione (W)	Hybrid Battery Voltage (V)
	Hybrid Battery Current (A)
Potenza elettrica batterie ausiliarie (W)	Auxiliary Battery Current (V)
	Auxiliary Battery Voltage (A)
Potenza alla trasmissione dal MCI	Execute Engine Power (W)
	Generator Torque (Nm)
	Generator Revolution (rpm)
Potenza totale alla trasmissione	Execute Engine Power (W)
	Motor Torque (Nm)
	Motor Revolution (rpm)

Tabella 3-1. Parametri calcolati e relativi parametri utilizzati per il calcolo.

⁵ Questo è dovuto al fatto che per le singole tratte il consumo è calcolato per differenza tra i consumi a fine e inizio tratta, il che comporta un possibile accumulo degli errori. Per la tratta urbana, inoltre, essendo ridotta la lunghezza (circa 6 km) tale errore risulta percentualmente più rilevante.

⁶ Probabilità 98,4% errore massimo $\pm 25\%$, 87,5% errore massimo $\pm 14\%$, , 71,9% errore massimo $\pm 9\%$,

⁷ Per il calcolo della potenza alle ruote occorre considerare le perdite nella trasmissione.

4 Elaborazione dati acquisiti

Dall'elaborazione dei dati di ogni prova e per ciascuna tratta in cui la prova è stata suddivisa, sono stati calcolati, oltre alla distanza percorsa (m) e la durata (s), parametri relativi al funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo, parametri per l'analisi energetica e altre grandezze (cinematiche e caratterizzanti lo stile di guida) utili per definire eventuali correlazioni tra i parametri citati e le grandezze stesse.

Da 14 dei 28 parametri monitorati sono stati **calcolati ulteriori 51 parametri** che hanno portato all'elaborazione di **altri 306.000.000 di valori**, portando il totale dei dati disponibili a **474.000.000** di dati relativi alla campagna di prove realizzata.

4.1 Parametri relativi al funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo

I parametri calcolati per il calcolo degli indici caratterizzanti il funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo sono i seguenti:

- Tempo di funzionamento in ZEV (s): tempo in cui il MCI non è in funzione (Engine Stop F/C Status = 1)
 - Tempo di funzionamento in ZEV con il veicolo fermo (s): tempo in cui il MCI non è in funzione (Engine Stop F/C Status = 1) e il veicolo è fermo ($v = 0$)
 - Tempo di funzionamento in ZEV con avanzamento senza potenza alle ruote (s): tempo in cui il MCI non è in funzione (Engine Stop F/C Status = 1) e il veicolo avanza ($v > 0$) senza erogazione di potenza del sistema (Potenza totale alla trasmissione ≤ 0)
 - Tempo di funzionamento in ZEV con trazione solo elettrica (s): tempo in cui il MCI non è in funzione (Engine Stop F/C Status = 1) e il veicolo avanza ($v > 0$) con erogazione di potenza del sistema solo dal motore elettrico MG2 (Potenza totale alla trasmissione > 0)
- Spazio percorso in ZEV (m): spazio percorso con MCI non in funzione (Engine Stop F/C Status = 1)
 - Spazio percorso in ZEV con avanzamento senza potenza alle ruote (m): spazio percorso con MCI non in funzione (Engine Stop F/C Status = 1) senza erogazione di potenza del sistema (Potenza totale alla trasmissione ≤ 0)
 - Spazio percorso in ZEV con trazione solo elettrica (m): spazio percorso con MCI non in funzione (Engine Stop F/C Status = 1) con erogazione di potenza del sistema solo dal motore elettrico MG2 (Potenza totale alla trasmissione > 0)
- Tempo (s) di avanzamento ($v > 0$) con erogazione di potenza alle ruote (Potenza totale alla trasmissione > 0)
- Spazio percorso (m) con erogazione di potenza del sistema (Potenza totale alla trasmissione > 0)

Sulla base di tali parametri sono stati calcolati per ciascuna prova e per ciascuna tratta in cui è stata suddivisa la prova i seguenti indici caratterizzanti il funzionamento in ZEV e in elettrico del veicolo:

- ZEVt: percentuale nel tempo di funzionamento in ZEV
- ZEVt_{v=0}: percentuale del tempo di funzionamento in ZEV con veicolo fermo
- ZEVt_{Pr=0}: percentuale del tempo di funzionamento in ZEV con avanzamento senza erogazione di potenza del sistema
- ZEVt_{EV}: percentuale del tempo di funzionamento in ZEV con avanzamento con erogazione di potenza solo dal motore elettrico MG2
- ZEVS: percentuale nello spazio di funzionamento in ZEV

- $ZEV_{S_{Pr=0}}$: percentuale dello spazio di funzionamento in ZEV con avanzamento senza erogazione di potenza del sistema
- $ZEV_{t_{EV}}$: percentuale dello spazio di funzionamento in ZEV con avanzamento con erogazione di potenza solo dal motore elettrico MG2
- EV_t : percentuale nel tempo in cui il veicolo funziona come un veicolo elettrico
- EVS : percentuale nello spazio in cui il veicolo funziona come un veicolo elettrico

Tali grandezze sono così calcolate

$$ZEV_t = \frac{\text{Tempo di funzionamento in ZEV}}{\text{Tempo totale}}$$

$$ZEV_{t_{v=0}} = \frac{\text{Tempo di funzionamento in ZEV con il veicolo fermo}}{\text{Tempo di funzionamento in ZEV}}$$

$$ZEV_{t_{Pr=0}} = \frac{\text{Tempo di funzionamento in ZEV con avanzamento senza potenza alle ruote}}{\text{Tempo di funzionamento in ZEV}}$$

$$ZEV_{t_{EV}} = \frac{\text{Tempo di funzionamento in ZEV con trazione solo elettrica}}{\text{Tempo di funzionamento in ZEV}}$$

$$ZEV_S = \frac{\text{Spazio di funzionamento in ZEV}}{\text{Spazio totale}}$$

$$ZEV_{S_{Pr=0}} = \frac{\text{Spazio di funzionamento in ZEV con avanzamento senza potenza alle ruote}}{\text{Spazio di funzionamento in ZEV}}$$

$$ZEV_{S_{EV}} = \frac{\text{Spazio di funzionamento in ZEV con trazione solo elettrica}}{\text{Spazio di funzionamento in ZEV}}$$

$$EV_t = \frac{\text{Tempo di funzionamento in ZEV con trazione solo elettrica}}{\text{Tempo di avanzamento con erogazione di potenza alle ruote}}$$

$$EVS = \frac{\text{Spazio di funzionamento in ZEV con trazione solo elettrica}}{\text{Spazio di avanzamento con erogazione di potenza alle ruote}}$$

Risulta evidentemente:

$$ZEV_{t_{v=0}} + ZEV_{t_{Pr=0}} + ZEV_{t_{ZEV}} = 1$$

e

$$ZEV_{S_{Pr=0}} + ZEV_{S_{EV}} = 1$$

Gli indici EV_t ed EVS sono calcolati in modo tale da essere pari a 1 per veicoli elettrici BEV e pari a 0 per veicoli convenzionali (anche con sistema Stop&Start).

Gli indici ZEVt e ZEVs sono stati calcolati anche seguendo la procedura applicata dal sistema DRIVECO (secondo la documentazione in nostro possesso), in modo da poter confrontare i valori ottenuti con le due procedure. La differenza rispetto al calcolo effettuato nel presente documento consiste essenzialmente nel considerare il MCI non in funzione non in base a parametro Engine Stop F/C Status, ma in base a Engine Speed (rpm)⁸.

4.2 Parametri per l'analisi energetica

Per l'analisi energetica del veicolo sono stati considerati, per l'intera prova e per le tratte in cui è stata suddivisa, i seguenti parametri:

- Consumi (l)
- Consumi chilometrici (l/100 km)
- SOC_i (%): stato di carica delle batterie di trazione a inizio tratta
- SOC_f (%): stato di carica delle batterie di trazione a fine tratta
- SOC_{max} (%): stato di carica massimo delle batterie di trazione nella tratta
- SOC_{min} (%): stato di carica minimo delle batterie di trazione nella tratta
- Carica dalle batterie (Ah): carica in uscita (se positiva) o in entrata (se negativa) dalle batterie di trazione nella tratta
- Tensione media di scarica dalle batterie di trazione (V)
- Tensione media di carica dalle batterie di trazione (V)
- Rendimento MCI (%)
- Rendimento MG1 e MG2 (%)
- Energia dalle batterie (kJ): energia in uscita (se positiva) o in entrata (se negativa) dalle batterie di trazione nella tratta associata alla carica dalle batterie
- Energia meccanica erogata dal MCI (kJ)
- Rendimento MCI (%)
- Consumo di combustibile associato all'energia dalle batterie (l)
- Consumi equivalenti (l): consumi al netto della variazione dello stato di carica delle batterie di trazione
- Consumi chilometrici equivalenti (l/100 km): consumi chilometrici al netto della variazione dello stato di carica delle batterie di trazione
- Energia meccanica alla trasmissione da MCI (kJ)
- Energia meccanica alla trasmissione da MG2 (kJ)
- Energia meccanica totale alla trasmissione (kJ)
- Rendimento globale del sistema di trazione (%)
- Energia elettrica prodotta da MG1 (kJ)
- Energia elettrica prodotta da MG2 (kJ)
- Energia elettrica consumata da MG1 (kJ)
- Energia elettrica consumata da MG2 (kJ)
- Energia elettrica prodotta da MG1 consumata direttamente da MG2 senza stoccaggio in batteria (kJ)
- Energia elettrica prodotta da MG2 consumata direttamente da MG1 senza stoccaggio in batteria (kJ)
- Energia elettrica prodotta da MG1 inviata alle batterie (kJ)
- Energia elettrica prodotta da MG2 inviata alle batterie (kJ)
- Energia elettrica totale alle batterie (kJ)

⁸ Questo porta verosimilmente una sottostima del parametro nel calcolo del sistema DRIVECO in quanto in alcune circostanze il MCI non è in funzione (non è alimentato), ma la sua velocità di rotazione non è nulla.

- Energia elettrica consumata da MG1 prelevata dalle batterie (kJ)
- Energia elettrica consumata da MG2 prelevata dalle batterie (kJ)
- Energia elettrica totale prelevata dalle batterie (kJ)
- Energia dissipata nei processi di carica/scarica delle batterie (kJ)
- Energia meccanica alla trasmissione al netto del dislivello (kJ)
- Energia meccanica erogata da MG1 (kJ)

Per i bilanci energetici si è fatto riferimento alle possibili configurazioni di funzionamento del sistema di trazione ibrido PRIUS, illustrati in Figura 4-1.

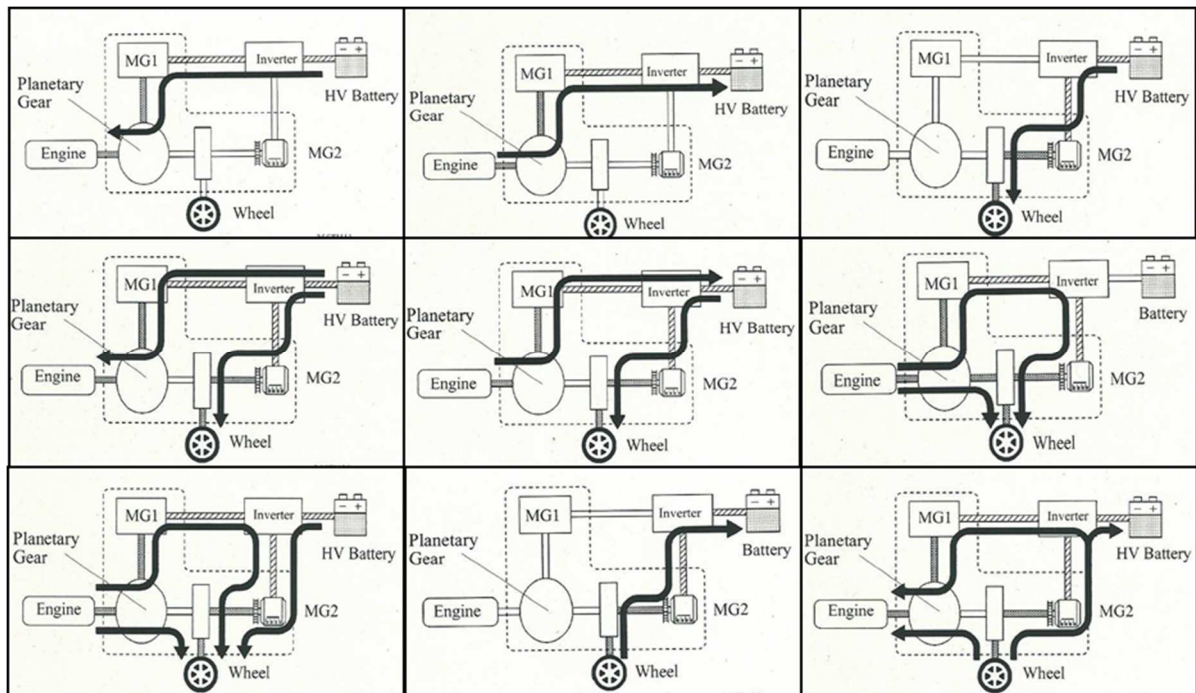


Figura 4-1. Possibili configurazioni di funzionamento del sistema di trazione ibrido PRIUS.

Sulla base delle possibili configurazioni di funzionamento del sistema di trazione ibrido (Figura 4-1), assumendo dei valori medi stimati del rendimento delle macchine elettriche MG1 e MG2 nel funzionamento da motore e da generatore pari all'80%, sono stati calcolati i flussi energetici del sistema di trazione.

5 Analisi dei risultati

In Figura 5-1 è illustrato un caso di ciclo di marcia (Diagramma v-t) del percorso di prova descritto al paragrafo 2.3; è evidente dall'andamento delle velocità, la distinzione tra il tratto centrale urbano e i tratti misti di andata e ritorno.

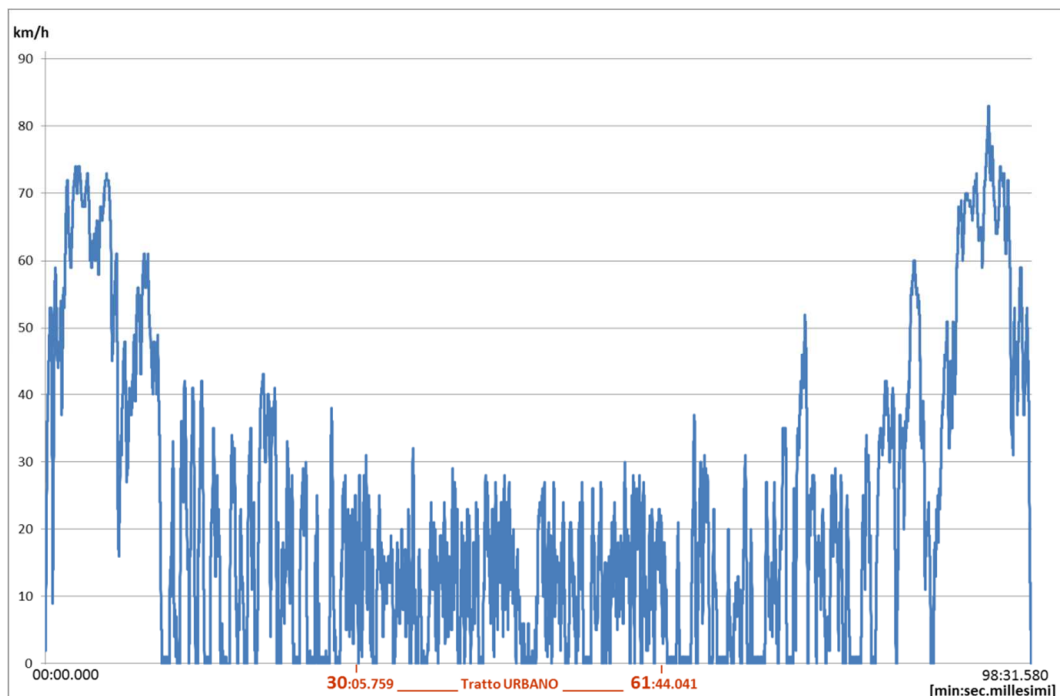


Figura 5-1. Ciclo di marcia del percorso di prova.

La differenza tra le tratte in cui è stata suddivisa la prova è ancora più evidente in Figura 5-2, dove è riportata la velocità in funzione dello spazio percorso.

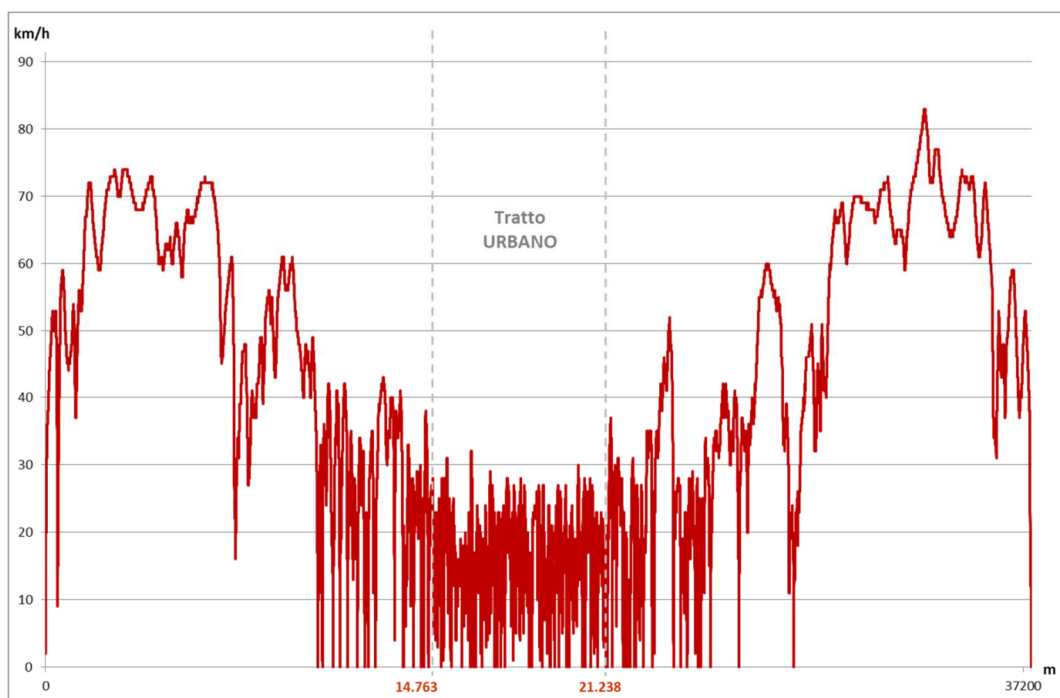


Figura 5-2. Diagramma della velocità del veicolo in funzione dello spazio percorso.

L'analisi dei dati acquisiti ed elaborati, ha consentito di valutare le diverse percentuali di utilizzo e funzionamento del veicolo in modalità ZEV (Zero Emission Vehicle), quindi in modalità in cui il motore termico è spento, e in funzionamento EV (Electric Vehicle), quindi in quelle condizioni nelle quali il veicolo si muove solo grazie all'energia fornita alle ruote solo dal motore elettrico di trazione, calcolati come esposto al paragrafo 4.1.

I principali risultati sono riportati in Tabella 5-1 ed in Tabella 5-2.

	PROVA	Andata	Ritorno	And+Rit	Urbano
ZEV - nel tempo	73,2%	74,1%	66,6%	70,1%	79,4%
▪ di cui a veicolo fermo	10,2%	10,1%	14,9%	12,5%	6,2%
▪ di cui avanzamento senza potenza erogata	50,9%	49,4%	46,7%	48,0%	56,1%
▪ di cui con trazione solo elettrica	38,9%	40,5%	38,5%	39,5%	37,8%
ZEV - nello spazio	62,5%	62,2%	57,4%	59,7%	76,3%
▪ di cui avanzamento senza potenza erogata	50,8%	50,9%	51,0%	51,0%	50,2%
▪ di cui con trazione solo elettrica	49,0%	49,1%	49,0%	49,0%	49,8%
EV - nel tempo	58,3%	59,3%	50,4%	54,5%	67,1%
EV - nello spazio	46,4%	46,0%	41,1%	43,4%	62,9%

Tabella 5-1. Riepilogo dei valori medi del "funzionamento elettrico" del veicolo.

In Tabella 5-1 sono riportate le percentuali di funzionamento in modalità ZEV sia nel tempo (quindi rapporto tra il tempo in cui il veicolo avuto il motore termico non alimentato ed il tempo complessivo nel quale il veicolo ha condotto la prova) che nello spazio (quindi rapporto tra lo spazio che il veicolo ha percorso con il motore termico non alimentato e lo spazio complessivo percorso dal veicolo nella prova). Un'ulteriore analisi di questi valori ha voluto evidenziare sia per la modalità ZEV nel tempo che per la modalità ZEV nello spazio, la quota parte di ZEV durante il quale si ha avuto avanzamento del veicolo senza potenza erogata e quella con trazione solo elettrica e, ovviamente per la solo modalità ZEV nel tempo, anche la quota parte di ZEV con veicolo fermo.

Altri valori riportati riguardano il funzionamento EV parametrato sul tempo e sullo spazio complessivi della prova durante il quale il veicolo si è mosso ricevendo energia alle ruote.

Gli indici ZEVt e ZEVs in **tutte le 60 prove** dimostrano che il calcolo dei parametri ZEV come da sistema DRIVECO sottostima i valori di tali parametri. In Figura 5-3 è illustrato il rapporto tra i parametri calcolati nei due modi: il valore di tale rapporto è mediamente pari a 1,05 (ZEVt) e 1,08 (ZEVs) e presenta variazioni bassissime rispetto al valore medio. La deviazione standard normalizzata è pari a 0,0232 per ZEVt e 0,0351 per ZEVs.

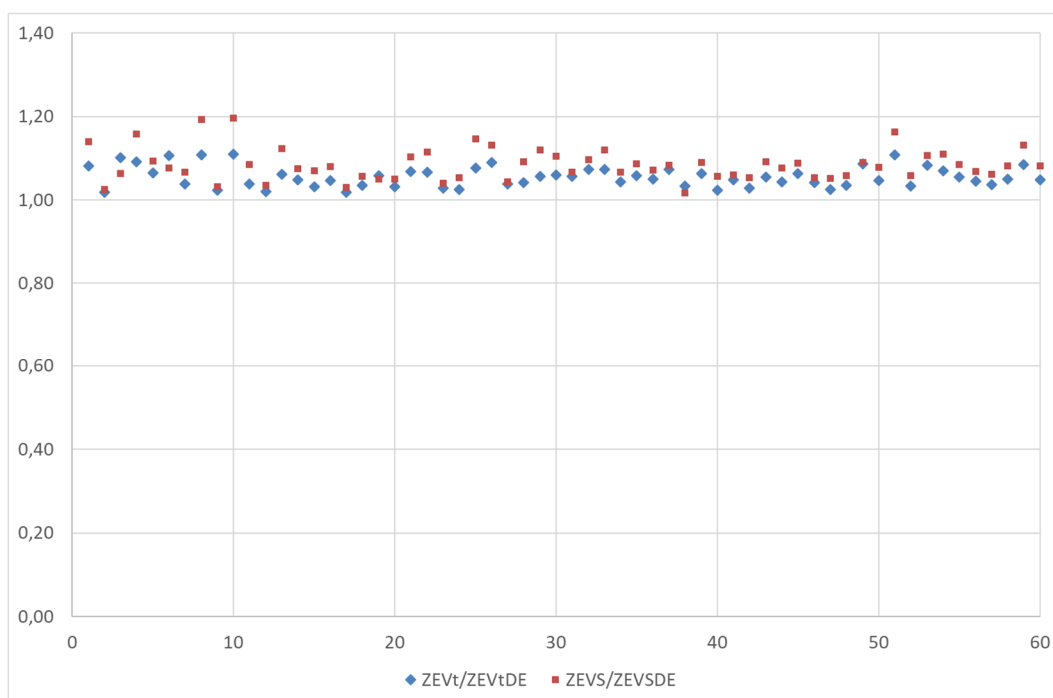


Figura 5-3. Rapporto tra i parametri ZEV (nel tempo e nello spazio) con gli analoghi calcolati con le modalità DRIVECO.

In Tabella 5-2 sono invece riportati i consumi chilometrici, i consumi chilometrici equivalenti⁹ ed il rendimento globale del sistema ibrido della Prius.

	PROVA	Andata	Ritorno	And+Rit	Urbano
Consumi chilometrici [l/100km]	3,8	3,3	4,1	3,7	4,2
Consumi chilometrici equivalenti [l/100km]	3,7	3,2	3,7	3,5	4,8
Rendimento globale sistema	46,3%	50,4%	48,2%	49,1%	34,9%

Tabella 5-2. Riepilogo dei valori medi dei parametri energetici.

La differenza sostanziale tra i consumi nel percorso di andata e ritorno (16%) non è imputabile a una diversa efficienza del sistema (i rendimenti sono molto simili, con una differenza del 5% circa), ma essenzialmente al maggiore fabbisogno di energia alle ruote dovuto al dislivello di circa 31 m tra l'inizio e la fine dei due tratti (Figura 2-5). La differenza sostanziale tra i consumi chilometrici misurati e quelli equivalenti nel tratto urbano sono dovuti al fatto che tra l'inizio e la fine di questa tratta, al contrario di quanto accade nelle altre, è rilevante la variazione dello stato di carica delle batterie.

I risultati presentati in Tabella 5-1 ed in Tabella 5-2, sono stati esplicitati anche per i singoli tratti nei quali si è voluta suddividere la prova (compresa anche una valutazione specifica complessiva della due tratte di andata e ritorno).

In Figura 5-2 è illustrato il diagramma dei flussi energetici stimato sulla media delle prove effettuate sull'intera prova. Dall'analisi di tale diagramma è possibile fare alcune considerazioni:

Il 38,8% dell'energia alle ruote è fornita dal motore elettrico (MG2) a fronte di un consumo di elettricità pari a 269,3 kJ/km. Il sistema di trazione così funzionante risulta particolarmente efficiente in quanto è in grado di produrre circa 226,8 kJ/km di elettricità (quasi l'80% il 73% di quella complessivamente prodotta)

⁹ Consumi al netto della variazione dello stato di carica delle batterie di trazione (vedi paragrafo 4.2).

dal sistema di recupero di energia in frenata. È interessante notare come, nelle condizioni di prova, il 27,6% dell'energia utile alle ruote deriva da rigenerazione in frenata, un ulteriore 11,2% da elettricità prodotta da MCI (di cui il 6% direttamente da MG1 a MG2 senza lo stoccaggio in batteria, il restante 5,2% con stoccaggio in batteria) e il 61,2% direttamente da MCI.

Da quanto esposto è evidente, che le modalità di funzionamento del sistema di trazione sono legate alla possibilità di recuperare energia in frenata. L'energia relativa alla variazione dello stato di carica delle batterie di trazione è poco rilevante rispetto ai flussi di energia complessivi, quindi la batteria funziona essenzialmente da buffer.

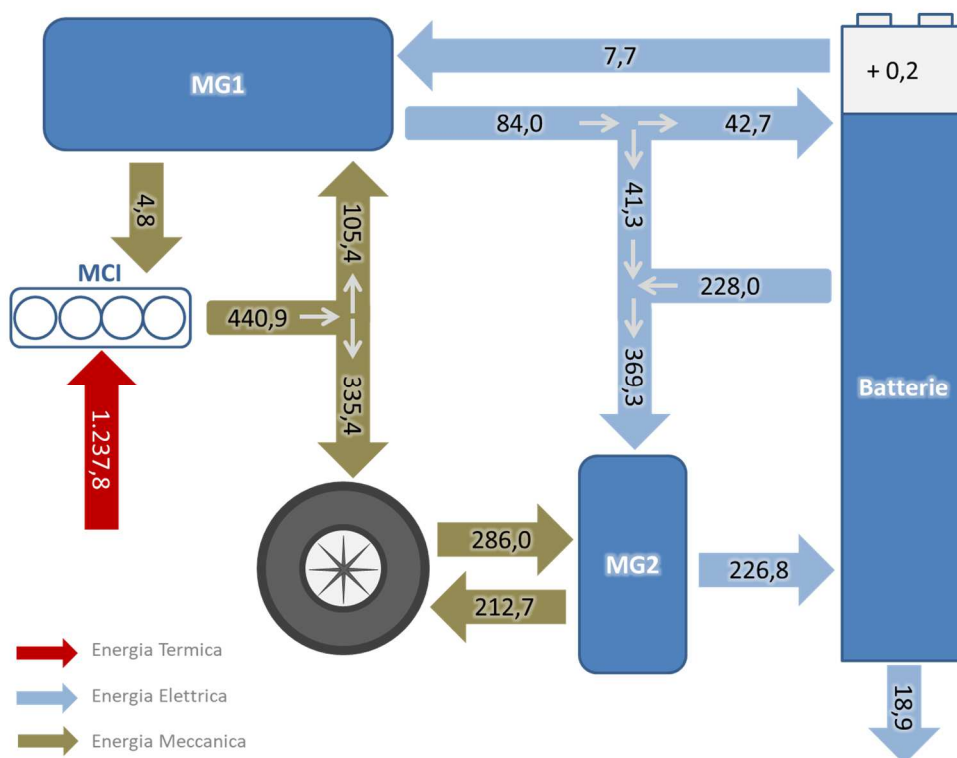


Figura 5-4. Diagramma di flussi energetici (kJ/km) del sistema di trazione.

In Figura 5-5 sono riportati i valori di ZEVt nelle 60 prove effettuate; dalla figura è evidente che tutti i valori sono molto prossimi alla media, con uno scostamento massimo pari al 7,3%. Più o meno analogo è l'andamento di ZEVS (Figura 5-6), anche se in questo caso lo scostamento massimo dal valore medio è più elevato (16%).

Il funzionamento in modalità EV nel tempo (Figura 5-7) e nello spazio (Figura 5-8) presenta valori maggiormente dispersi rispetto alla media in quanto, considerando solo il tempo (e lo spazio) in cui il sistema di trazione eroga potenza (non si considerano i tratti in cui il veicolo è fermo o avanza senza erogazione di potenza) sono maggiormente influenzati dalle condizioni del traffico¹⁰ e dallo stile di guida¹¹.

¹⁰ A velocità troppo basse non è possibile il recupero di energia in frenata e quindi si ha meno energia elettrica disponibile per la trazione.

¹¹ Accelerazioni brusche implicano il funzionamento anche del MCI, mentre con accelerazioni moderate può funzionare solo il motore elettrico. Brusche decelerazioni riducono la possibilità di recupero di energia in frenata e quindi l'energia elettrica disponibile per la trazione.

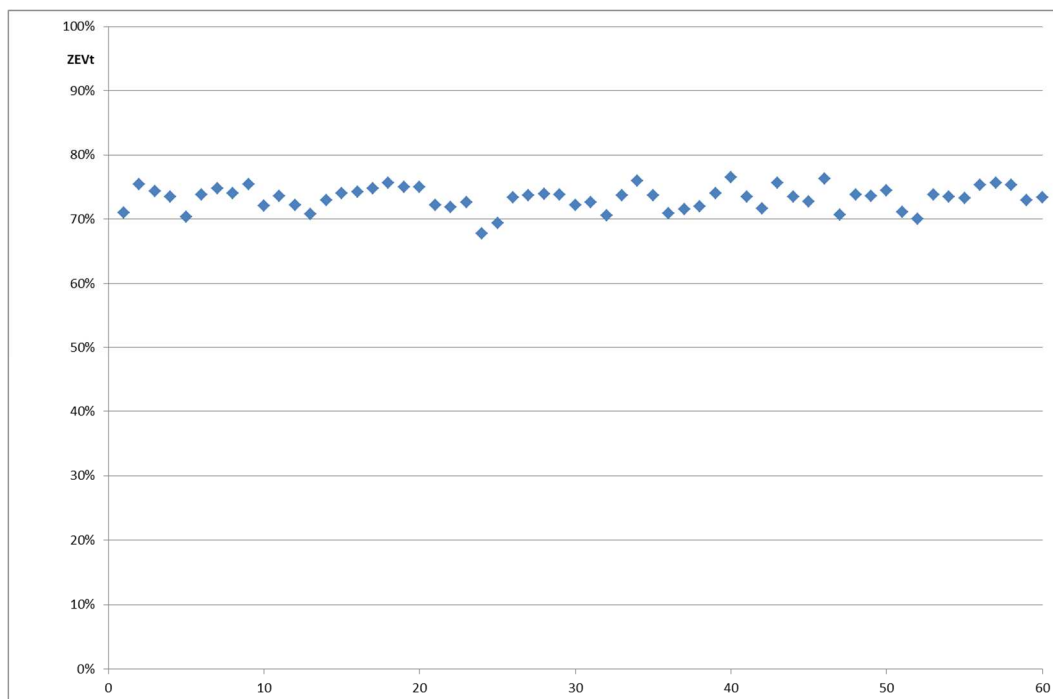


Figura 5-5. Funzionamento in modalità ZEV (nel tempo) nelle 60 prove.

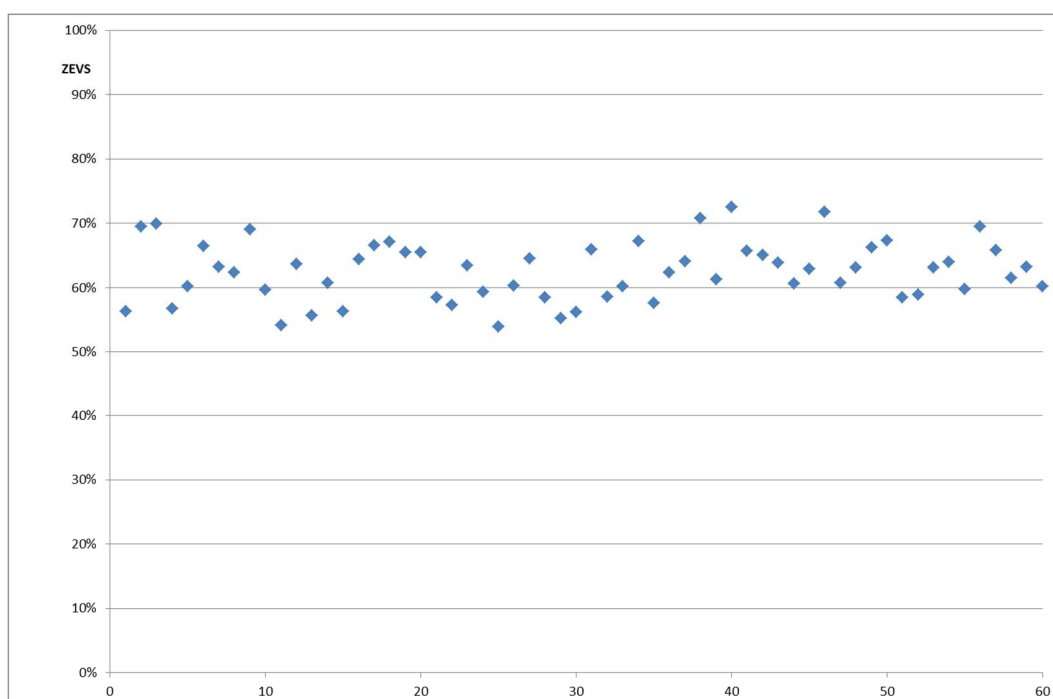


Figura 5-6. Funzionamento in modalità ZEV (nello spazio) nelle 60 prove.

Gli scostamenti massimi dal valore medio risultano pari al 29,4% per EVt e al 25,4% per EVs.

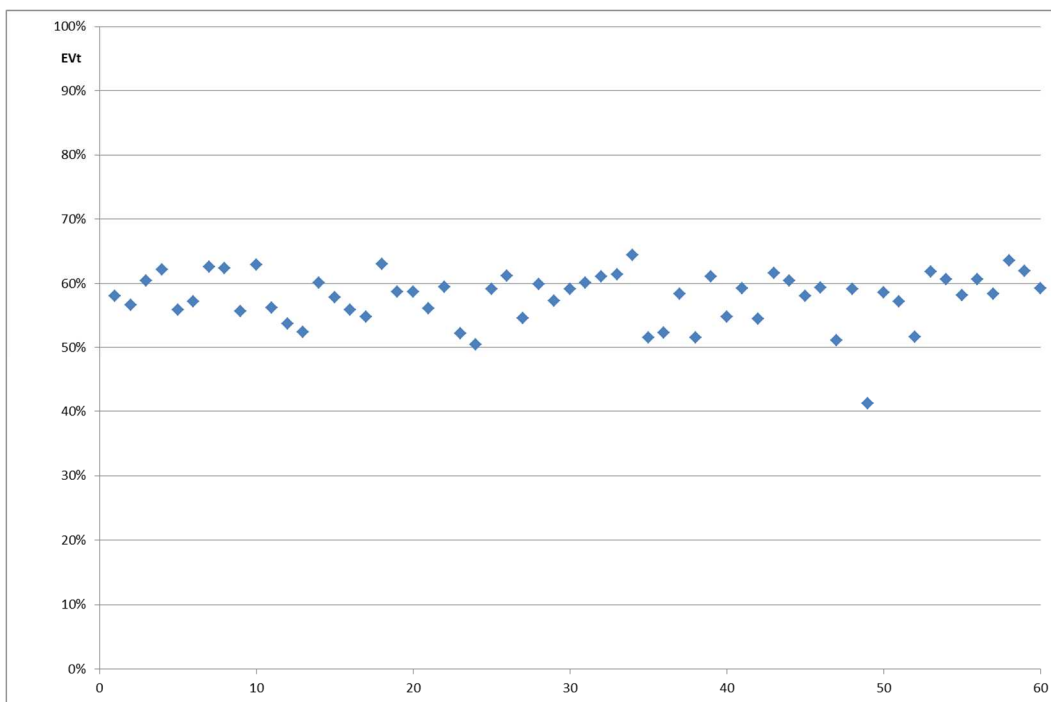


Figura 5-7. Funzionamento in modalità EV (nel tempo) nelle 60 prove.

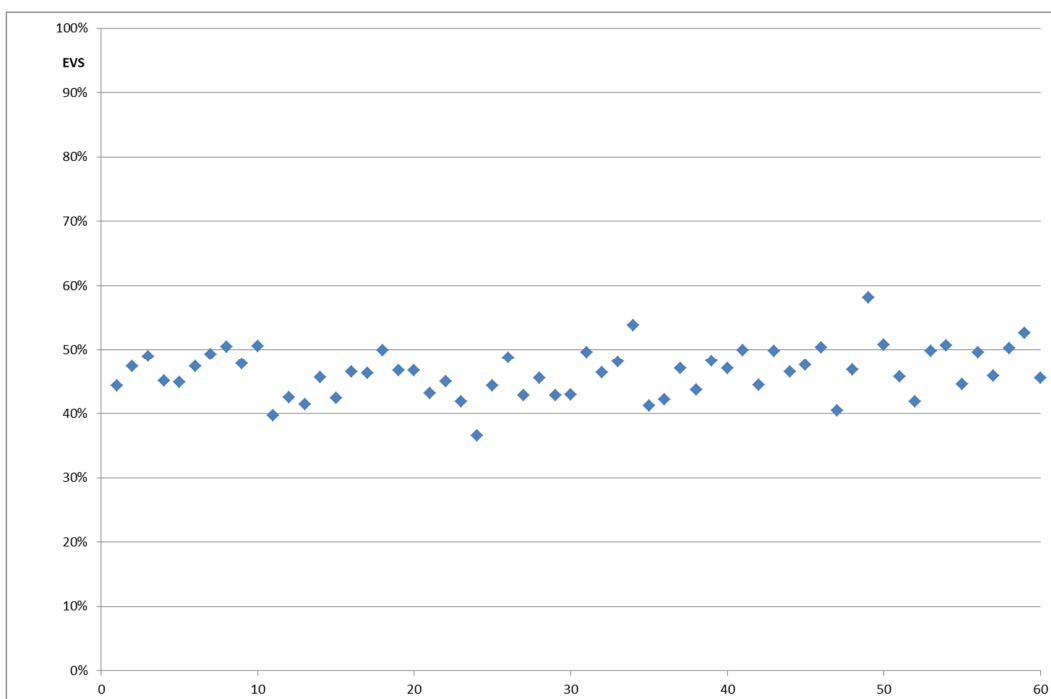


Figura 5-8. Funzionamento in modalità EV (nello spazio) nelle 60 prove.

In Figura 5-9 sono riportati i consumi chilometrici equivalenti nelle 60 prove effettuate. Tali valori presentano una dispersione rispetto al valore medio abbastanza alto (scostamento massimo dalla media 29,8%) in quanto sono molto influenzati sia dallo stile di guida, sia dalle condizioni del traffico. Tale dispersione si riduce drasticamente (scostamento massimo dalla media 23,1%) nei valori del rendimento del sistema di trazione (Figura 5-10); questo perché lo stile di guida influisce essenzialmente sul fabbisogno di energia alle ruote (e quindi, a parità di rendimento, sui consumi) e molto meno sull'efficienza del sistema di trazione ibrido che risente essenzialmente delle condizioni di traffico che condiziona la quantità di energia recuperabile in frenata.

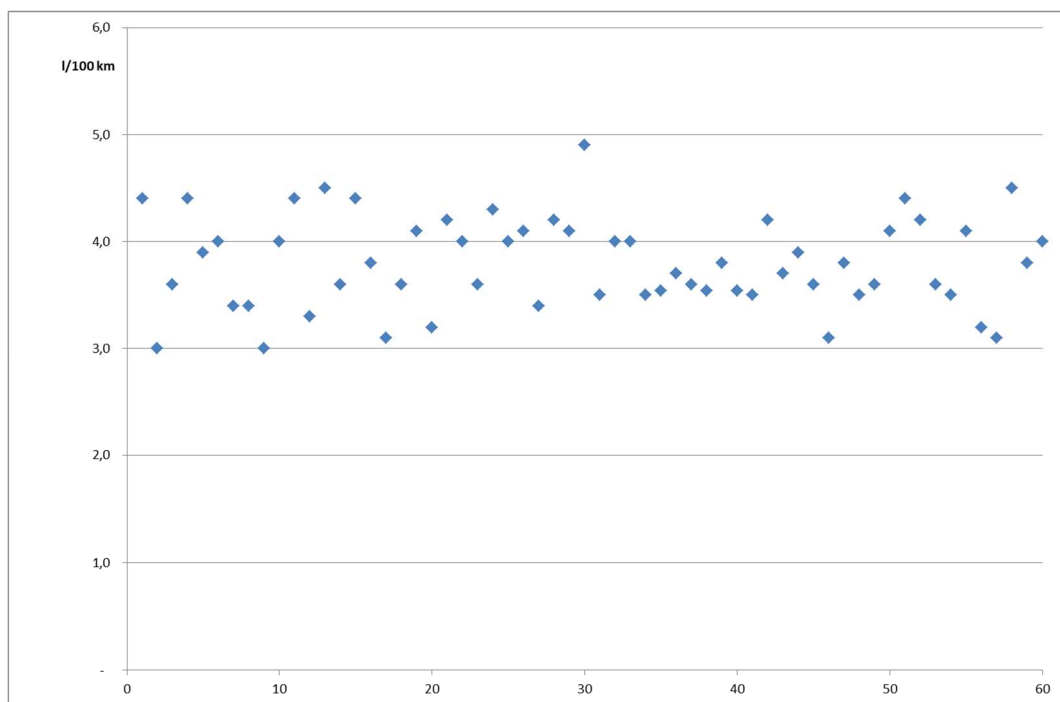


Figura 5-9. Consumi chilometrici equivalenti nelle 60 prove.

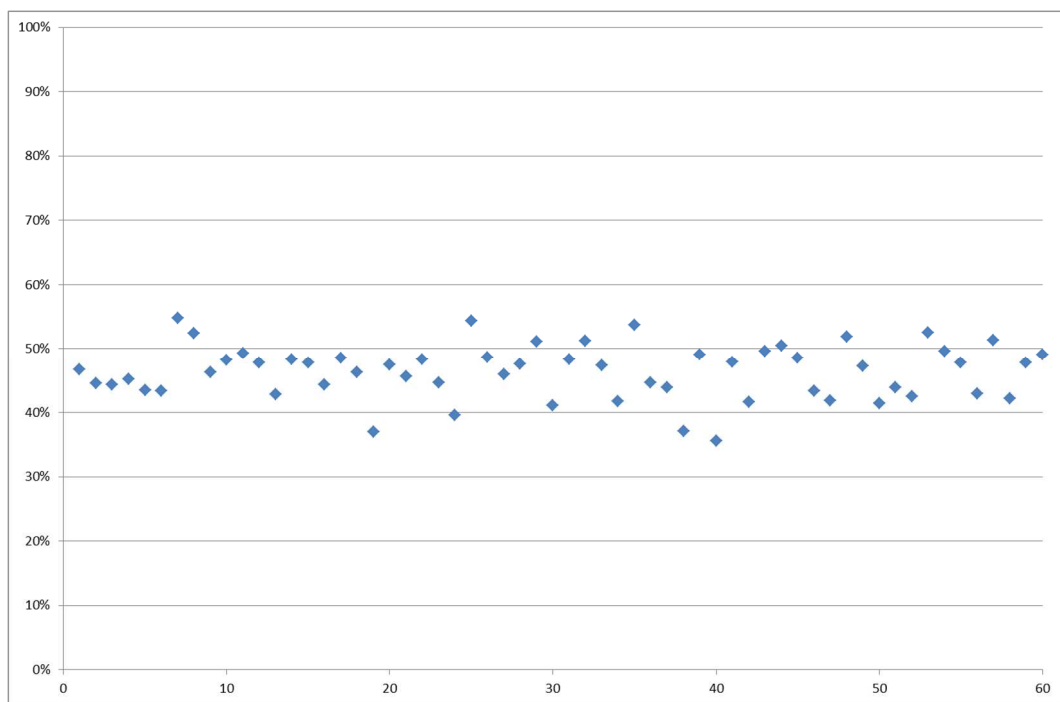


Figura 5-10. Rendimento del sistema di trazione nelle 60 prove.

In Tabella 5-3 è riportato il riepilogo dei valori dei parametri illustrati registrati nelle 60 prove.

	ZEVt	ZEVS	EVt	EVS	Consumi	Rendimento
Massimo	76,5%	72,5%	64,5%	58,1%	4,8	54,8%
Minimo	67,8%	53,9%	41,2%	34,6%	2,9	35,6%
Media	73,2%	62,5%	58,3%	46,4%	3,7	46,3%
Deviazione standard normalizzata	0,025	0,073	0,071	0,088	0,107	0,091

Tabella 5-3. Riepilogo dei valori medi, massimi, minimi e dispersione dei parametri analizzati

L'andamento dei parametri illustrati non presenta differenze rilevanti per le diverse tipologie di driver considerati: uomini e donne con meno e più di 35 anni; anche per i parametri che presentano dispersioni importanti (EVS e consumi), le variazioni non sembrano correlate con la "tipologia" di driver, ma piuttosto al singolo driver e alle condizioni di traffico.

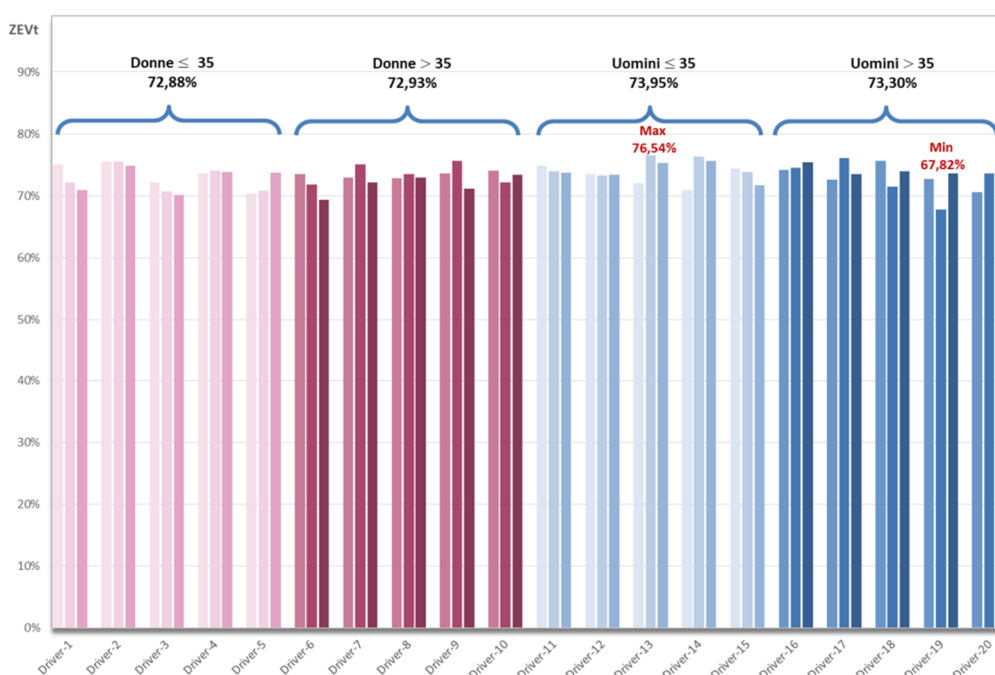


Figura 5-11. Valori di ZEVt per le tre prove di ciascun driver.

In Figura 5-11 sono riportati i valori di ZEVt per ciascuna delle tre prove di ciascun driver, ordinati in base alle caratteristiche dei driver stessi (donne fino a 35 anni, donne oltre 35 anni, uomini fino a 35 anni, uomini oltre 35 anni). Inoltre sono riportate le medie relative ai raggruppamenti e il massimo e il minimo valore riscontrato.

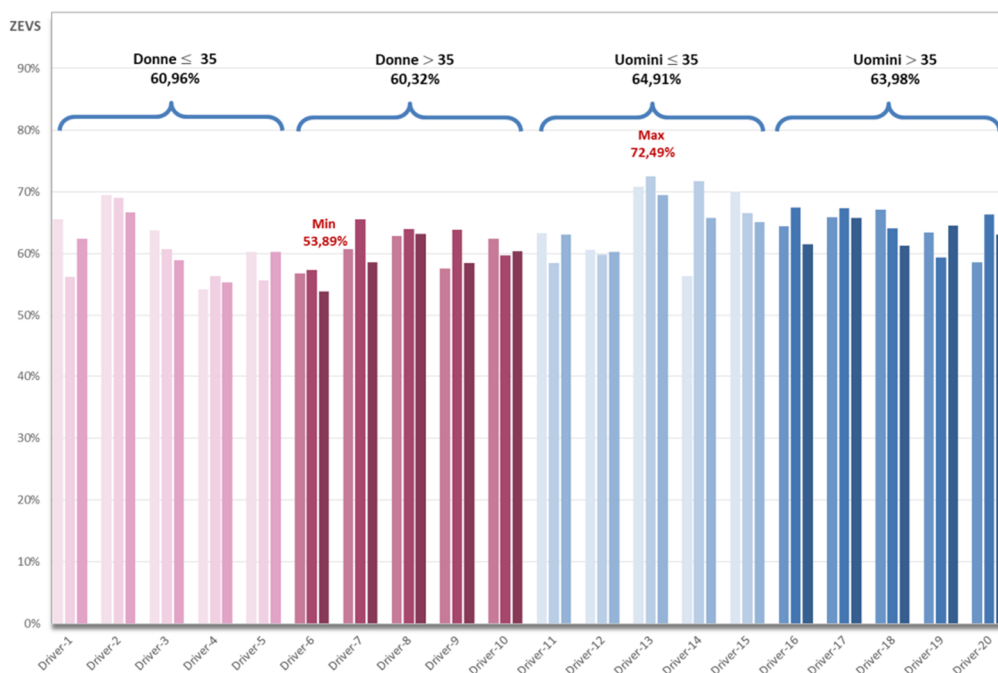


Figura 5-12. Valori di ZEVs per le tre prove di ciascun driver.

Con la stessa organizzazione la Figura 5-12 i valori di ZEVs, la Figura 5-13 i valori di EVt, la Figura 5-14 i valori di EVs, Figura 5-15 i valori dei consumi chilometrici equivalente e la Figura 5-16 i valori del rendimento del sistema di trazione ibrido.

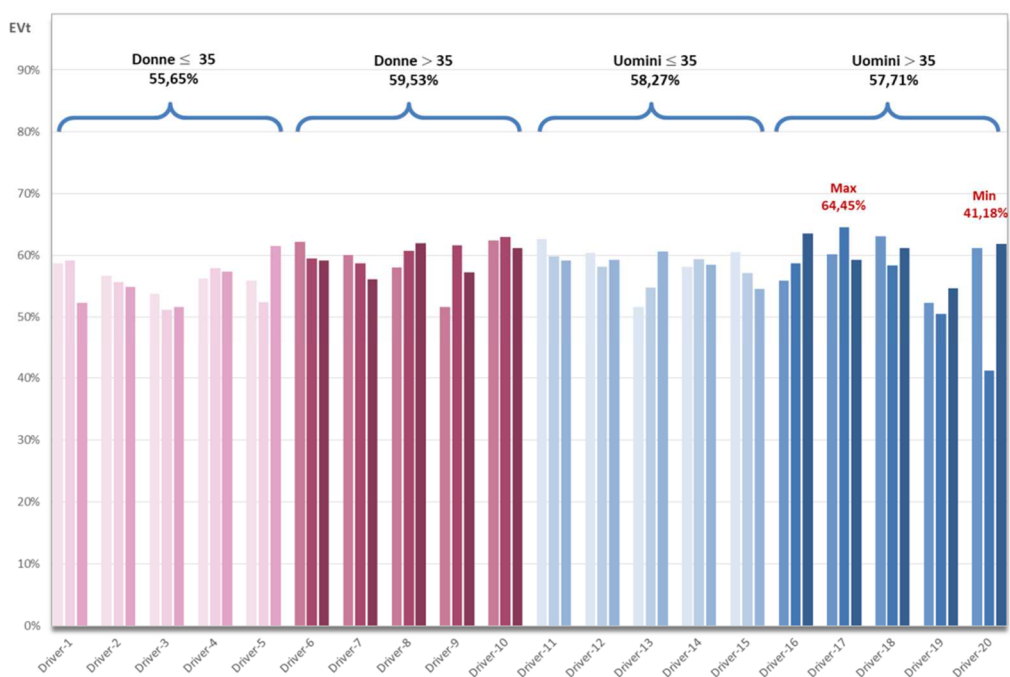


Figura 5-13. Valori di EVt per le tre prove di ciascun driver.

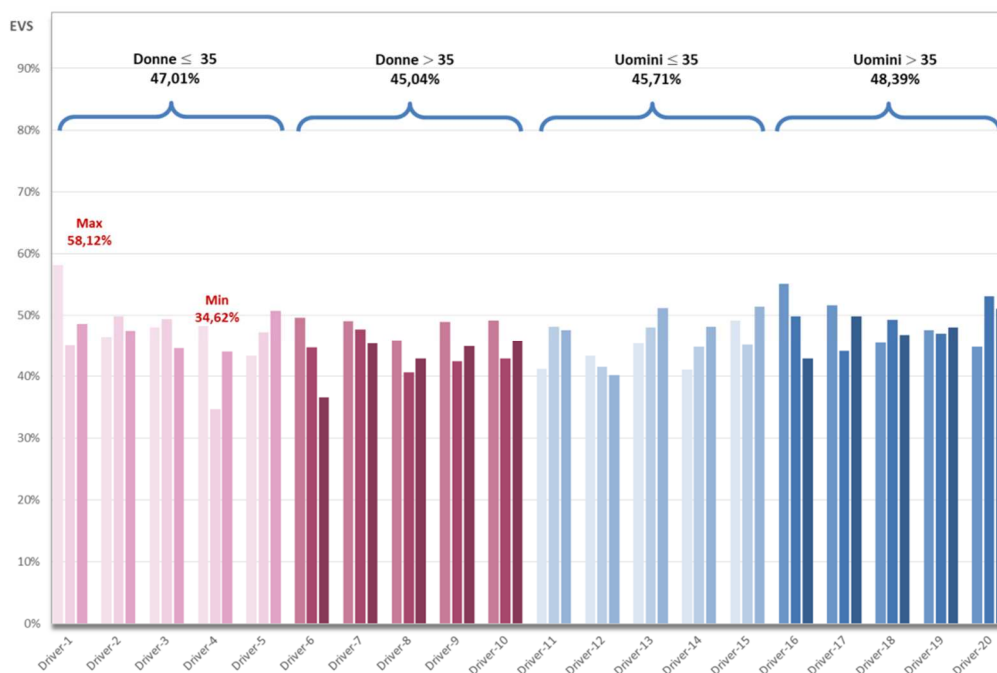


Figura 5-14. Valori di EVS per le tre prove di ciascun driver.

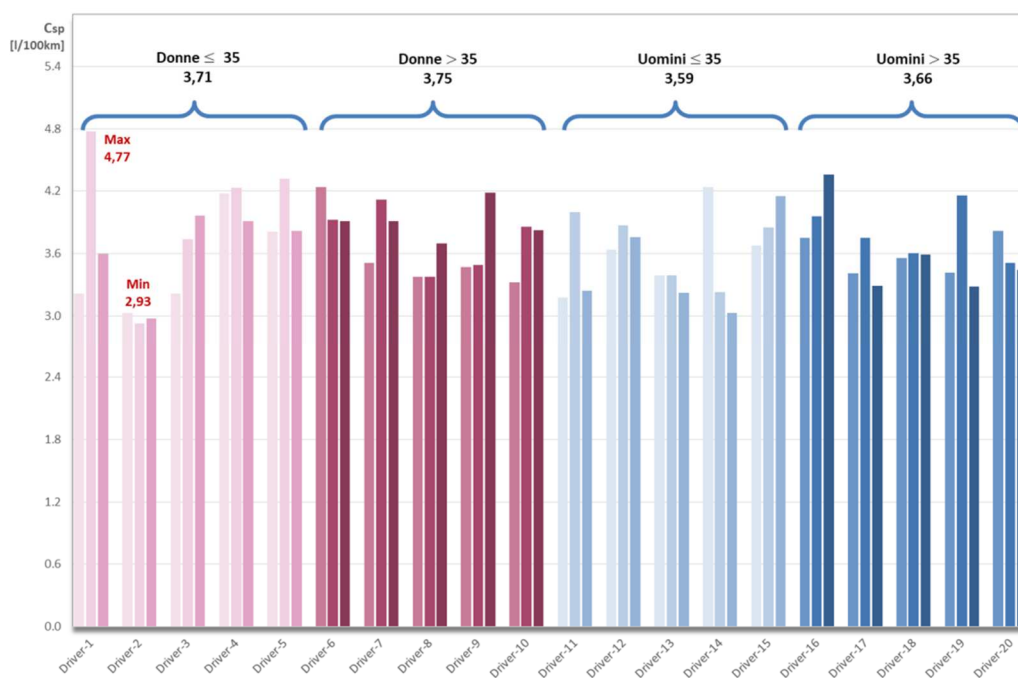


Figura 5-15. Valori dei consumi chilometrici equivalenti per le tre prove di ciascun driver.

Con riferimento ai valori di EVS (Figura 5-14) e consumi chilometrici (Figura 5-15) è interessante notare come, in molti casi, sussista una forte variazione non tanto tra guidatore e guidatore, e comunque apparentemente non molto correlata al “cluster” di appartenenza, ma all’interno dei risultati di ciascuna delle tre prove dello stesso guidatore.

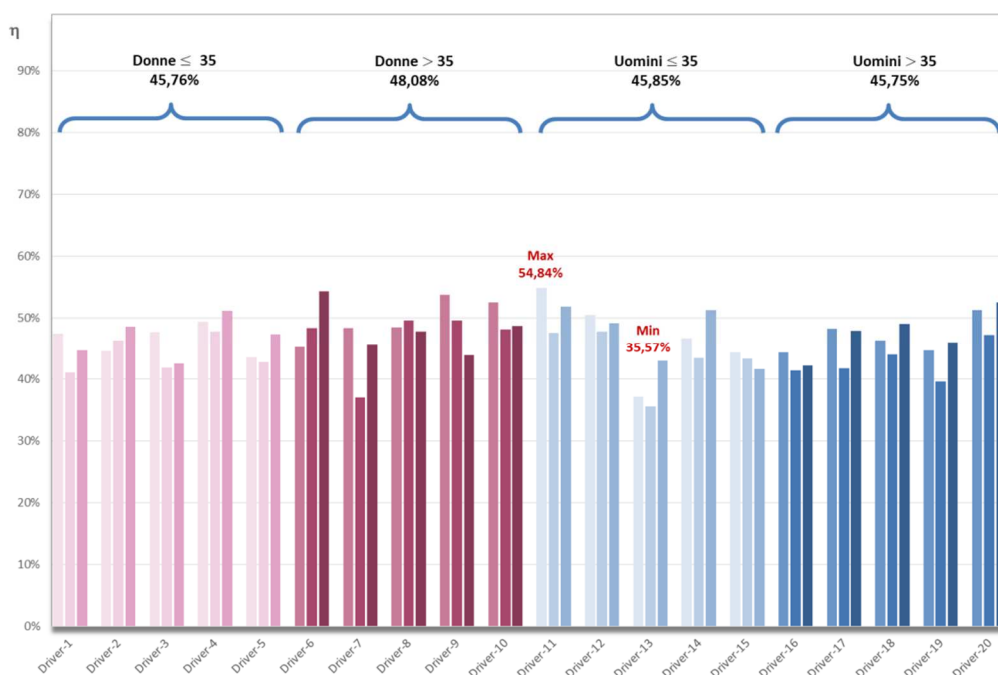


Figura 5-16. Valori dei rendimenti del sistema di trazione per le tre prove di ciascun driver.

Dalle figure precedenti si può notare una certa correlazione tra i consumi chilometrici equivalenti (Figura 5-14) e EVS (Figura 5-15): infatti bassi valori di EVS corrispondono a elevati valori dei consumi (ad esempio seconda prova del driver 19). Analoga correlazione sussiste anche tra ZEVS e consumi chilometrici equivalenti.

In Tabella 5-4 è riportato il riepilogo dei valori medi dei parametri analizzati raggruppati in base alle caratteristiche dei driver. Si può notare che, dai test effettuati, mediamente gli uomini riescono ad ottenere “funzionamenti elettrici” più elevati, mentre per efficienza e consumi le differenze risultano irrilevanti.

	Media	Genere		Età (anni)		Esperienza guida ibrido	
		Donne	Uomini	Fino a 35	Più di 35	NO	SI
ZEVT	73,2%	72,9%	73,6%	73,5%	73,1%	73,1%	73,5%
ZEVS	62,5%	60,6%	64,4%	62,9%	62,2%	62,4%	62,8%
EVt	58,3%	57,6%	58,0%	57,0%	58,6%	57,3%	58,6%
EVS	46,4%	46,0%	47,1%	46,4%	46,7%	46,4%	46,8%
Consumi	3,7	3,7	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7
Rendimento	46,3%	46,9%	45,8%	45,8%	46,9%	45,9%	47,2%

Tabella 5-4. Riepilogo dei valori medi dei parametri analizzati raggruppati in base alle caratteristiche dei driver.

6 Conclusioni

Su un “Percorso di Test” specifico disegnato ad hoc per questo lavoro, di lunghezza complessiva di **37 km** (articolato su tre macro tratti), il test drive è stato strutturato prevedendo **20 driver** con un impegno di tre prove ciascuno di **1 ora e 35 minuti** di durata media.

Nei **60 test** drive complessivi, svolti in un periodo di tempo di circa **un mese e mezzo**, sono stati acquisiti dati relativi ad oltre **2.200 km** di percorrenza per un totale di circa **95 ore**. L’acquisizione ha riguardato **28 parametri**, con una frequenza di campionamento di circa 20 Hz (20 acquisizioni al secondo), per un totale di **168.000.000 di valori acquisiti** (sulle 60 prove). Inoltre, da 14 dei 28 parametri monitorati sono stati calcolati **altri 51 parametri** che hanno portato all’elaborazione di **altri 306.000.000 di valori** e il **totale dei dati a disposizione a 474.000.000**.

Dalle 60 prove effettuate con i 20 driver con le caratteristiche indicate sul percorso definito, è risultato che, in media, il veicolo **funziona per il 73,2% del tempo** e **percorre il 62,5% dello spazio** in modalità ZEV (MCI non alimentato, quindi con zero emissioni). Tali valori salgono rispettivamente al **79,4%** e **76,3%** se si considera il solo tratto urbano.

Considerando invece il funzionamento come veicolo con trazione esclusivamente elettrica (escludendo gli intervalli di tempo e lo spazio percorso in modalità ZEV ottenuta senza erogazione di potenza da parte del sistema di trazione), in media il veicolo funziona come **EV per il 58,3% del tempo in cui vi è erogazione di potenza**, percorrendo in tale modalità **il 46,4% dello spazio**; considerando solo il tratto urbano tali valori salgono a **67,1%** e **62,9%** rispettivamente.

A fronte del funzionamento elettrico riportato, i consumi chilometrici equivalenti medi (al netto dell’eventuale variazione dello stato di carica della batteria) dell’intera prova sono risultati pari a **3,7 l/100 km (3,5 l/100 km nei tratti misti extraurbani, 4,8 l/100 km nel tratto urbano)**.

Il rendimento globale del sistema di trazione ibrido medio risulta pari al **46,3% (49,1% nei tratti misti extraurbani 34,9% nel tratto urbano)**.

Dall’analisi dei risultati ottenuti su ciascuna prova e in ogni tratto in cui la prova è stata suddivisa, si può osservare quanto segue:

- I valori del funzionamento in ZEV (ZEVt e ZEVS) sono sostanzialmente indipendenti dalle condizioni del traffico e dal driver, presentando valori sempre molto prossimi al valore medio con dispersioni molto basse.
- Per i valori del funzionamento come veicolo elettrico nel tempo (EVt) e nello spazio (EVS) vale essenzialmente quanto detto per i valori del funzionamento in ZEV, con dispersioni leggermente più elevate ma in ogni caso contenute.
- I valori dei consumi chilometrici equivalenti presentano dispersioni abbastanza elevate risultando molto variabili in base allo stile di guida (si notano valori sensibilmente differenti per driver diversi), e dalle condizioni del traffico (si notano valori sostanzialmente diversi nelle tre prove dello stesso driver).
- I valori del rendimento del sistema di trazione ibrido presentano dispersioni inferiori rispetto a quelle dei consumi chilometrici equivalenti e si nota una dipendenza sostanziale dalle condizioni del traffico, mentre sostanzialmente marginale dallo stile di guida.

- In tutti i casi risultano determinanti le caratteristiche del percorso (misto + urbano). Questo perché la presenza di un numero consistente di accelerazioni e decelerazioni (da velocità non troppo basse) consente il recupero di grosse quantità di energia in frenata il che incide in modo determinate sia sulla disponibilità di energia elettrica per la trazione (e, quindi, su tutti i parametri relativi al funzionamento elettrico), sia sull'efficienza del sistema di trazione (e, quindi, anche a parità di fabbisogno alle ruote, sui consumi).
- I parametri relativi al funzionamento elettrico calcolati secondo la procedura seguita dal sistema DRIVECO presentano una correlazione pressoché costante con quelli calcolati nel presente studio, risultando in tutti i casi leggermente inferiori (del 5,2% ZEVt e del 7,5% ZEVS).