



FATTORI DI EMISSIONE DI PARTICOLATO DEI VEICOLI DIESEL

Expert Panel sulle “Emissioni da trasporto su strada”
ARPA TOSCANA – Firenze , 07/02/06

Cinzia Pastorello, L. Ntziachristos, Z. Samaras



Laboratory of Applied Thermodynamics
Department of Mechanical Engineering
Aristotle University of Thessaloniki



Obiettivi

Analizzare la relazione tra fattori di emissione e velocità media di un ciclo di guida

Effetto sulle emissioni del **miglioramento della tecnologia** $\text{massa [g km}^{-1}\text{]}$
 $\text{superficie attiva [cm}^2\text{ km}^{-1}\text{]}$

Effetto sulle emissioni della **riduzione del contenuto di zolfo nei combustibili** $\text{numero di particelle solide [# km}^{-1}\text{]}$

Analisi di varianza $\text{distribuzione del numero di particelle [dN dlogdp}^{-1}\text{]}$

Utilizzo di sotto-cicli di guida per costruire le curve di dipendenza dalla velocità media

Sistema di campionamento

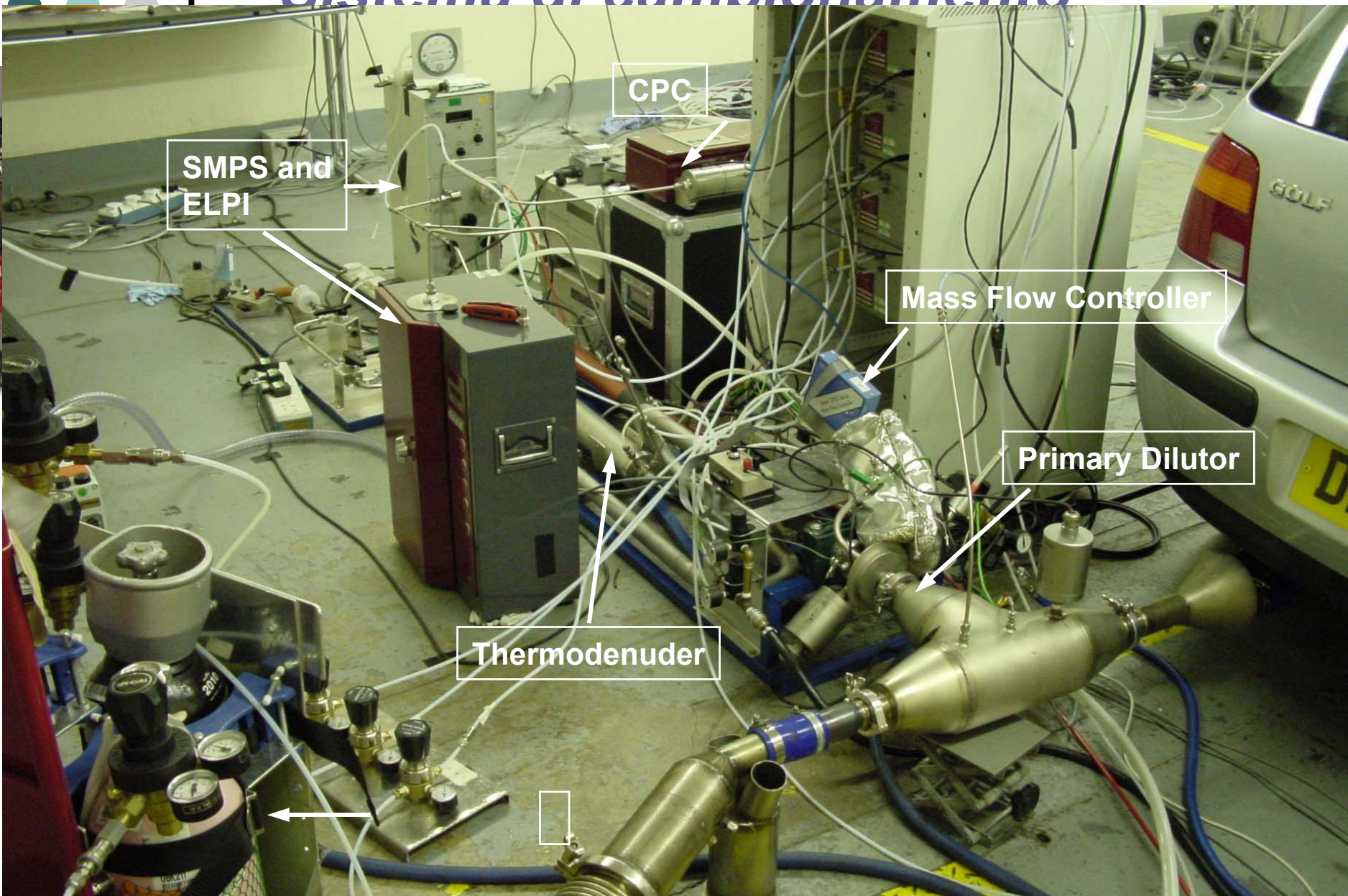
SMPS and
ELPI

CPC

Mass Flow Controller

Primary Dilutor

Thermodenuder





Dati acquisiti

Strumento	Proprietà del particolato	Dimensioni	Risoluzione temporale
Condensation Particle Counter (CPC)	Numero di particelle	>7 nm	1 s (transient)
Scanning Mobility Particle Size (SMPS)	Distribuzione del numero di particelle	64 canali: 7-450 nm	90 s (steady states)
Electrical Low Pressure Impactor (ELPI) + thermodenuder (TD)	Numero di particelle solide	8 canali: 7nm-1 μ m	1 s (transient)
Diffusion Charger	Superficie attiva	7nm-1 μ m	1 s (transient)
Impattore gravimetrico	Massa	TPS	1 test

Veicoli

● ● ●
convenzionali



5 EURO III

2 EURO II

1 EURO I

con filtro per il particolato



5 veicoli

Combustibili utilizzati

Diesel	
Codice	Contenuto di zolfo (mg/kg)
D2	280
D3	38
D4	8
D5	3





Cicli di guida

Legislativi



UDC

EUDC

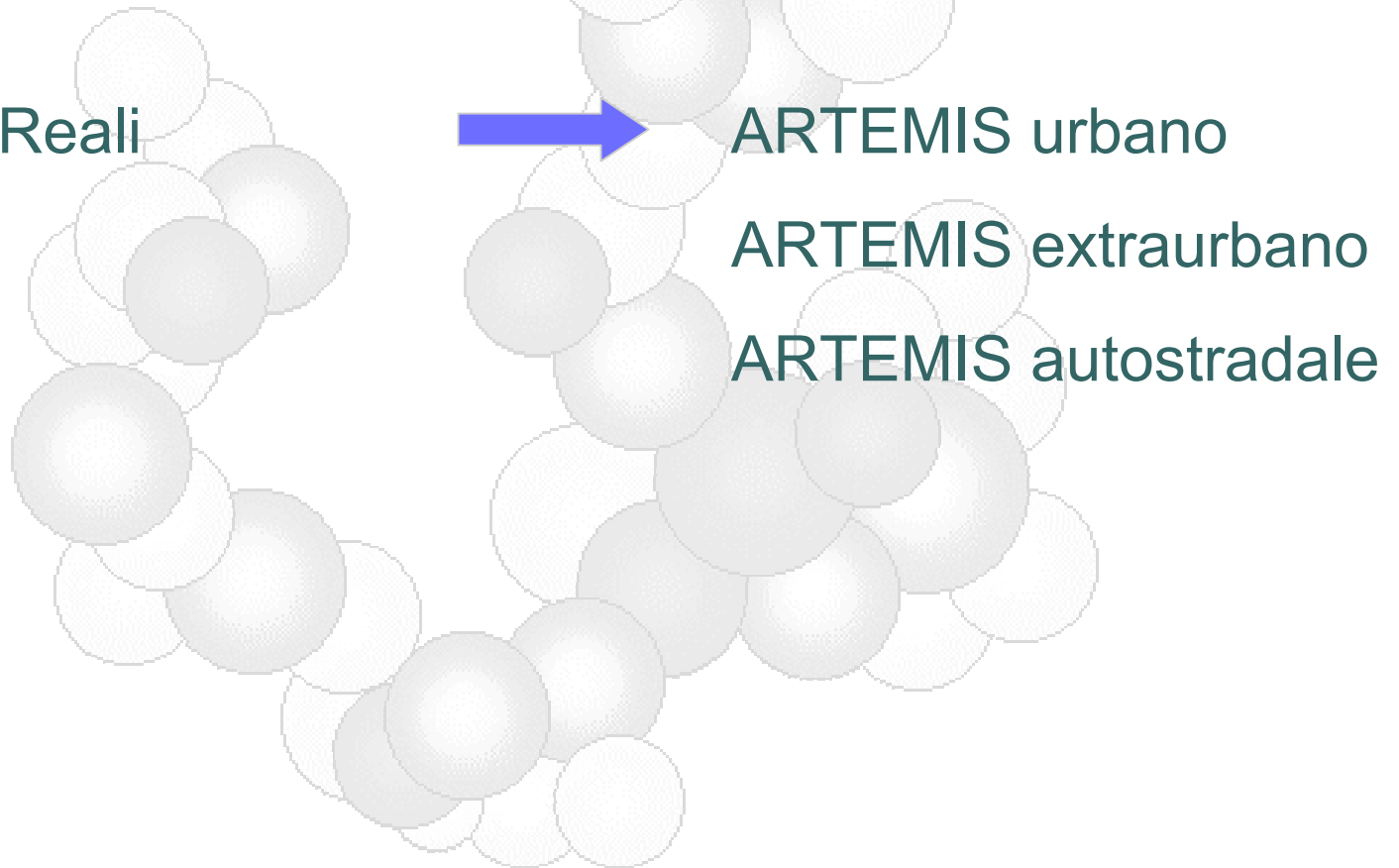
Reali



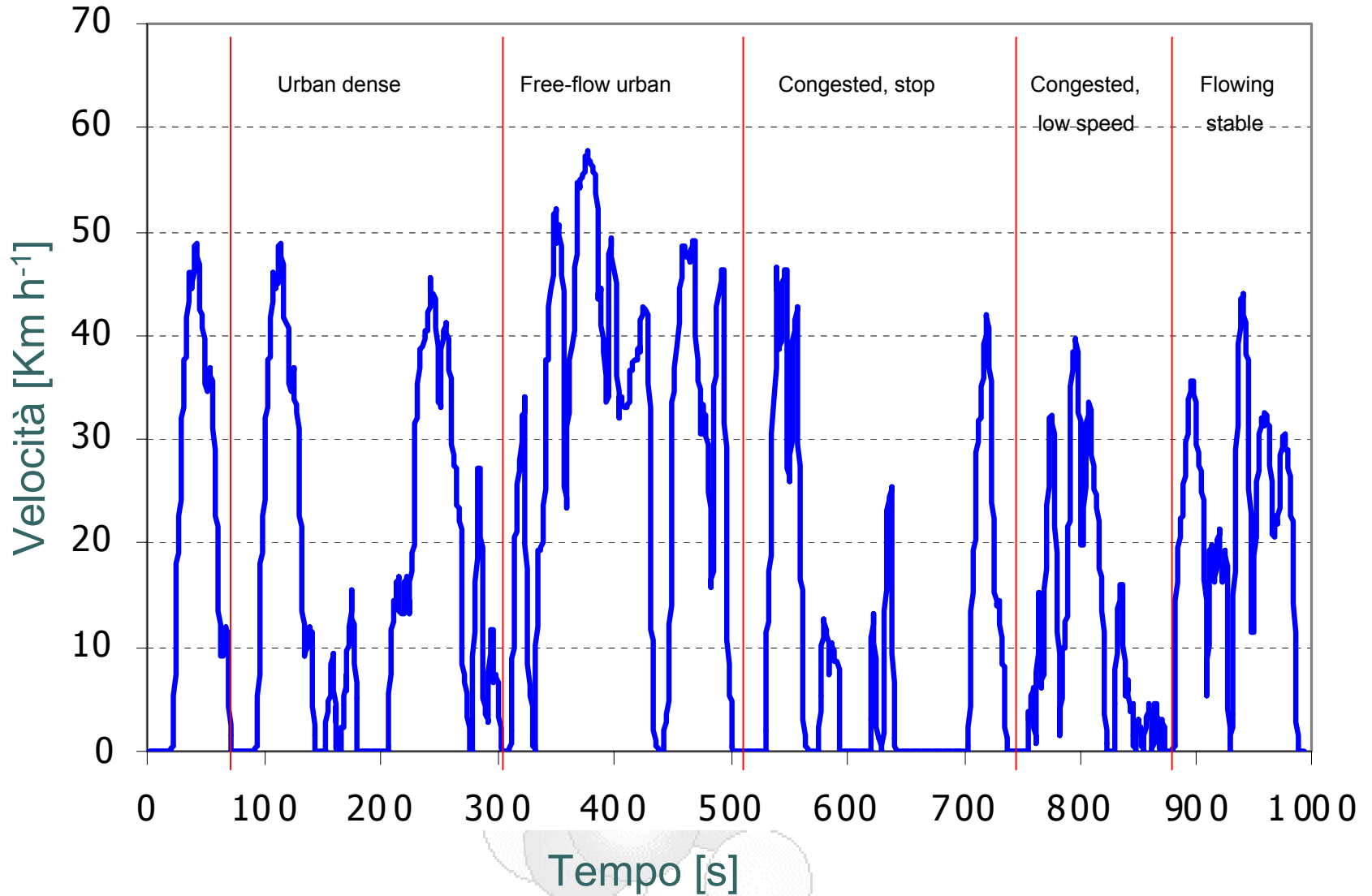
ARTEMIS urbano

ARTEMIS extraurbano

ARTEMIS autostradale



ARTEMIS urbano





Cicli di guida

Legislativi



UDC

EUDC

Reali



ARTEMIS urbano

ARTEMIS extraurbano

ARTEMIS autostradale

Stazionari



50 km h⁻¹

90 km h⁻¹

120 km h⁻¹



Risultati

Effetto sulle emissioni del **miglioramento della tecnologia**

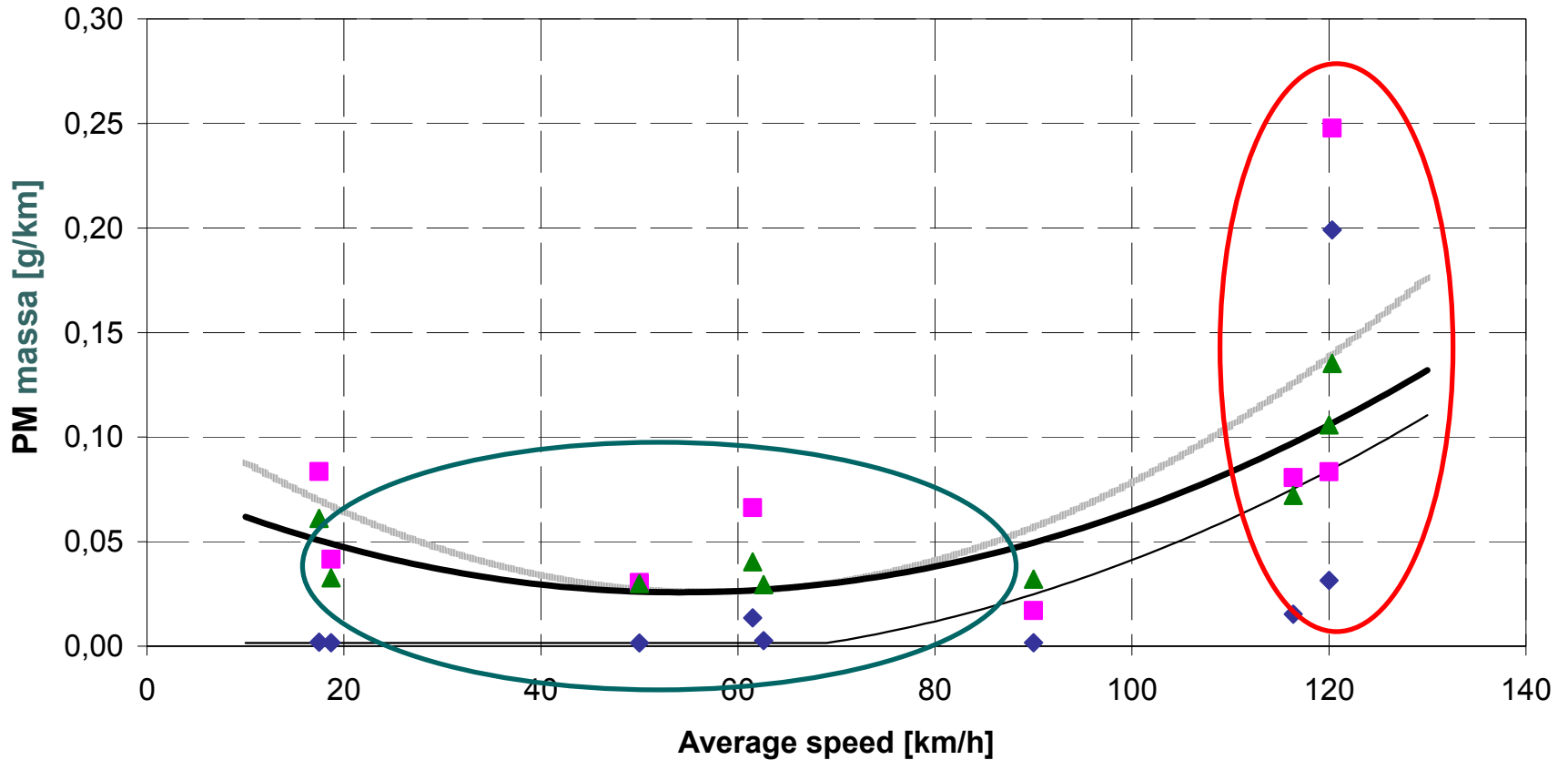
Effetto sulle emissioni della riduzione del **contenuto di zolfo** nel combustibile

Analisi di varianza

Utilizzo di sotto-cicli di guida per costruire le curve di dipendenza dalla **velocità media**

1 – Effetto della tecnologia

Autoveicoli diesel, <= 2000cc



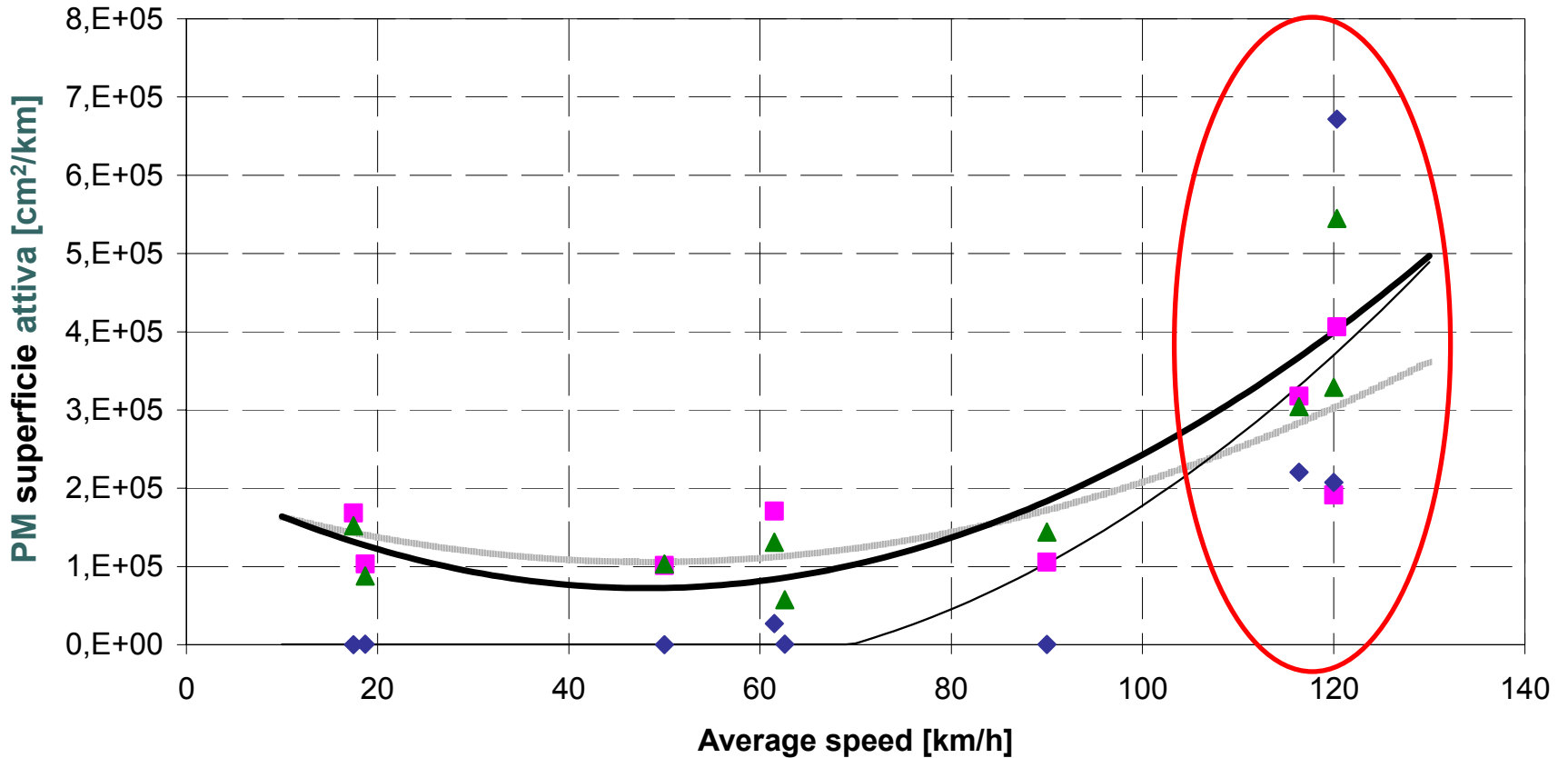
■ Euro II
— Poli.(EURO II)

▲ Euro III
— Poli. (EURO III)

◆ Euro III+DPF
— Poli. (EURO III+DPF)

1 – Effetto della tecnologia

Autoveicolo diesel, $\leq 2000\text{cc}$



■ Euro II

— Poli.(EURO II)

▲ Euro III

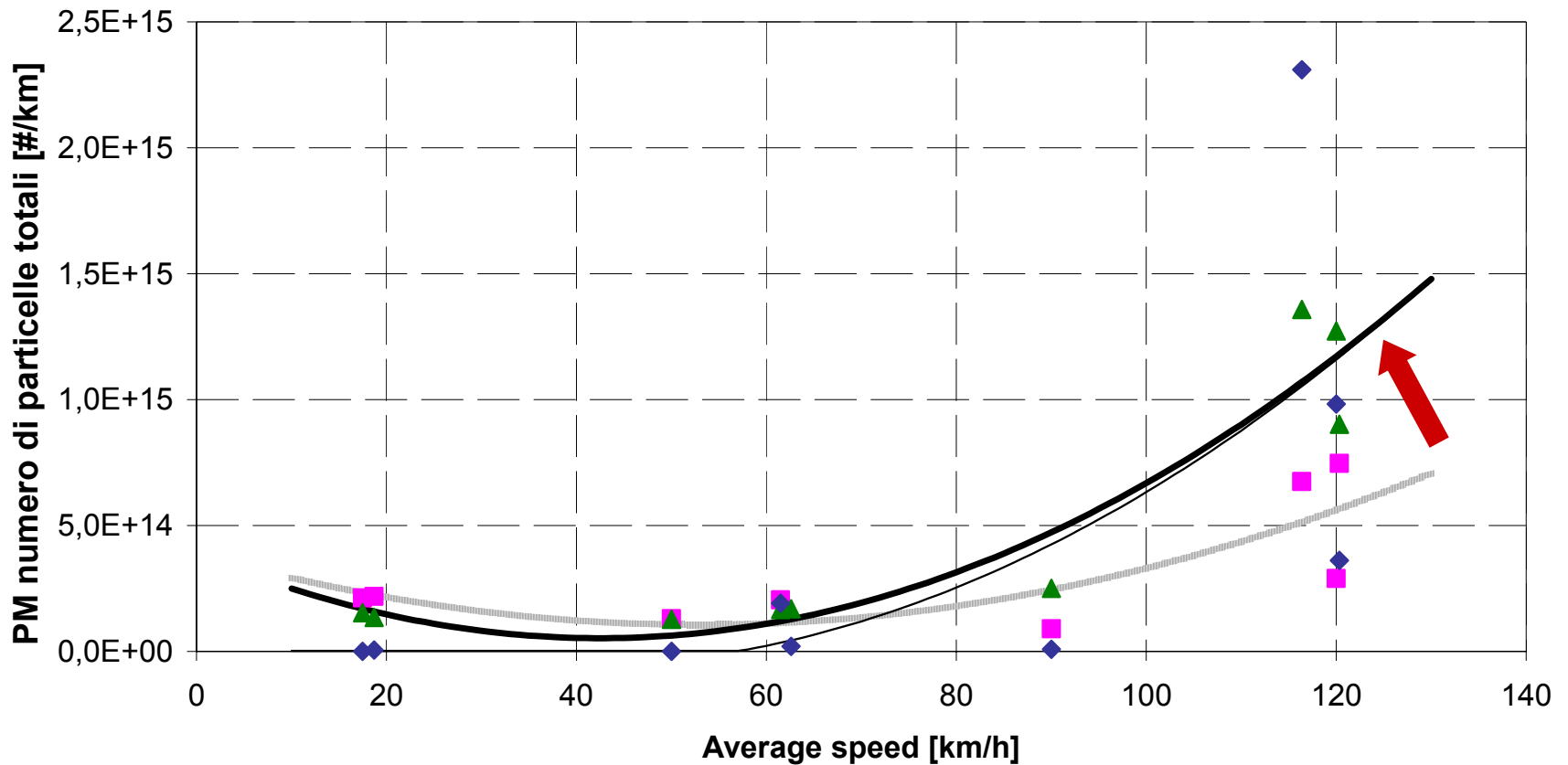
— Poli. (EURO III)

◆ Euro III+DPF

— Poli. (EURO III+DPF)

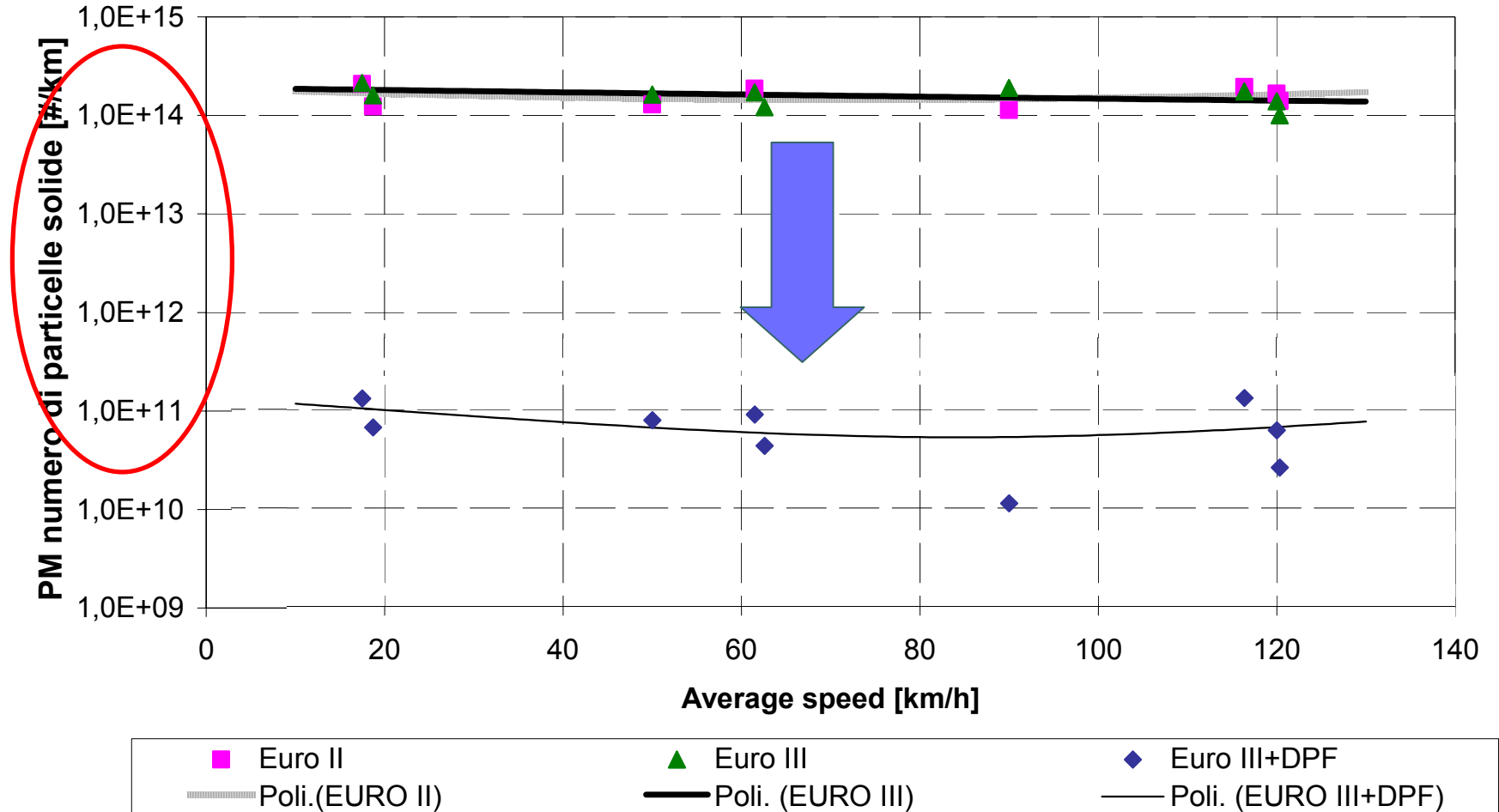
1 – Effetto della tecnologia

Autoveicolo diesel, <= 2000cc



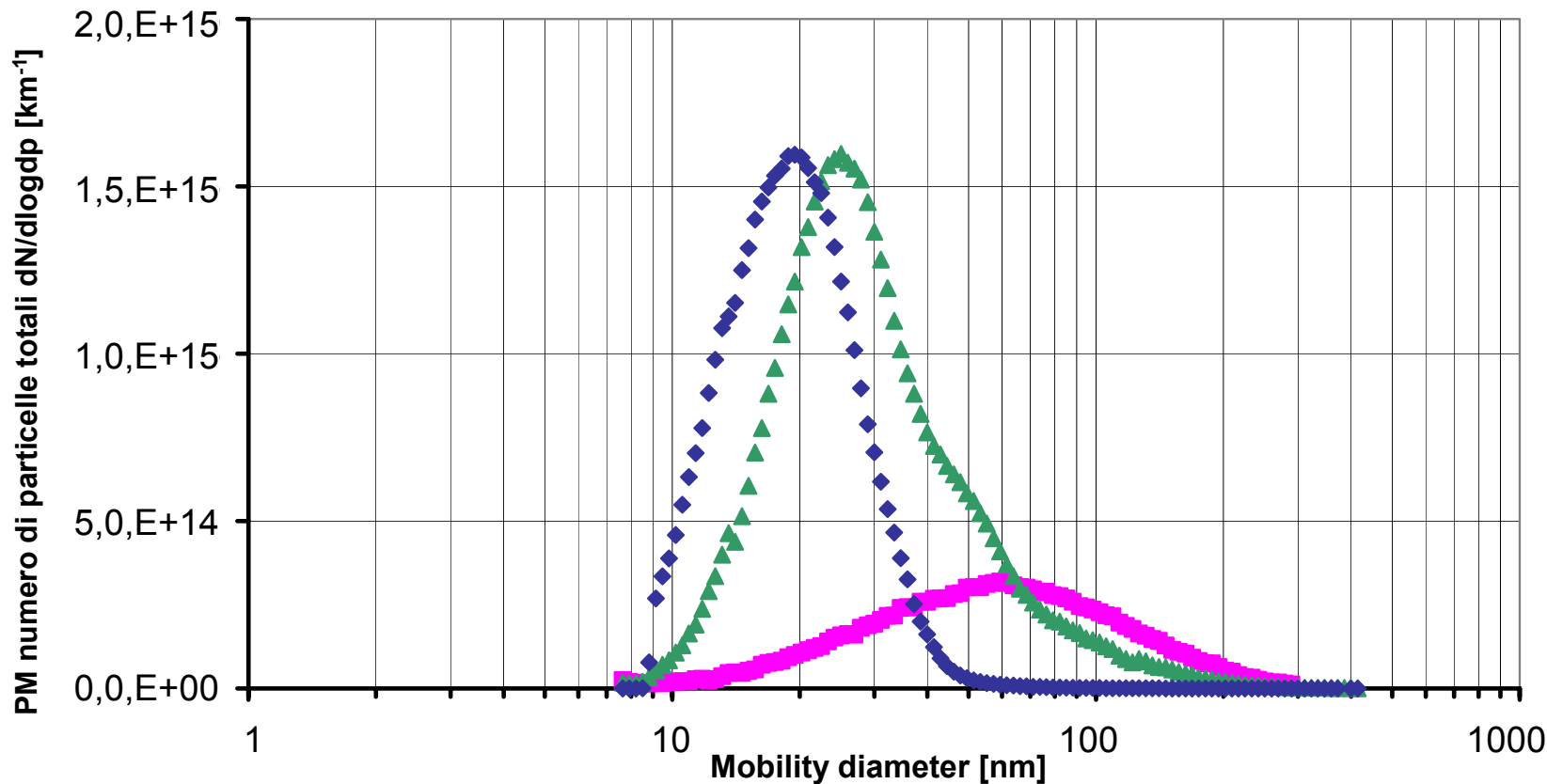
1 - Effetto della tecnologia

Autoveicolo diesel, <= 2000cc



1 - Effetto della tecnologia

Autoveicolo diesel, $\leq 2000\text{cc}$, 120 km/h



■ Euro II ▲ Euro III ◆ Euro III+DPF





Risultati

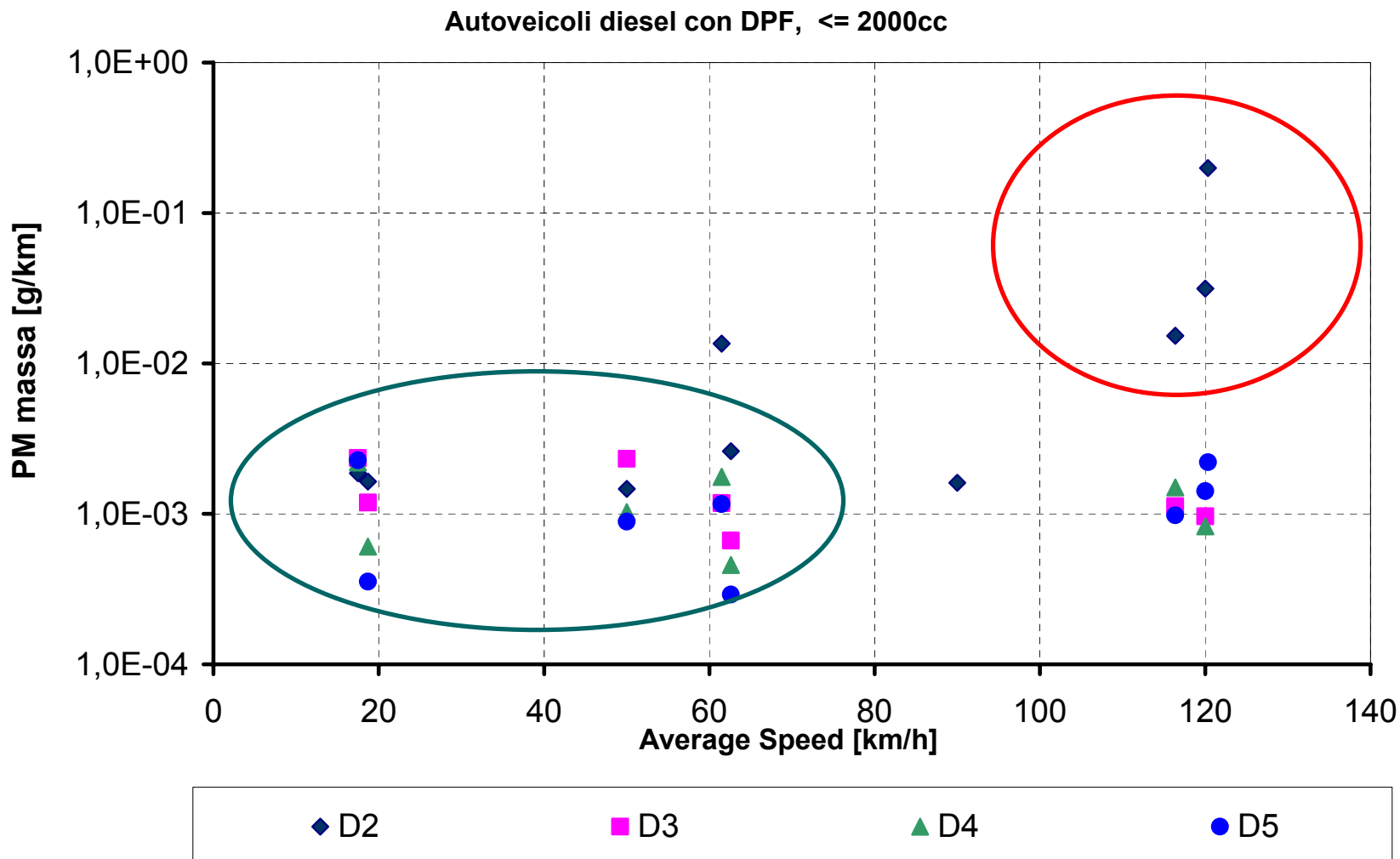
Effetto sulle emissioni del miglioramento della tecnologia

Effetto sulle emissioni della riduzione del **contenuto di zolfo** nel combustibile

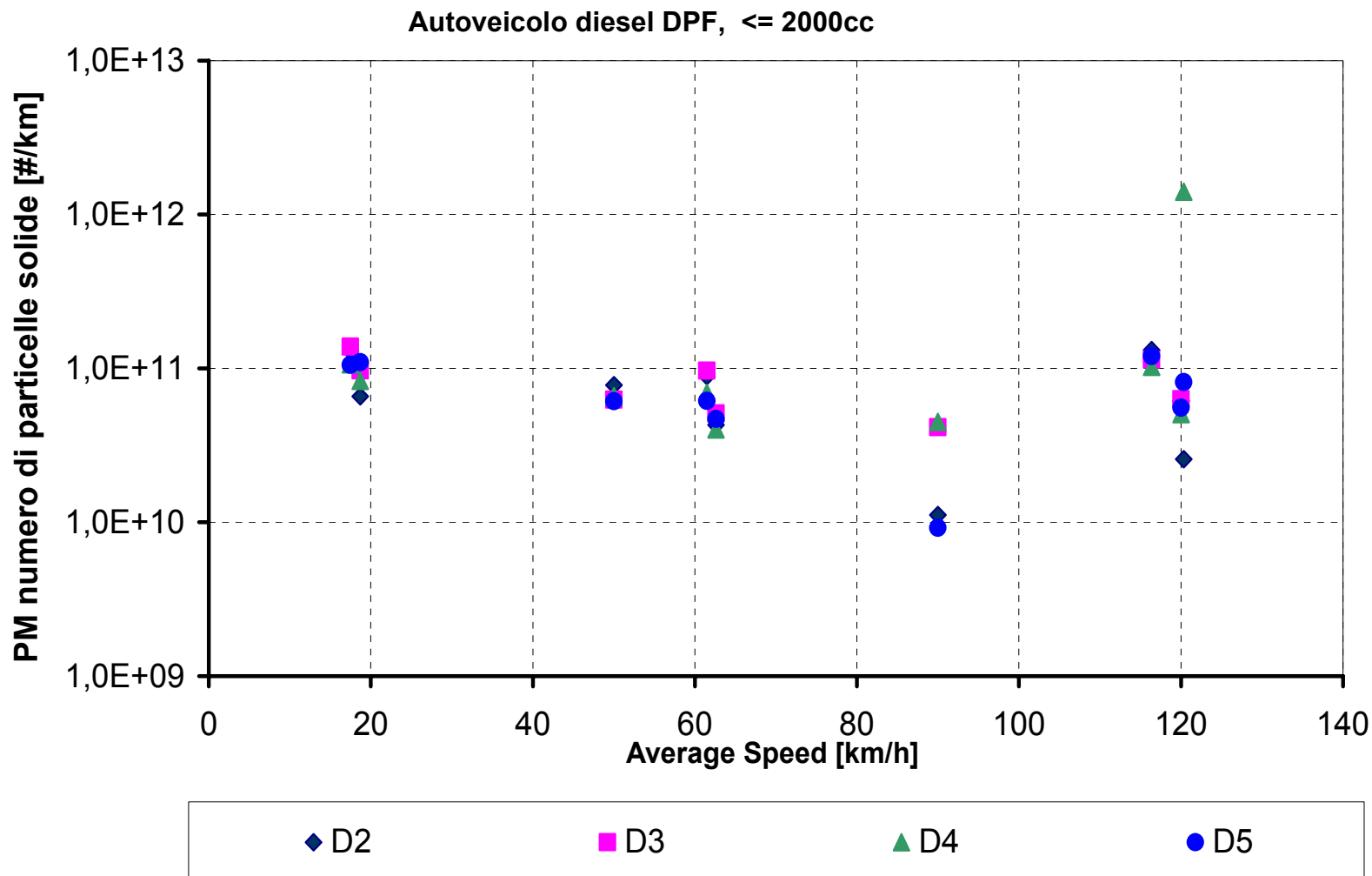
Analisi di varianza

Utilizzo di sotto-cicli di guida per costruire le curve di dipendenza dalla velocità media

2 - Effetto della riduzione del contenuto di zolfo nel combustibile

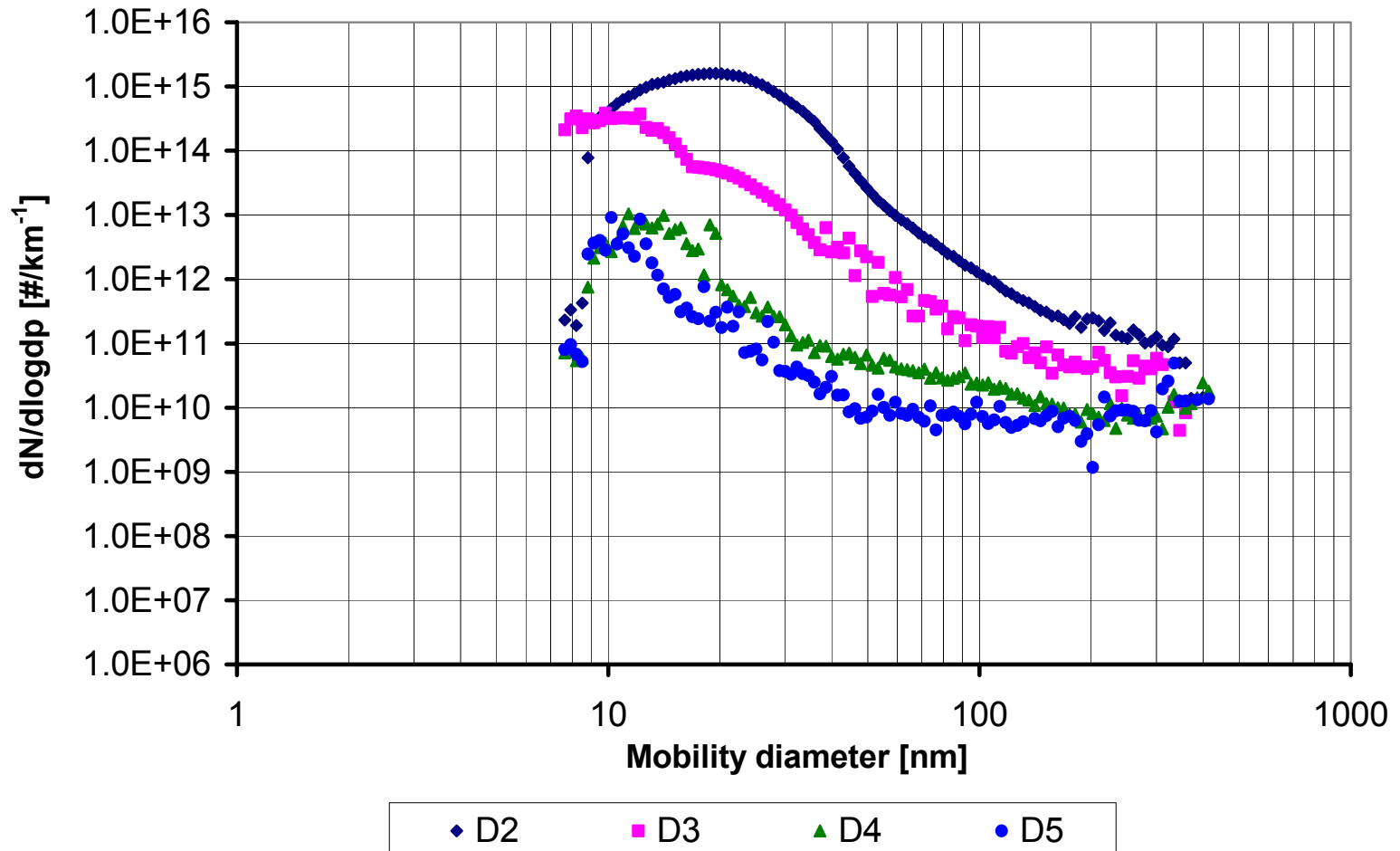


2 - Effetto della riduzione del contenuto di zolfo nel combustibile



2 - Effetto della riduzione del contenuto di zolfo nel combustibile

Autoveicolo diesel DPF, $\leq 2000\text{cc}$, 120km/h





Risultati

Effetto sulle emissioni del miglioramento della tecnologia

Effetto sulle emissioni della riduzione del **contenuto di zolfo** nel combustibile

Analisi di varianza

Utilizzo di sotto-cicli di guida per costruire le curve di dipendenza dalla velocità media



3 – *Analisi di varianza*

Per valutare se, effettivamente, l'uso del filtro per il particolato ha effetto sulle emissioni.

Sono state considerate tre velocità medie :

≤ 40 km/h

40-90km/h

> 90 km/h

Kruskal-Wallis test

3 - *Analisi di varianza parametrica*

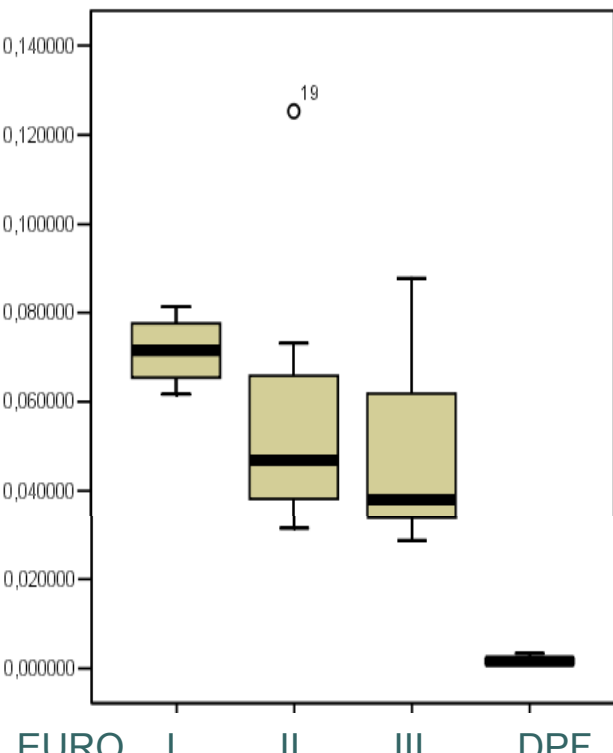
PM massa

Esiste una differenza significativa tra EURO II, EURO III e EURO III+DPF per tutte le velocità medie

Non esiste una differenza significativa tra EURO II, EURO III per tutte le velocità medie

Efficacia del filtro per il particolato

Risultati analoghi ottenuti per le altre caratteristiche del particolato: **numero di particelle e superficie attiva**



3 - *Analisi di varianza parametrica*

PM massa

	Velocità media <40 km/h	Velocità media 40-90 km/h	Velocità media >90km/h
Chi-quadro	22,791	26,539	13,017
Gradi di libertà	3	3	3
Significatività	,001	,001	,005

	Velocità media <40 km/h	Velocità media 40-90 km/h	Velocità media >90km/h
Chi-quadro	6,604	3,691	2,136
Gradi di libertà	2	2	2
Significatività.	,037	,158	,334

Risultati analoghi ottenuti per le altre caratteristiche del particolato: **numero di particelle e superficie attiva**



Risultati

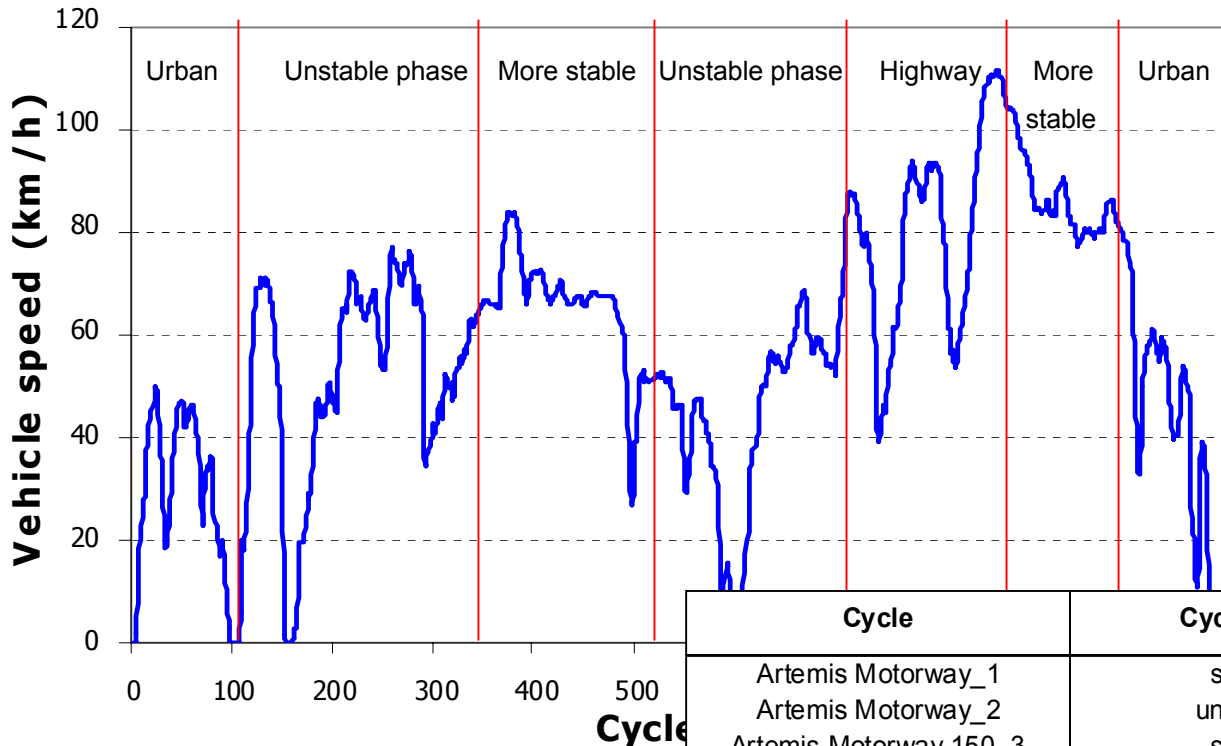
Effetto sulle emissioni del miglioramento della tecnologia

Effetto sulle emissioni della riduzione del **contenuto di zolfo** nel combustibile

Analisi di varianza

Utilizzo di sotto-cicli di guida per costruire le curve di dipendenza dalla velocità media

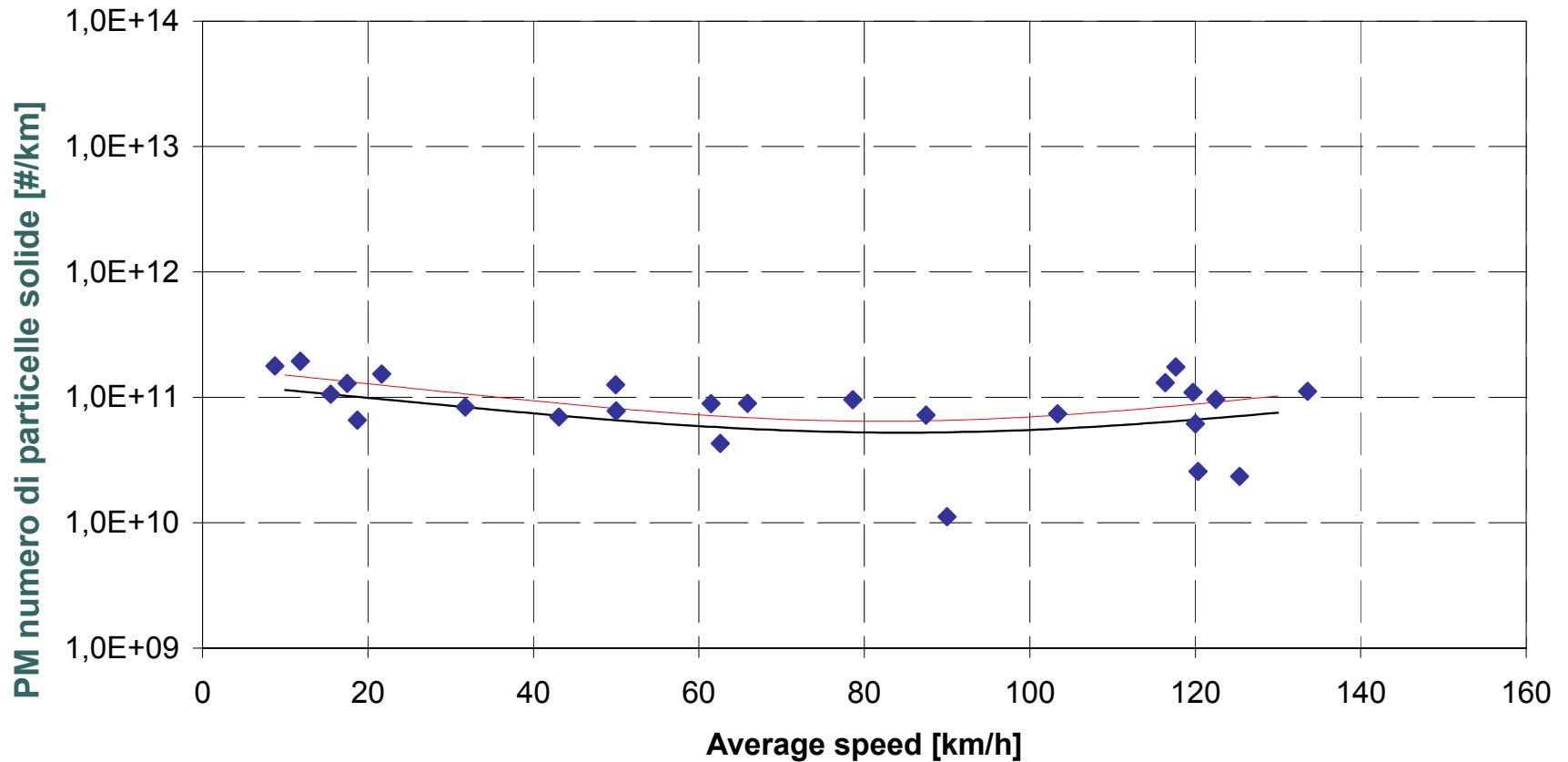
ARTEMIS extraurbano



Cycle	Cycle type	Average speed [km/h]	Duration [s]
Artemis Motorway_1	stable	122,5	272
Artemis Motorway_2	unstable	103,4	173
Artemis Motorway 150_3	stable	125,4	182
Artemis Motorway 150_4	unstable	133,6	109
Artemis Motorway_3	stable	117,6	182
Artemis Motorway_4	unstable	119,7	109
Artemis Road_1	unstable phase	49,9	240
Artemis Road_2	more stable phase	65,9	171
Artemis Road_3	unstable phase	43,1	183
Artemis Road_4	highway	78,6	177
Artemis Road_5	more stable phase	87,5	91
Artemis Urban_1	urban dense	15,5	236
Artemis Urban_2	free flow urban	31,8	198
Artemis Urban_3	congested, stops	8,7	243
Artemis Urban_4	congested low speed	11,8	128
Artemis Urban_5	stable	21,7	116

4 – Sottocicli di guida ARTEMIS

Autoveicolo diesel, <= 2000cc



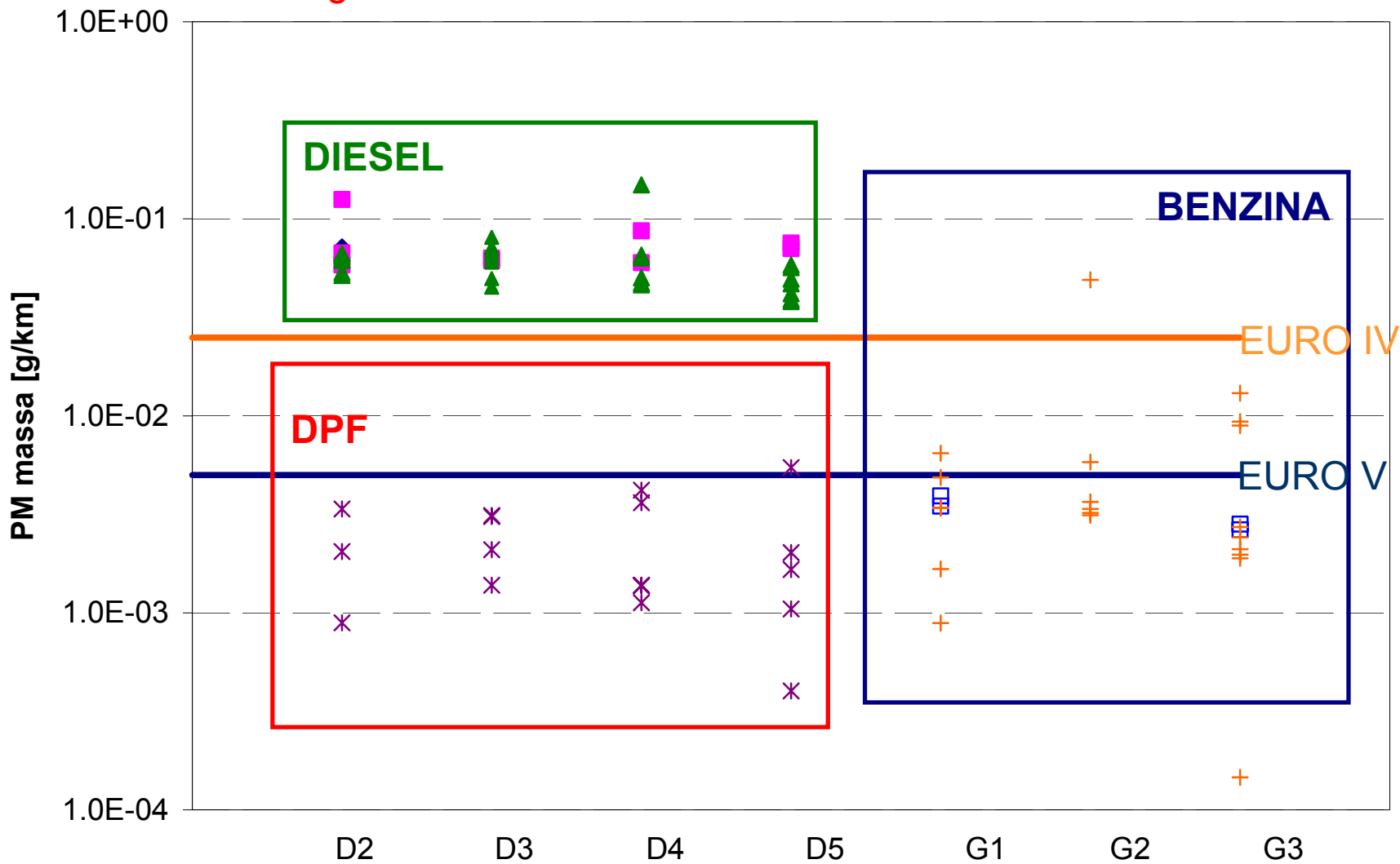
◆ Euro III+DPF

— Poli. (EURO III+DPF)

— Poli. (EURO III+DPF) subcycle

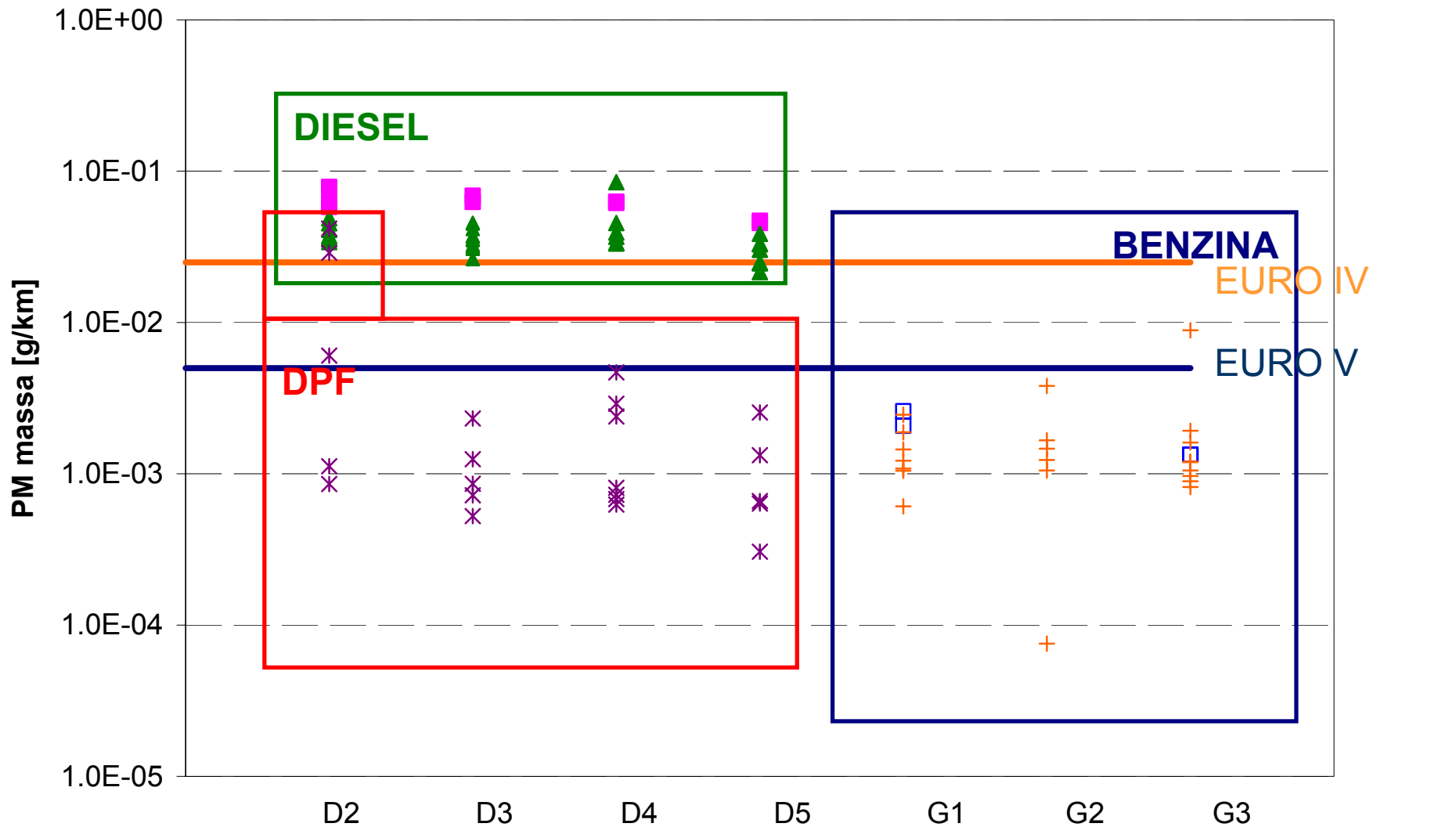
ARTEMIS urbano

!Scala logaritmica



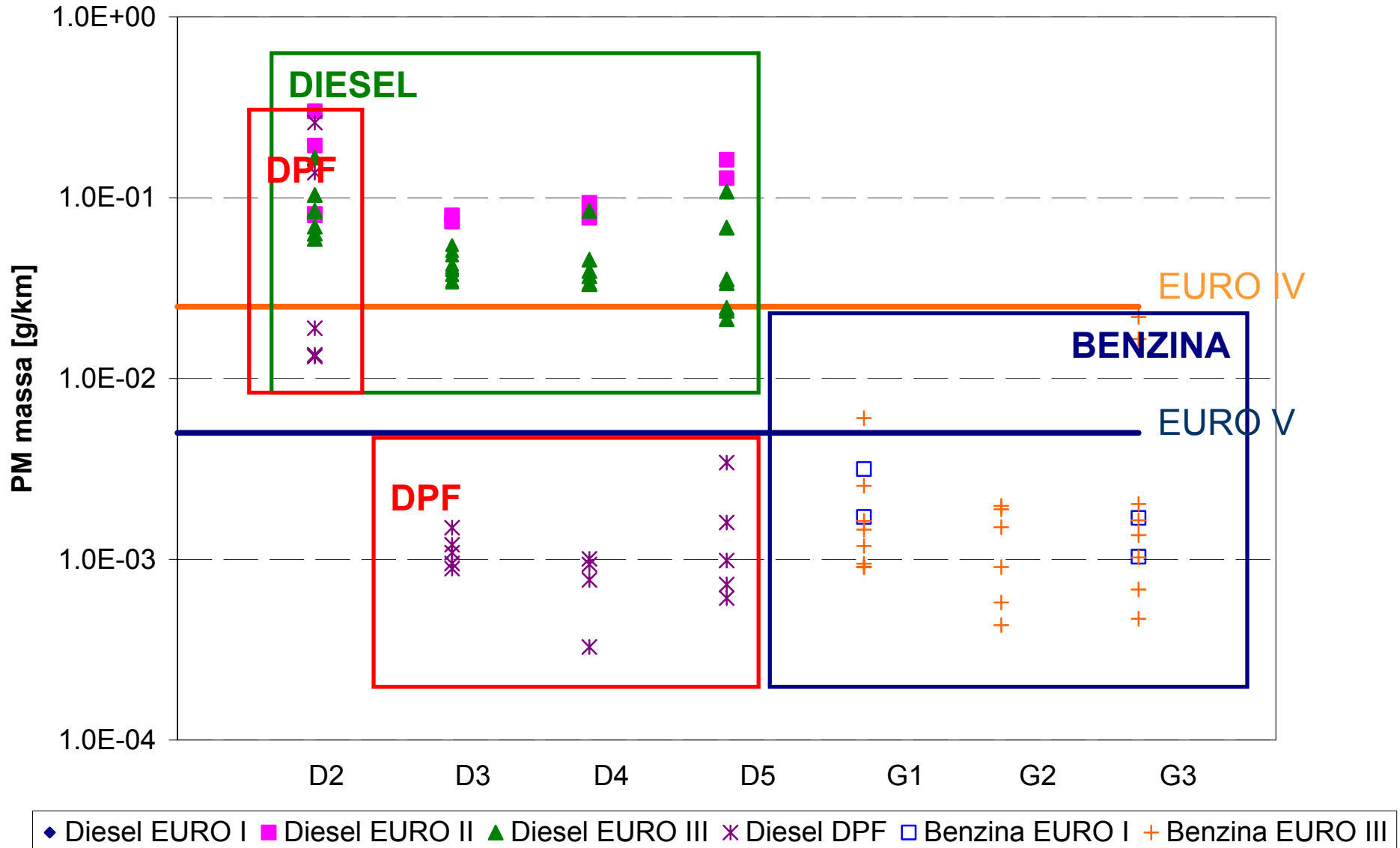
◆ Diesel EURO I ■ Diesel EURO II ▲ Diesel EURO III ✖ Diesel DPF □ Benzina EURO I + Benzina EURO III

ARTEMIS extraurbano



◆ Diesel EURO I ■ Diesel EURO II ▲ Diesel EURO III ✖ Diesel DPF □ Benzina EURO I + Benzina EURO III

ARTEMIS autostradale





Conclusioni

Fattori di emissioni di PM dei veicoli EURO II ed EURO III molto simili.

Veicoli dotati di trappola per il particolato sono associati ad una effettiva riduzione delle emissioni di PM. Eccetto per le alte velocità e per i combustibili con alti tenori di zolfo.

Il numero di particelle solide non sembra essere influenzato dal ciclo di guida

Picchi di nucleazione di osservano per i veicoli EURO III e PDF ad alte velocità medie per combustibili ad alto tenore di zolfo.

Il test di variabilità evidenzia le differenze tra le emissioni dei veicoli “tradizionali” e dei veicoli dotati di filtro per il particolato



Conclusioni

I fattori di emissione dei veicoli EURO II ed EURO III dipendono dal contenuto di zolfo nei combustibili in modo meno rilevante rispetto ai veicoli con filtro per il particolato.

Utilizzare combustibili ad alto tenore di zolfo aumenta le emissioni di particolato ad alta velocità. Effetto dell'uso dei combustibili ad alto tenore di zolfo sulla nucleazione.

Fattori di emissione dei veicoli di nuova generazione sono confrontabili con quelli dei veicoli a benzina → introdurre limiti per il particolato anche per i veicoli a benzina

Le curve costruite utilizzando i sottocicli sono simili a quelle ottenute con i cicli di guida completi.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE





test Kruskal-Wallis

- Tutte le misure vengono inserite in un unico campione N.
- Tutti i dati vengono ordinati per ranghi e riportati nei gruppi di partenza
- viene calcolata la media dei ranghi per ciascun gruppo (M_g)
- viene calcolata la media di tutti gli N ranghi

$$SSbg(R) = \sum_g [n (M_g - M_N)^2]$$

- Statistica:

$$H = \frac{SSbg(R)}{\frac{N(N+1)}{12}}$$

3 - *Analisi di varianza parametrica*

PM superficie attiva

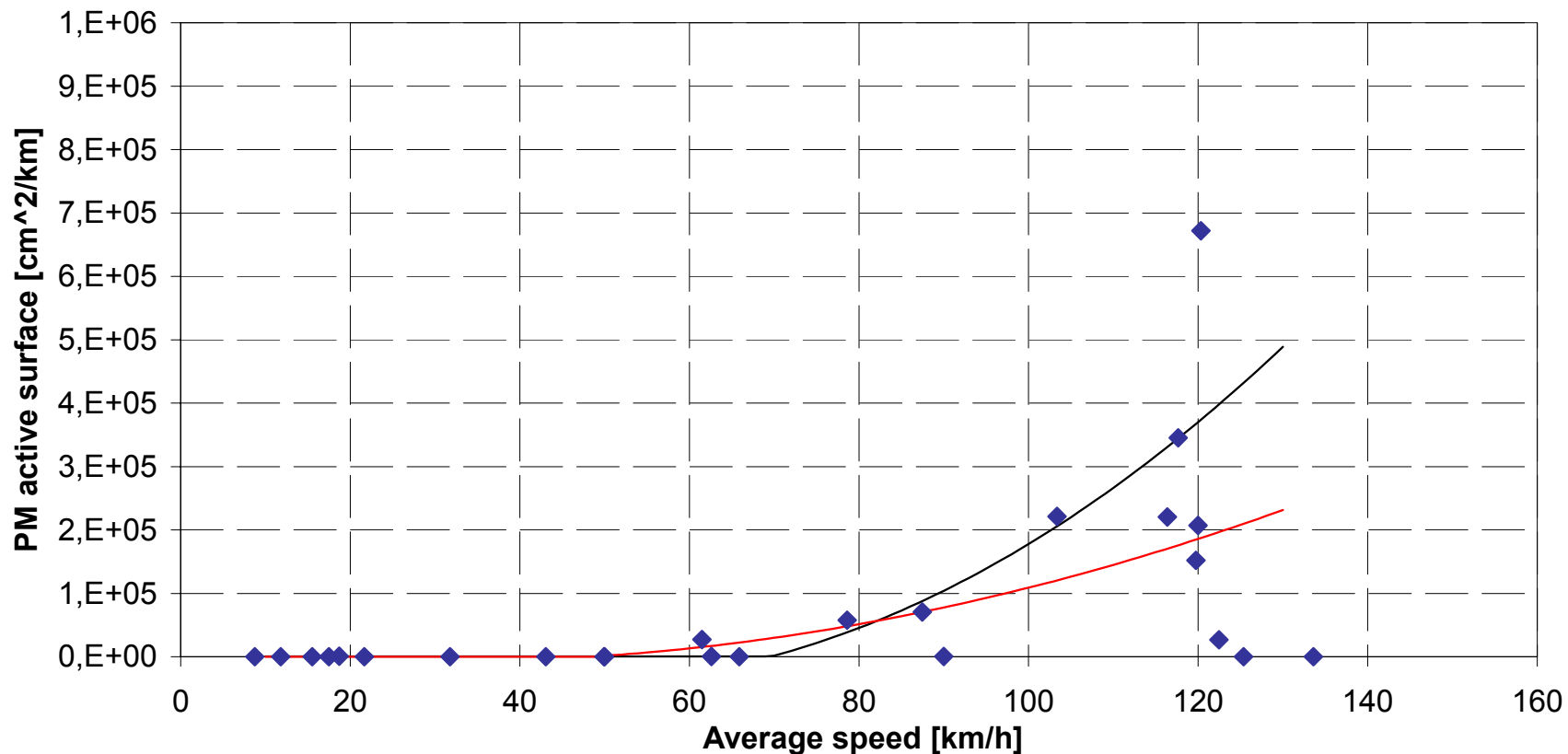
	Average speed cycle <40 km/h	Average speed cycle 40-90 km/h	Average speed cycle >90km/h
Chi-Square	28,913	32,443	5,613
Degree of freedom	3	3	3
Asymp. Sig.	,001	,001	,132

PM numero di particelle

	Average speed cycle <40 km/h	Average speed cycle 40-90 km/h	Average speed cycle >90km/h
Chi-Square	33,883	25,941	39,602
Degree of freedom	3	3	3
Asymp. Sig.	,001	,001	,001

4 - ARTEMIS sub-cycles

Diesel passenger car, $\leq 2000\text{cc}$



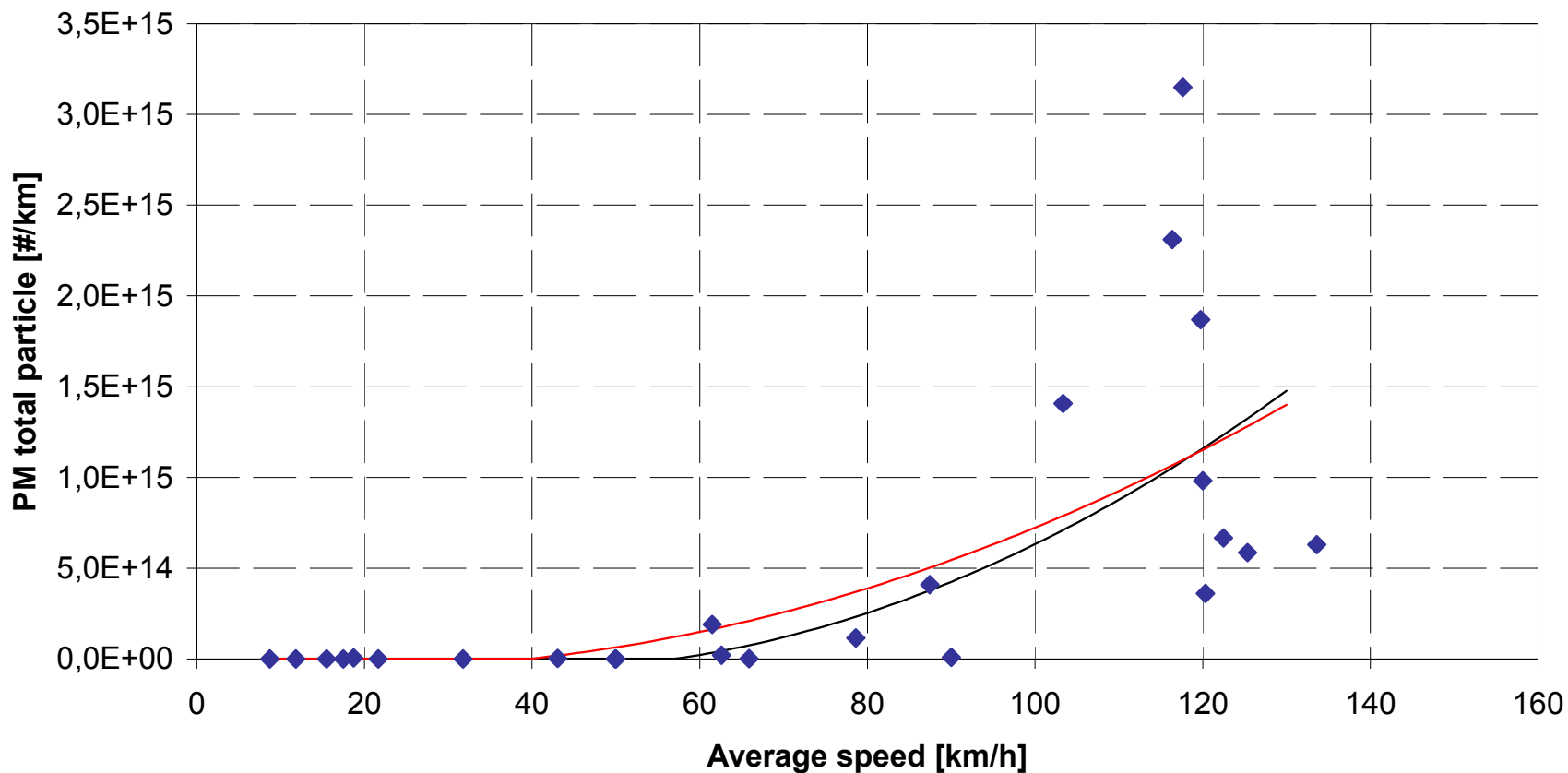
◆ Euro III+DPF

— Poli. (EURO III+DPF)

— Poli. (EURO III+DPF) - sub-cycle

4 - ARTEMIS sub-cycles

Diesel passenger car, $\leq 2000\text{cc}$

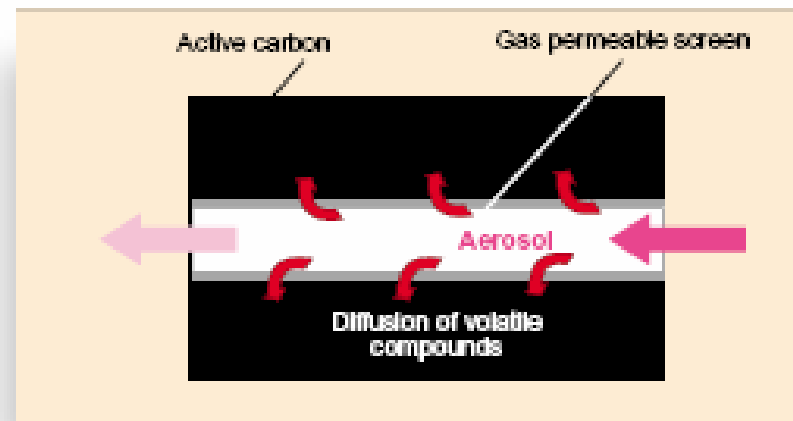
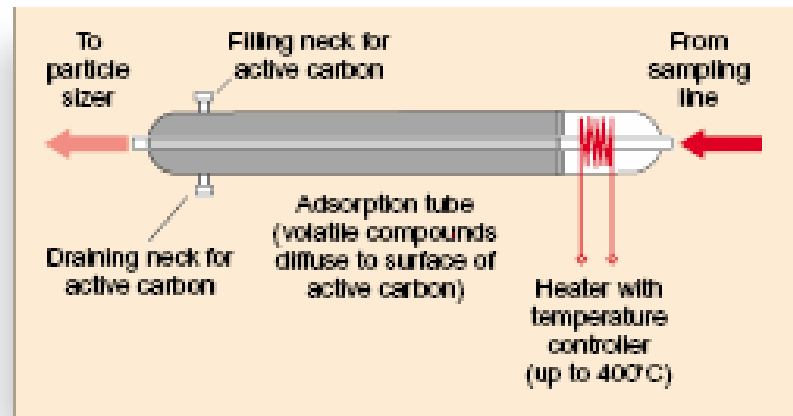
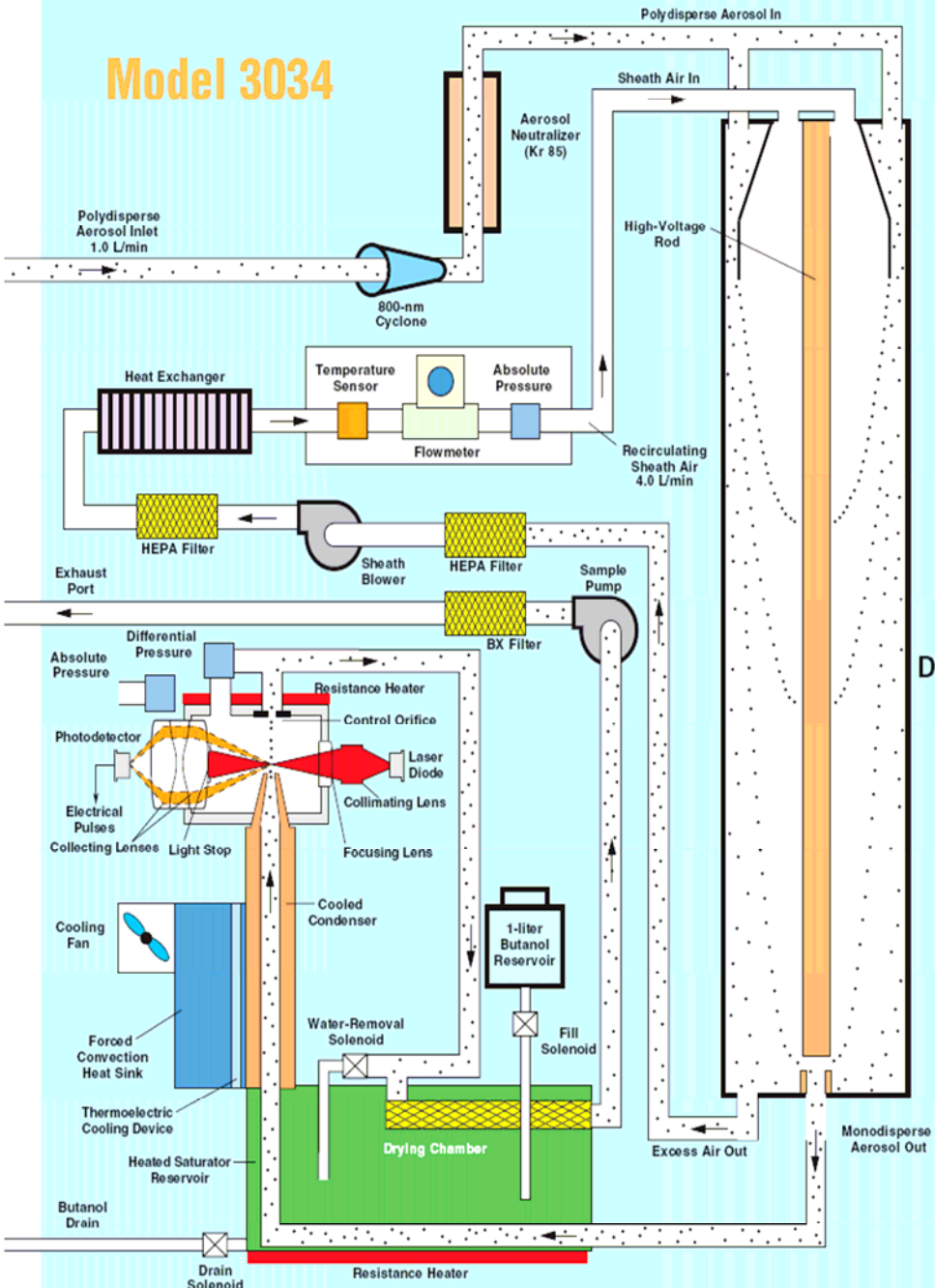


◆ Euro III+DPF

— Poli. (EURO III+DPF)

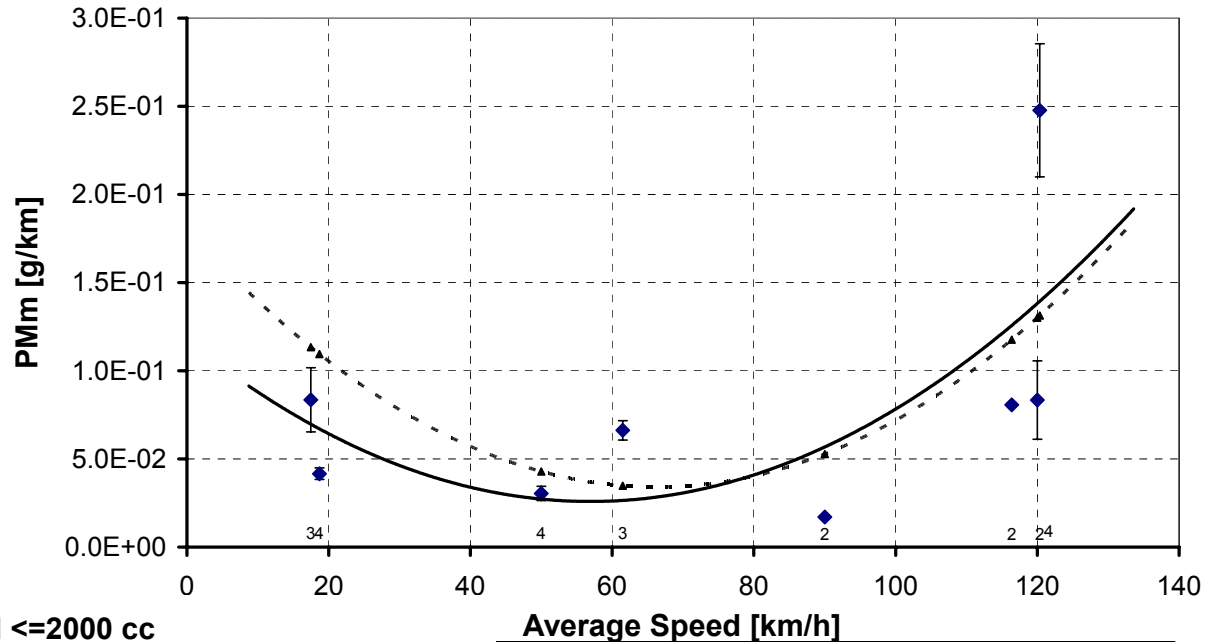
— Poli. (EURO III+DPF sub-cycle)

Model 3034

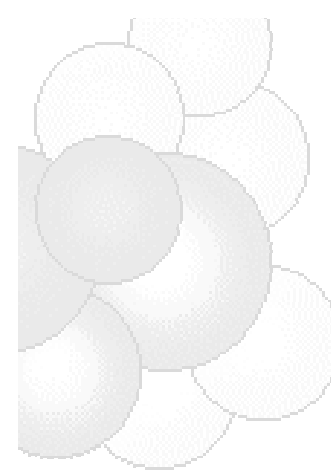
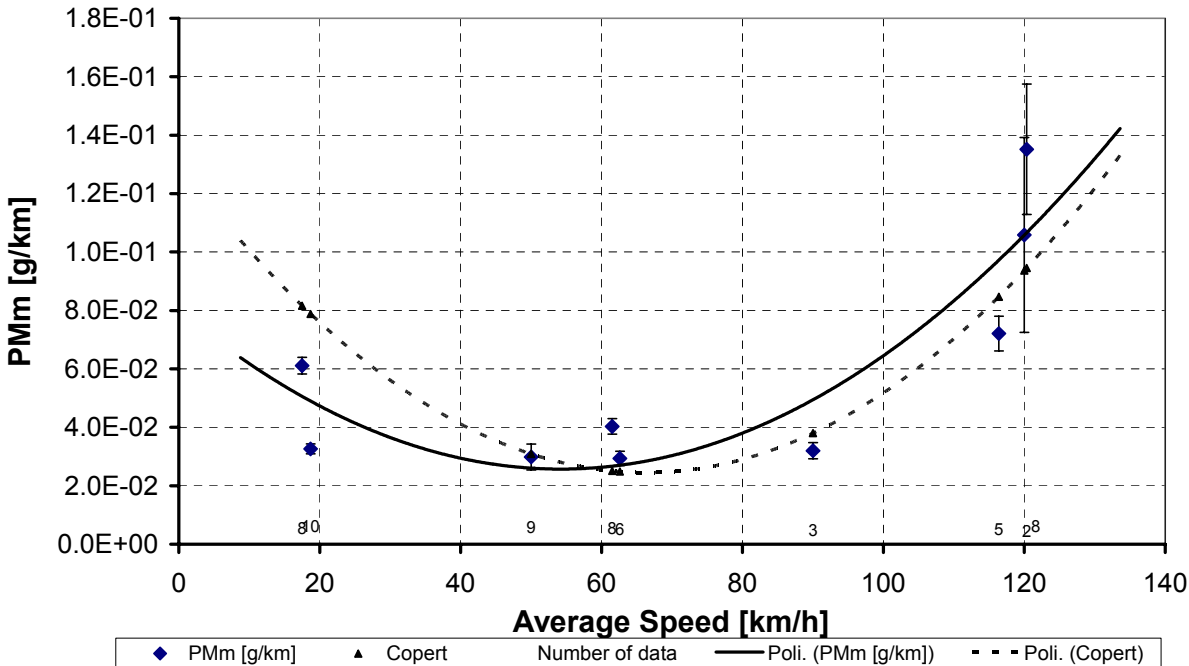


	Lab	Vehicle	Engine Size [l]	Emission Standard	After-Treatment
Diesel	LAT	VW Golf TDI	1.9	Euro I	None
	LAT	VW Golf TDI	1.9	Euro II	OxiCat
	AVL MTC	Peugeot 406 HDI	2.0	Euro II	OxiCat
	LAT	Renault Laguna dCi	1.9	Euro III	OxiCat
	IFP	VW Golf TDI	1.9	Euro III	OxiCat
	FFA	VW Golf TDI	1.9	Euro III	OxiCat
	EMPA	Ford Galaxy TD	1.9	Euro III	OxiCat
	AVL MTC	VW Golf TDI	1.9	Euro III	OxiCat
	Shell	VW Golf TDI	1.9	Euro III	OxiCat
Diesel + DPF	EMPA	Peugeot 406 HDI/FAP	2.0	Euro III+DPF	OxiCat + DPF
	IFP	Peugeot 307 SW	2.0	Euro III+DPF	OxiCat + DPF
	LAT	Renault Laguna dCi	1.9	Euro III+DPF	OxiCat +2xDPF
	AVL MTC	Peugeot 607 HDI	2.2	Euro III+DPF	OxiCat + DPF
	Shell	Peugeot 607 HDI	2.2	Euro III+DPF	OxiCat + DPF
Gasoline Port Fuel Injection	LAT	BMW 318ti	1.8	Euro I	TWC
	IFP	Renault Mégane II	1.6	Euro III	TWC
	LAT	Toyota Corolla TS	1.8	Euro III	TWC
	EMPA	Alfa 146 TS 16V	2.0	Euro III	TWC
	EMPA	RenaultMégane16V	1.6	Euro III	TWC
Stoich. DISI	EMPA	Toyota Avensis	2.0	Euro III	TWC
	Shell	Renault Mégane IDE	2.0	Euro III	TWC
Lean DISI	AVL MTC	Mitsubishi Carisma GDI	1.8	Euro III	TWC/NOx Storage
	IFP	Peugeot 406 HPI	2.0	Euro III	TWC/NOx storage
	Shell	Citroen C5 HPI	2.0	Euro III	TWC/NOx Storage

Diesel, Euro II, >=1400 and <=2000 cc

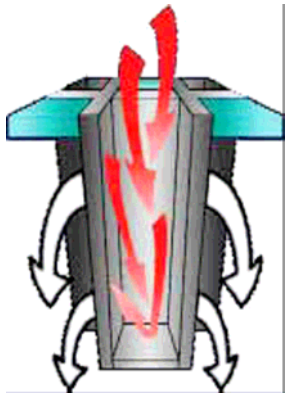


Diesel, Euro III, >=1400 and <=2000 cc



La tecnologia è basata su filtri in carburo di silicio poroso, un materiale che offre caratteristiche uniche di resistenza al calore e agli sbalzi termici.

Il filtro è costituito da una struttura a nido d'ape attraverso la quale i gas di scarico vengono filtrati.



Il particolato, composto prevalentemente da particelle di carbone di varie dimensioni, viene quindi trattenuto dal filtro, con particolare efficacia anche sulle particelle più fini. L'utilizzo di speciali additivi, da aggiungere al carburante, consente la completa combustione del particolato carbonioso precedentemente trattenuto al raggiungimento di una temperatura di circa 250/280 C° (processo di rigenerazione del filtro).

Le temperature tipiche dei gas di scarico emessi dai veicoli in esercizio urbano (autobus, veicoli per raccolta rifiuti) variano tra 250/400 °C.

Il dispositivo di controllo elettronico gestisce in modo automatico il sistema di dosaggio additivo installato a bordo veicolo e garantisce la vita utile del motore poiché sono costantemente controllati i valori di contro-pressione allo scarico indicati dal costruttore.

