



Ordine degli Ingegneri
della Provincia
di Roma



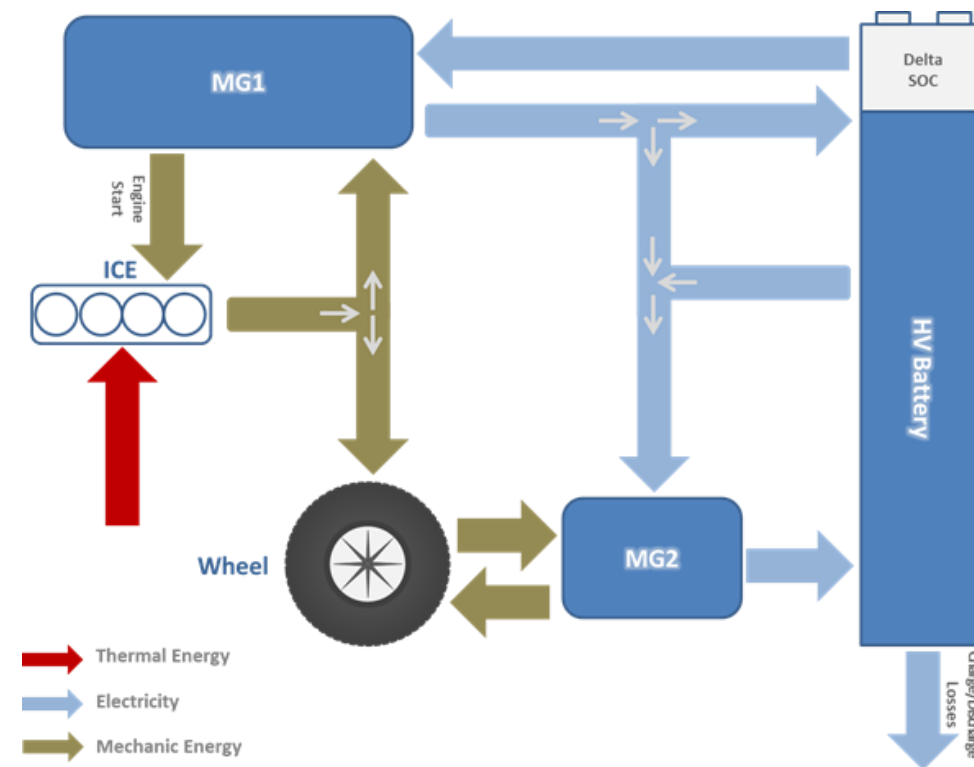
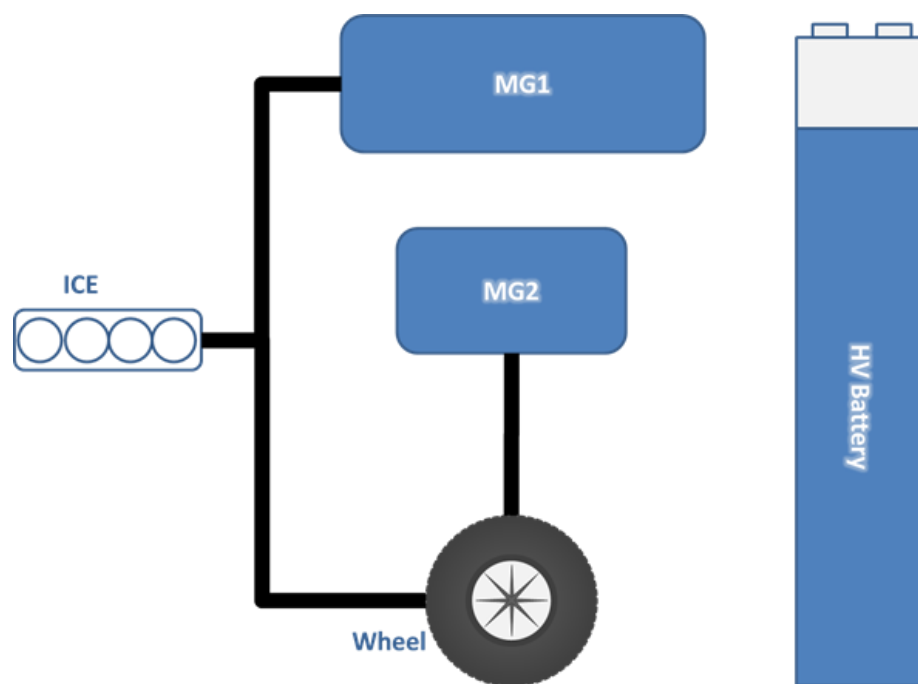
Motorismo sostenibile e tecnologie di trazione

Webinar - 24 Settembre 2024

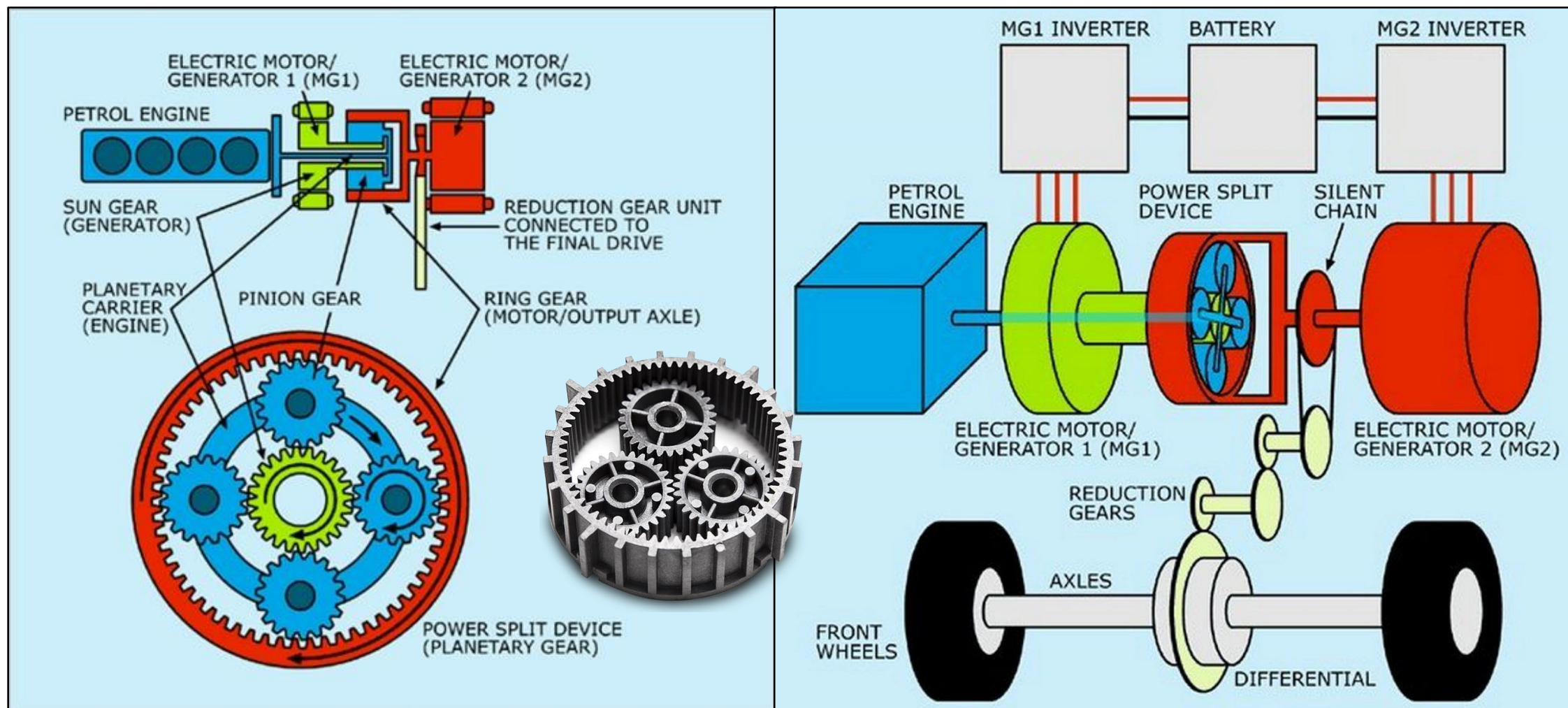
I veicoli ibridi: percorrenza in modalità ZEV, emissioni, impatto ambientale, analisi consumi ed energetici WTW.

Fabrizio Zuccari – Università Guglielmo Marconi

Sistema ibrido Toyota



Sistema ibrido Toyota: rotismo epicicloidale





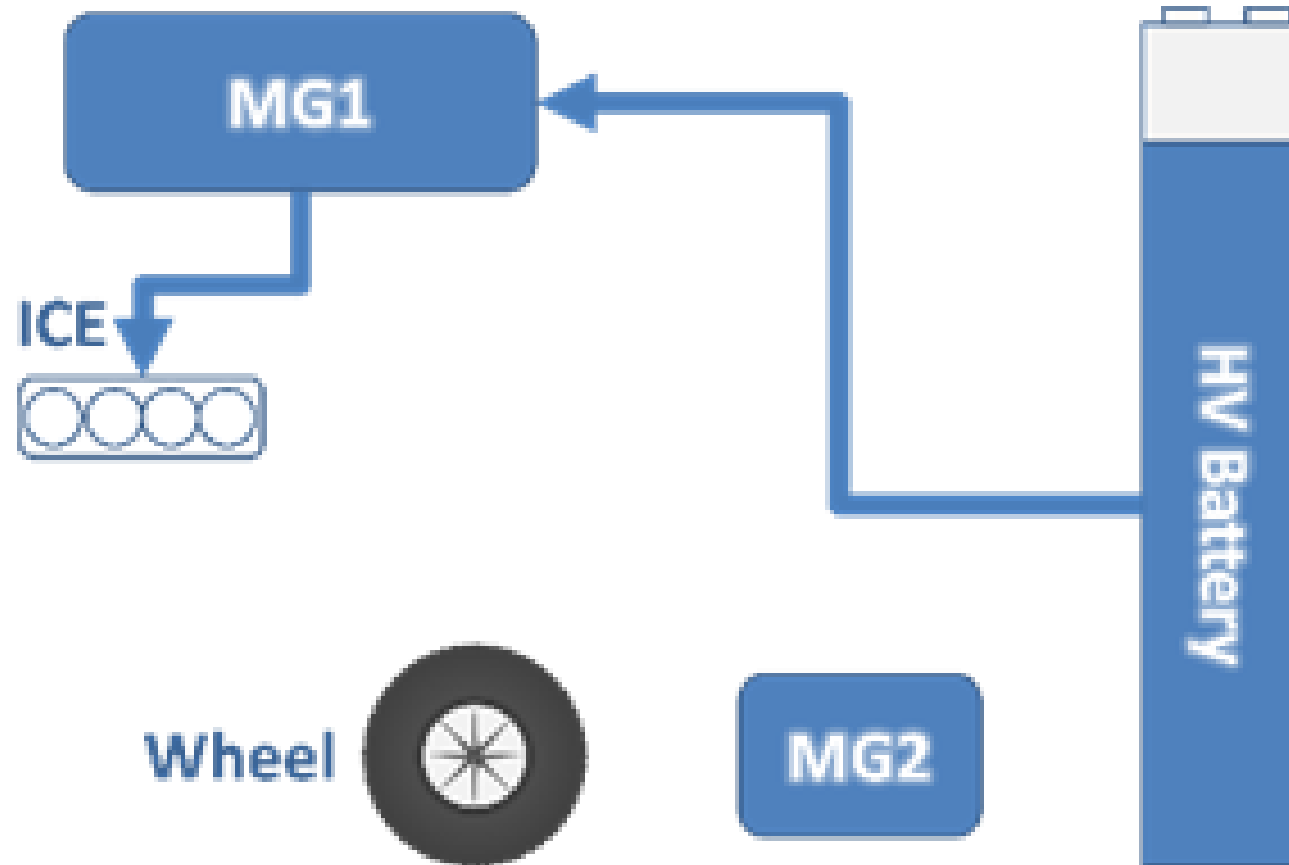
Modalità di funzionamento

- 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
- Braking



Modalità di funzionamento

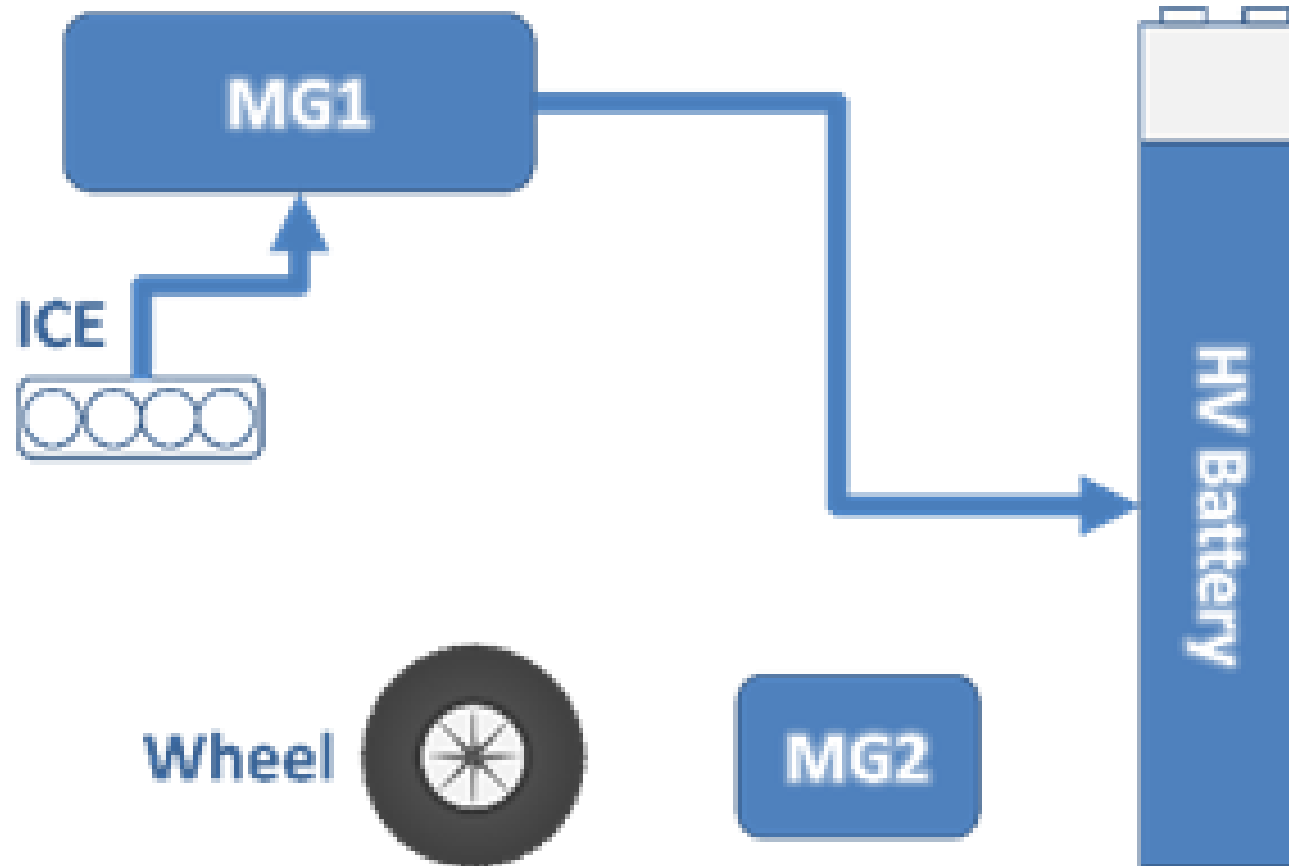
Engine start





Modalità di funzionamento

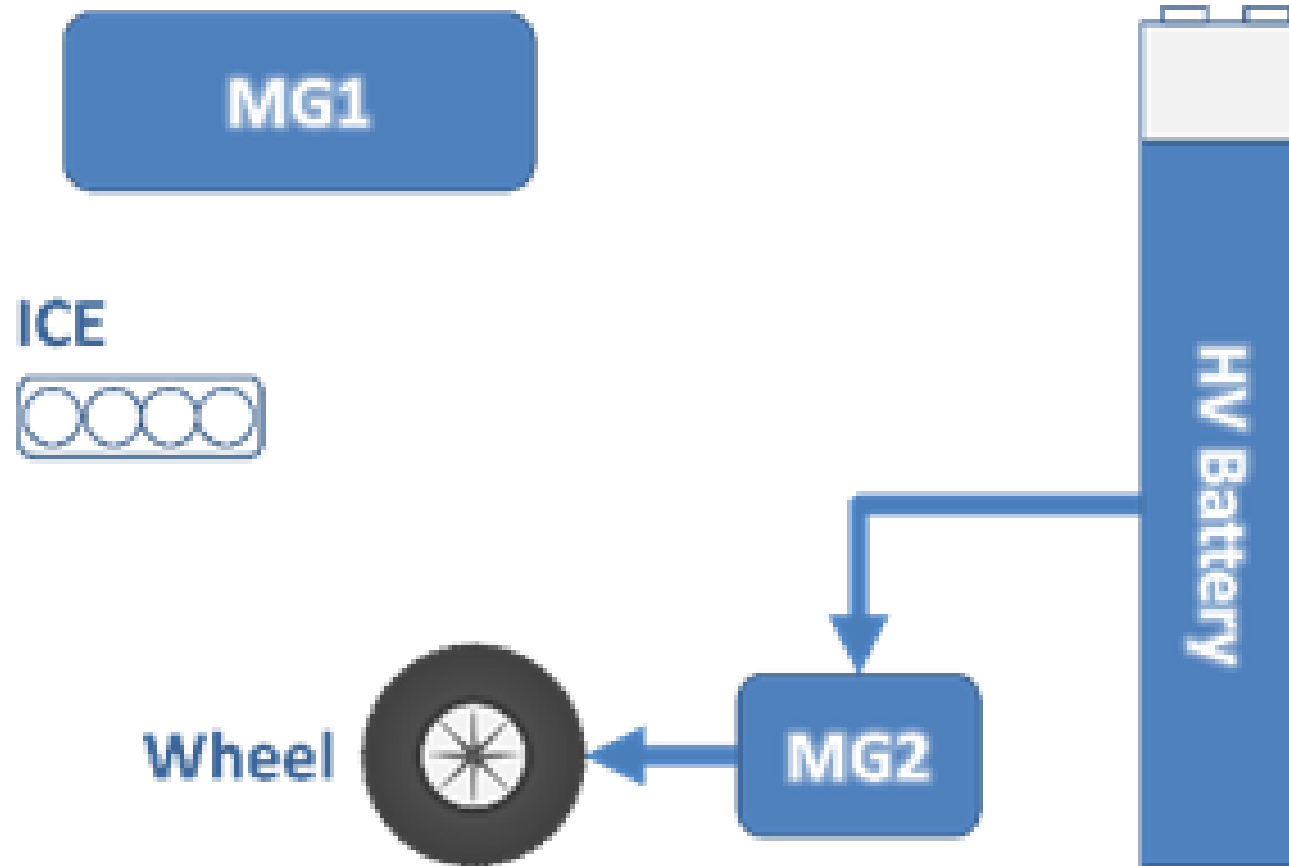
Battery charge





Modalità di funzionamento

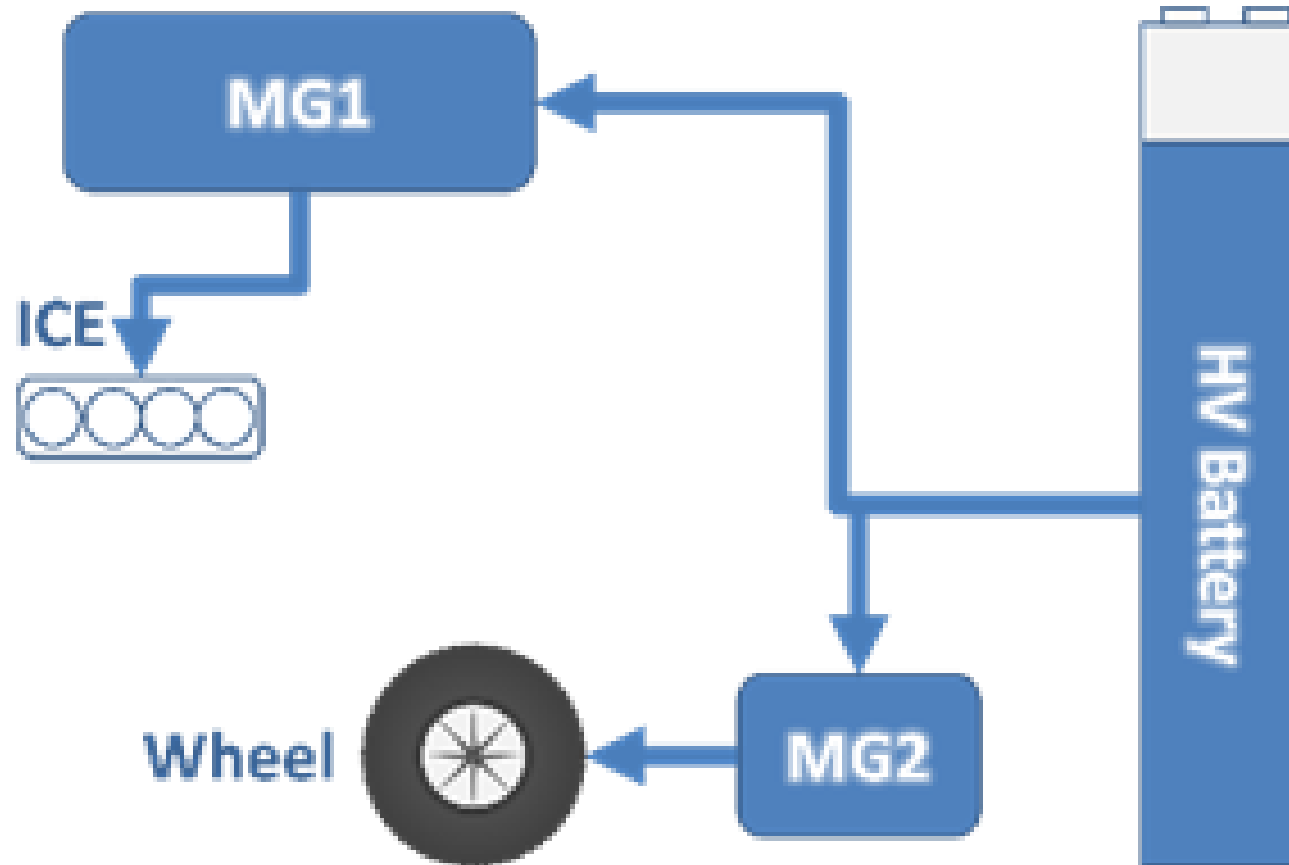
Electric vehicle mode





Modalità di funzionamento

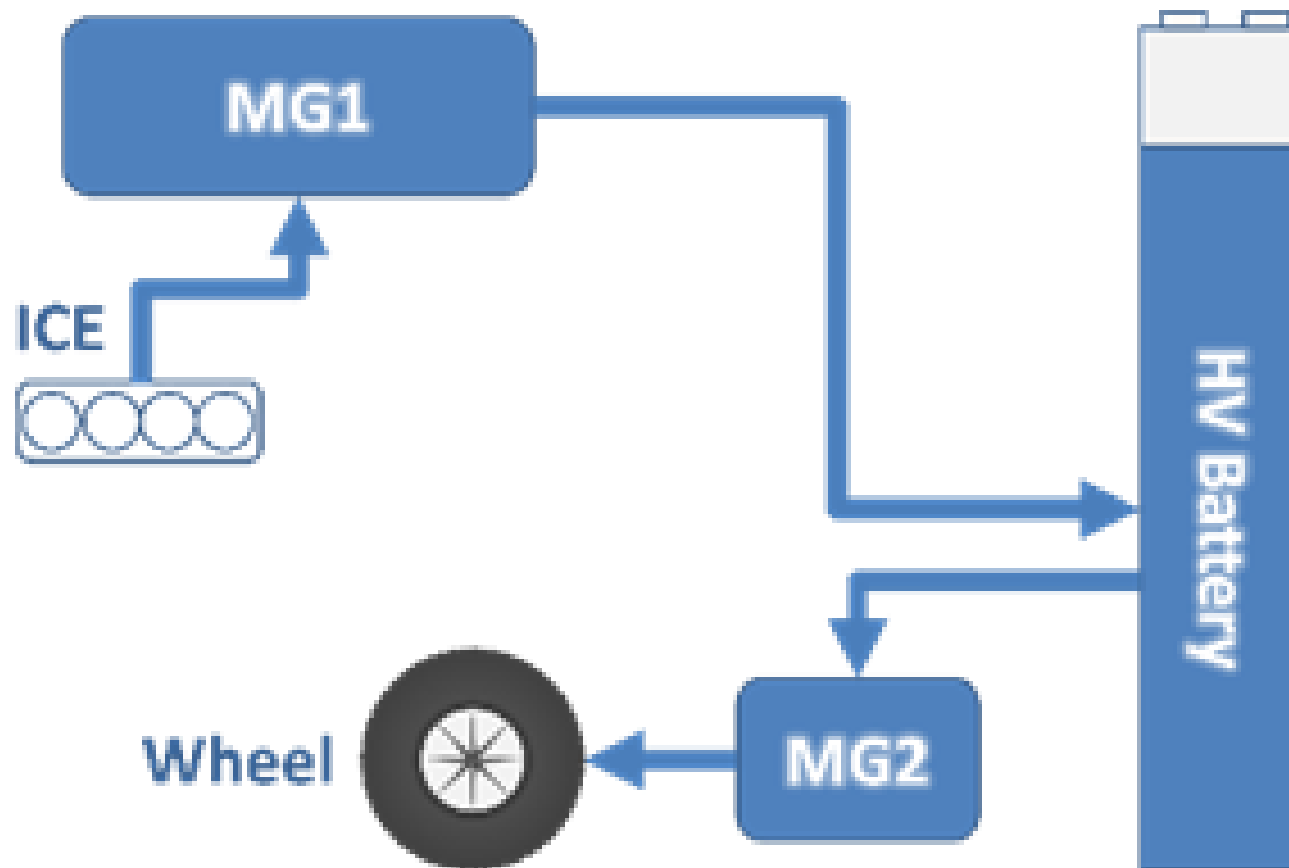
Electric vehicle mode + Engine start





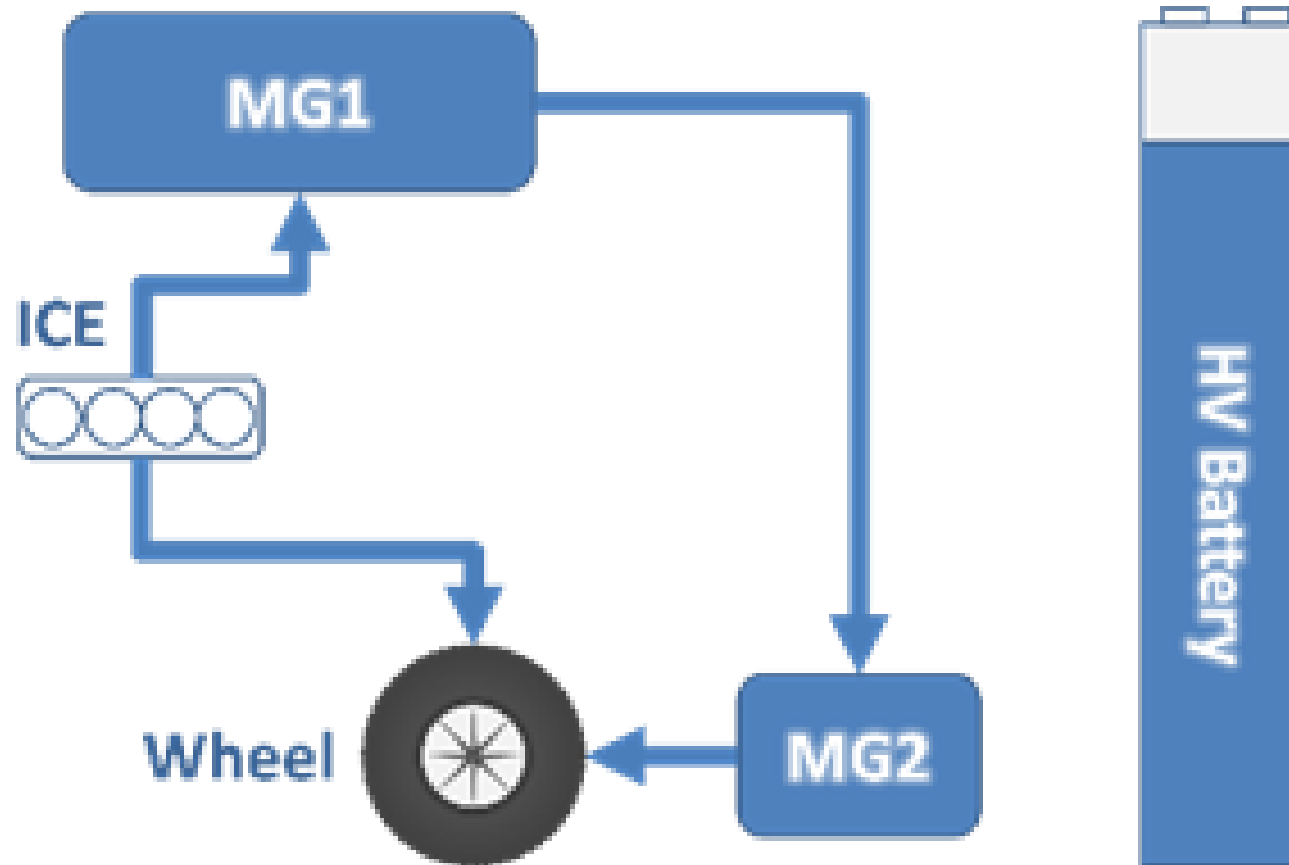
Modalità di funzionamento

Electric drive + Battery charge



Modalità di funzionamento

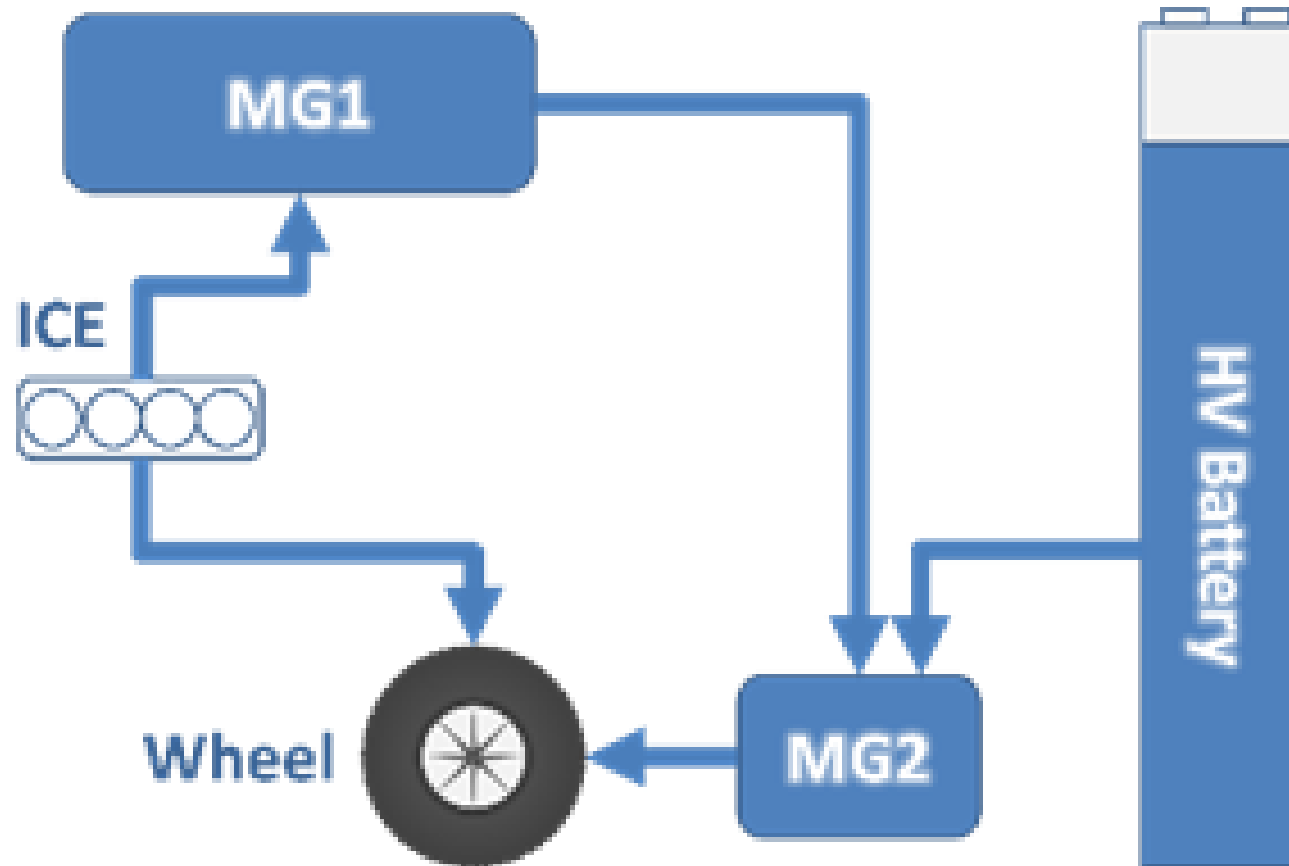
Hybrid drive with MG2 powered by MG1





Modalità di funzionamento

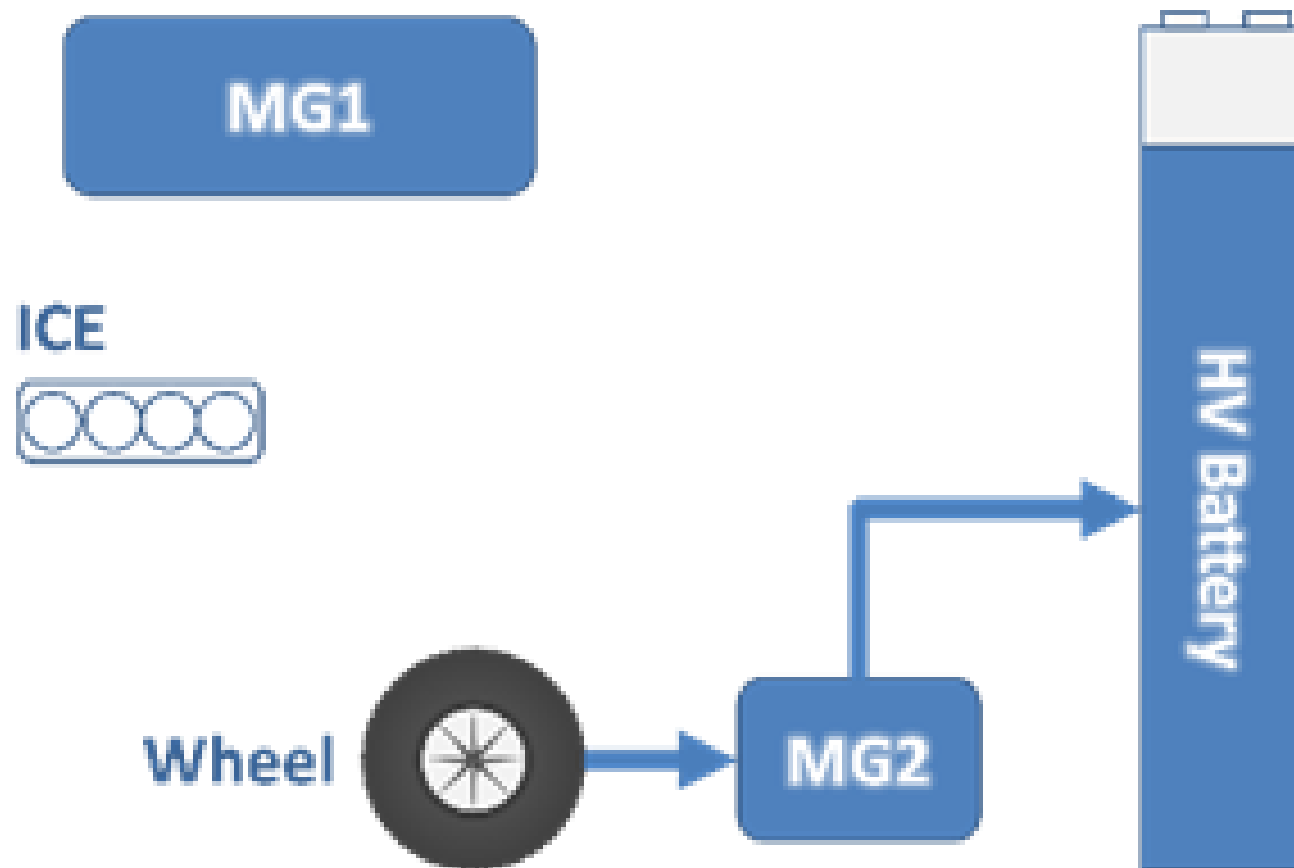
Hybrid drive with MG2 powered by MG1 and battery





Modalità di funzionamento

Regenerative braking





La campagna sperimentale

- PRIUS IV
 - Marzo – Maggio 2016
 - 2.200 km
 - 95 ore
- YARIS
 - Novembre - Dicembre 2017
 - 1.500 km
 - 72 ore
- PRIUS IV – AURIS
 - Aprile 2019
 - 1.700 km
 - 30 ore
- YARIS NG
 - Luglio 2020
 - 2.300 km
 - 80 ore
 - Novembre 2020
 - 1.300 km
 - 50 ore

9.000 km
327 ore

Metodologia

Definizione delle condizioni di prova

- Percorso
- Giorni
- Fasce orarie
- Driver
- Numero prove





Metodologia

Parametri analizzati

- Funzionamento ZEV (Zero Emission Vehicle)
 - ZEV Tempo
 - ZEV Spazio
 - EV Tempo
 - EV Spazio
- Analisi energetica
 - Consumi
 - Consumi equivalenti
 - Efficienza globale
 - Flussi di energia



Funzionamento ZEV

ZEV tempo

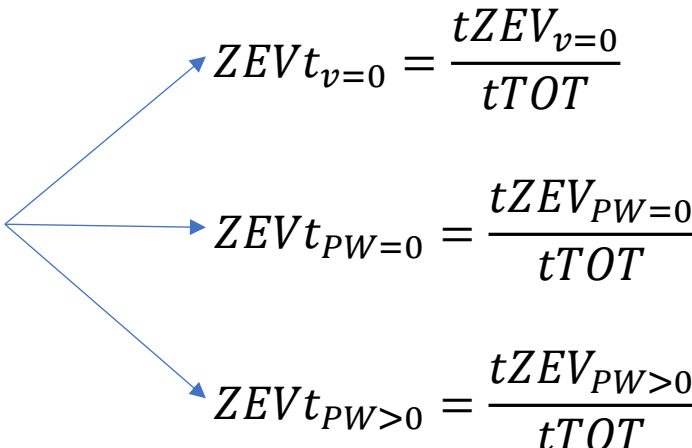
$tZEV$: tempo con ICE spento

$tZEV_{v=0}$: tempo con ICE spento e veicolo fermo

$tZEV_{PW=0}$: tempo con ICE spento, veicolo in movimento e potenza alle ruote nulle

$tZEV_{PW>0}$: tempo con ICE spento e potenza alle ruote non nulla

$tTOT$: tempo totale

$$ZEVt = \frac{tZEV}{tTOT}$$

$$ZEVt_{v=0} = \frac{tZEV_{v=0}}{tTOT}$$
$$ZEVt_{PW=0} = \frac{tZEV_{PW=0}}{tTOT}$$
$$ZEVt_{PW>0} = \frac{tZEV_{PW>0}}{tTOT}$$

$$tZEV_{v=0} + tZEV_{PW=0} + tZEV_{PW>0} = tZEV$$



Funzionamento ZEV

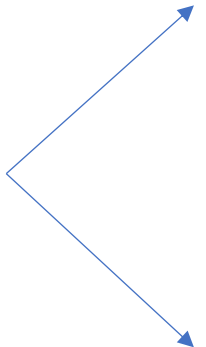
ZEV Spazio

SZEV: distanza percorsa con ICE spento

$SZEV_{PW=0}$: spazio percorso con ICE spento e potenza alle ruote nulle

$SZEV_{PW>0}$: spazio percorso con ICE spento e potenza alle ruote non nulla

STOT: spazio percorso totale

$$ZEV S = \frac{SZEV}{STOT}$$

$$ZEV S_{PW=0} = \frac{SZEV_{PW=0}}{STOT}$$
$$ZEV S_{PW>0} = \frac{SZEV_{PW>0}}{STOT}$$

$$SZEV_{PW=0} + SZEV_{PW>0} = SZEV$$



Funzionamento ZEV EV (Electric Vehicle mode)

$tZEV_{PW>0}$: tempo con ICE spento e potenza alle ruote non nulla

$tTOT_{PW>0}$: tempo totale con potenza alle ruote non nulla

$SZEV_{PW>0}$: spazio percorso con ICE spento e potenza alle ruote non nulla

$STOT_{PW>0}$: spazio totale percorso con potenza alle ruote non nulla

$$EVt = \frac{tZEV_{PW>0}}{tTOT_{PW>0}}$$

$$EVD = \frac{SZEV_{PW>0}}{STOT_{PW>0}}$$

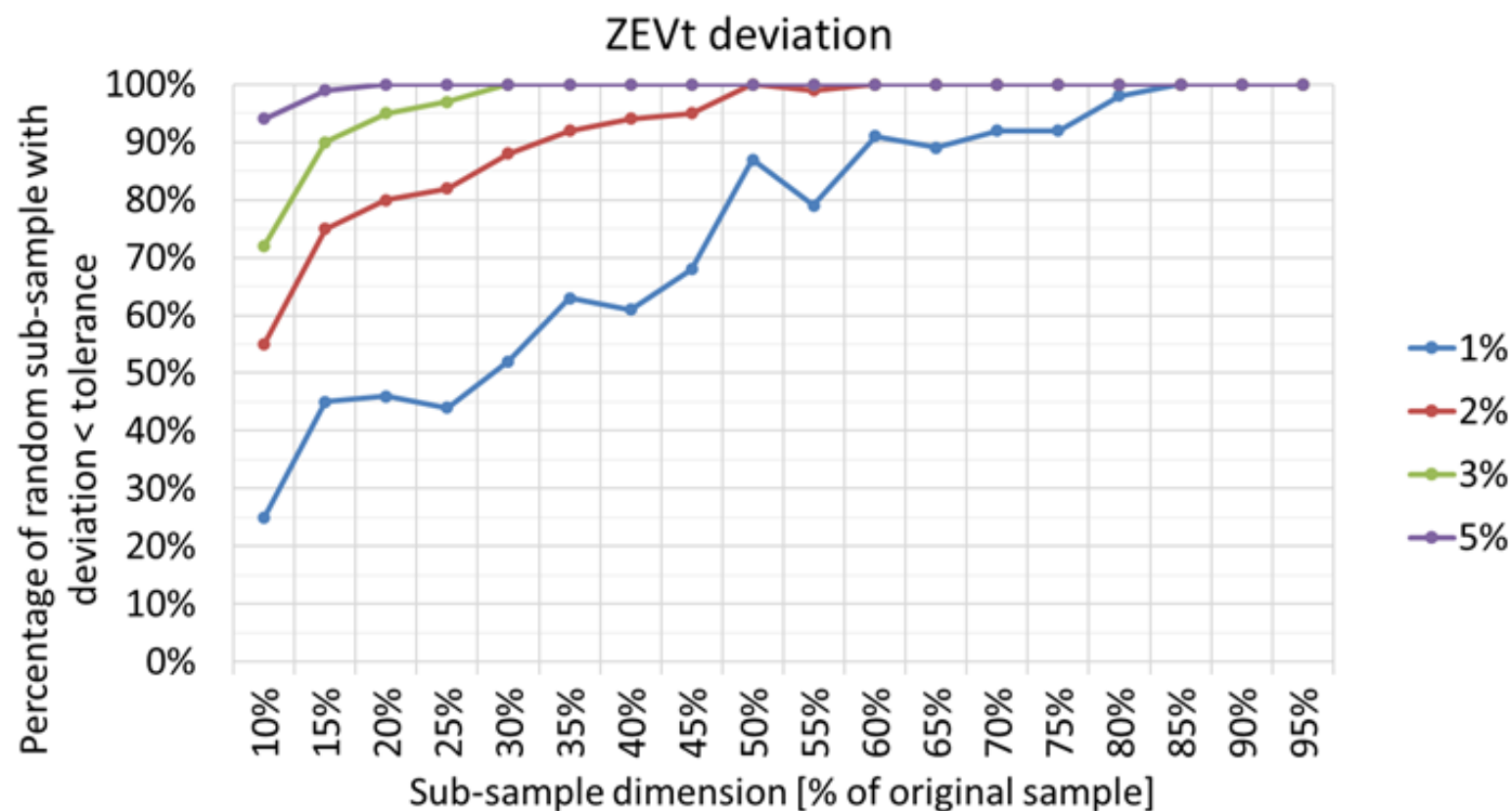


Metodologia: analisi statistiche

- Verifica dell'adeguatezza del numero di prove
 - Riduzione campione: errore
- Riallineamento dei dati in diverse condizioni di prova
 - Suddivisione della prova in sequenze cinematiche

Analisi statistiche

Verifica dell'adeguatezza del numero di prove



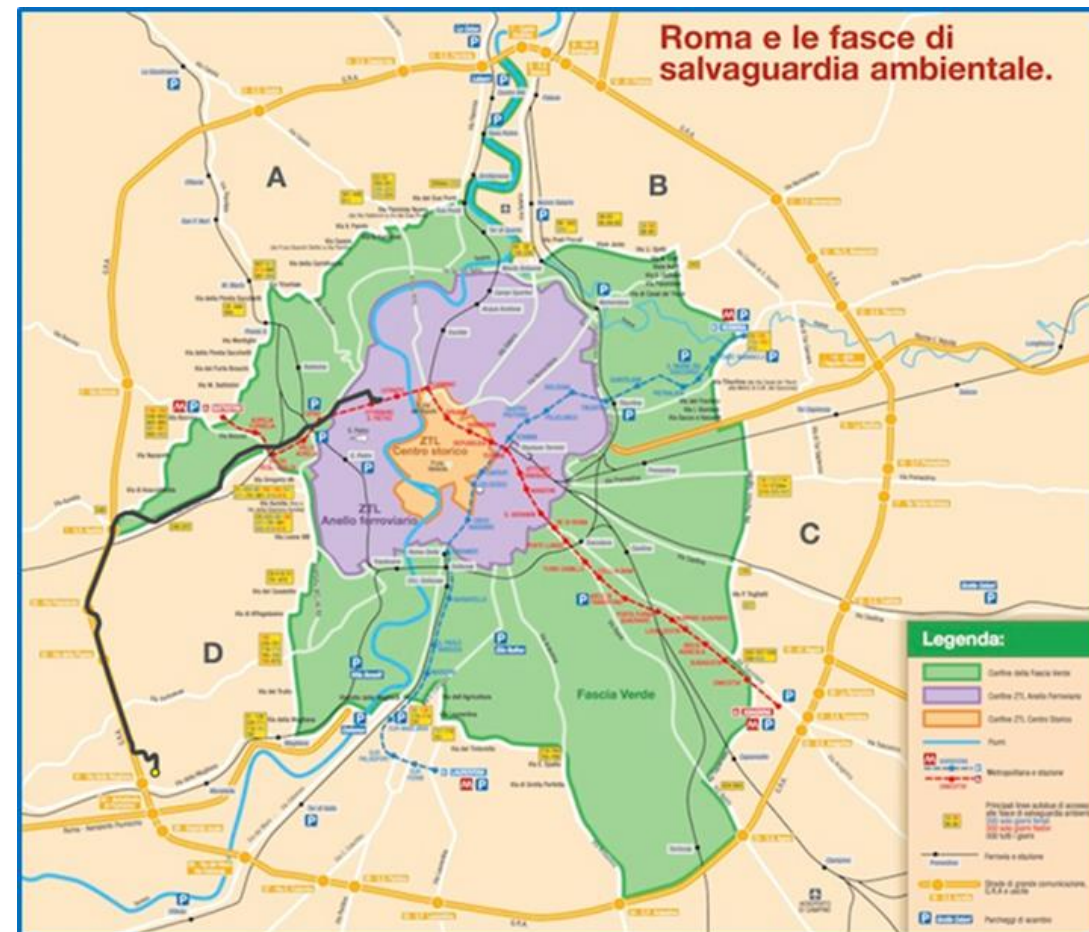
PRIUS IV: Definizione test

- Percorso
- Fasce orarie
 - Fascia Mattutina (10:00-12:00)
 - Fascia Pranzo (13:00-15:00)
 - Fascia Pomeridiana (15:00-17:00)
- Driver
 - 10 Donne – 10 Uomini
 - 5 con età fino a 35 anni
 - 5 con età superiore ai 35 anni
- Numero prove
 - 60 (3 ogni driver)



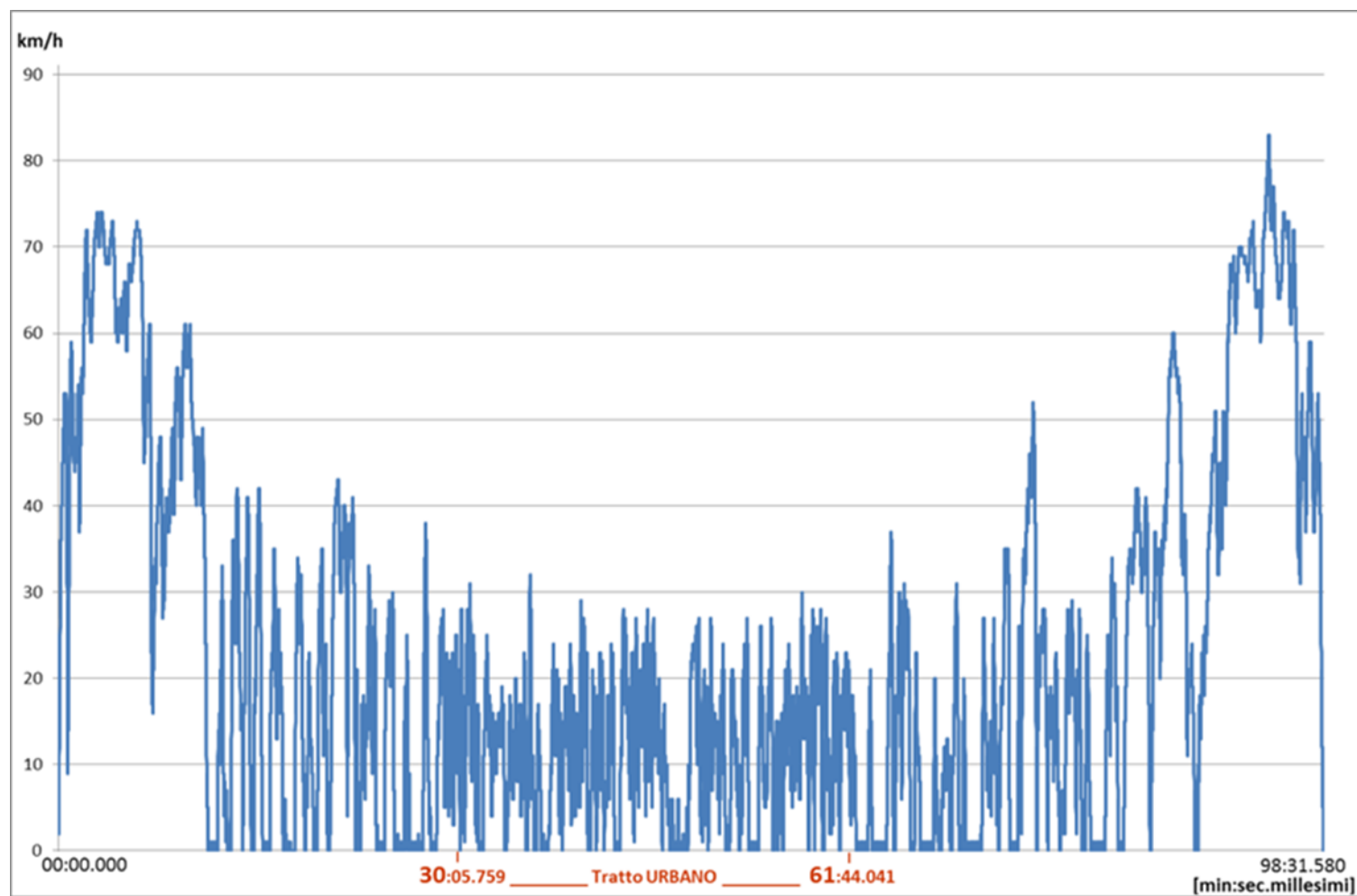
PRIUS IV: Definizione test

- Lunghezza totale: 37 km
 - Urbano ADT: 6 km
 - Urbano BDT - Extra Urbano: 31 km
- Durata media Prova: 1 ore 35 minuti
 - Urbano ADT : 35 minuti
 - Urbano BDT - Extra Urbano: 1 ora
- Velocità media Prova: 23,4 km/h
 - Urbano ADT : 10,3 km/h
 - Urbano BDT - Extra Urbano: 37 km/h



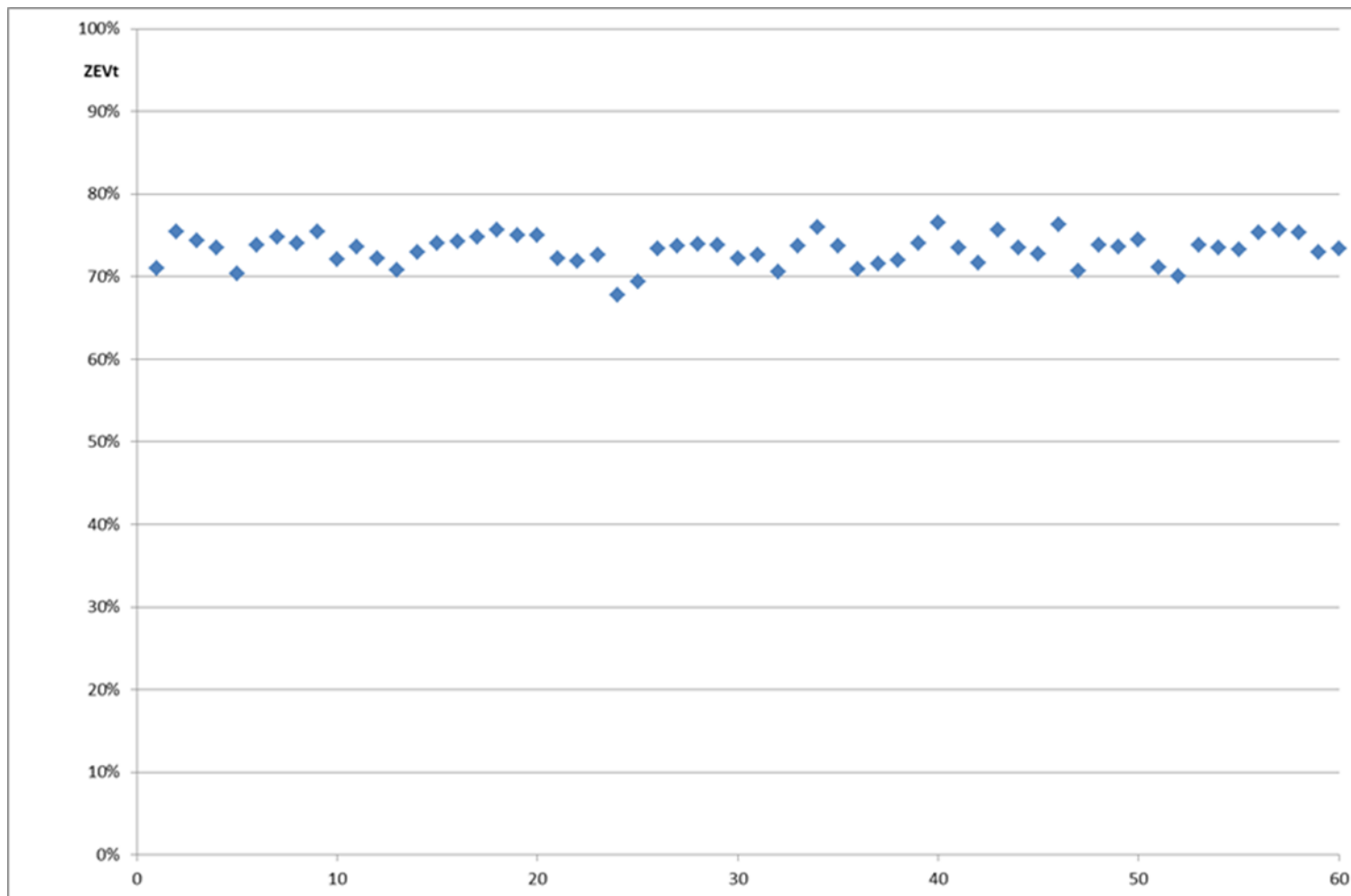


PRIUS IV: cicli di marcia



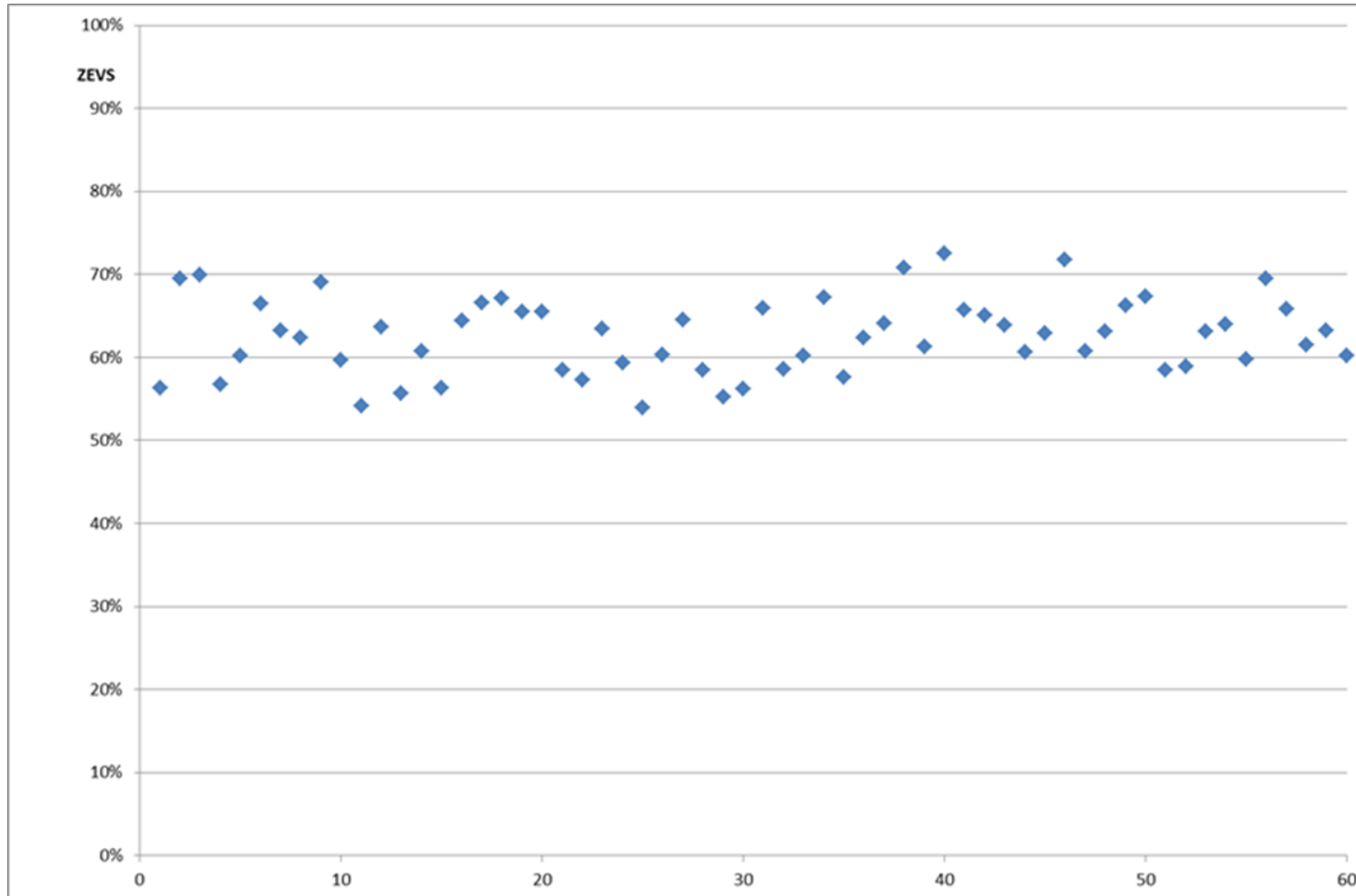


PRIUS IV: risultati funzionamento ZEV - ZEVt



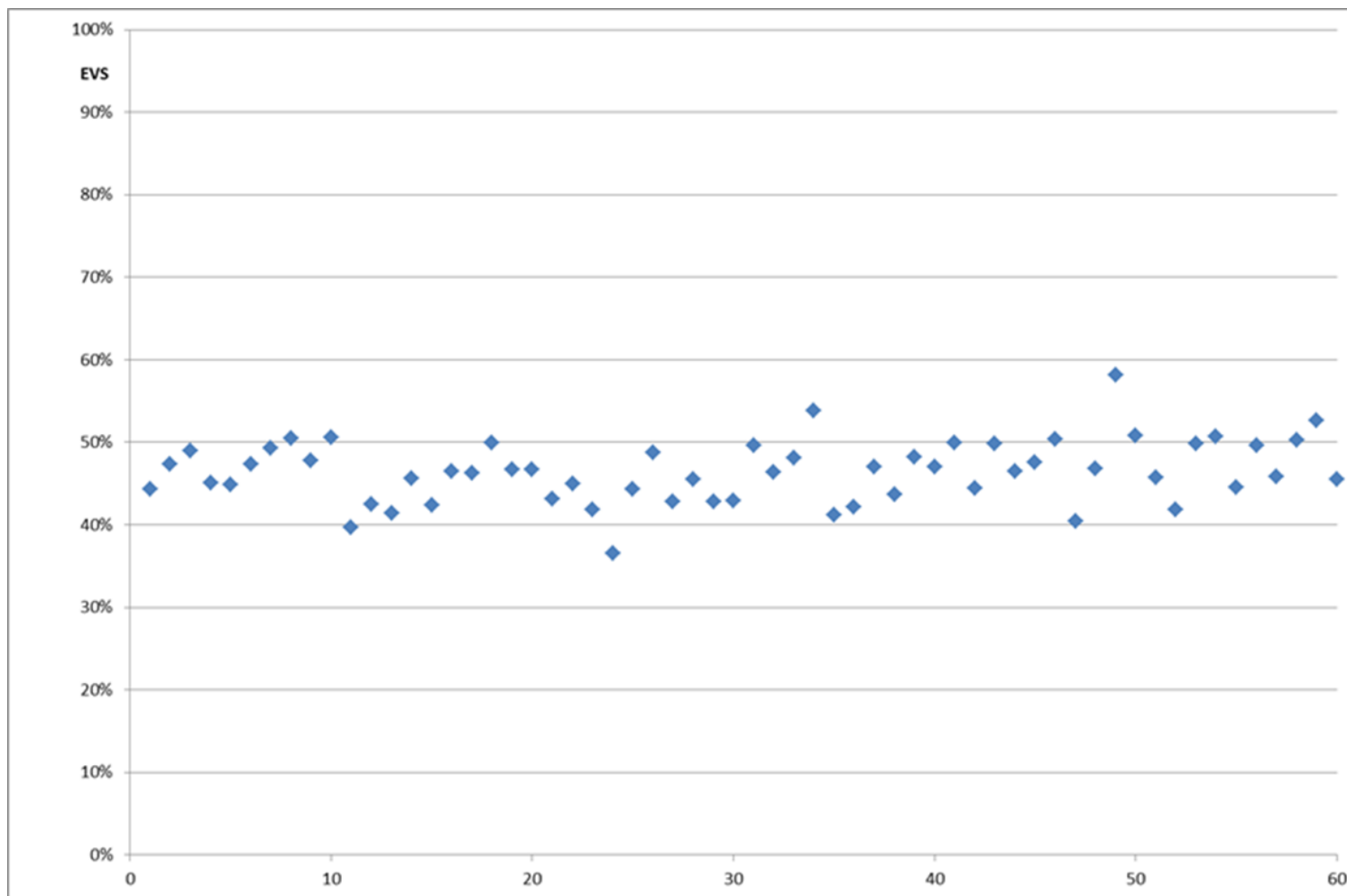


PRIUS IV: risultati funzionamento ZEV - ZEVS



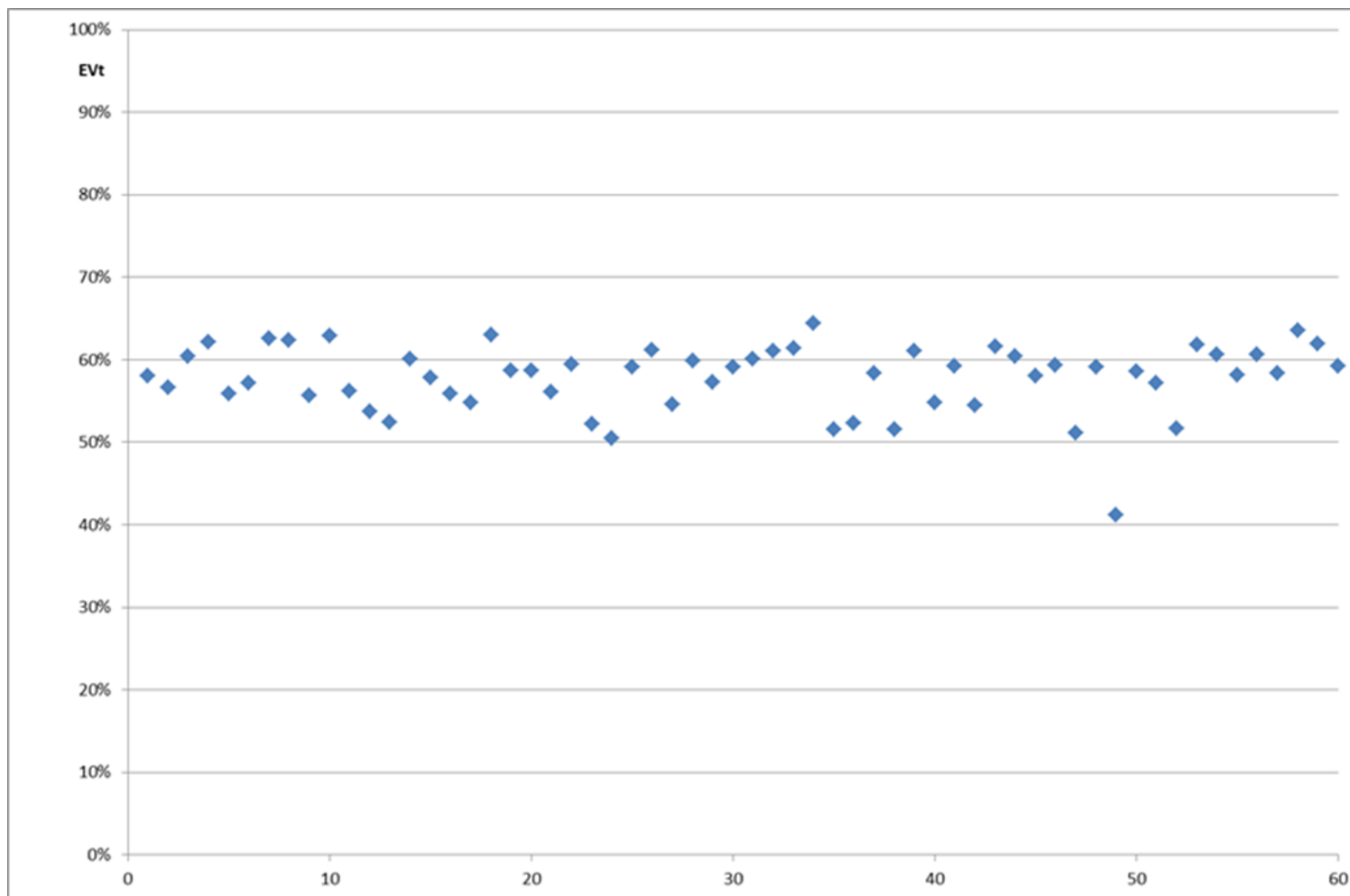


PRIUS IV: risultati funzionamento ZEV - EVt



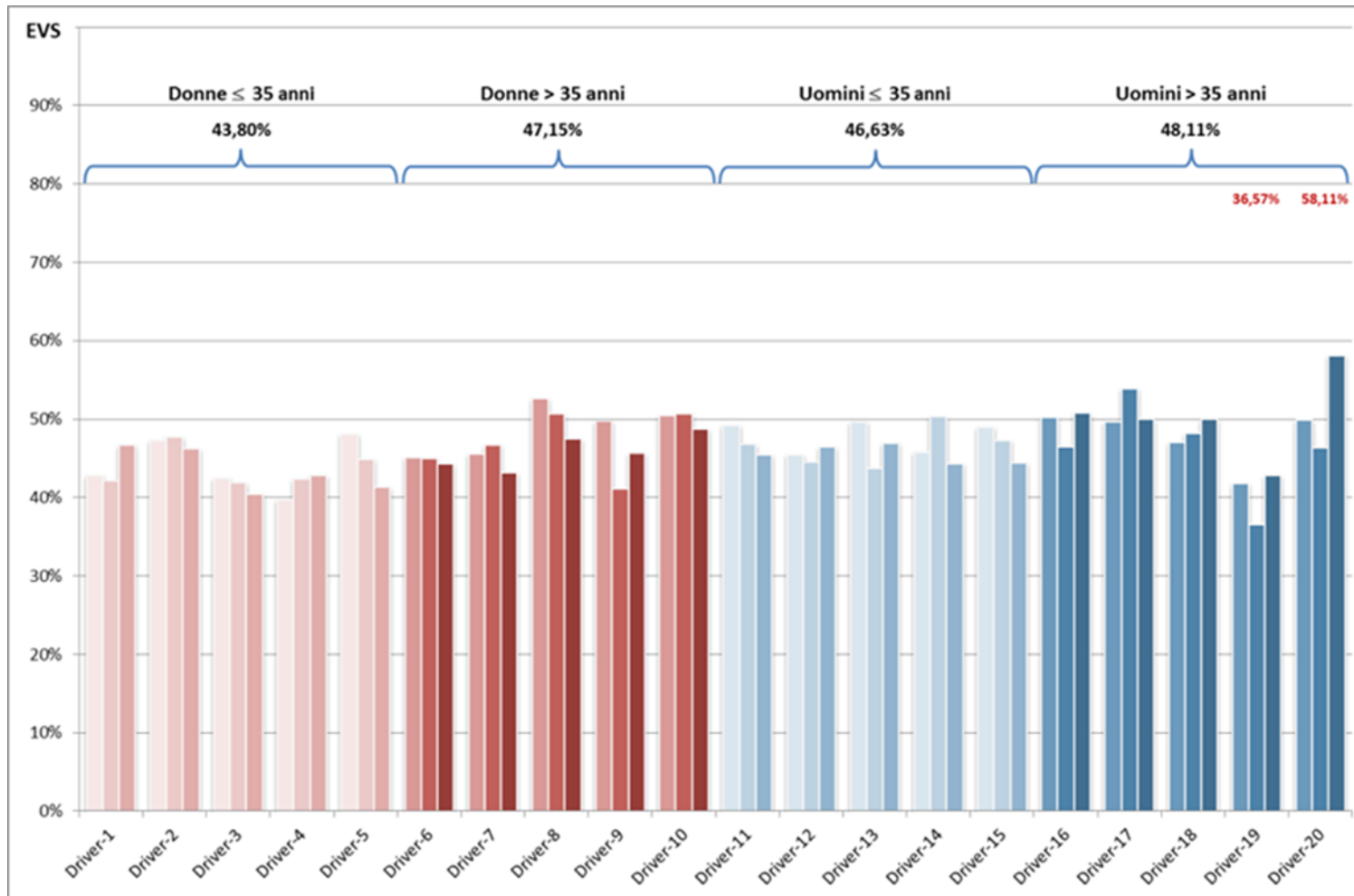


PRIUS IV: risultati funzionamento ZEV - EVS





PRIUS IV: risultati EVS per driver





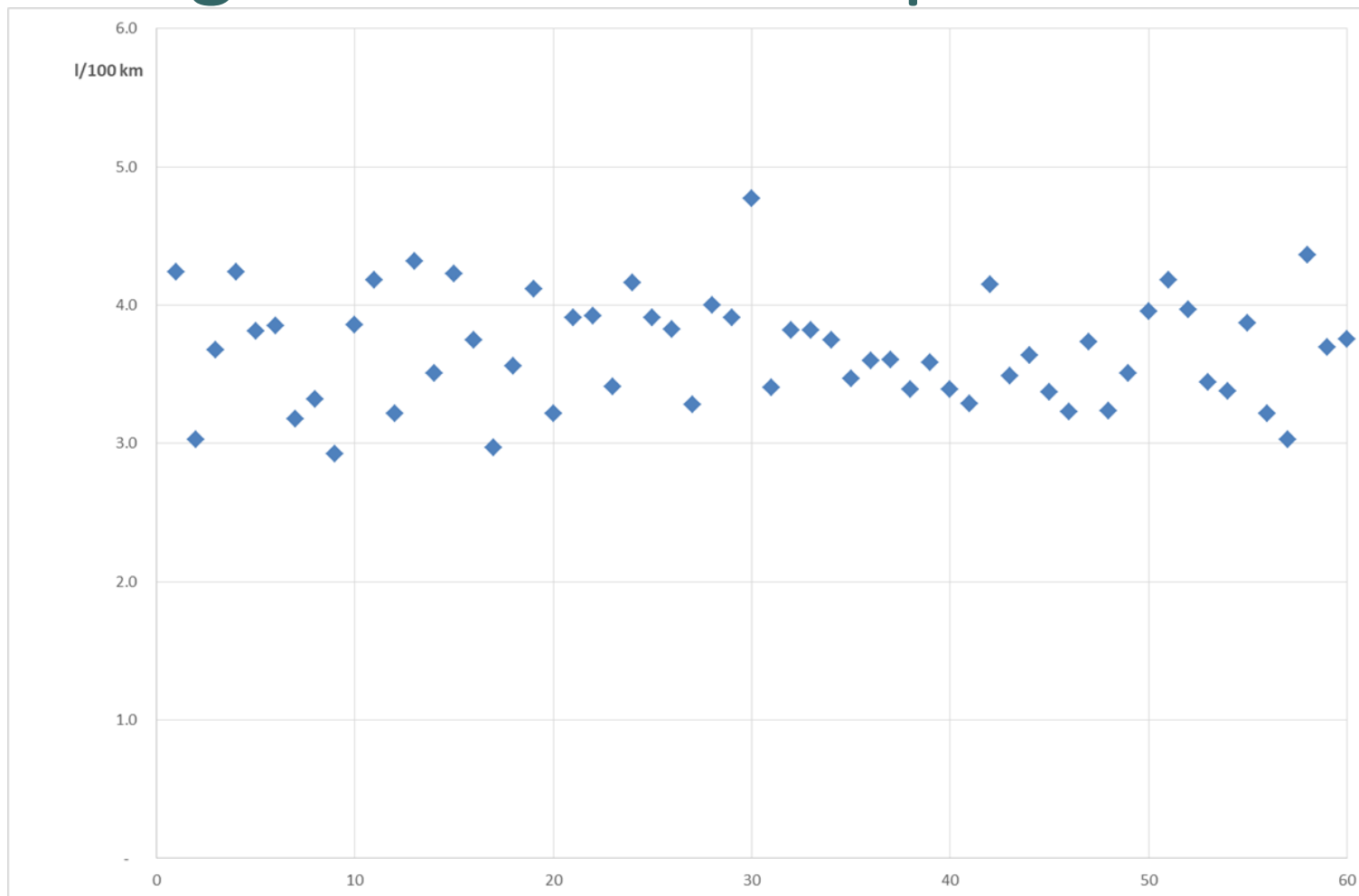
PRIUS IV: risultati

Funzionamento ZEV – valori medi

	PROVA	EXTRA URBANO	URBANO
ZEV - tempo	73,2%	70,1%	79,4%
di cui a veicolo fermo	10,2%	12,5%	6,2%
di cui avanzamento senza potenza erogata	50,9%	48,0%	56,1%
di cui con trazione solo elettrica	38,9%	39,5%	37,8%
ZEV - spazio	62,5%	59,7%	76,3%
di cui avanzamento senza potenza erogata	49,3%	49,2%	49,8%
di cui con trazione solo elettrica	50,7%	50,8%	50,2%
EV - tempo	58,3%	54,5%	67,1%
EVS - spazio	46,4%	43,4%	62,9%

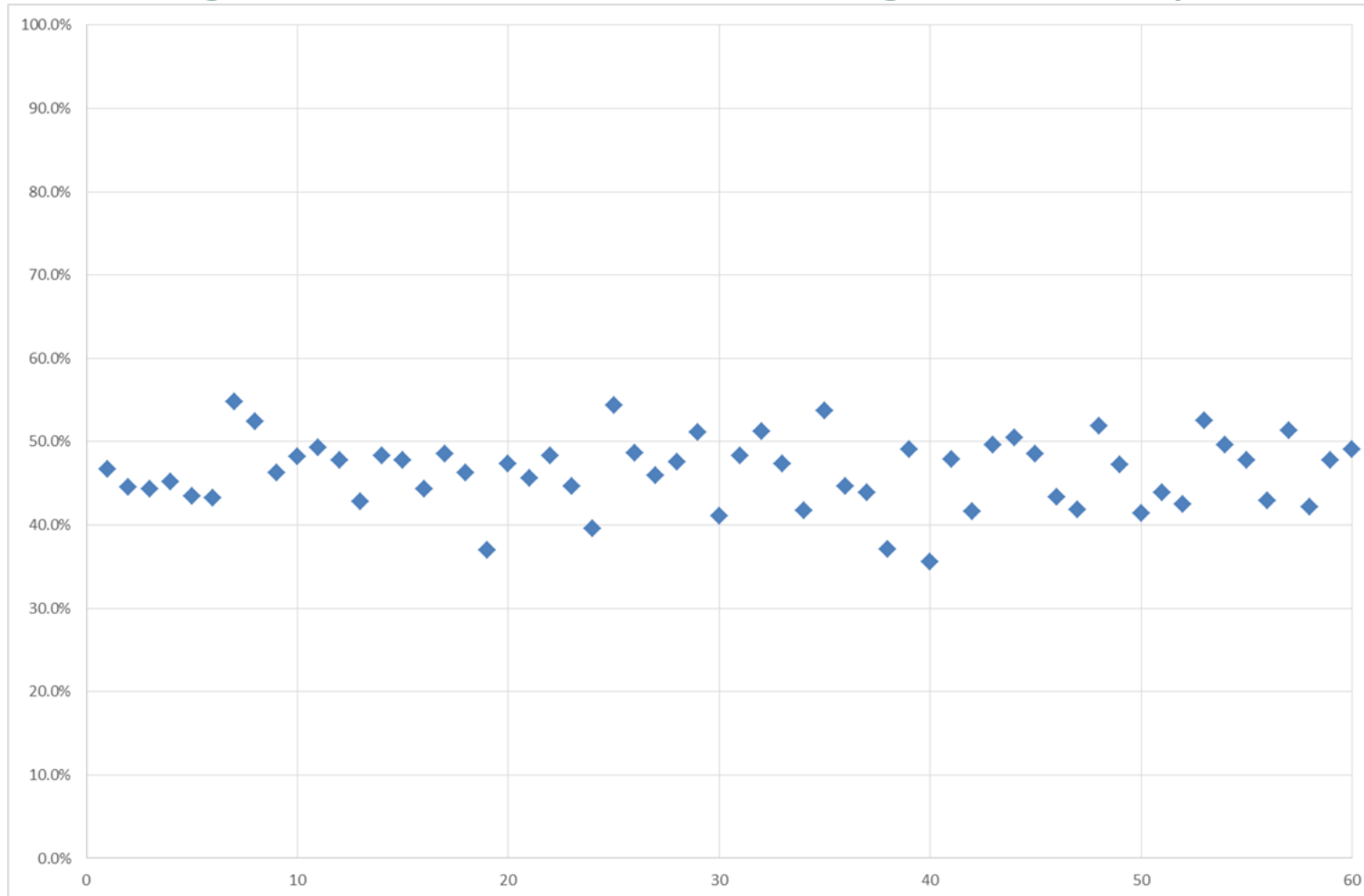


PRIUS IV: risultati analisi energetica - consumi equivalenti



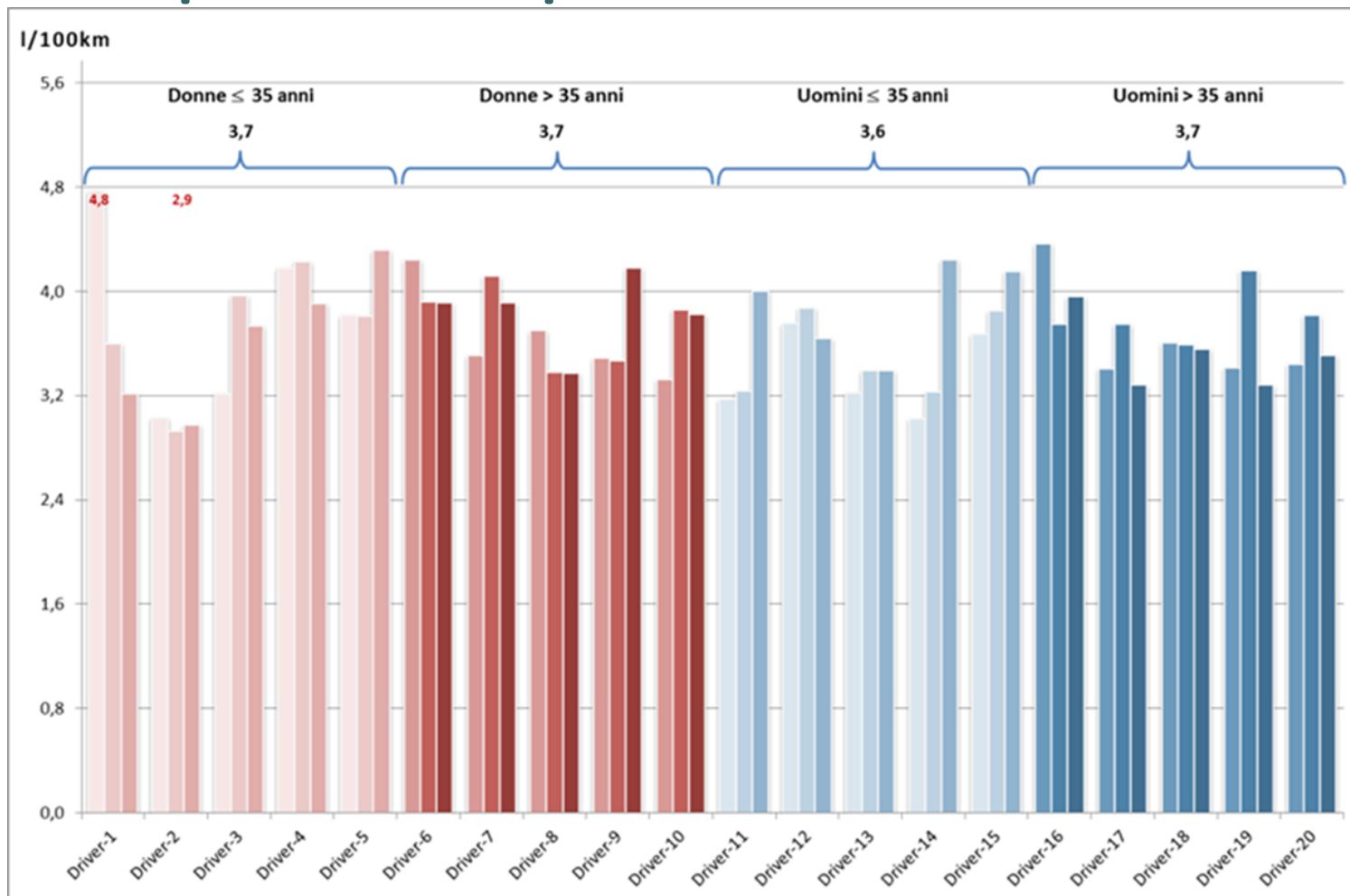


PRIUS IV: risultati analisi energetica - efficienza globale powertrain





PRIUS IV: risultati consumi equivalenti per driver





PRIUS IV: risultati analisi energetica – valori medi

	PROVA	EXTRA URBANO	URBANO
Consumi chilometrici [litri/100 km]	3,8	3,7	4,2
Consumi chilometrici equivalenti [litri/100 km]	3,7	3,5	4,8
Efficienza powertrain	44,3%	49,1%	39,4%



PRIUS IV: risultati

	ZEVt	ZEVS	EVt	EVS	Consumi	Efficienza
Massimo	76,5%	72,5%	64,5%	58,1%	4,8	54,8%
Minimo	67,8%	53,9%	41,2%	36,6%	2,9	35,6%
Media	73,2%	62,5%	58,3%	46,4%	3,7	44,3%
Deviazione standard	0,025	0,072	0,070	0,081	0,106	0,090

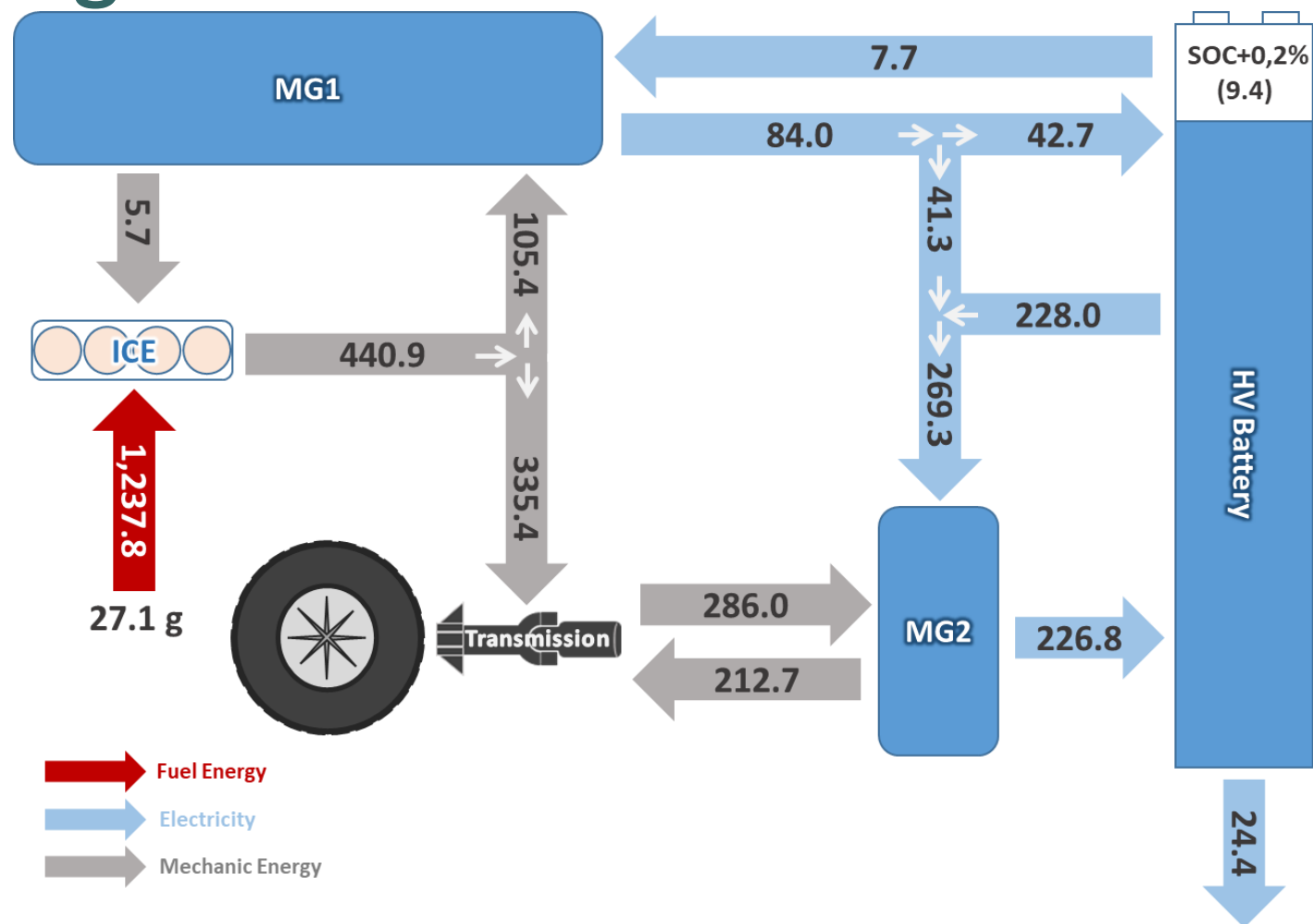


PRIUS IV: risultati driver

	Media	Genere		Età		Guida ibrido	
		Donne	Uomini	Più di 35	Fino a 35	SI	NO
ZEvt	67,6%	68,3%	66,8%	66,7%	68,3%	68,2%	66,6%
ZEVS	40,4%	41,6%	39,4%	39,0%	42,0%	41,0%	39,7%
EVt	40,0%	42,0%	38,9%	39,5%	41,0%	41,8%	38,9%
EVS	27,7%	30,0%	26,4%	39,0%	42,0%	29,1%	26,8%
Consumi	4,6	4,6	4,6	4,7	4,5	4,5	4,7
Efficienza	38,1%	38,4%	38,0%	37,9%	38,5%	38,9%	37,5%

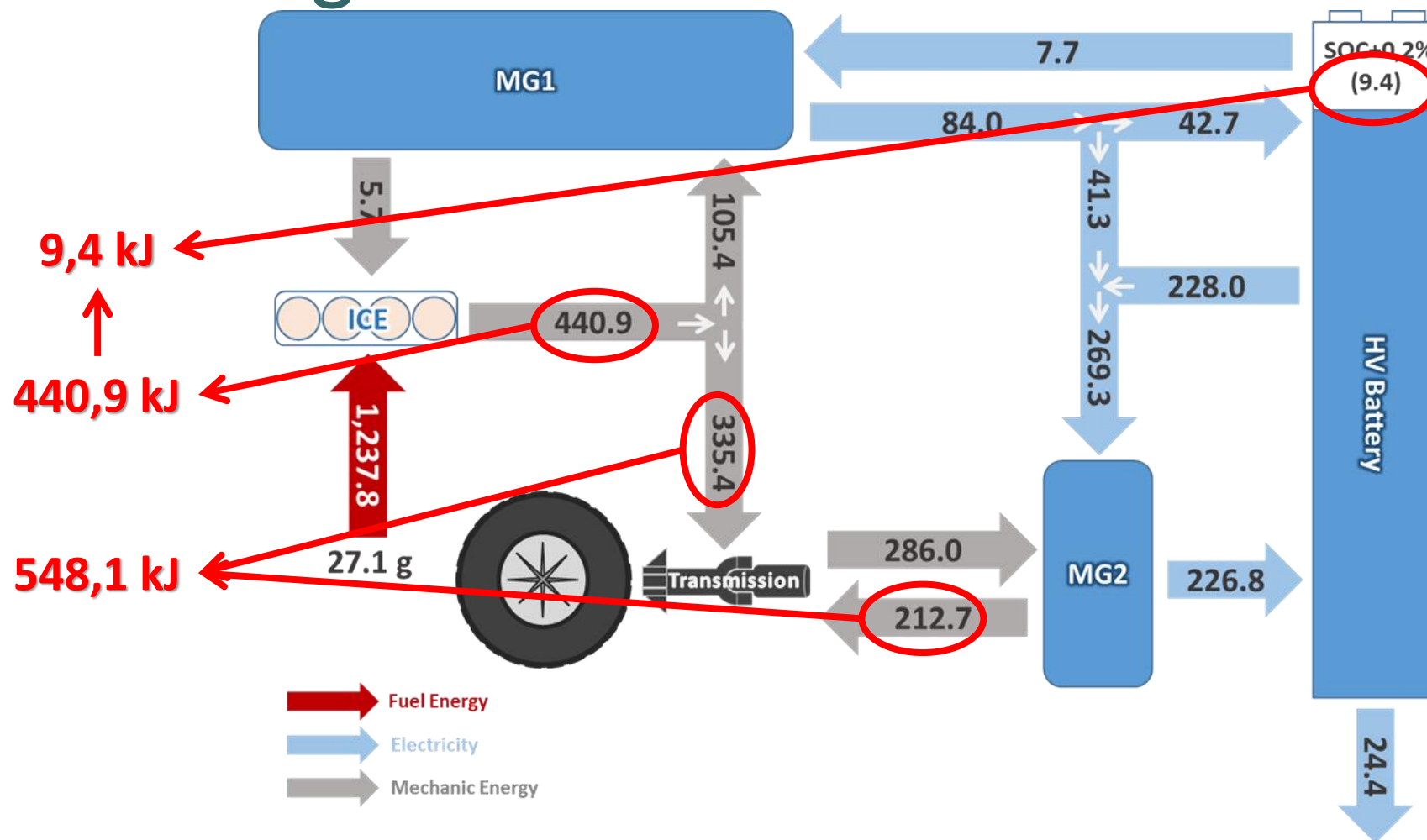


PRIUS IV: risultati flussi di energia



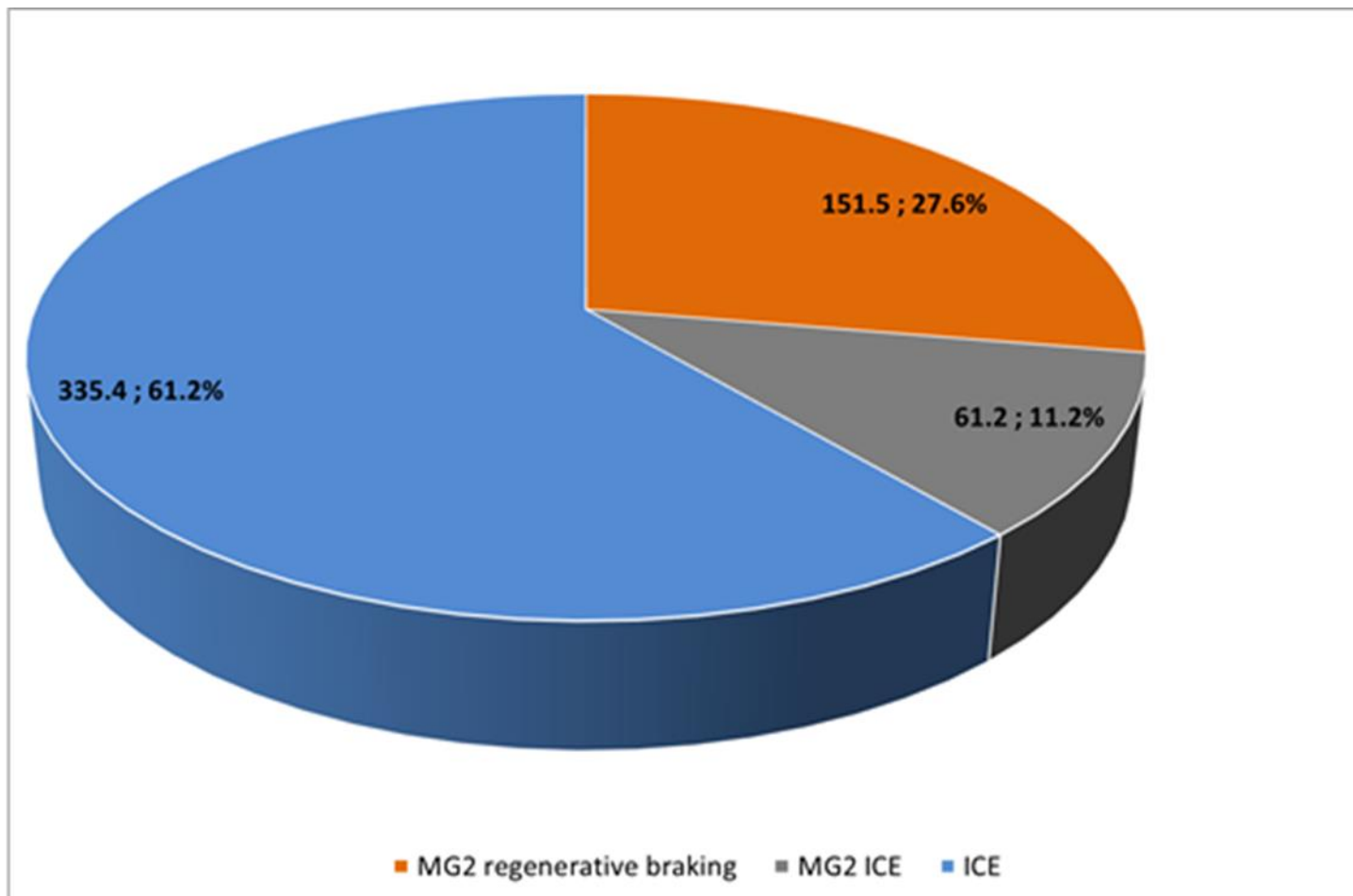


PRIUS IV: risultati flussi di energia





PRIUS IV: risultati flussi di energia





PRIUS IV: risultati analisi dei consumi

$tZEV_{v=0} = 11,6 \text{ s/km}$

$tZEV_{PW=0} = 57,8 \text{ s/km}$

Consumi al minimo: 49,69 mg/s

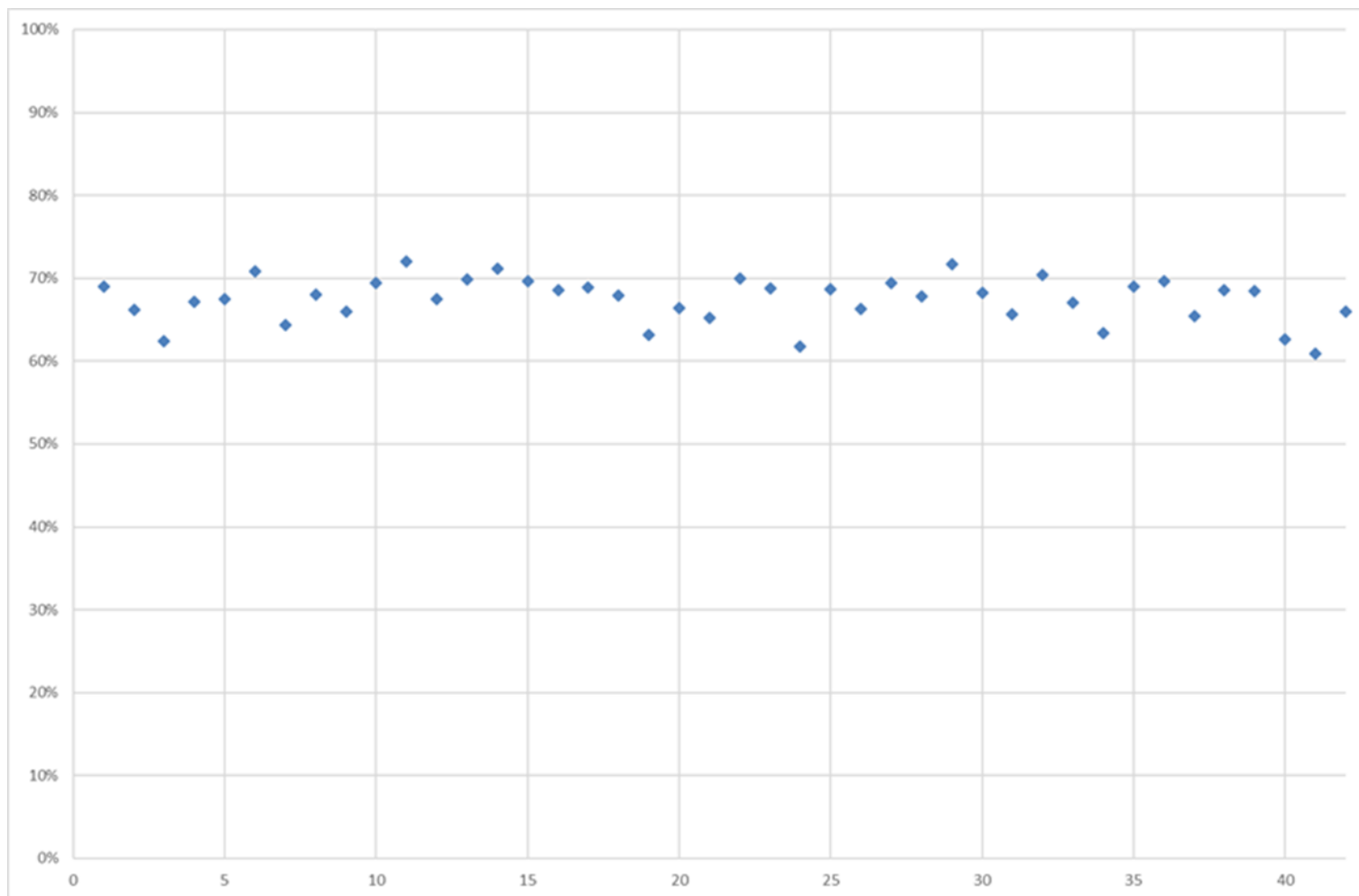
POWERTRAIN	Erogazione di potenza		Funzionamento «al minimo»		CONSUMI TOTALI
	Energia erogata [kJ/km]	Consumo [g/km]	Consumi veicolo fermo [g/km]	Consumi veicolo in marcia [g/km]	
Full hybrid	439,0	27,0	0,0	0,0	27,0
Conventional	548,1	33,7	0,6	2,9	37,1

Consumi ibrido: - 38%

Stessa efficienza MCI Conventional (Ciclo Otto) e MCI Full Hybrid (Ciclo Atkinson, oltre 35% misurato)

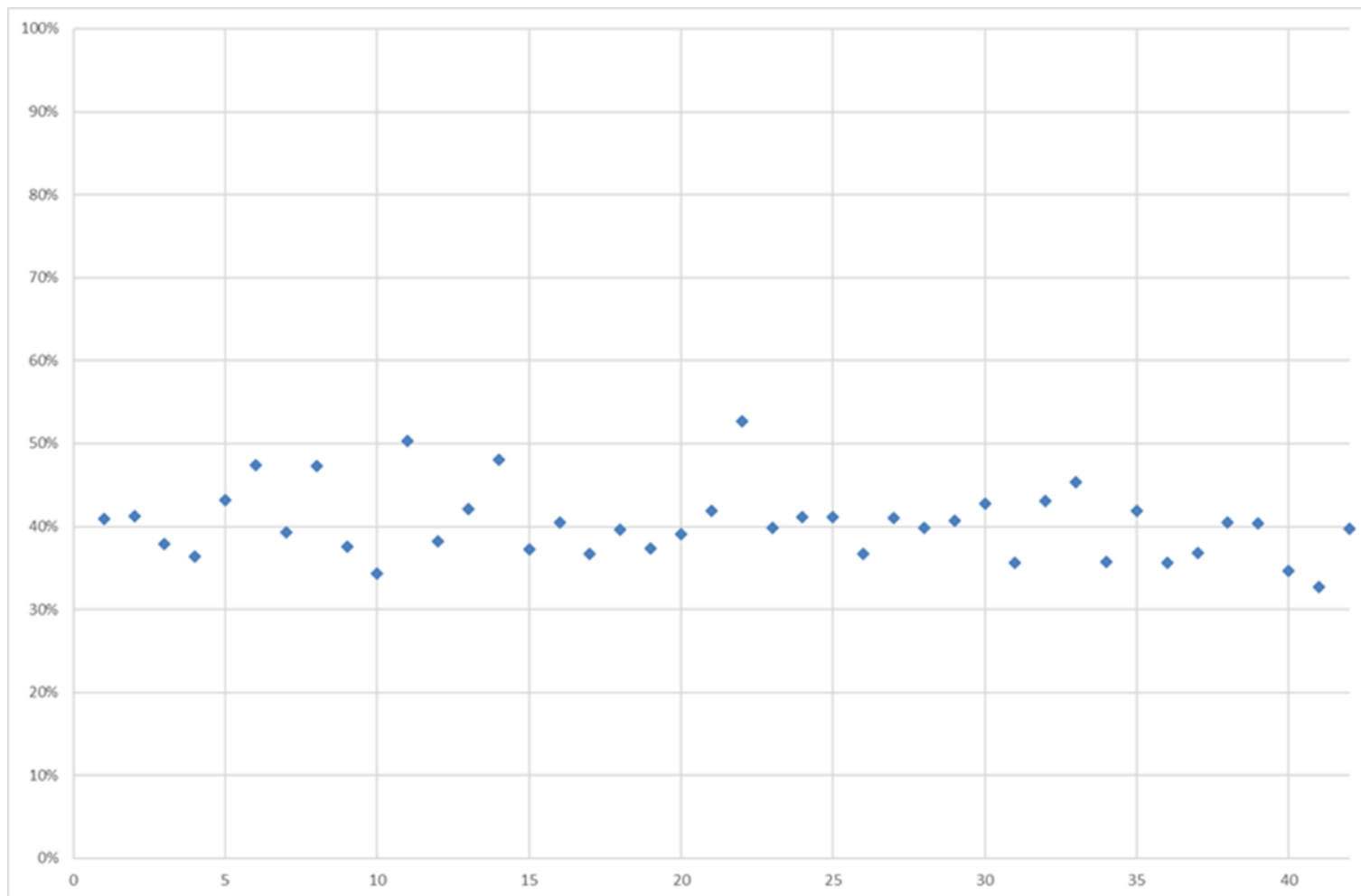


YARIS HB 2017: risultati ZEVt





YARIS HB 2017: risultati ZEVS





YARIS YB 2017: risultati funzionamento ZEV – valori medi

	PROVA	EXTRA URBANO	URBANO
ZEV - tempo	67,6%	63,4%	75,4%
di cui a veicolo fermo	22,8%	27,6%	15,2%
di cui avanzamento senza potenza erogata	49,4%	43,1%	59,5%
di cui con trazione solo elettrica	27,8%	29,3%	25,3%
ZEV - spazio	40,4%	35,2%	65,4%
di cui avanzamento senza potenza erogata	45,6%	42,6%	53,4%
di cui con trazione solo elettrica	54,4%	57,4%	46,6%
EV - tempo	40,0%	36,2%	49,8%
EVS - spazio	27,7%	24,3%	49,9%



YARIS HB 2017: risultati

	ZEVt	ZEVS	EVt	EVS	Consumi	Efficienza
Massimo	72,0%	52,7%	46,3%	36,1%	5,7	41,1%
Minimo	60,9%	32,7%	32,7%	16,1%	3,7	31,3%
Media	67,6%	40,4%	40,0%	27,7%	4,6	37,0%
Deviazione standard	0,040	0,105	0,083	0,135	0,093	0,049

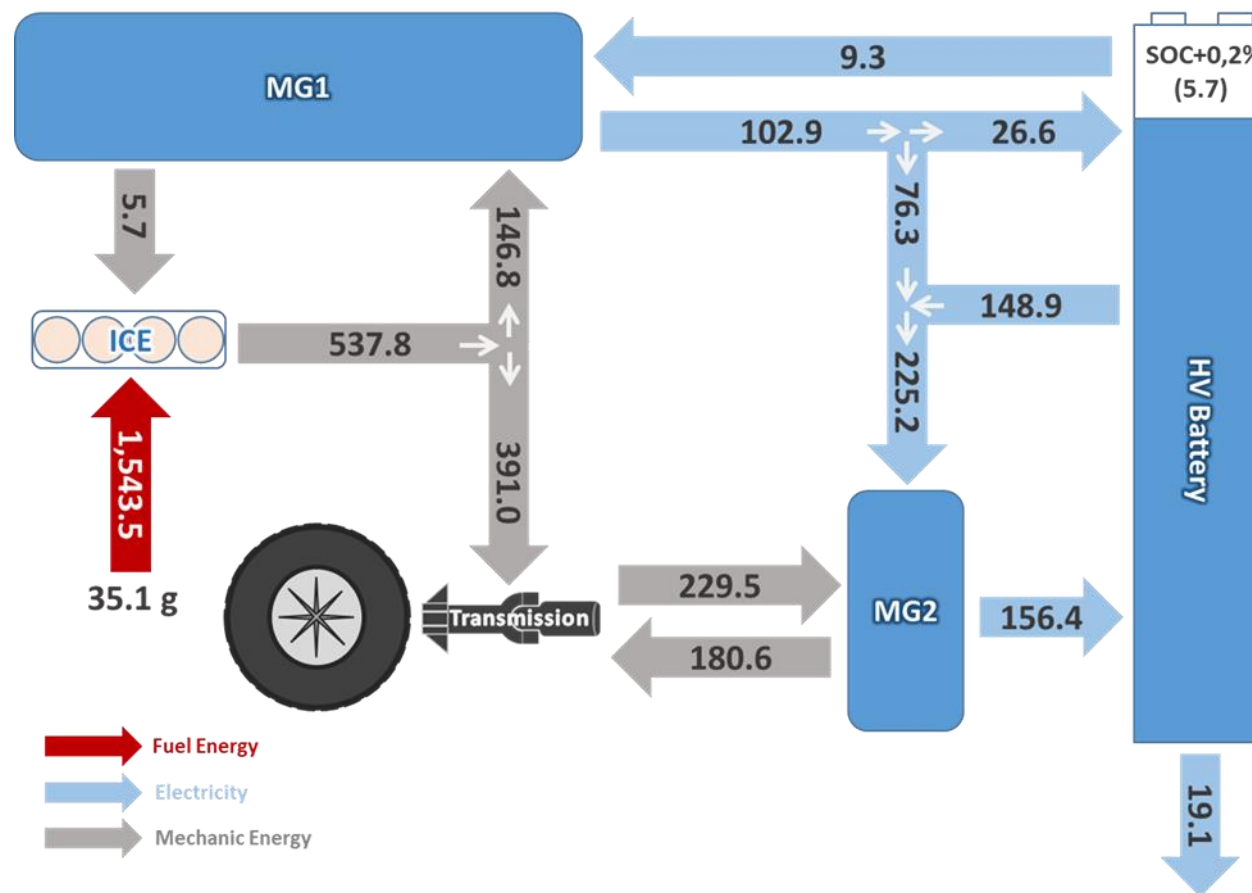


YARIS HB 2017: risultati analisi energetica – valori medi

	PROVA	EXTRA URBANO	URBANO
Consumi chilometrici [litri/100 km]	4,7	4,2	5,0
Consumi chilometrici equivalenti [litri/100 km]	4,6	4,3	4,7
Efficienza powertrain	37,0%	41,0%	32,9%

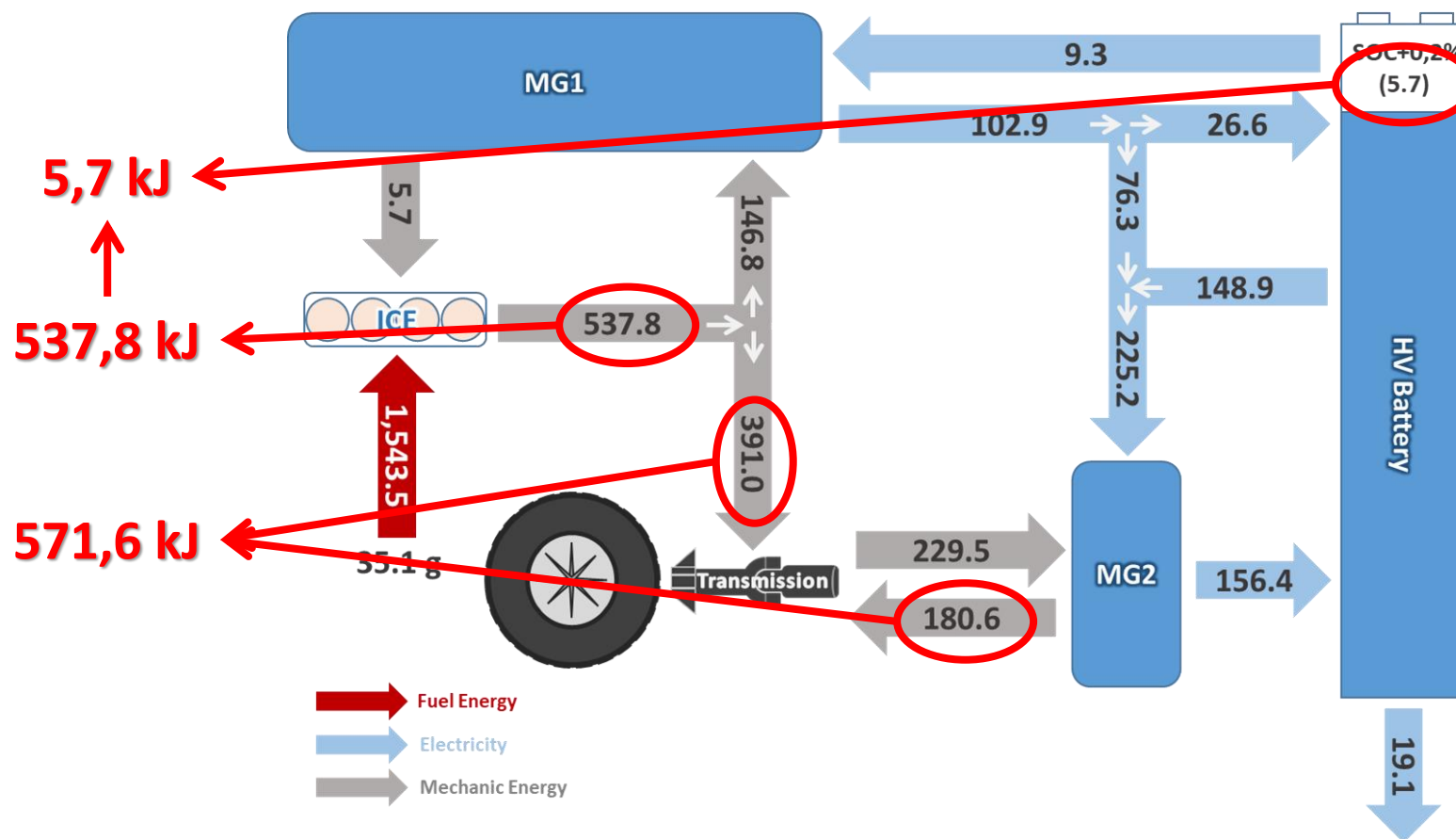


YARIS HB 2017: risultati flussi di energia



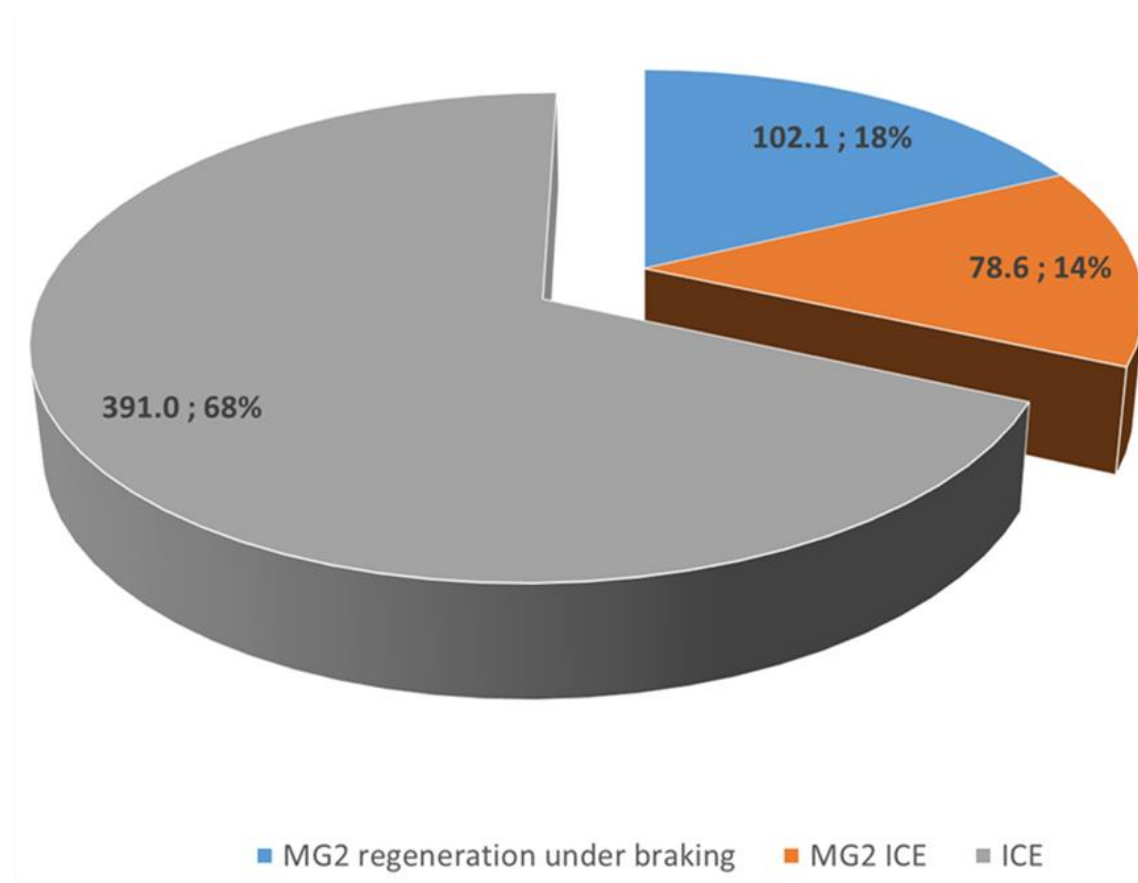


YARIS HB 2017: risultati flussi di energia





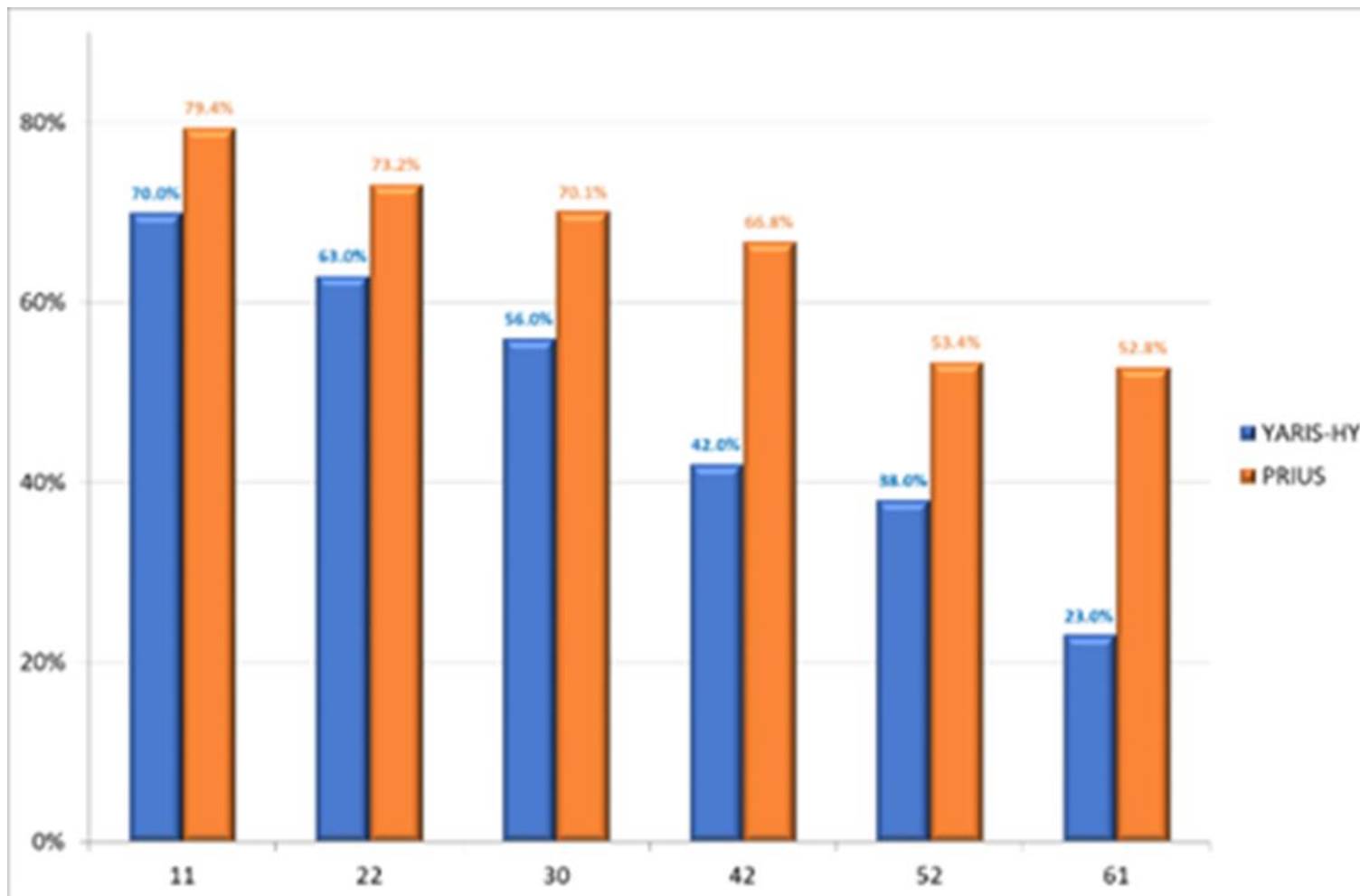
YARIS HB 2017: risultati flussi di energia





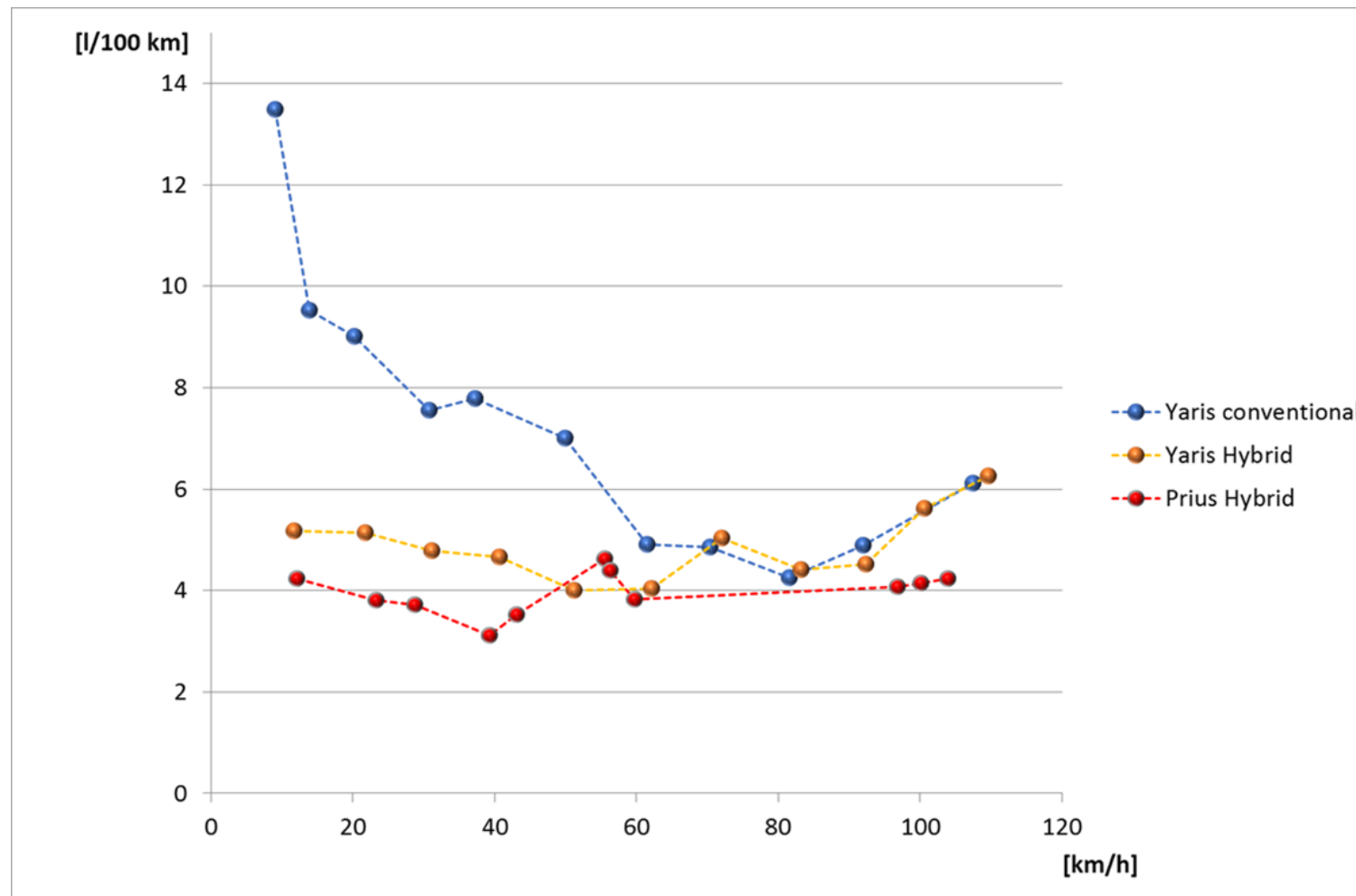
Funzionamento ZEV

PRIUS IV vs YARIS HB 2017





Analisi energetica PRIUS IV vs YARIS HB 2017





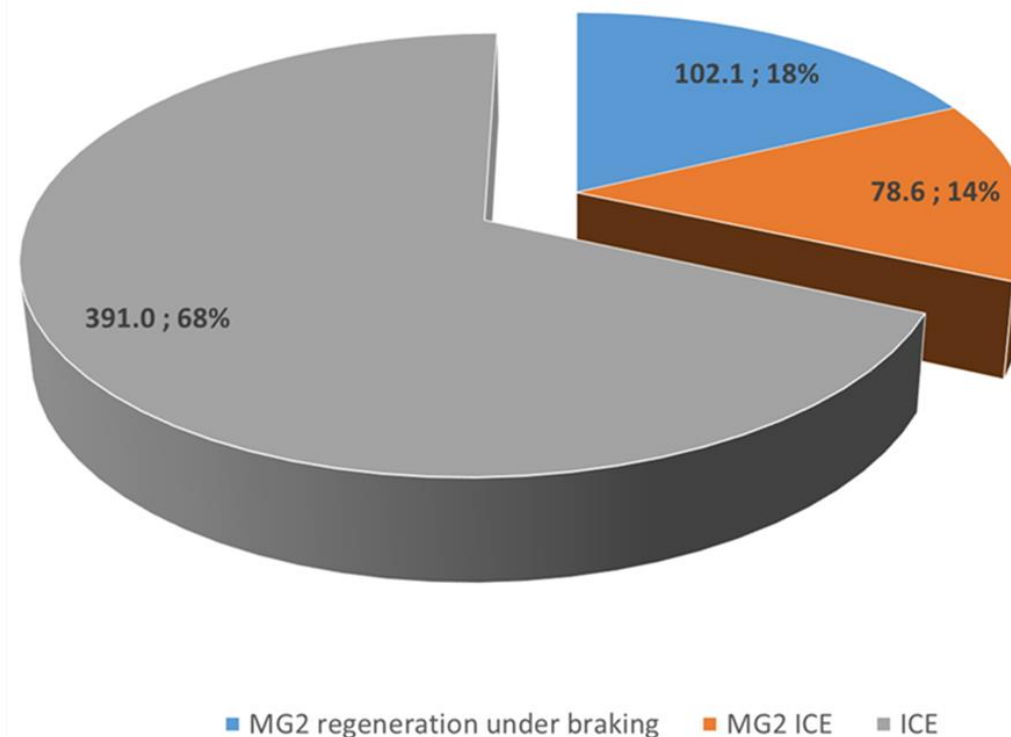
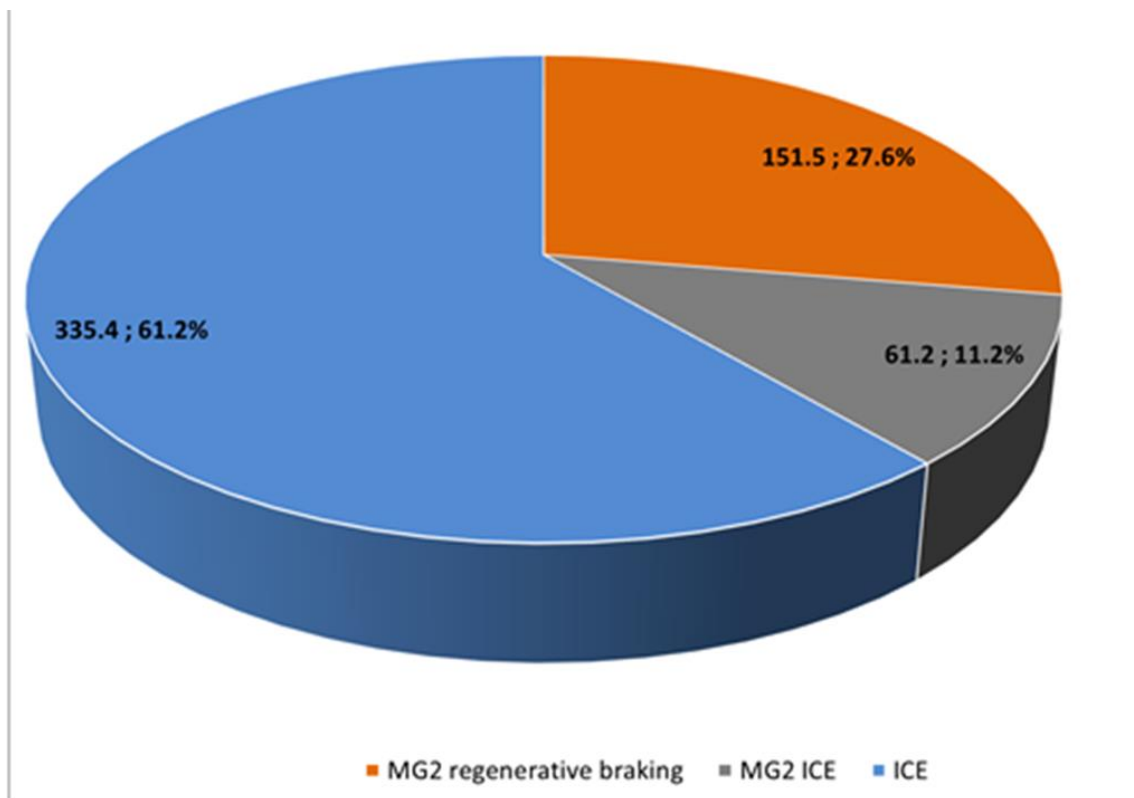
Analisi energetica PRIUS IV vs YARIS HB 2017

	PRIUS IV	HYARIS HB 2017
Consumi medi [g/km]	35,1	27,1
Fabbisogno [kJ/km]	571,6	548,1
Efficienza media MCI	35,5%	34,8%
Efficienza media powertrain	44,3%	37,0%

8 g/km

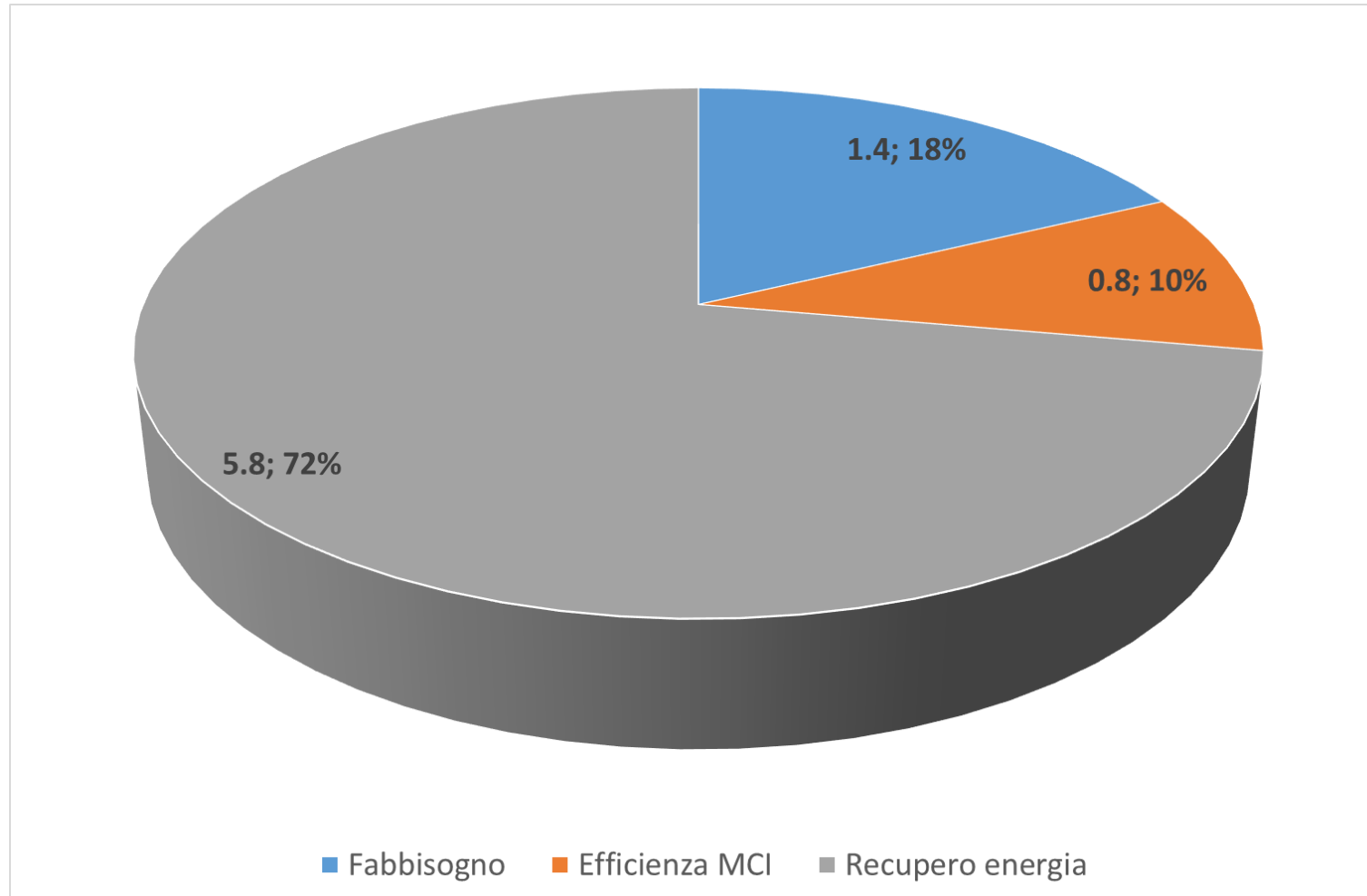


Analisi energetica PRIUS IV vs YARIS HB 2017





Analisi energetica PRIUS IV vs YARIS HB 2017





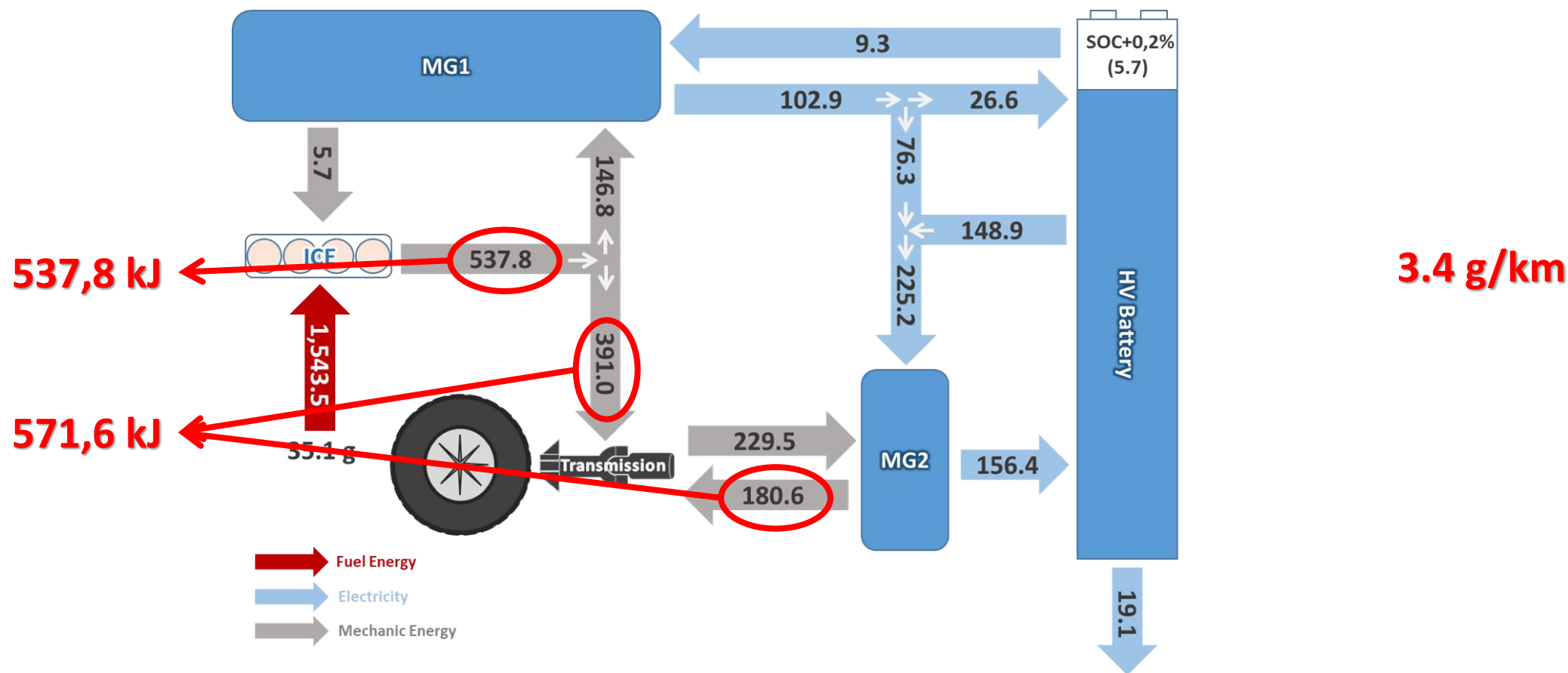
Analisi energetica YARIS HB 2017 - YARIS

	HYBRID	CONVENTIONAL
Consumi medi [g/km]	35,1	57,9
Efficienza media MCI	34,8%	22,4%

22,8 g/km

Analisi energetica

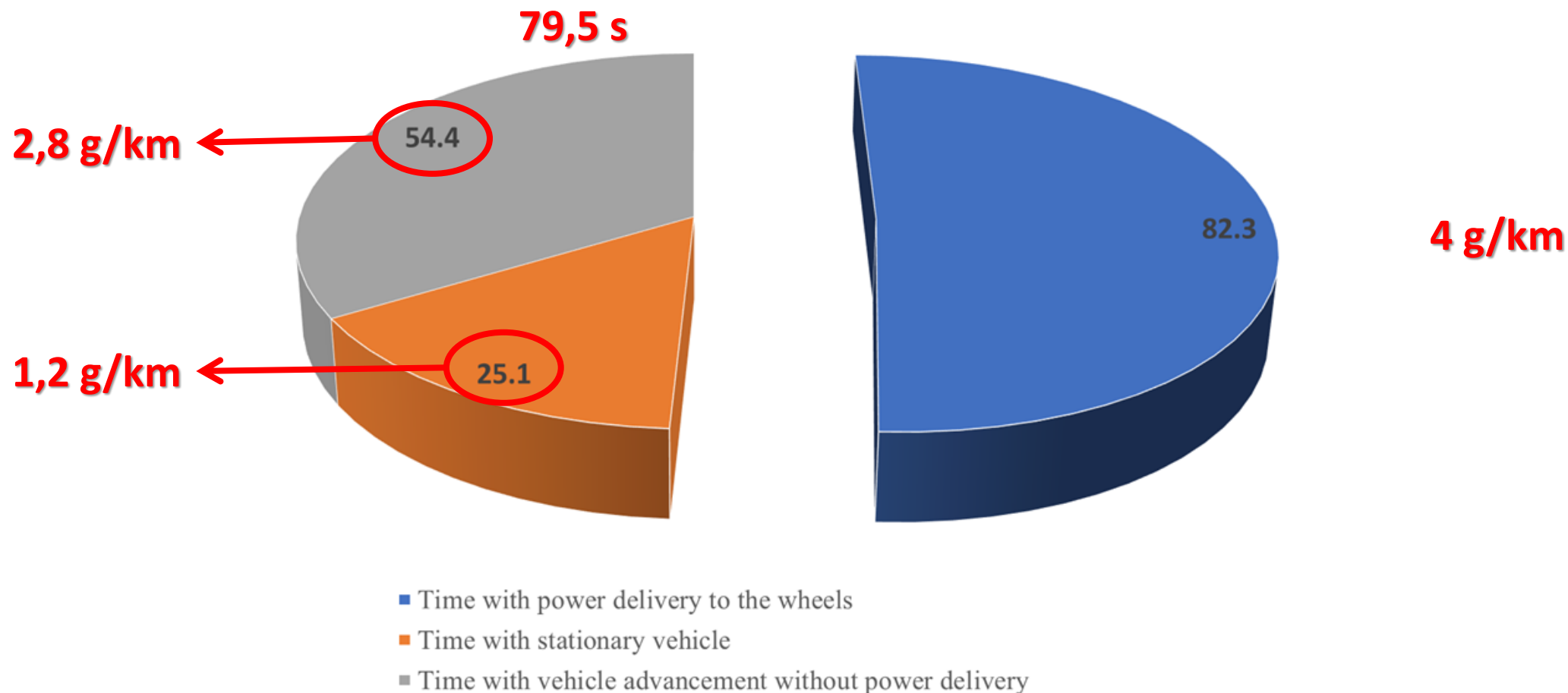
YARIS HB 2017 – YARIS: recupero energia





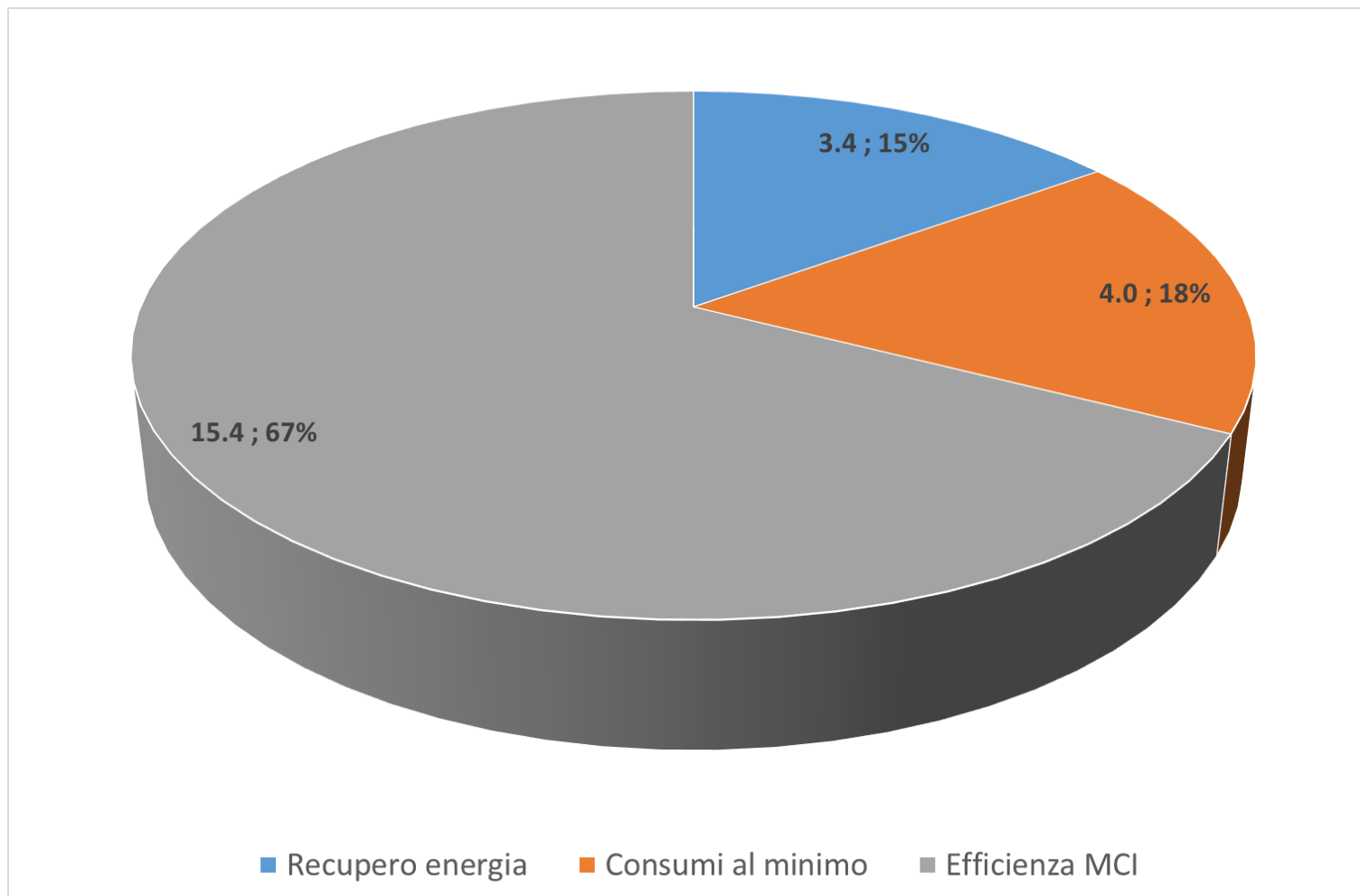
Analisi energetica

YARIS HB 2017 – YARIS: consumi al minimo





Analisi energetica YARIS HB 2017 - YARIS





NG YARIS YB luglio 2020: risultati funzionamento ZEV – valori medi

	URBANO	EXTRA URBANO	PROVA
ZEV - tempo	82.6%	75.7%	78.0%
di cui a veicolo fermo	15.5%	19.5%	18.1%
di cui avanzamento senza potenza erogata	32.6%	33.2%	33.0%
di cui con trazione solo elettrica	51.9%	47.3%	48.9%
ZEV - spazio	76.1%	64.5%	66.3%
di cui avanzamento senza potenza erogata	42.9%	40.7%	41.1%
di cui con trazione solo elettrica	57.1%	59.3%	58.9%

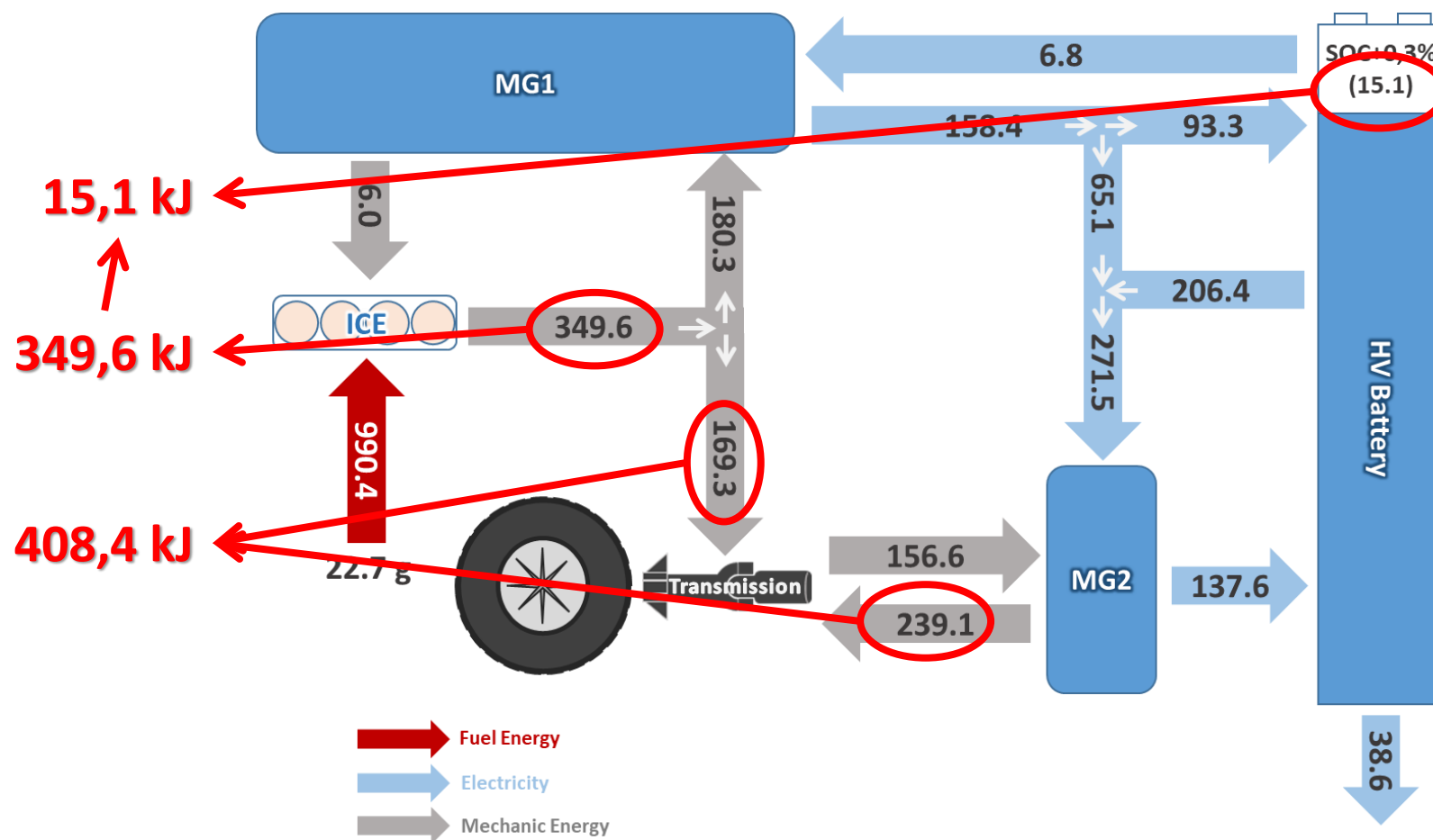


NG YARIS YB luglio 2020: risultati analisi energetica – valori medi

	URBANO	EXTRA URBANO	PROVA
Consumi chilometrici [litri/100 km]	3.81	2.93	3.07
Consumi chilometrici equivalenti [litri/100 km]	3.79	2.90	3.04
Efficienza powertrain	34.0%	43.3%	41.2%



NG YARIS: risultati flussi di energia





NG YARIS vs YARIS 2017 funzionamento ZEV

	NG YARIS	YARIS 2017	VARIAZIONE
ZEV - tempo	78.0%	67,6%	15.4%
di cui a veicolo fermo	18.1%	22,8%	-20.6%
di cui avanzamento senza potenza erogata	33.0%	49,4%	-33.2%
di cui con trazione solo elettrica	48.9%	27,8%	75.9%
ZEV - spazio	66.3%	40,4%	64.1%
di cui avanzamento senza potenza erogata	41.1%	45,6%	-9.9%
di cui con trazione solo elettrica	58.9%	54,4%	8.3%



NG YARIS vs YARIS 2017

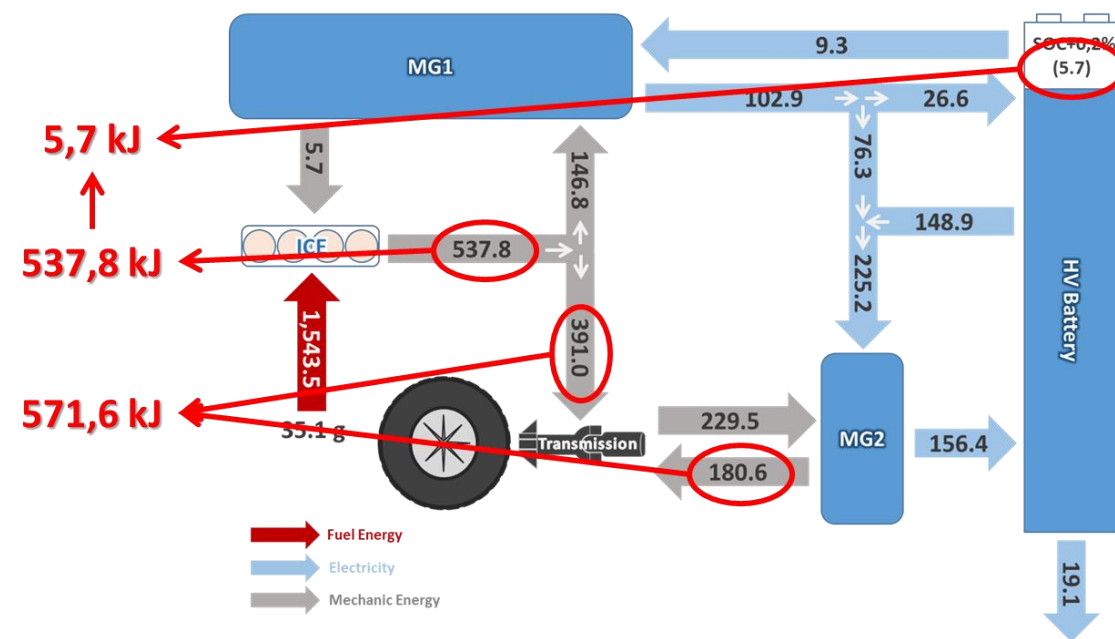
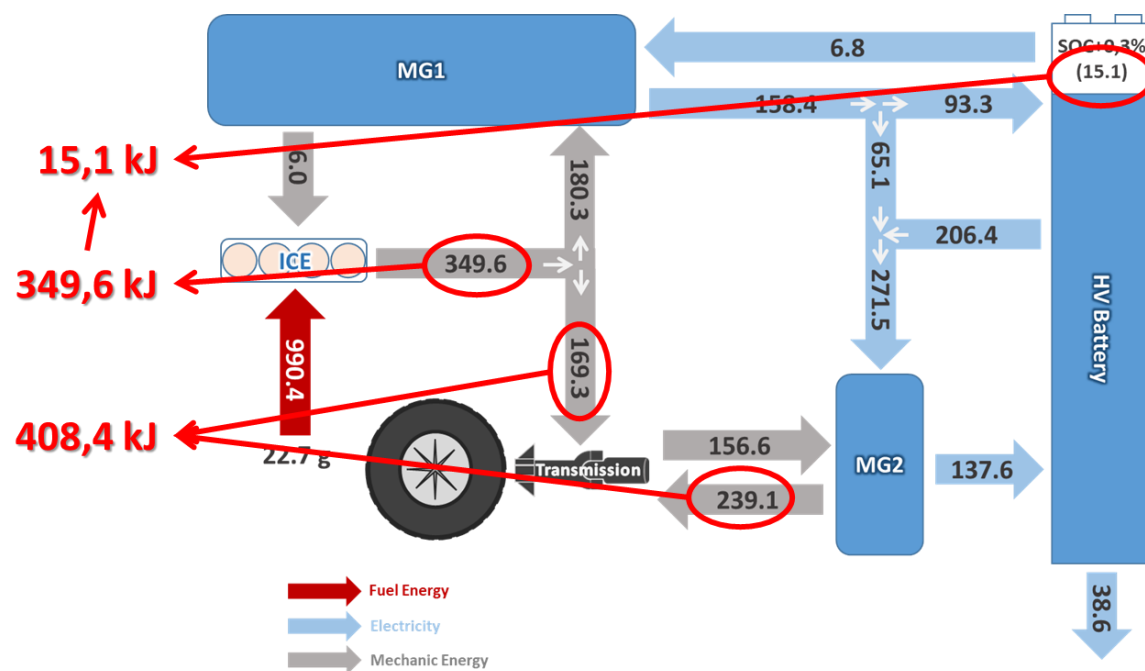
analisi energetica

	NG YARIS	YARIS 2017	VARIAZIONE
Consumi chilometrici [litri/100 km]	3.1	4,7	-34.0%
Consumi chilometrici equivalenti [litri/100 km]	3.0	4,6	-34.8%
Efficienza powertrain	41.2%	37,0%	11.4%



NG YARIS vs YARIS 2017

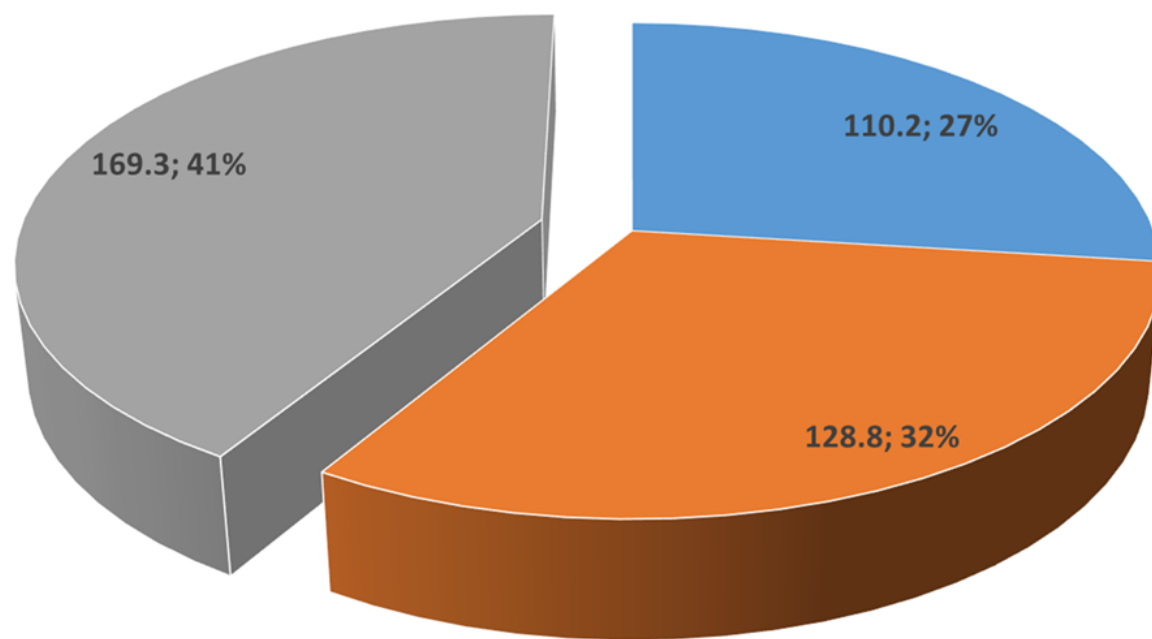
flussi di energia





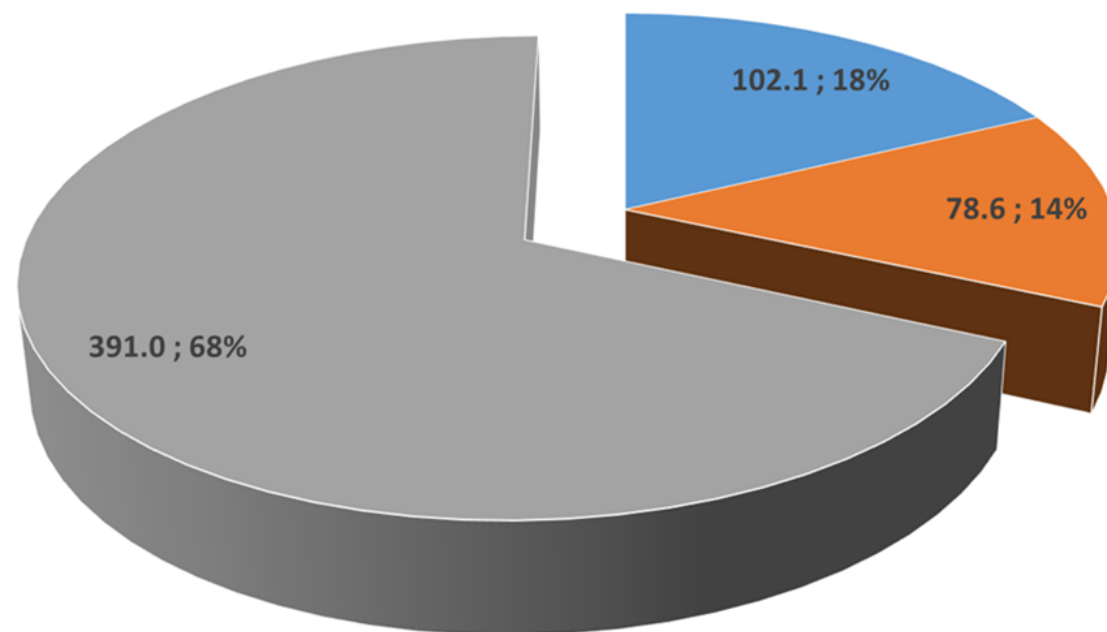
NG YARIS vs YARIS 2017 flussi di energia

Yaris 2020



■ MG2 regeneration under braking ■ MG2 ICE ■ ICE

Yaris 2017



■ MG2 regeneration under braking ■ MG2 ICE ■ ICE



Riallineamento dei dati in diverse condizioni di prova

- Prove Yaris 2017
- Prove NG Yaris 2020

	NG Yaris 2020	NG Yaris allineati al 2017	
ZEvt	78 %	78,9 % ($\pm 0,6\%$)	78,4% ÷ 79,4%
Consumi [litri/100 km]	3,07	3,07 ($\pm 1,2\%$)	3,03 ÷ 3,11



Riduzione campione: errore Prove Yaris ottobre 2020

	Acquisito	Deviazione per affidabilità 100%
ZEVt	77 %	$\pm 0,6 \%$
Consumi [litri/100 km]	3,17	$\pm 5 \%$

PRIUS IV – AURIS Diesel: Definizione test

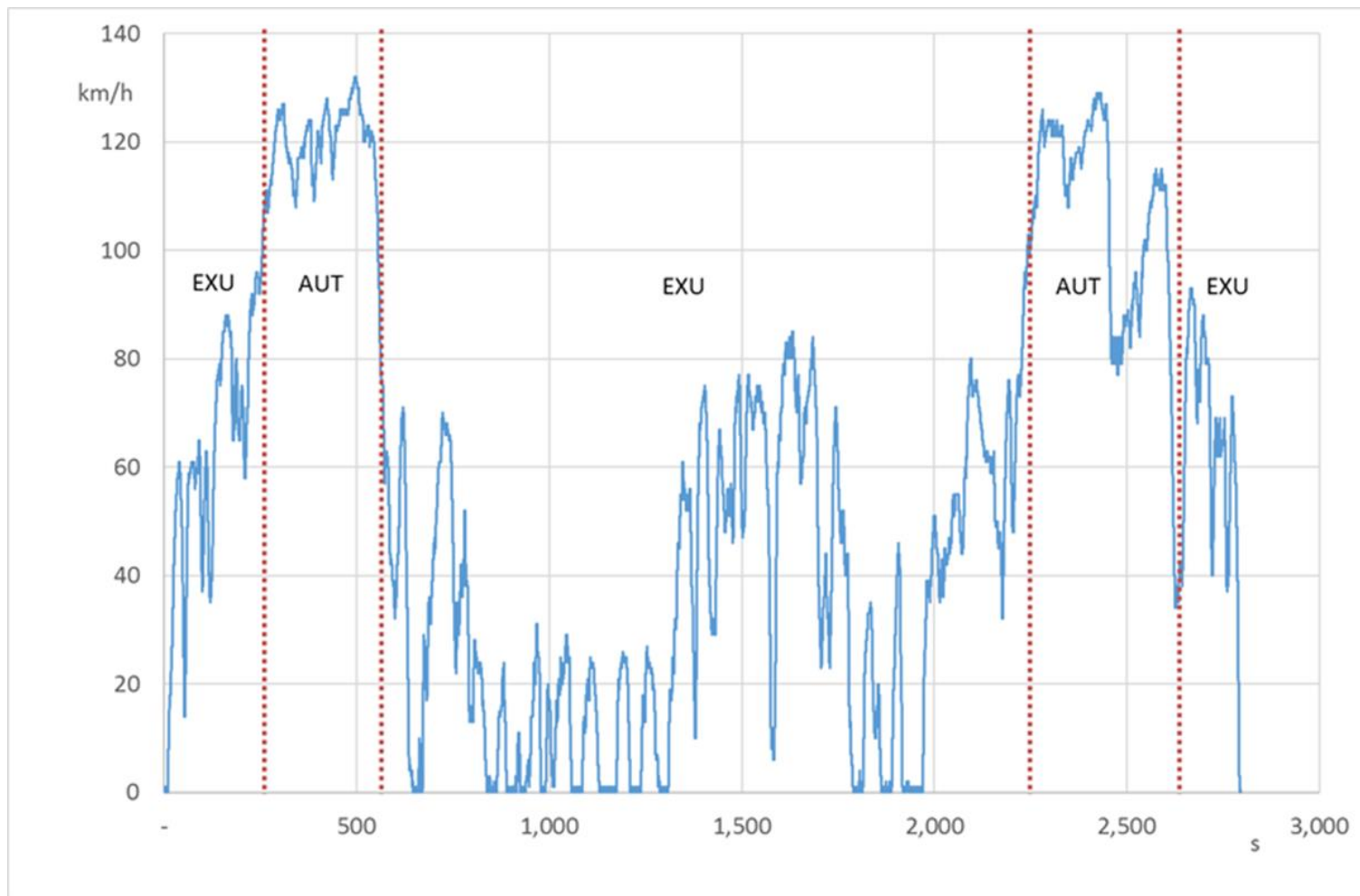
- Lunghezza totale: 45,3 km
 - Extraurbano : 23,4 km
 - Autostradale: 21,9 km
- Durata media Prova: 46 minuti
 - Extraurbano: 33 minuti
 - Autostradale: 13 minuti
- Velocità media Prova: 59 km/h
 - Extraurbano: 42 km/h
 - Autostradale: 100 km/h





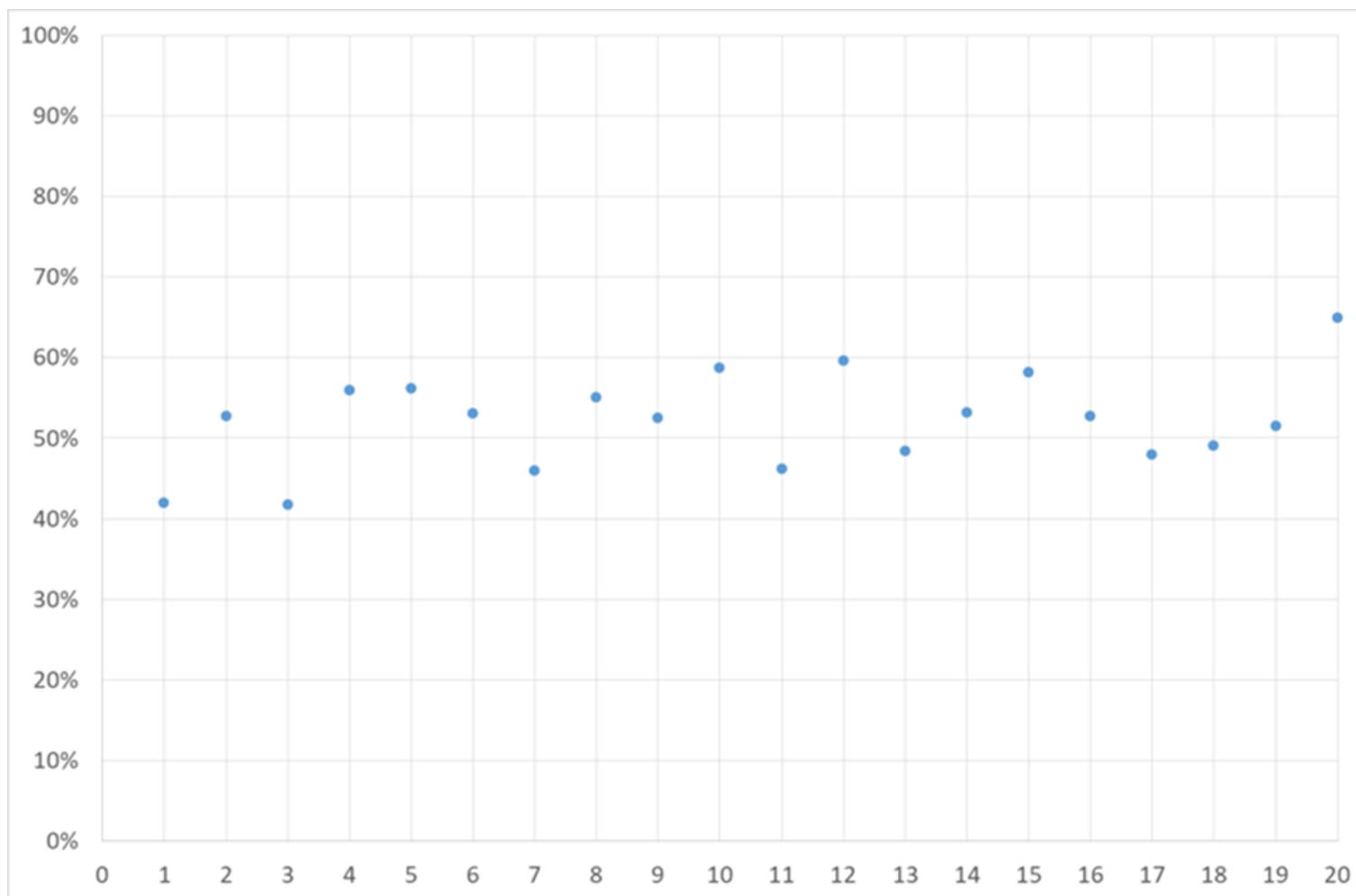
PRIUS IV vs AURIS Diesel

Cicli di marcia



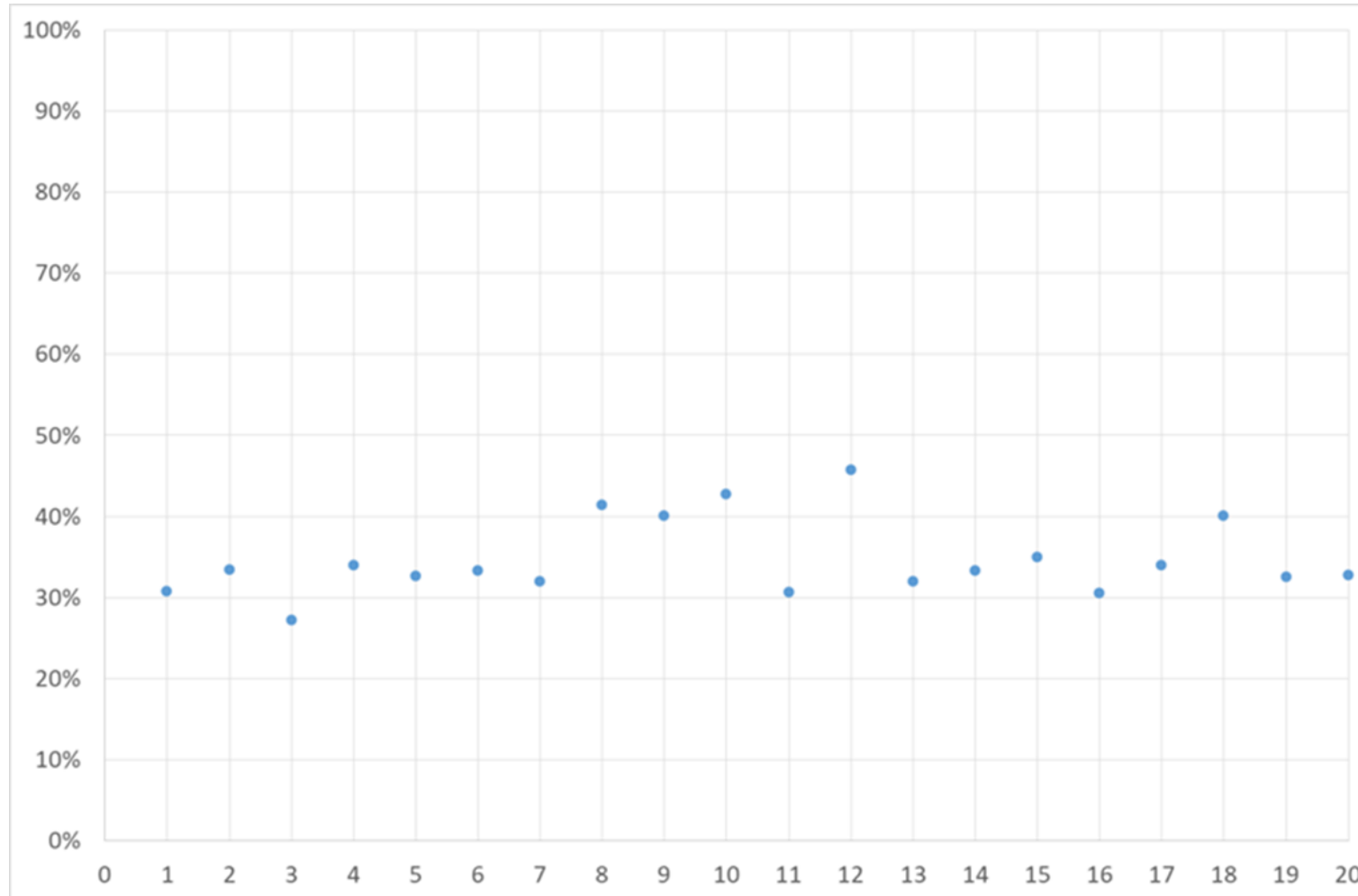


PRIUS IV (Autostradale): risultati funzionamento ZEV – ZEVt



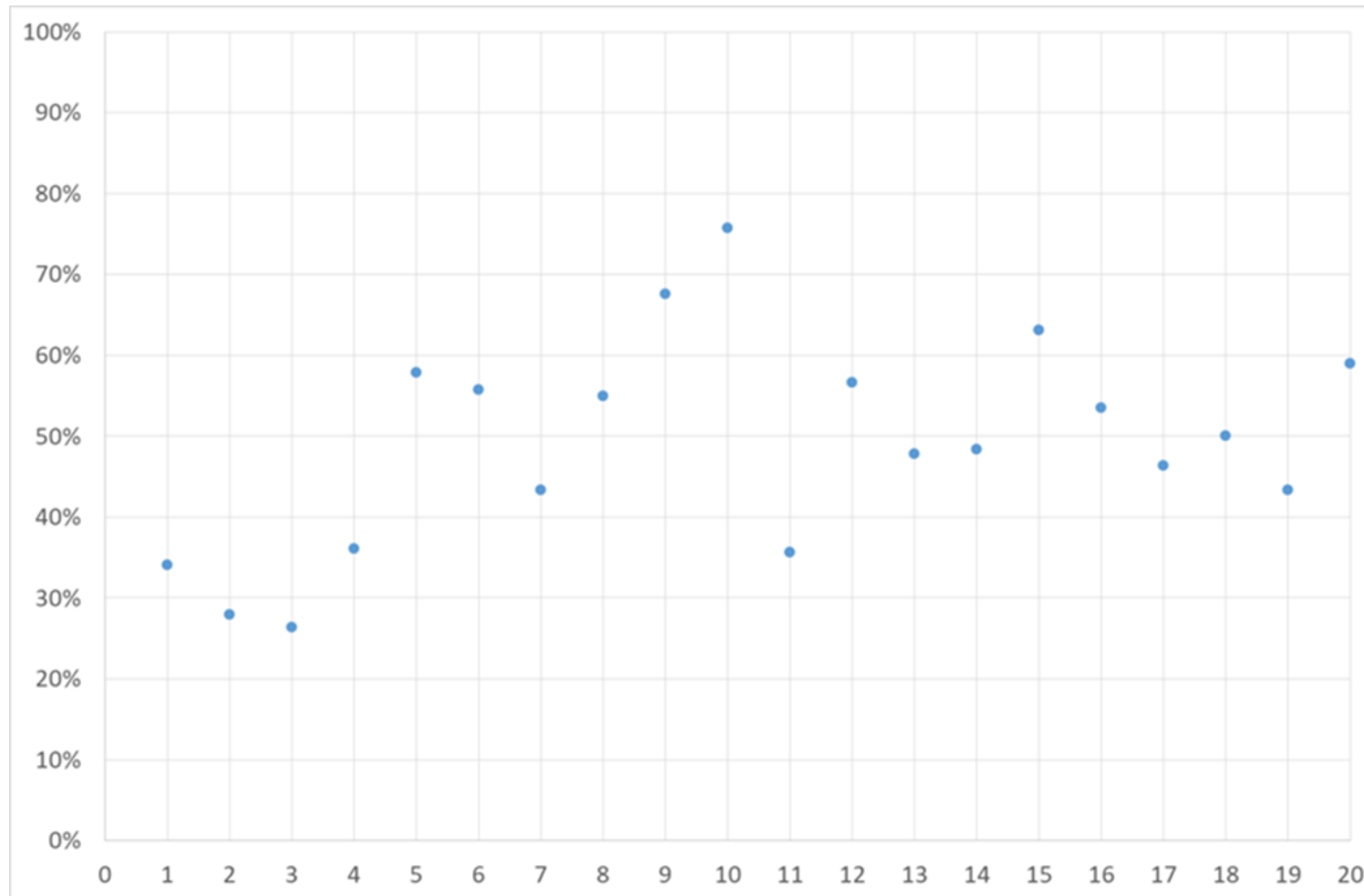


PRIUS IV (Autostradale): risultati funzionamento ZEV – ZEVS



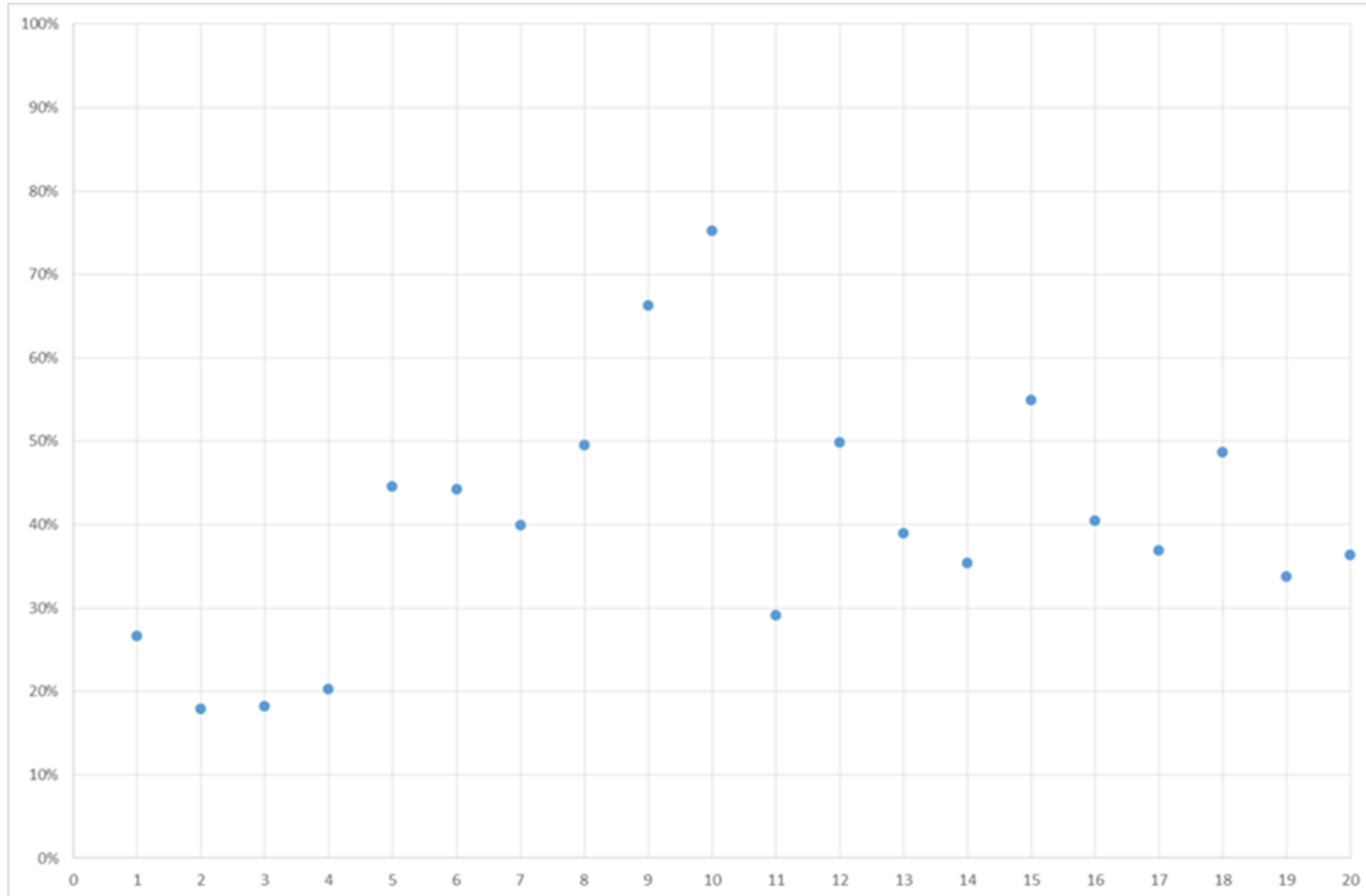


PRIUS IV (Autostradale): risultati funzionamento ZEV – EVt





PRIUS IV (Autostradale): risultati funzionamento ZEV – EVS





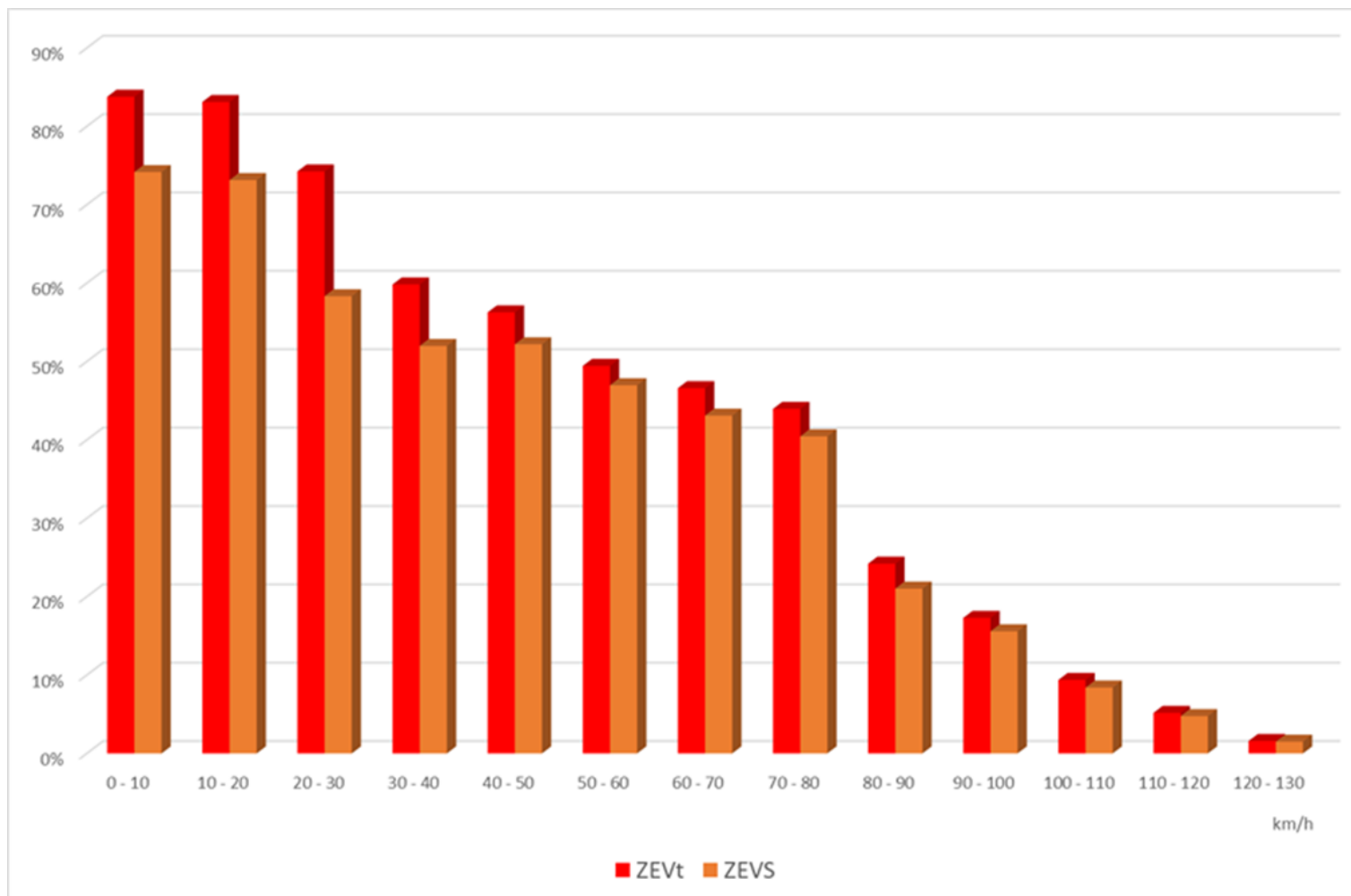
PRIUS IV (Autostradale): risultati funzionamento ZEV – valori medi

	EXTRAURBANO	AUTOSTRADALE	PROVA
ZEV - tempo	68,8	17,9	52,8
di cui a veicolo fermo	12,0	0,0	10,8
di cui avanzamento senza potenza erogata	46,3	61,4	47,8
di cui con trazione solo elettrica	47,1	38,6	41,4
ZEV - spazio	54,1	14,2	34,7
di cui avanzamento senza potenza erogata	52,9	61,1	54,7
di cui con trazione solo elettrica	47,1	37,9	45,3
EV - tempo	54,9	25,8	49,8
EVS - spazio	48,1	20,7	39,4



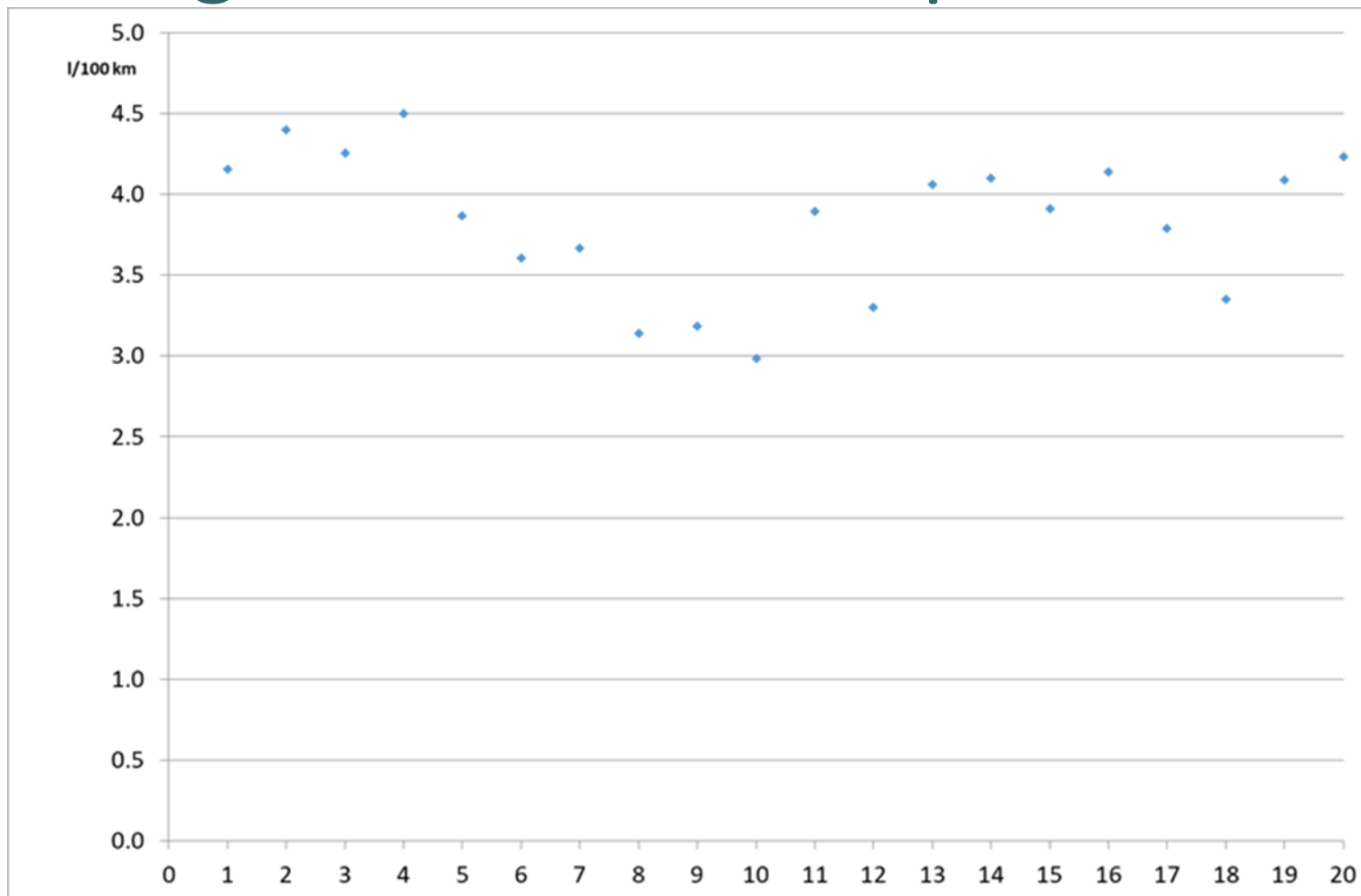
PRIUS IV

funzionamento ZEV



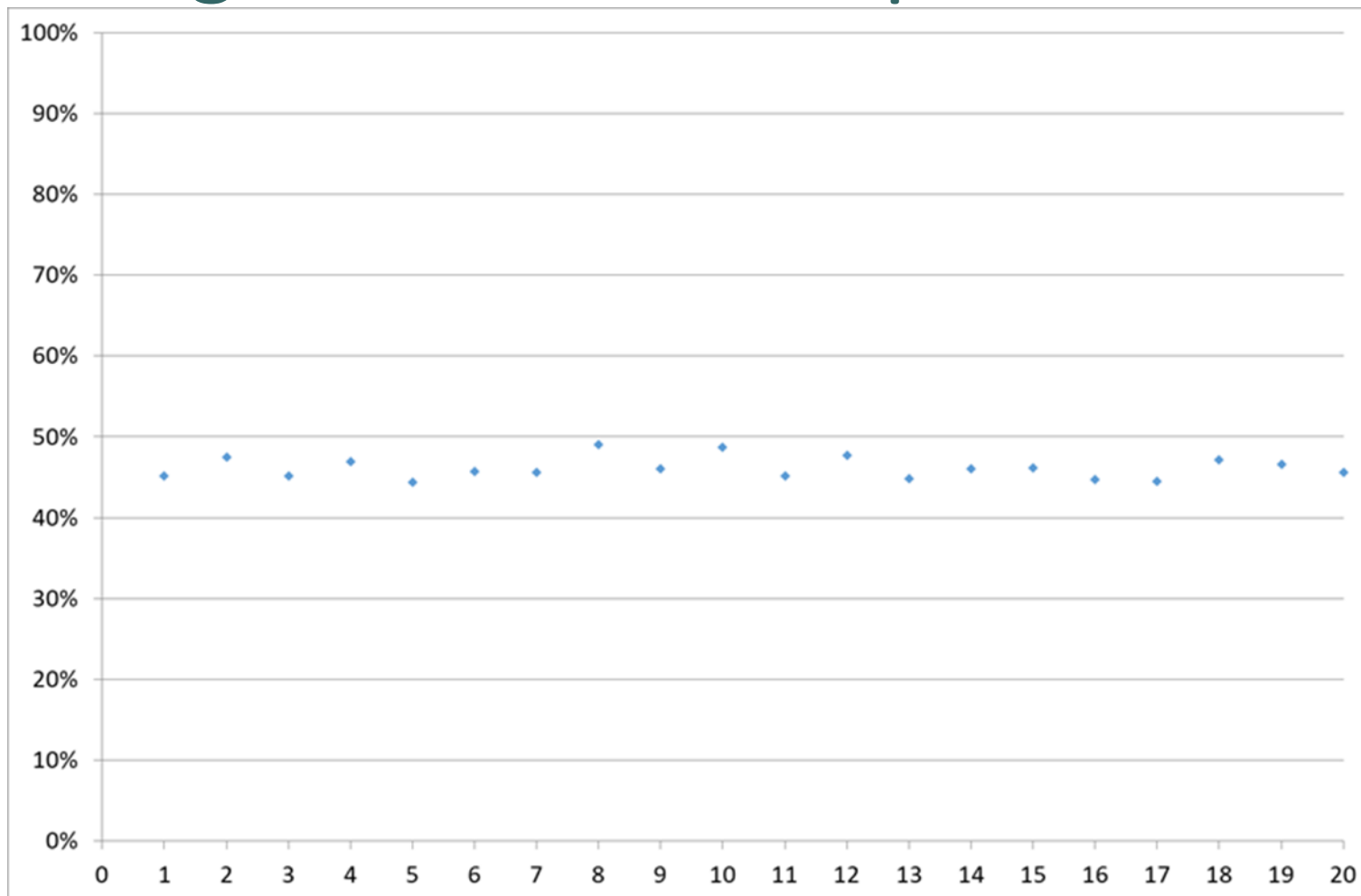


PRIUS IV (Autostradale): risultati analisi energetica – consumi equivalenti





PRIUS IV (Autostradale): risultati analisi energetica – efficienza powertrain

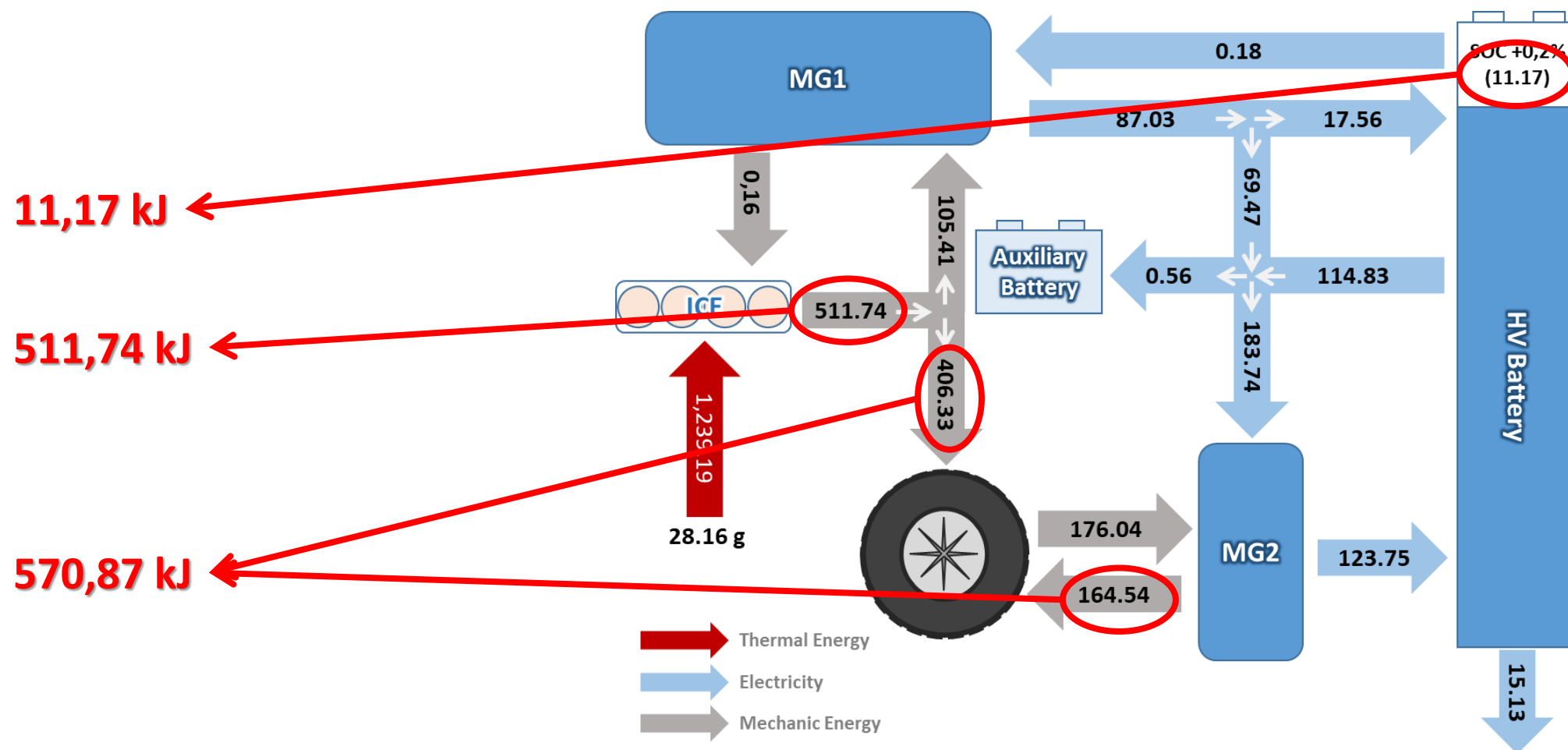




PRIUS IV (Autostradale): risultati analisi energetica – valori medi

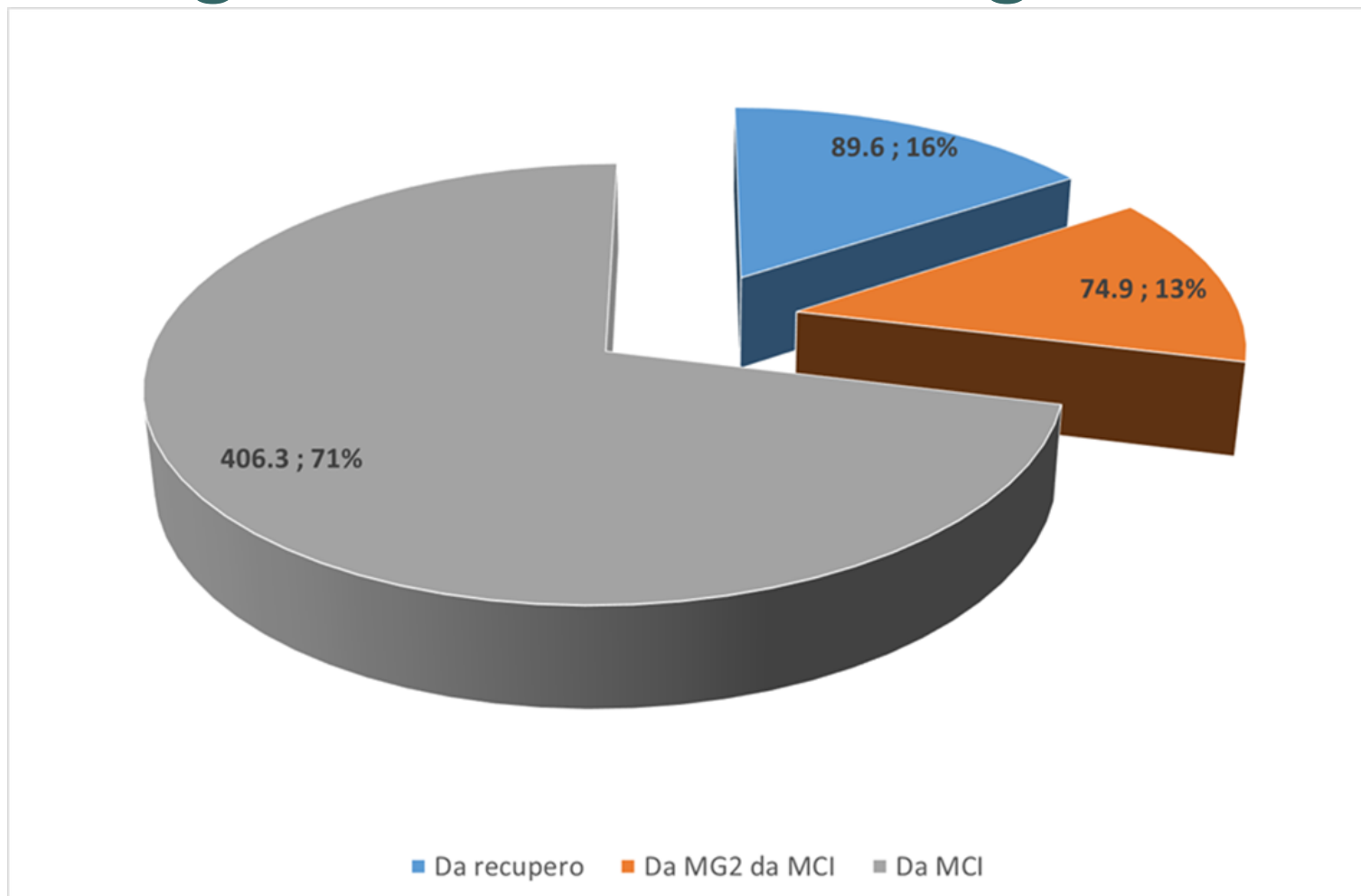
	EXTRAURBANO	AUTOSTRADALE	PROVA
Consumi chilometrici [litri/100 km]	3,5	4,2	3,8
Consumi chilometrici equivalenti [litri/100 km]	3,5	4,2	3,8
Efficienza powertrain	48,8%	44,0%	46,1%

PRIUS IV (Autostradale): risultati analisi energetica – flussi di energia



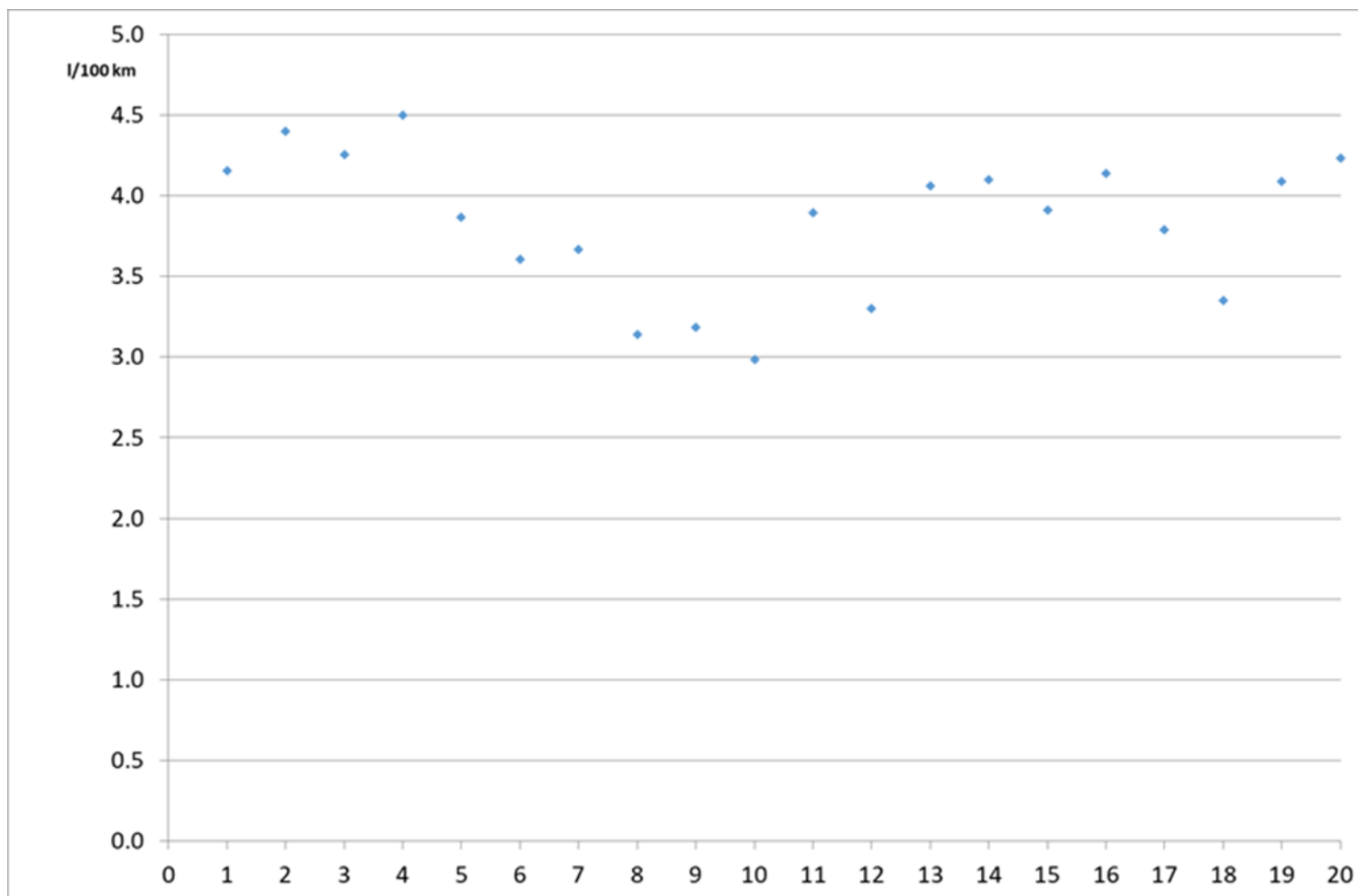


PRIUS IV (Autostradale): risultati analisi energetica – flussi di energia



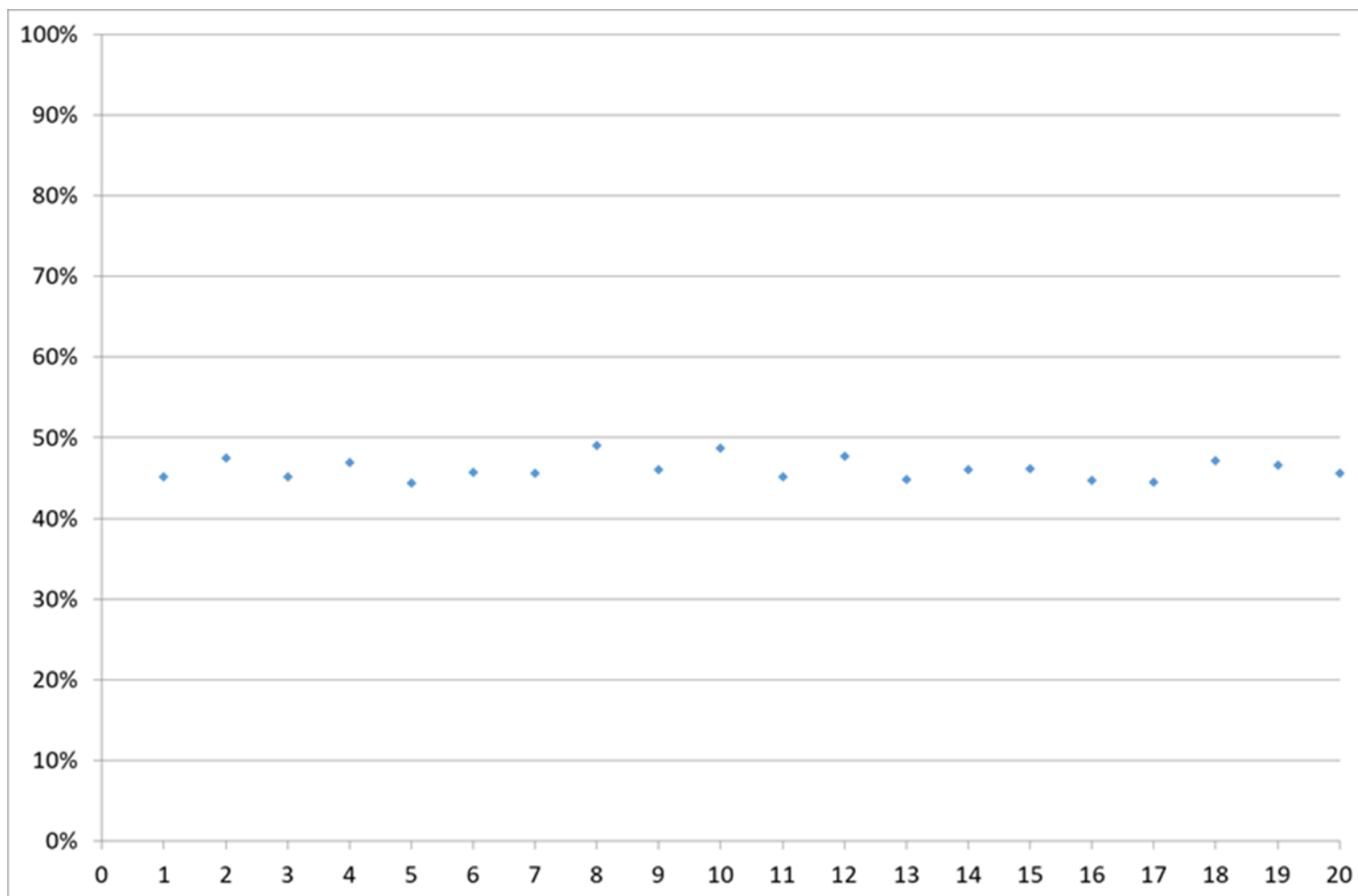


AURIS DIESEL: risultati consumi





AURIS DIESEL: risultati efficienza





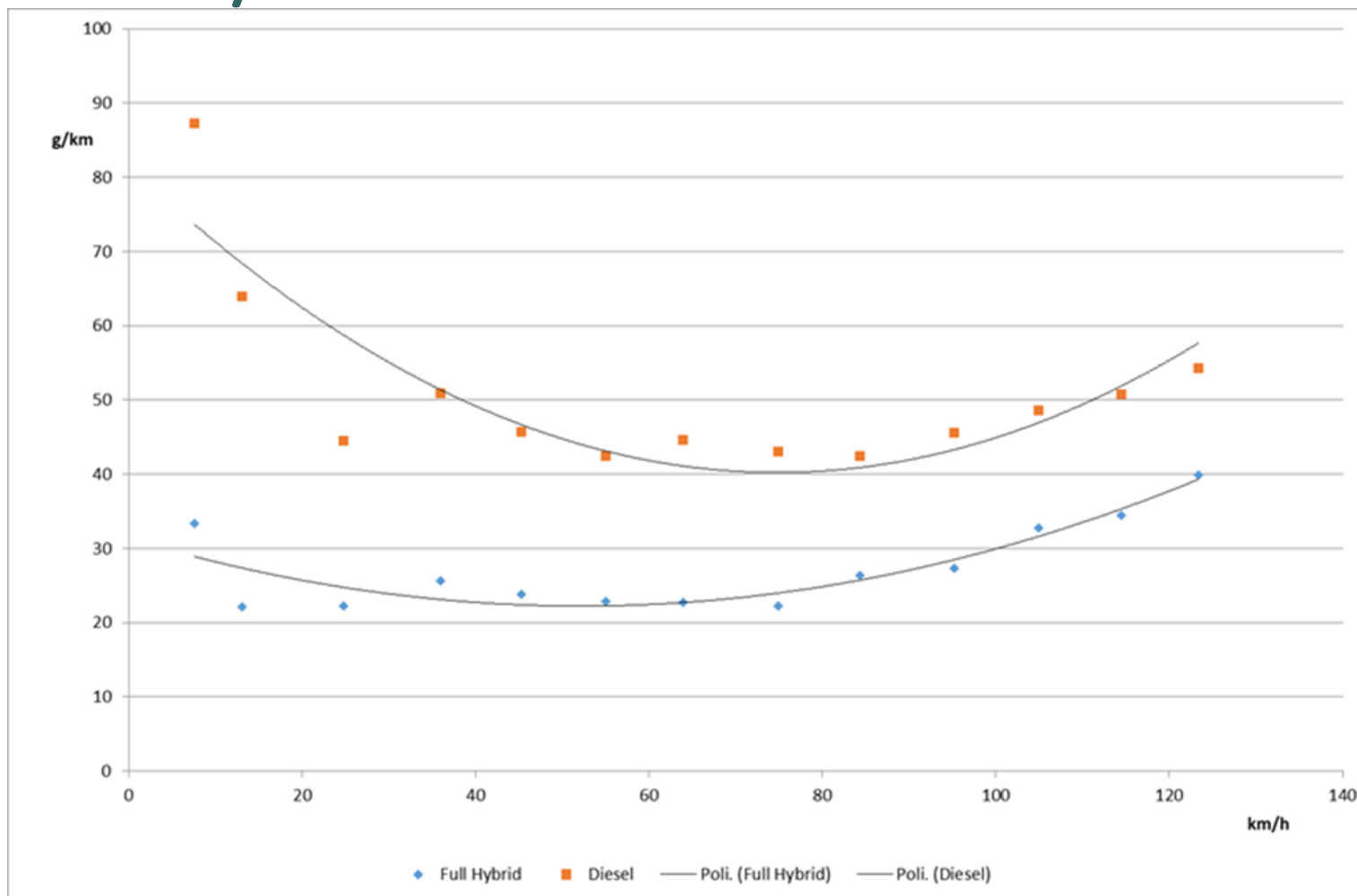
AURIS DIESEL: risultati valori medi

	EXTRAURBANO	AUTOSTRADALE	PROVA
Consumi chilometrici	5,7	5,5	5,6
Efficienza	32,4%	35,0%	33,7%



PRIUS IV vs AURIS DIESEL

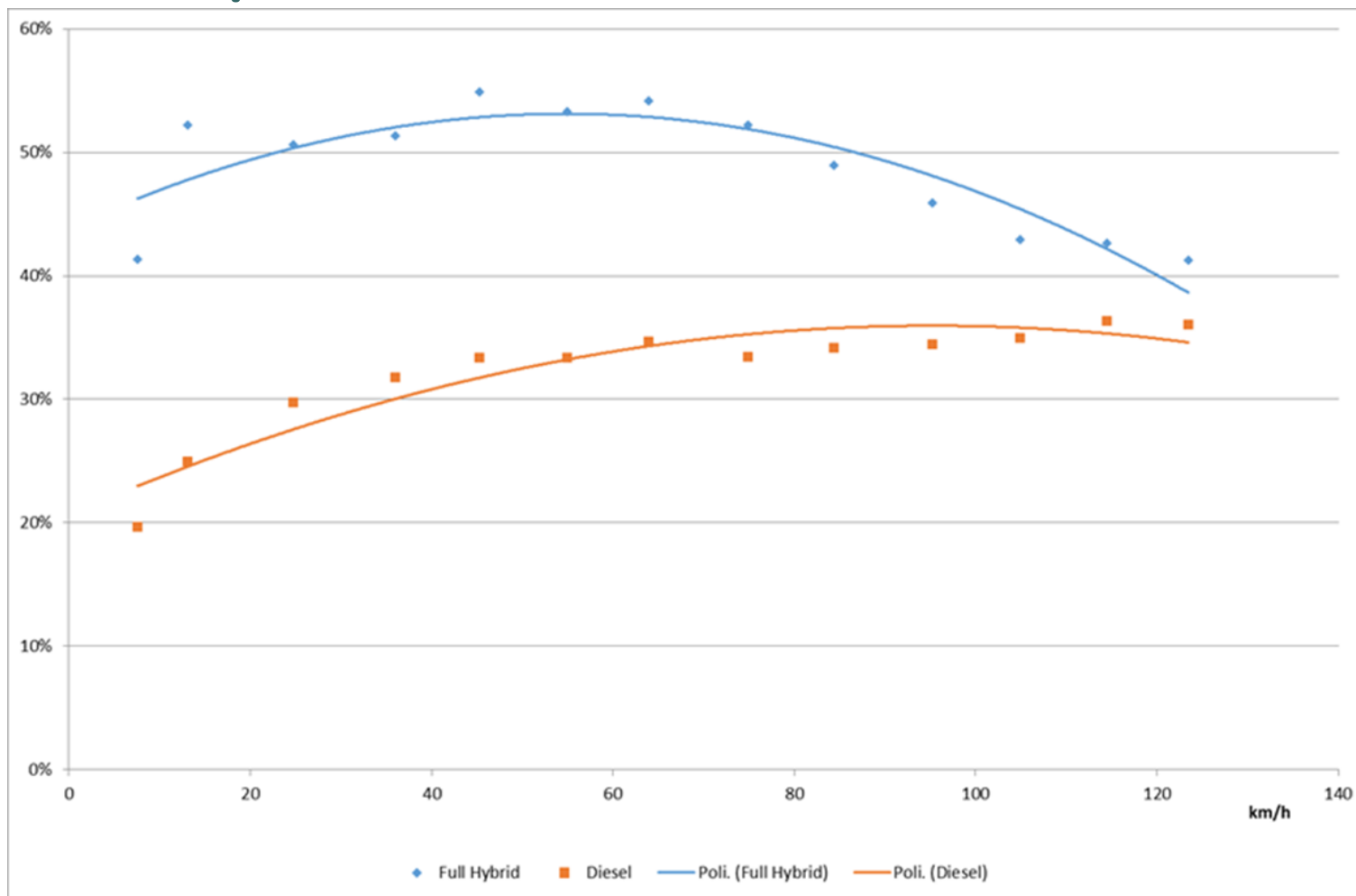
autostradale/extraurbano: consumi





PRIUS IV vs AURIS DIESEL

autostradale/extraurbano: efficienza





PRIUS IV vs AURIS DIESEL autostradale/extraurbano

	EXTRAUBANO			AUTOSTRADALE			PROVA		
	Auris	Prius	VAR	Auris	Prius	VAR	Auris	Prius	VAR
Consumi chilometrici [litri/100 km]	5.7	3.5	-37.9%	5.5	4.2	-25.1%	5.6	3.8	-31.7%
Efficienza	32.4%	48.8%	50.8%	35.1%	44.0%	25.6%	33.7%	46.3%	37.3%
Costo chilometrico [€/100 km]	8.1	5.5	-32.1%	7.9	6.4	-18.2%	8.0	6.0	-25.3%
Emissioni CO2 [g/km]	150.7	81.4	-46.0%	145.9	95.8	-34.3%	148.3	88.4	-40.4%



Pubblicazioni

- F. Zuccari, F. Orecchini, A. Santiangeli, T. Suppa, F. Ortenzi, A. Genovese, G. Pede, “Well to wheel analysis and comparison between conventional, hybrid and electric powertrain in real conditions of use” AIP Conference Proceedings 2191, 020158 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5138891>
- F. Zuccari, F. Orecchini, A. Santiangeli, L. Nardone, G. Spazzafumo, F. Ortenzi, A. Genovese: “Energy consumption of a last generation full hybrid vehicle compared with a conventional vehicle in real drive conditions”. ENERGY PROCEDIA, Volume 148, Pagine 289–296, ISSN: 1876-6102, doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.080., Agosto 2018.
- F. Zuccari, F. Orecchini, A. Santiangeli, Hybrid-electric system truth test: Energy analysis of Toyota Prius IV in real urban drive conditions, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 37, February 2020, 100573, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100573>.
- F. Zuccari, F. Orecchini, A. Santiangeli, Real Drive Well-to-Wheel Energy Analysis of Conventional and Electrified Car Powertrains, Energies 2020, 13, 4788; [doi:10.3390/en13184788](https://doi.org/10.3390/en13184788).
- Zuccari, F.; Orecchini, F.; Santiangeli, A.; Alessandrini, A.; Cignini, F.; Ortenzi, F. “Real Drive Truth Test of the Toyota Yaris Hybrid 2020 and Energy Analysis Comparison with the 2017 Model”. Energies 2021, 14, 8032. <https://doi.org/10.3390/en14238032>
- Zuccari F., Cignini F., Alessandrini A., Orecchini F., Santiangeli A., Ortenzi F., “A statistical analysis to compare results of different on-road vehicle performance testing”, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 107, 2022, 103281, ISSN 1361-9209, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103281>, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920922001092>)
- Zuccari, F., Cignini, F., Alessandrini, A., Ortenzi, F., Orecchini, F., Santiangeli, A., “Comparing the Sustainability of Different Powertrains for Urban Use”. Electronics 2023, 12, 941. <https://doi.org/10.3390/electronics12040941>



Il gruppo di lavoro

Fabio Orecchini: f.orecchini@unimarconi.it

Fabrizio Zuccari: f.zuccari@unimarconi.it

Adriano Santiangeli: a.santiangeli@unimarconi.it

Grazie dell'attenzione