

Giornata di Studio “Giorgio Minelli” sui Motori a Combustione Interna

Le prospettive future dei motori a combustione interna

Procedura di acquisizione, misura e valutazione delle prestazioni energetiche
di veicoli in condizioni reali di utilizzo su strada

Fabrizio Zuccari

Università degli Studi Guglielmo Marconi

DIS - Dipartimento di Ingegneria della Sostenibilità

CARe - Center for Automotive Research and evolution

Campagna di test

- Obiettivi
 - Analisi delle prestazioni energetiche in condizioni di utilizzo reale in ambito urbano
- Parametri che influiscono sulle prestazioni energetiche
 - Ciclo di marcia
 - Percorso di test
 - Condizioni del traffico
 - Stile di guida

Veicolo: FULL HYBRID TOYOTA PRIUS 4

MOTORE TERMICO	
Cilindrata (cm ³)	1798
Potenza massima (kW)	72 (5.200 rpm)
Coppia massima (Nm)	142 (3.600 rpm)
MOTORE ELETTRICO	
Potenza massima (kW)	52
Coppia massima (Nm)	163
BATTERIE HV	
Tipo	Nichel-Metallo idruro
Tensione nominale V	201,6
Capacità (Ah)	6,5 (3h)

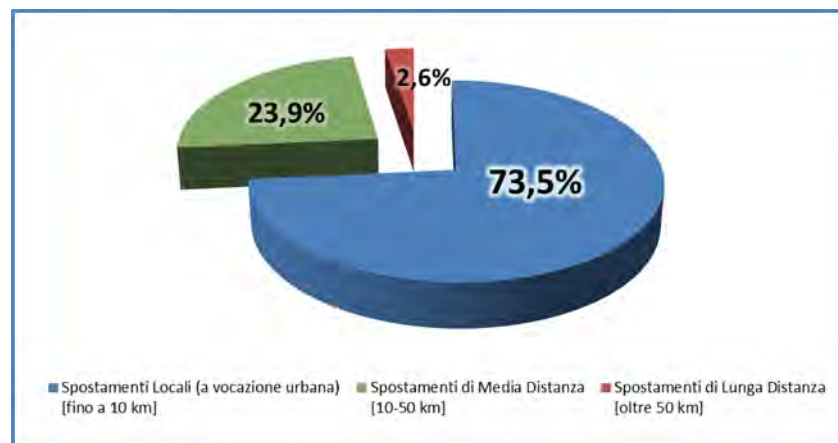


Definizione delle condizioni di test

- Definizione del percorso di prova (dati ISFORT, Osservatorio “Audimob” sulla mobilità degli italiani)
 - Lunghezza
 - Dislocazione
- Definizione del numero di test
 - Giorni
 - Ora
- Definizione del campione di drivers
 - Numerosità
 - Composizione

Definizione del percorso di prova

- Lunghezza media generale dei percorsi giornalieri
 - 33,4 km nel 2014
 - 38,7 km nel 2013
- Spostamenti giornalieri inferiori a 50 km
 - **97,4%**



Definizione del percorso di prova (ROMA)

- 1° Tratto: extraurbano – urbano ad elevato scorrimento
 - 14,7 km: 13,1 km (89%) km fuori dell'anello ferroviario
- 2° Tratto: urbano ad elevata densità di traffico
 - 6 km (Tutto all'interno dell'anello ferroviario)
- 3° Tratto: : extraurbano – urbano ad elevato scorrimento
 - 16,3 km: 14,3 km (88%) km fuori dell'anello ferroviario



Definizione del campione di drivers

- Donne: 10 (tre con e sette senza esperienza di guida di un veicolo ibrido)
 - 5: con età inferiore ai 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 e cinque senza esperienza di guida di un veicolo ibrido)
 - 5: con età inferiore 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)

Definizione del numero di test

- 3 test ciascun driver
 - 60 test in totale
- In giorni feriali
 - Escludendo periodi in cui si configurano condizioni anomale del traffico (periodo di Natale, vacanze estive, periodi di chiusura delle scuole,): Marzo
 - In diverse fasce orarie
 - Mattina: dalle 10
 - Ora di pranzo: dalle 13
 - Pomeriggio: dalle 15



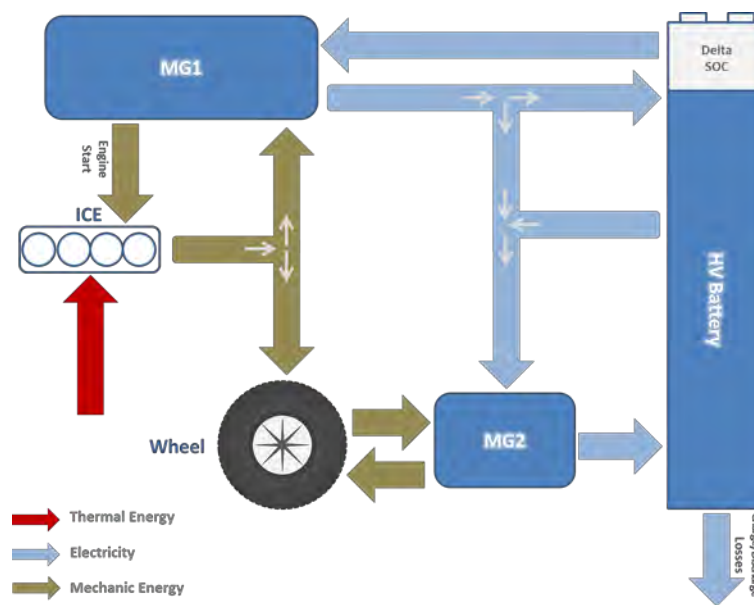
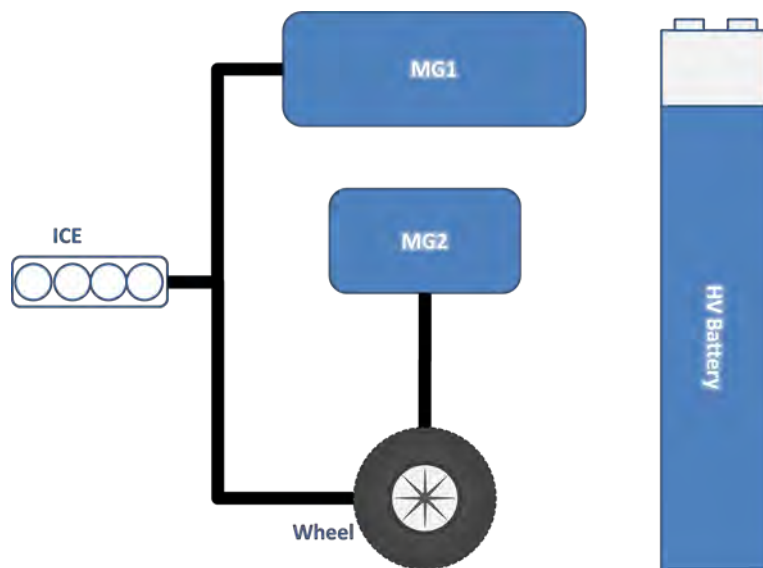
Acquisizione dati



27 parametri con frequenza 20 Hz

2.000 km, 90 h

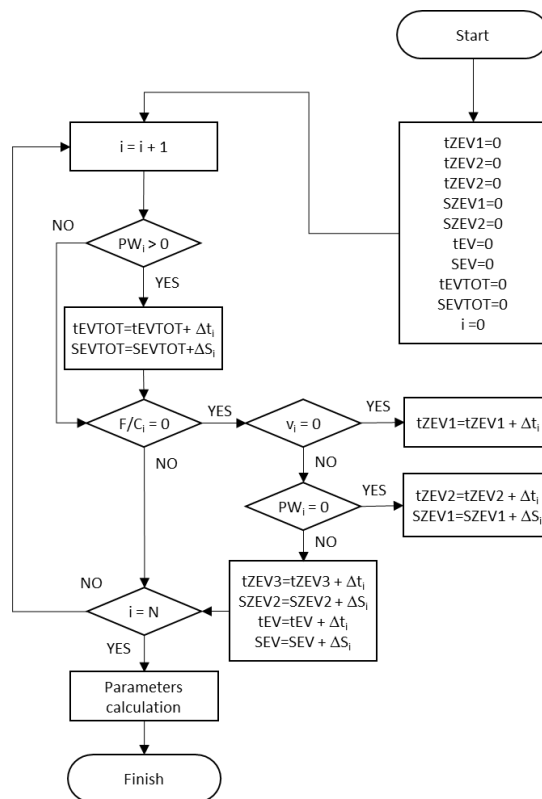
Il sistema ibrido



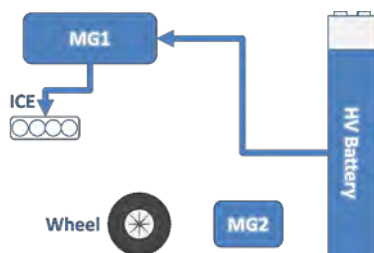
Elaborazioni preliminari post acquisizione

- Parametri con acquisibili
 - Accelerazione
- Parametri utilizzati ma non utilizzabili
 - Velocità del veicolo
 - Acquisito come intero in km/h (discretizzazione 1 km/h = 0,278 m/s)
 - Spazio percorso
 - Acquisito in km con 1 decimale (discretizzazione 100 m)

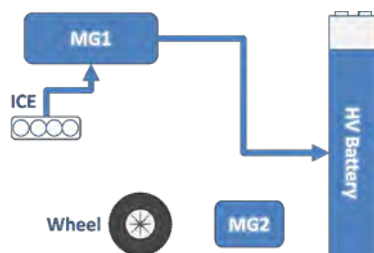
Calcolo dei valori istantanei dei parametri



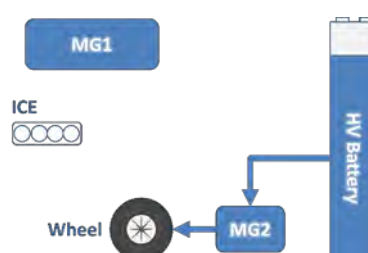
Possibili modalità di funzionamento del sistema ibrido



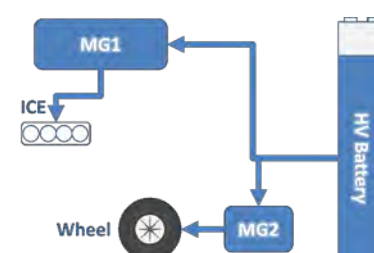
Engine start



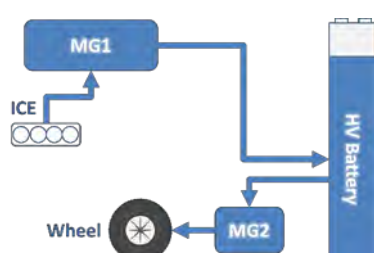
Battery charge



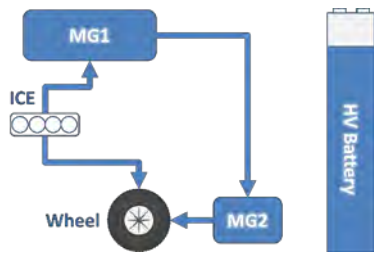
Electric vehicle mode



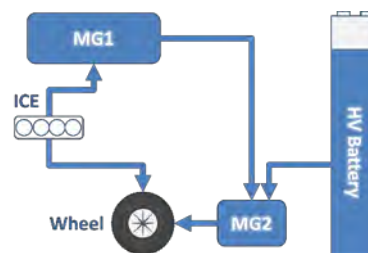
Electric vehicle mode +
Engine start



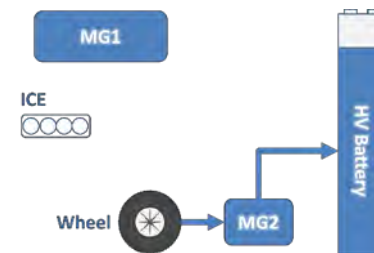
Electric drive +
Battery charge



Hybrid drive with MG2
powered by MG1



Hybrid drive with
MG2 powered by
MG1 and battery



Regenerative braking

Analisi delle prestazioni del veicolo

- Funzionamento a Zero Emissioni
 - Funzionamento in modalità ZEV
 - Funzionamento in modalità veicolo elettrico
- Analisi energetica
 - Consumi
 - Rendimenti

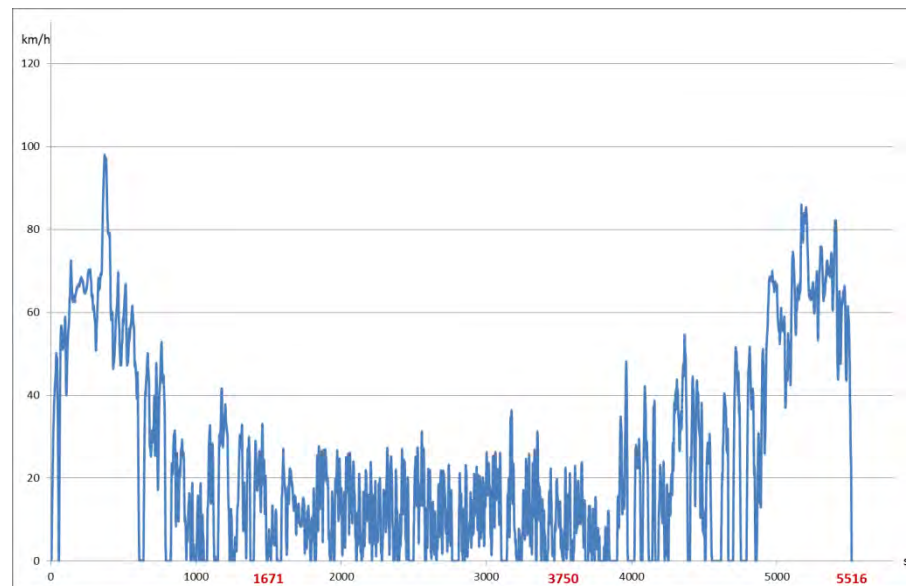
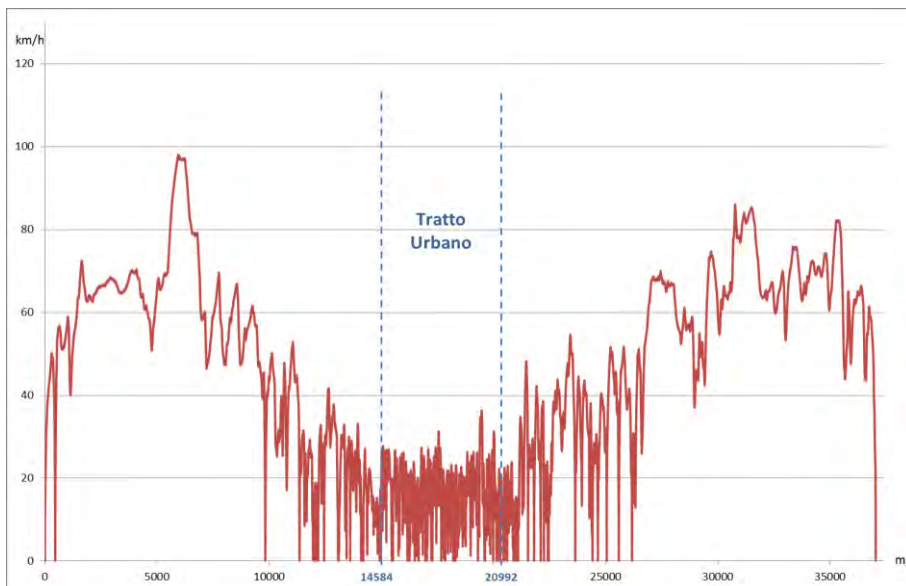
Funzionamento a Zero Emissioni

- ZEVt: percentuale nel tempo di funzionamento in ZEV
 - $ZEVt_{v=0}$: percentuale del tempo di funzionamento in ZEV con veicolo fermo
 - $ZEVt_{p_r=0}$: percentuale del tempo di funzionamento in ZEV con avanzamento senza erogazione di potenza del sistema
 - $ZEVt_{EY}$: 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
 - $ZEVS_{p_r=0}$: percentuale dello spazio di funzionamento in ZEV con avanzamento senza erogazione di potenza del sistema
 - $ZEVt_{EY}$: percentuale dello spazio di funzionamento in ZEV con avanzamento con erogazione di potenza solo dal motore elettrico MG2
- EVt: percentuale nel tempo in cui il veicolo funziona come un veicolo elettrico
- EVS: percentuale nello tempo in cui il veicolo funziona come un veicolo elettrico

Analisi energetica

- Consumi (l/100 km)
- Rendimento MCI (%)
- Consumi equivalenti (l/100 km): consumi specifici al netto della variazione dello stato di carica delle batterie di trazione
- Rendimento globale sistema (%)

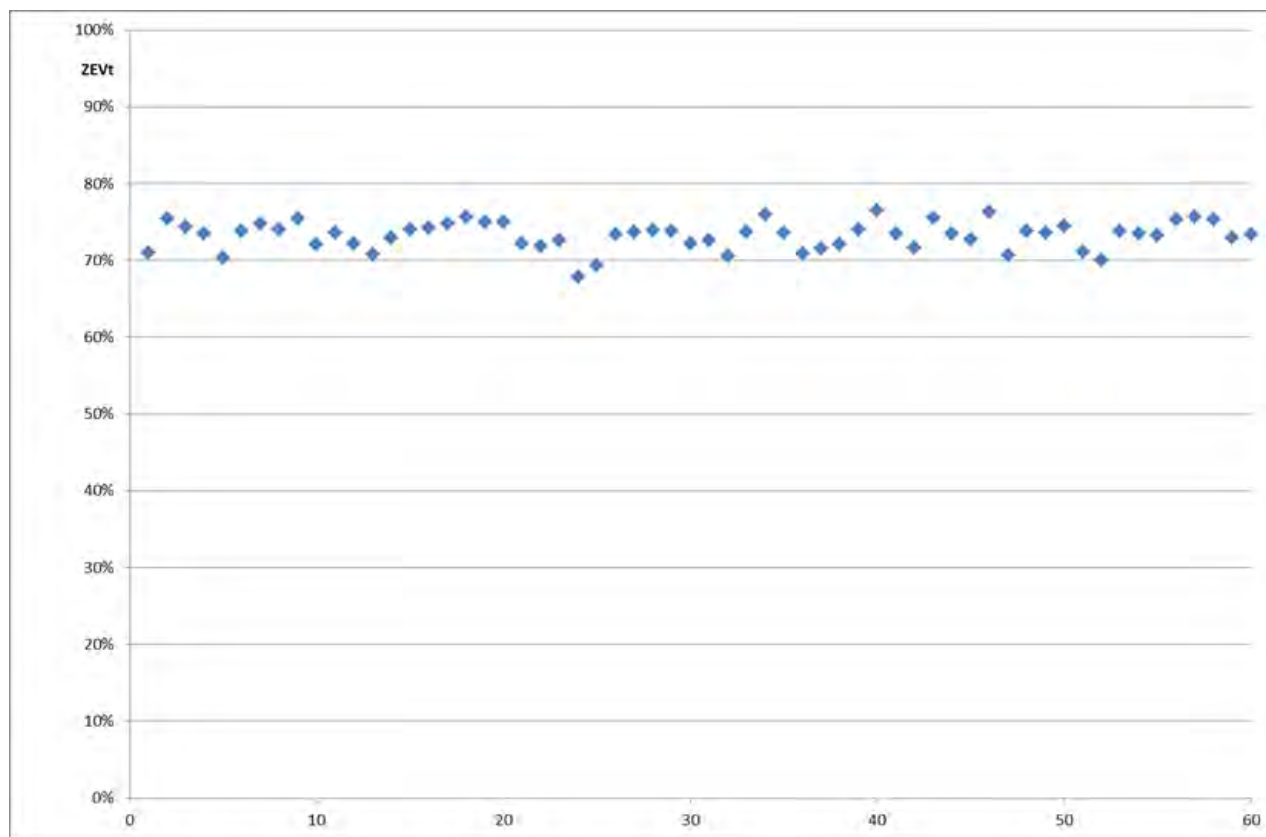
Cicli di marcia



Parametri analizzati

- Funzionamento a Zero Emissioni
 - Funzionamento con MCI spento
 - Funzionamento in modalità elettrica
- Analisi energetica
 - Analisi dei flussi energetici
 - Consumi
 - Consumi equivalenti
 - Efficienza globale del sistema di trazione

Funzionamento ZEV - tempo



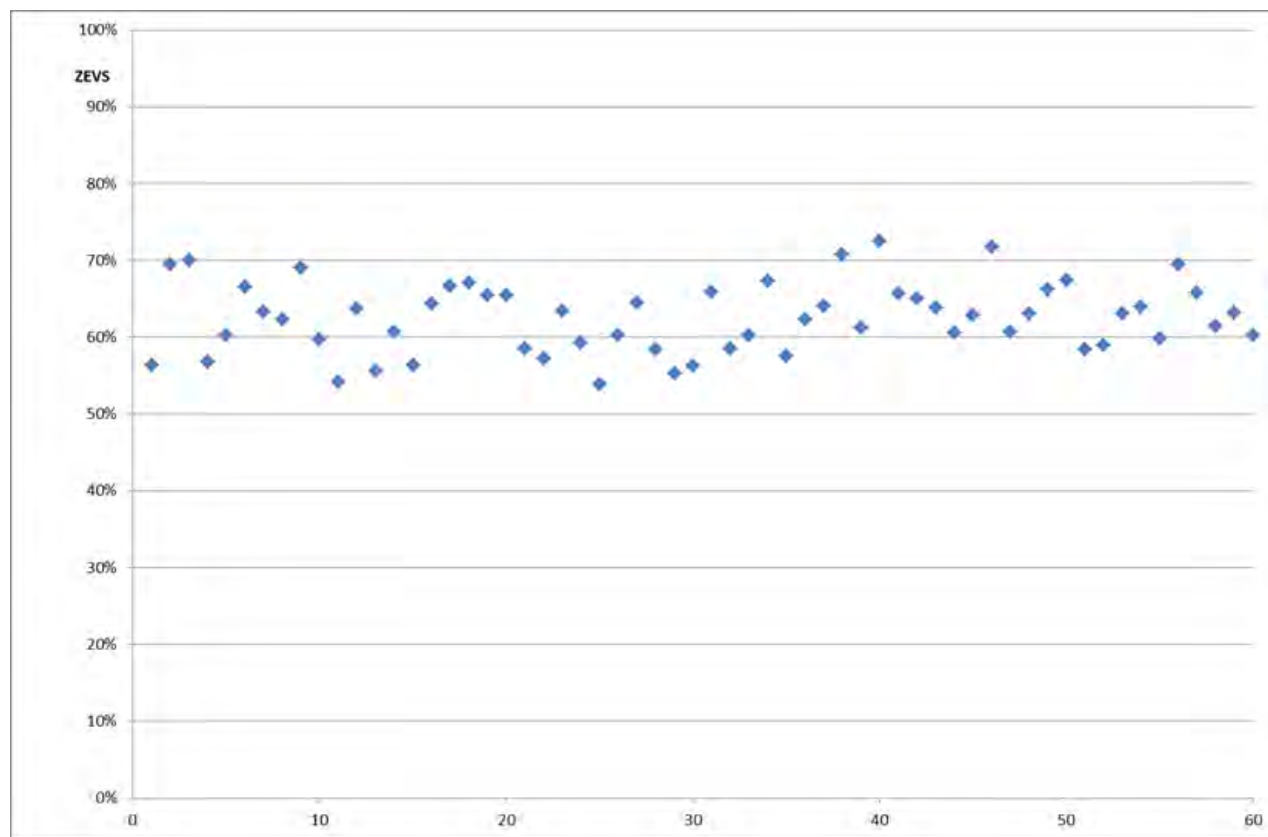
Max: 76,5%

Min: 67,8%

Media: 73,3%

Dev. St. Norm.: 0,025

Funzionamento ZEV - spazio



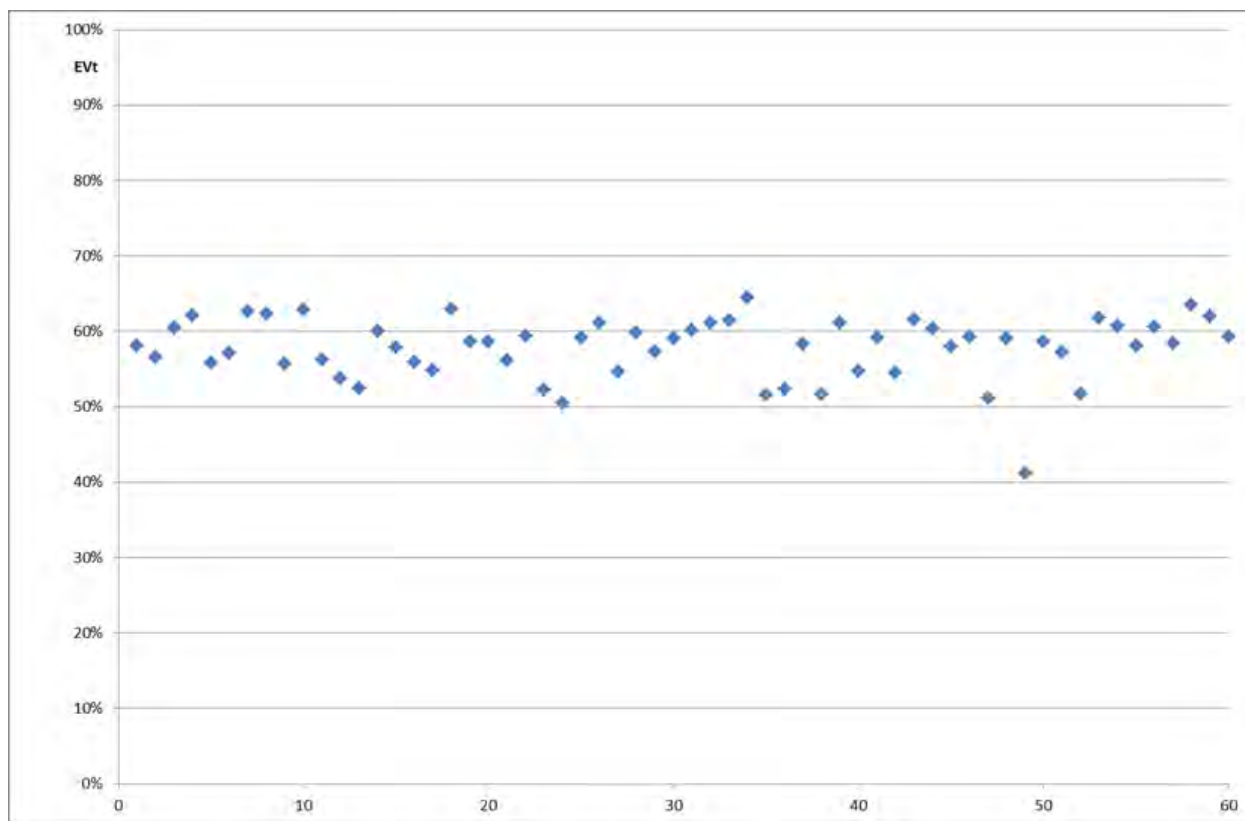
Max: 71,7%

Min: 47,4%

Media: 62,1%

Dev. St. Norm.: 0,076

Funzionamento EV - tempo



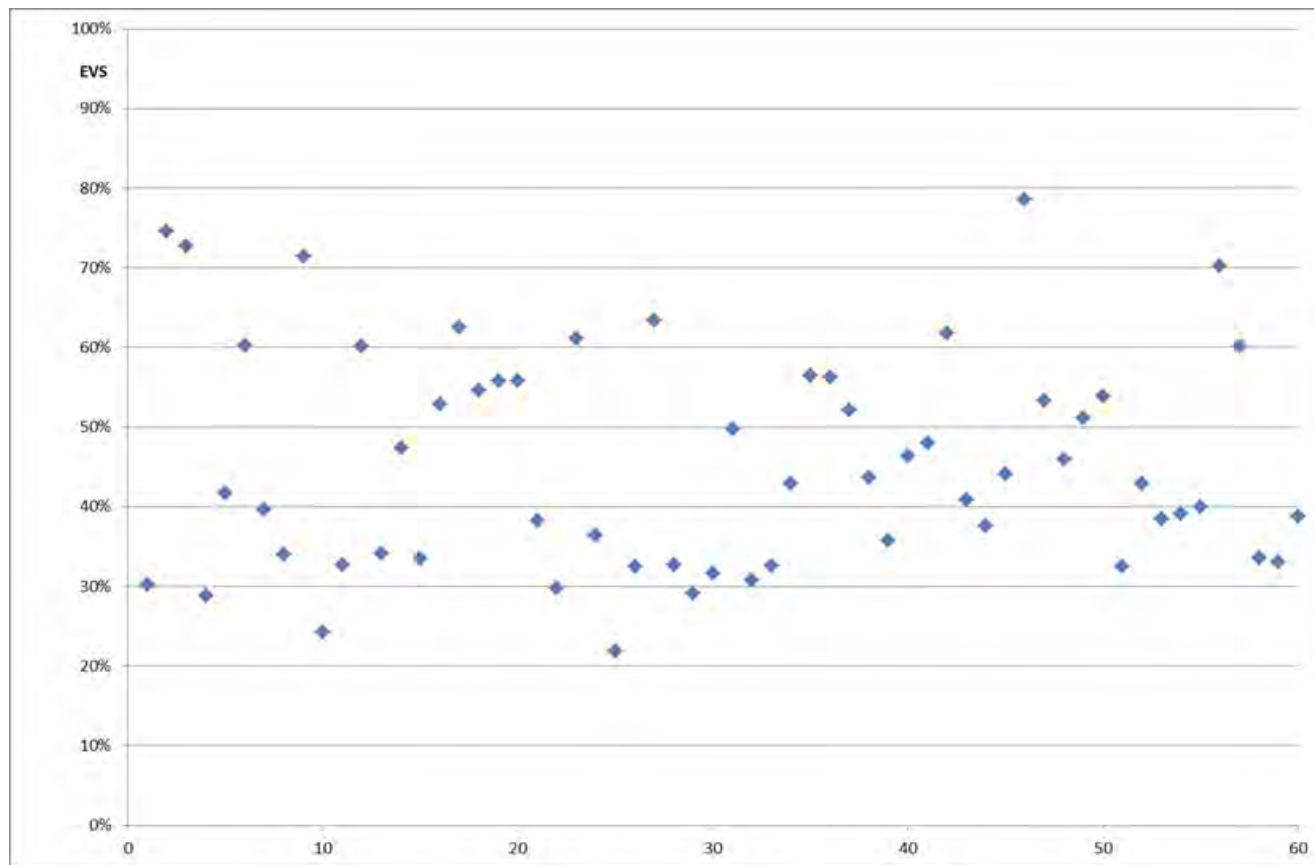
Max: 64,5%

Min: 41,2%

Media: 57,8%

Dev. St. Norm.: 0,071

Funzionamento EV - spazio



Max: 78,6%

Min: 21,9%

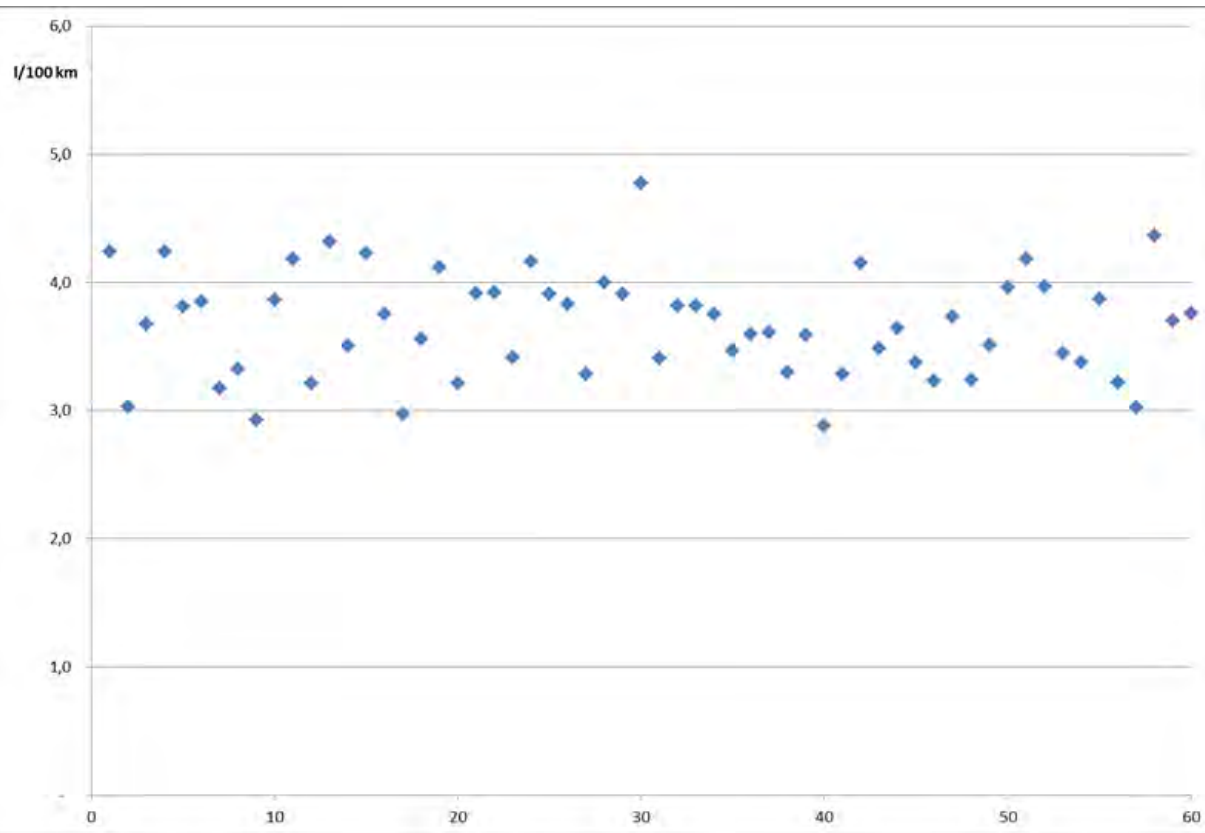
Media: 45,6%

Dev. St. Norm.: 0,299

Funzionamento a Zero Emissioni

		PROVA	1° Tratto	3° Tratto	ExtraUrb	Urbano
ZEV - nel tempo		73,2%	74,1%	66,6%	70,1%	79,4%
	a veicolo fermo	10,2%	10,1%	14,9%	12,5%	6,2%
	avanzamento senza potenza erogata	50,9%	49,4%	46,7%	48,0%	56,1%
	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%
	avanzamento senza potenza erogata	51,3%	52,1%	51,0%	51,6%	50,2%
	con trazione solo elettrica	50,1%	51,5%	49,0%	50,2%	49,8%
EV - nel tempo		55,6%	52,4%	49,9%	51,1%	66,5%
EV - nello spazio		46,0%	46,8%	39,5%	42,9%	62,3%

Consumi (equivalenti)



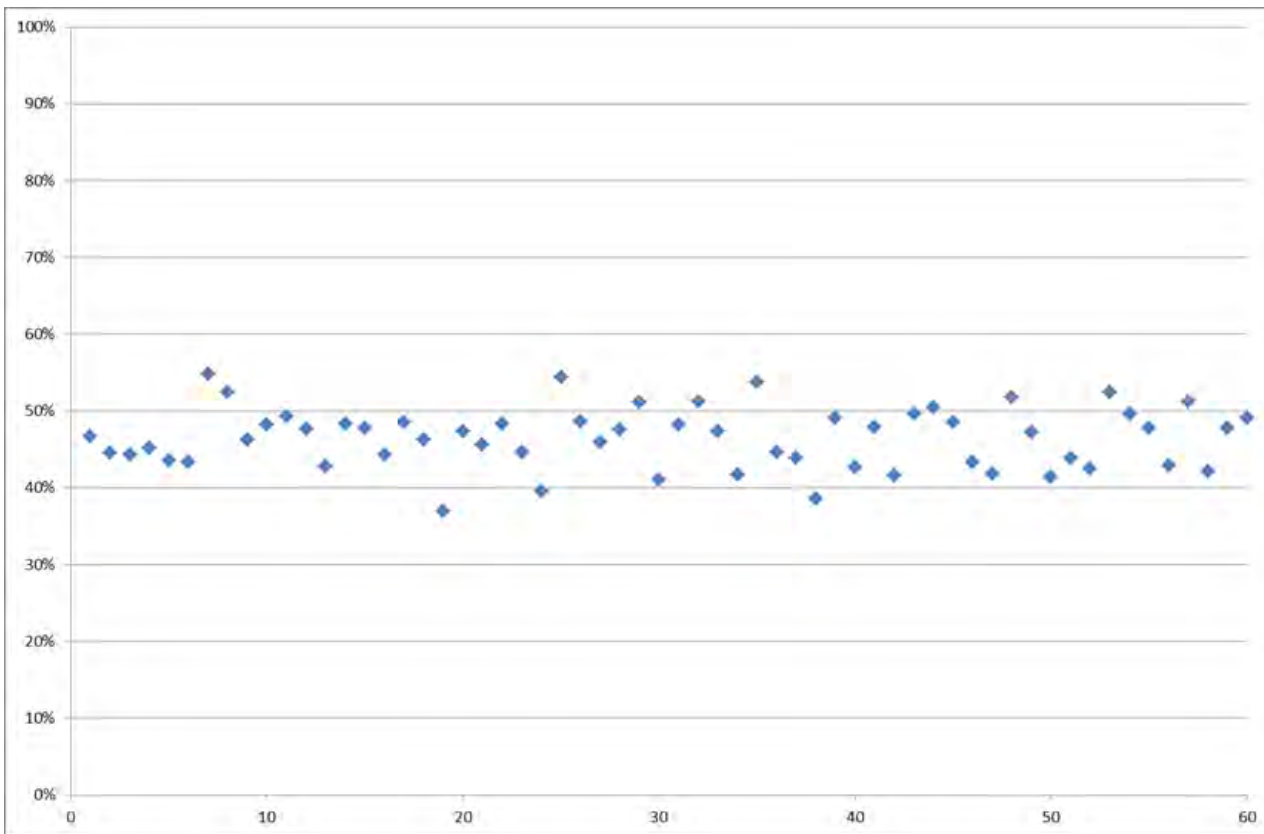
Max: 4,8 I/100 km

Min: 2,9 I/100 km

Media: 3,7 I/100 km

Dev. St. Norm.: 0,107

Rendimento globale



Max: 54,8%

Min: 35,6%

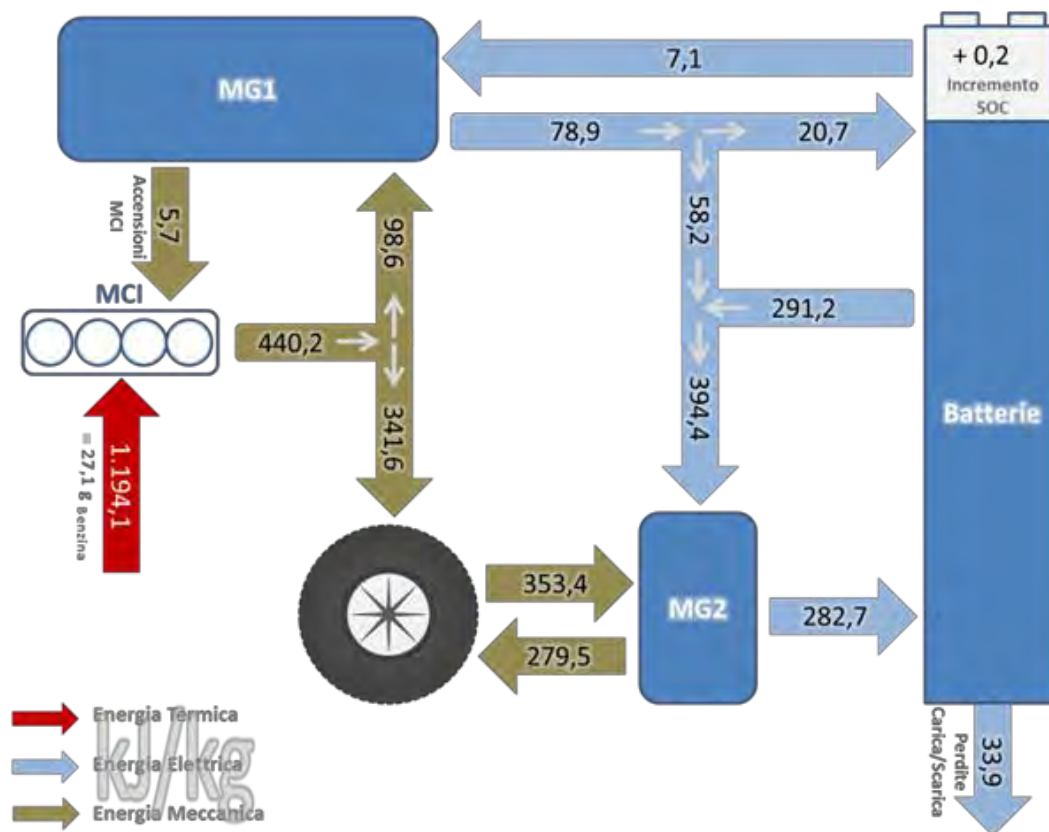
Media: 46,4%

Dev. St. Norm.: 0,090

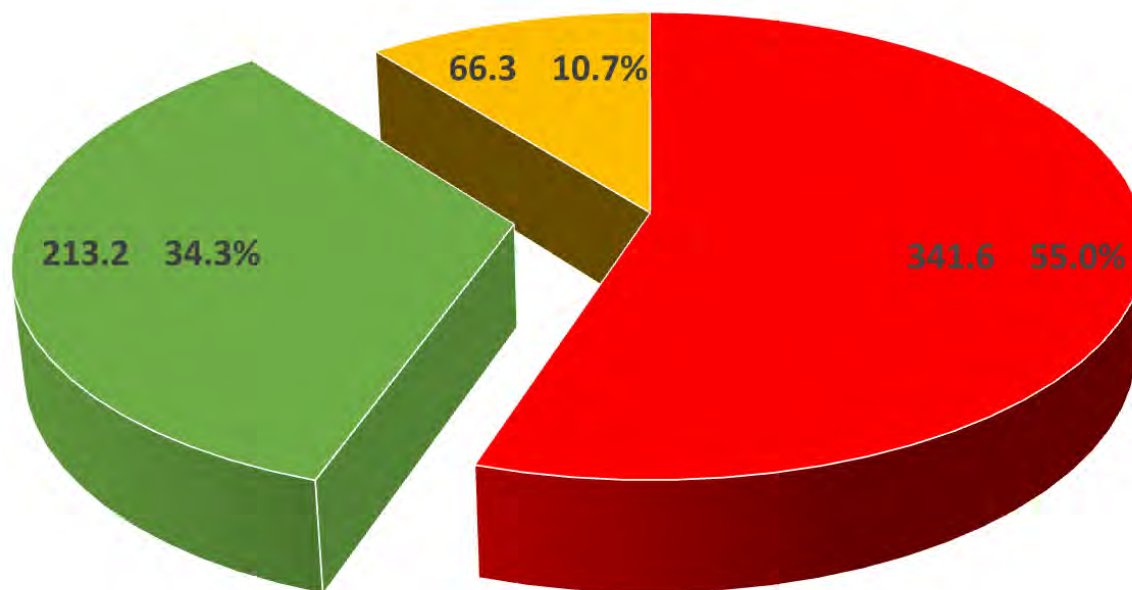
Consumi e rendimento

	PROVA	1° Tratto	3° Tratto	ExtraUrb	Urbano
Consumi specifici [l/100km]	3,8	3,2	4,1	3,7	4,3
Consumi specifici equivalenti [l/100km]	3,7	3,2	3,7	3,5	4,8
Rendimento globale sistema	46,4%	50,9%	48,1%	49,3%	34,8%

Flussi di energia (kJ/km)

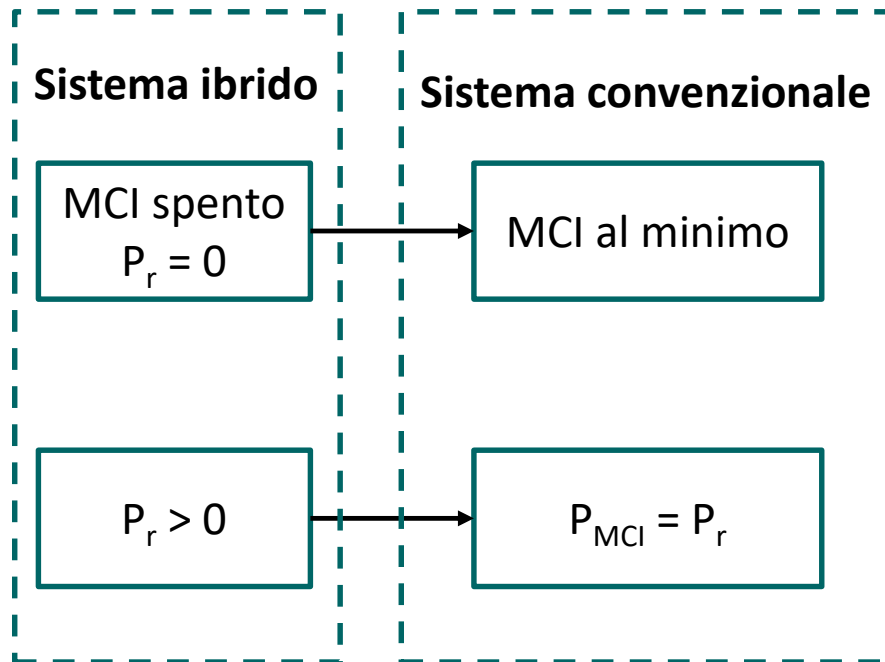


Energia alle ruote (kJ/km)



■ MCI ■ ME Recupero in frenata ■ ME da MCI

Stima della riduzione dei consumi Sistema Ibrido



- A parità di rendimento medio MCI
 - Rendimento ciclo Atkinson maggiore ciclo Otto
 - Migliori condizioni di funzionamento MCI nel sistema ibrido
- A parità di fabbisogno di energia alle ruote
 - Sistema ibrido massa maggiore

Stima della riduzione dei consumi Sistema Ibrido

	Con erogazione di potenza		Consumi al minimo		TOTALE CONSUMI (g)
	Energia erogata MCI (kJ)	Consumi energia erogata (g)	Consumi con veicolo fermo (g)	Consumi con veicolo in veleggiamento (g)	
Full Hybrid	882,370	59,797	-	-	59,797
Convenzionale	1,220,505	82,712	1,272	6,326	90,310

Riduzione consumi: 33,8%

Stima della riduzione dei consumi Sistema Ibrido

- 1,4% riduzione consumi al minimo a **veicolo fermo**
- 7,0% riduzione consumi al minimo in **veleggiamento**
- 25,4% **recupero energia in frenata**

Analisi dei risultati

	Media	Sesso		Età (anni)		Esperienza guida ibrido	
		Donne	Uomini	Fino a 35	Più di 35	NO	SI
ZEVt	73,2%	72,9%	73,6%	73,4%	73,1%	73,1%	73,5%
ZEVS	62,1%	60,6%	63,6%	62,1%	62,2%	61,8%	62,8%
EVt	57,8%	57,6%	58,0%	57,0%	58,6%	57,3%	58,6%
EVS	45,6%	42,4%	48,8%	49,0%	42,1%	46,1%	44,5%
Consumi	3,7	3,7	3,6	3,7	3,7	3,6	3,7
Rendimento	46,4%	46,9%	45,8%	45,8%	46,9%	45,9%	47,2%

Grazie dell'attenzione

Fabrizio Zuccari

Università degli Studi Guglielmo Marconi

DIS - Dipartimento di Ingegneria della Sostenibilità

CARe - Center for Automotive Research and Evolution

f.zuccari@unimarconi.it