

*Istituto Motori - Consiglio Nazionale delle Ricerche
Dipartimento "Energia e Trasporti"*

Applicazione del modello KEM (Kinematic Emission Model) per la valutazione dei fattori di emissione di autoveicoli su cicli di guida microsimulati

G. Meccariello, L. Della Ragione

**XV E.P.
EMISSIONI DA TRASPORTO SU STRADA**

**ROMA 29/04/2010
SALONE CENTRALE ENEA**

SOMMARIO

- **INTRODUZIONE**
- **OBIETTIVI DELLO STUDIO**
- **METODOLOGIA**
 - **MODELLO DI EMISSIONE “KEM”**
 - **CALIBRAZIONE DEI MODELLI DI CAR-FOLLOWING**
- **APPLICAZIONE E RISULTATI**
- **CONCLUSIONI**

INTRODUZIONE

- **Anche se gli standard di emissione più severi e miglioramenti tecnologici hanno portato ad una notevole riduzione dei livelli di emissione per le nuove autovetture, le emissioni allo scarico dei veicoli ancora influenzano la qualità dell'aria urbana.**
- **Attualmente esistono numerosi modelli di emissione utilizzabili per la valutazione dell'effetto delle misure e delle politiche di un sistema di trasporto e ci sono anche diversi modelli in grado di stimare le emissioni del traffico.**
- **Resta però ancora una questione aperta per chiunque sia coinvolto nella valutazione dei fattori delle emissioni dei veicoli, attraverso una valutazione modellistica, la rispondenza di questi con le condizioni di uso reale.**

BACKGROUND E OBIETTIVI

La valutazione delle emissioni può essere effettuata per diversi scopi e per diverse scale spazio/temporali:

- modelli macro scale sono in grado di definire inventari delle emissioni e calcolare la stima complessiva media di emissioni sulla base di pochi parametri di input come la composizione della flotta e la velocità media;
- modelli meso scale in cui si richiede una rappresentazione dettagliata della zona e della rete di traffico (in link). Per ogni link le emissioni medie sono in genere valutate per singolo veicolo in funzione del flusso di veicoli e della velocità media;
- modelli micro scale sono modelli istantanei di emissione che necessitano di un'analisi più dettagliata del comportamento di guida dei veicoli rappresentato dal profilo di velocità dei veicoli in un link.

BACKGROUND E OBIETTIVI

Diversi modelli di tipo “meso scale” comunemente utilizzati per l'inventario delle emissioni si basano unicamente sulla velocità media del viaggio come unico parametro di input per prevedere le emissioni.

2000
COPERT
III

2005 VERSIT+
(SMIT R. ET
AL.)

2006 COPERT IV

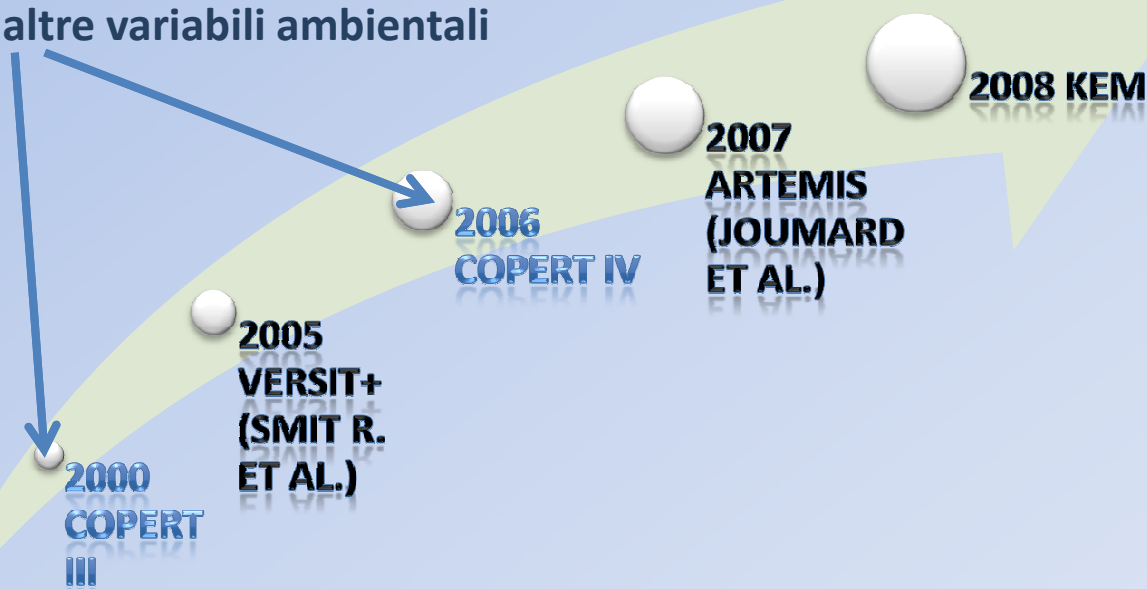
2007 ARTEMIS
(JOURMARD ET
AL.)

2008 KEM

BACKGROUND E OBIETTIVI

COPERT (Computer programme to calculate emissions from road transport) è ormai alla quarta release a partire da quella sviluppata dal gruppo lavoro che è stato istituito a questo scopo (la versione iniziale era COPERT 85 (1989) e poi seguita COPERT 90 (1993), COPERT II (1997) e COPERT III (1999))

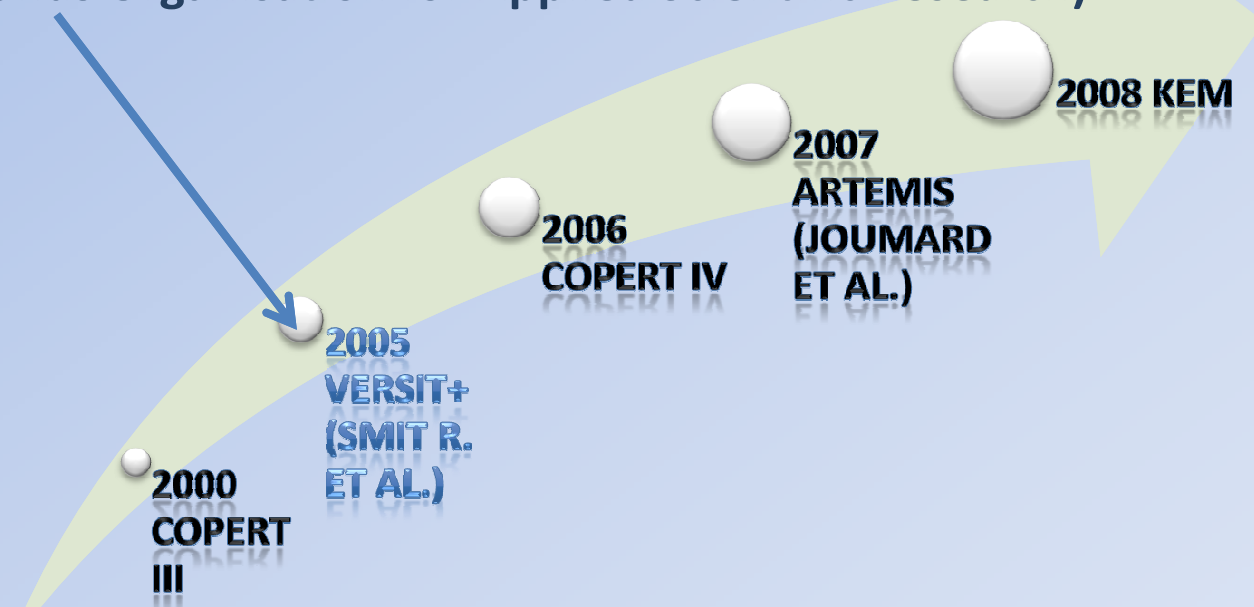
COPERT (LAT University of Thessaloniki) stima i valori emissivi di tutti i principali inquinanti atmosferici (CO, NO_x, CO₂, PM, ..), prodotti da diverse categorie di veicoli (autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli pesanti, ciclomotori e motocicli); richiede come solo parametro di input la velocità media, e tiene conto della tecnologia e della categoria del veicolo, e di altre variabili ambientali



BACKGROUND E OBIETTIVI

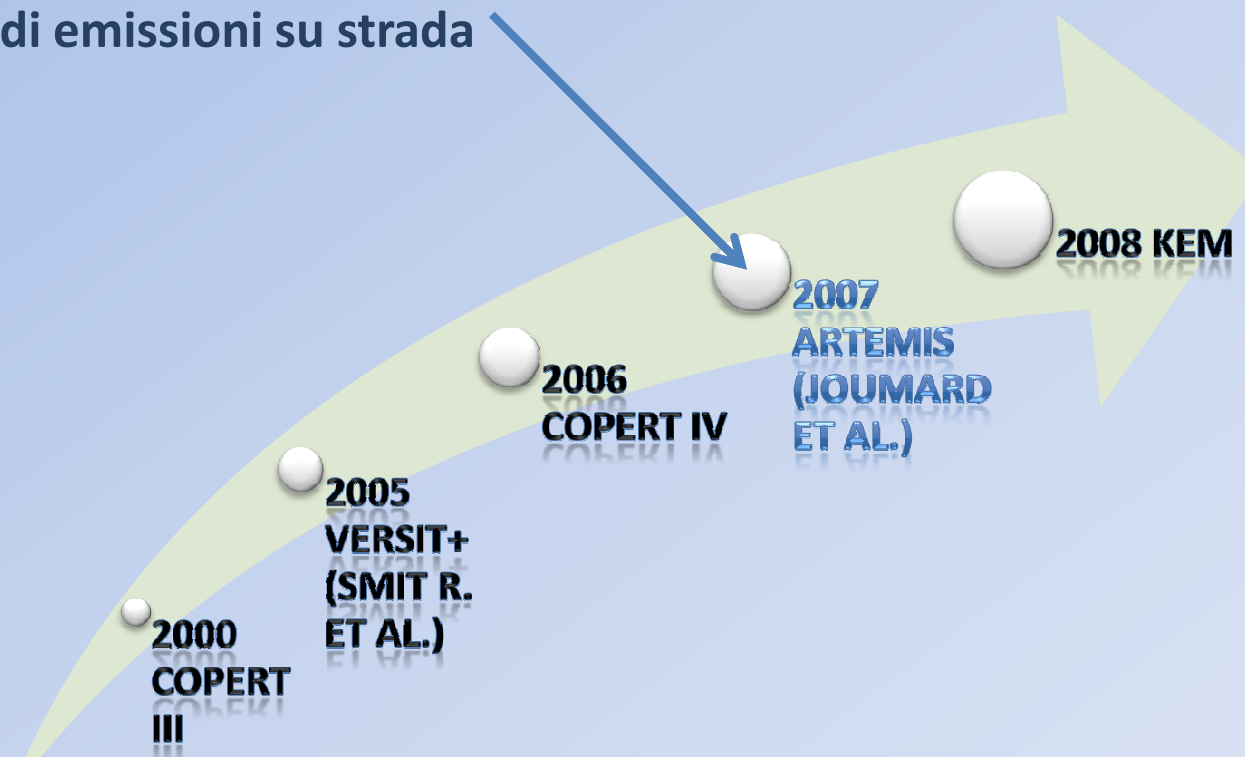
Il modello cinematico **VERSIT +** (University of Graz) calcola i fattori di emissione tramite una funzione di regressione multipla con diverse variabili che sintetizzano il profilo reale della velocità.

VERSIT + utilizza un modello statistico basato su un database di emissioni che copre molte tipologie di veicoli. Il modello è stimato a partire dalle misure di emissioni ottenute nelle più recenti campagne condotte dal TNO (The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)



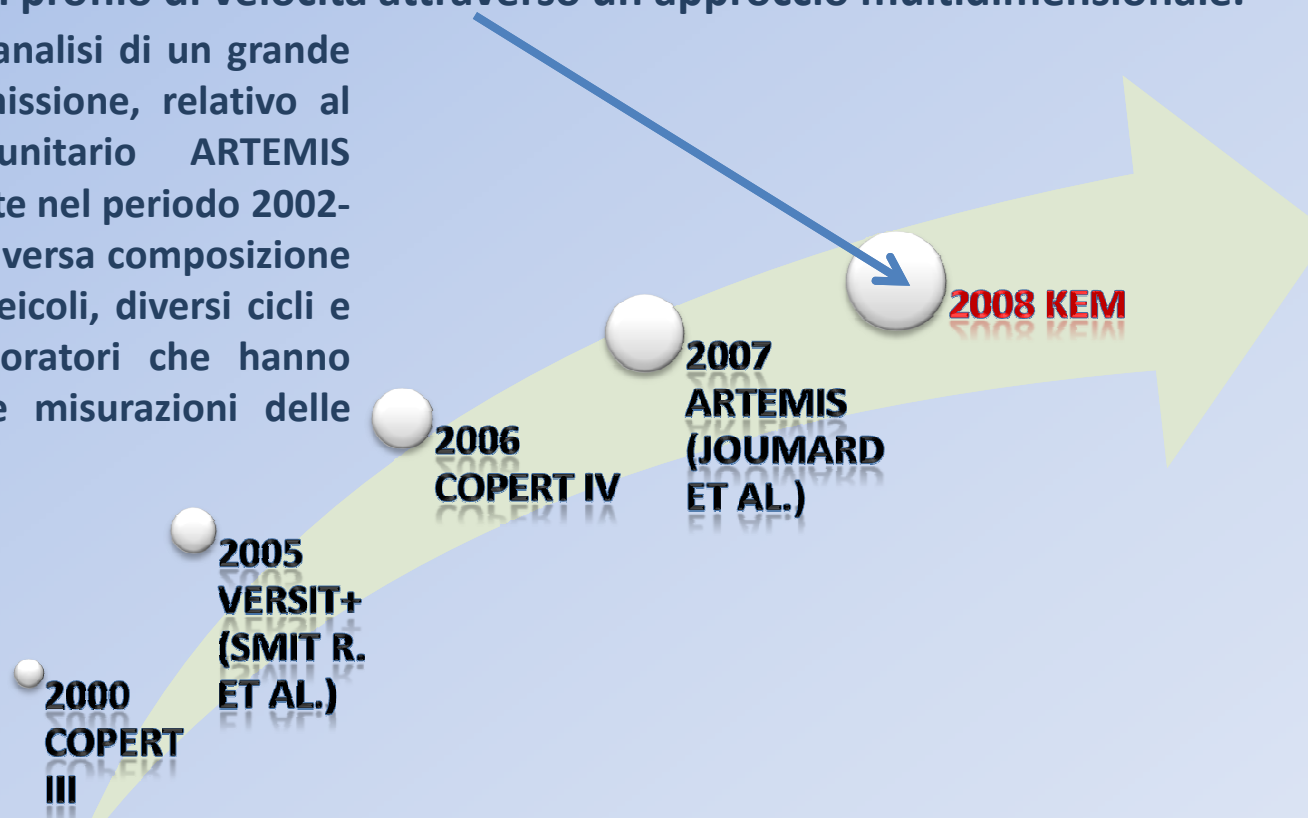
BACKGROUND E OBIETTIVI

Traffic situation models (ARTEMIS FP6- INRETS France) è un modello discreto che richiede la caratterizzazione di “situazioni di traffico” mediante la definizione di differenti comportamenti di traffico. Il modello fornisce fattori di emissione per diverse categorie di veicoli (PC, LDV, HDV e motocicli), su una vasta gamma di situazioni di traffico/profilo stradale e si basa su campagne di misure di emissioni su strada



BACKGROUND E OBIETTIVI

- Il modello cinematico KEM (**Kinematic Emission Model**) è stato sviluppato dall'Istituto Motori nell'ambito del progetto ARTEMIS FP5th EU ed è definito come un modello di emissione meso-scale
- Il modello stima le emissioni medie di un profilo di guida basato su una dettagliata descrizione del profilo di velocità attraverso un approccio multidimensionale.
- È basato sull'analisi di un grande database di emissione, relativo al progetto comunitario ARTEMIS (misure realizzate nel periodo 2002-2004), con una diversa composizione della flotta di veicoli, diversi cicli e sub-ciclo e laboratori che hanno partecipato alle misurazioni delle emissioni.



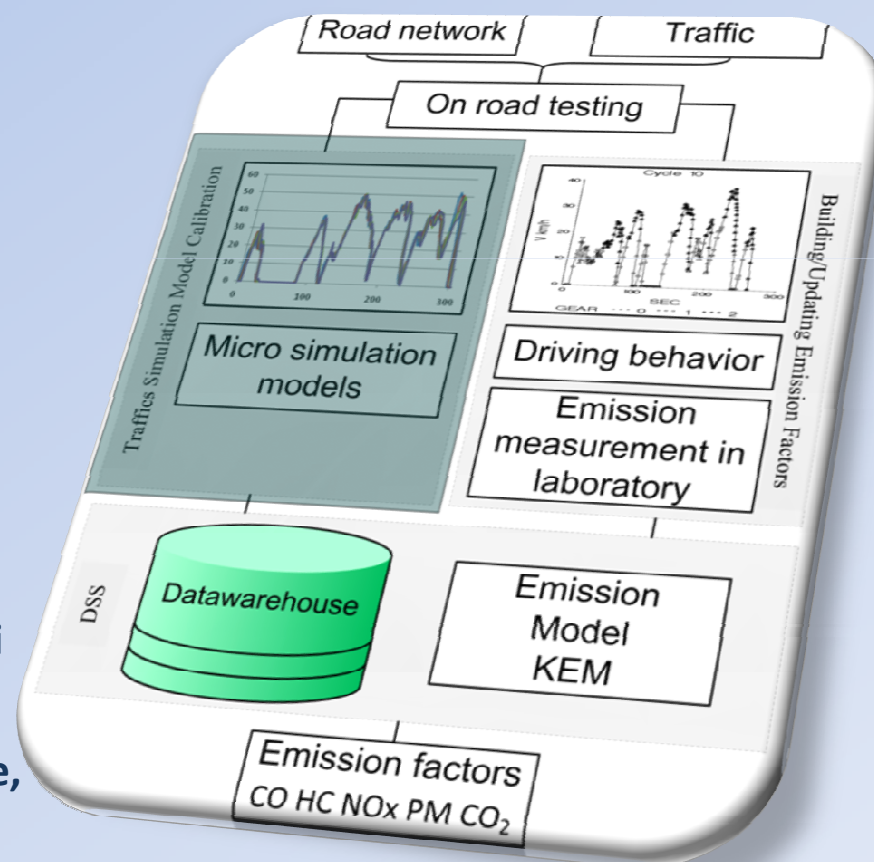
BACKGROUND E OBIETTIVI

- **Integrazione dei modelli microscopici di traffico e dei modelli di emissione istantanea**
 - Diversi tentativi (Ahn et al., 2002, 2005, Boriboonsomsin and Barh 2008);
 - Numerosi problemi tecnici e di integrazione già risolti;
 - Possibili campi di applicazione già delineati;
 - Scarsa attenzione per la calibrazione e la validazione dei modelli di traffico;
 - Uso diretto di pacchetti di simulazione microscopica del traffico, invece di modelli basati sul car-following;

METODOLOGIA

L'approccio consente di:

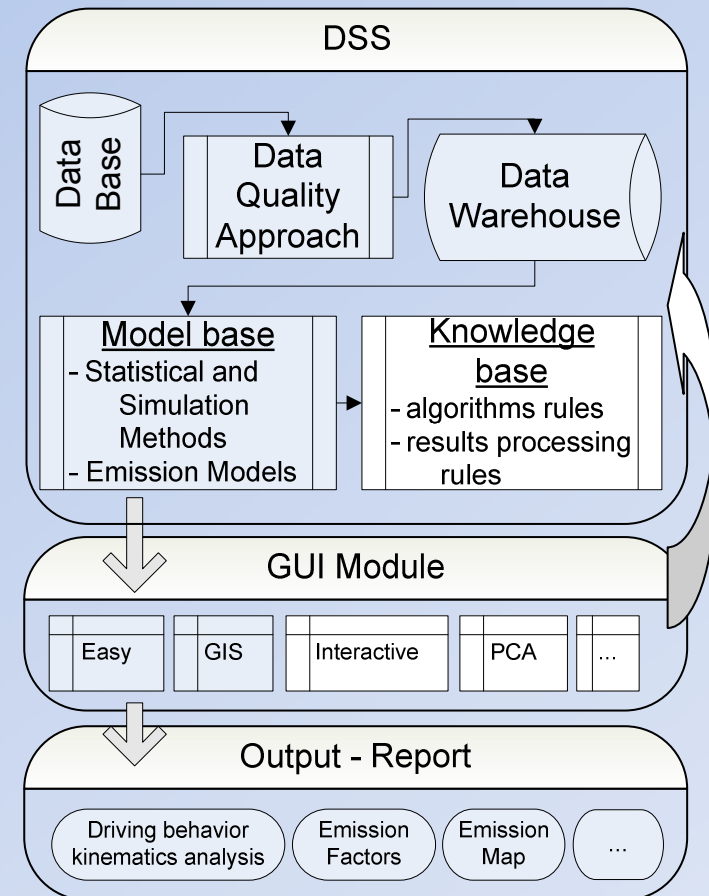
- considerare diverse reti stradali, condizioni di traffico e caratteristiche specifiche di ciascuna area geografica;
- considerare veicoli di diversa cilindrata e tecnologia;
- calcolare una stima quantitativa dei possibili errori che possono verificarsi (errori nella simulazione di traiettorie di veicoli che possono aumentare dal secondo ai successivi veicoli del plotone, che è quello che accade con i pacchetti di simulazione microscopica del traffico);
- eseguire un'analisi statistica multivariata su dati sperimentali per definire gruppi di cicli di guida, condizioni di funzionamento del veicolo/motore, ed efficienza del catalizzatore;



METODOLOGIA

Il nucleo centrale di questo approccio è un modello di emissione ottenuto tramite l'analisi statistica multivariata su una base dati di emissioni, che considera come input parametri cinematici in grado di caratterizzare la fase di minimo, di accelerazione, decelerazione, velocità costante di crociera.

Il modello denominato **KEM (Kinematic Emission Model)** utilizza come strumento matematico un metodo di regressione in grado di considerare contemporaneamente le relazioni all'interno delle variabili Y (cioè dati di emissione), all'interno delle variabili X (ovvero i parametri cinematici che caratterizzano un ciclo di guida) e, ultimo tra Y e X. (Partial Least Squares PLS)



METODOLOGIA

Un consistente set di parametri cinematici, raggruppati in due blocchi, sono stati utilizzati per sintetizzare il comportamento reale dei cicli di guida dei veicoli in qualsiasi condizione di traffico

<i>VARIABLE</i>	<i>Description</i>
<i>MV (km/h)</i>	<i>Mean of running speed (v>0)</i>
<i>MV2(km²/h²)</i>	<i>Mean of square speed (v>0)</i>
<i>MV3(km³/h³)</i>	<i>Mean of cube speed (v>0)</i>
<i>Trunning (s)</i>	<i>Total running time (v>0) in second</i>
<i>Tidle (s)</i>	<i>Idling time v=0 in second</i>
<i>Invdist (1/m)</i>	<i>reciprocal of the trip length</i>
<i>MVA_POS (m²/s³)</i>	<i>Mean of instantaneous values of product (a(t)•v(t)) when v(t)>0 and a(t)>0</i>

Blocco 1: le variabili tengono conto della **variazione delle emissioni in funzione dell'energia spesa dal veicolo in un ciclo di guida;**

Blocco 2: le variabili rappresentano la **frequenza degli eventi di accelerazione a diverse velocità.**

La funzione di regressione utilizzata in questo approccio si riferisce solo al primo blocco

$$\ln Y_{ij} = a_0 + a_1 MV + a_2 MV2 + a_3 MV3 + a_4 MVA_POS + a_5 Trunning + a_6 Tidle + a_7 Invdist + \epsilon_{ij}$$

Alle variabili di risposta si applica una trasformazione logaritmica per riportare i valori predetti in scala originale.

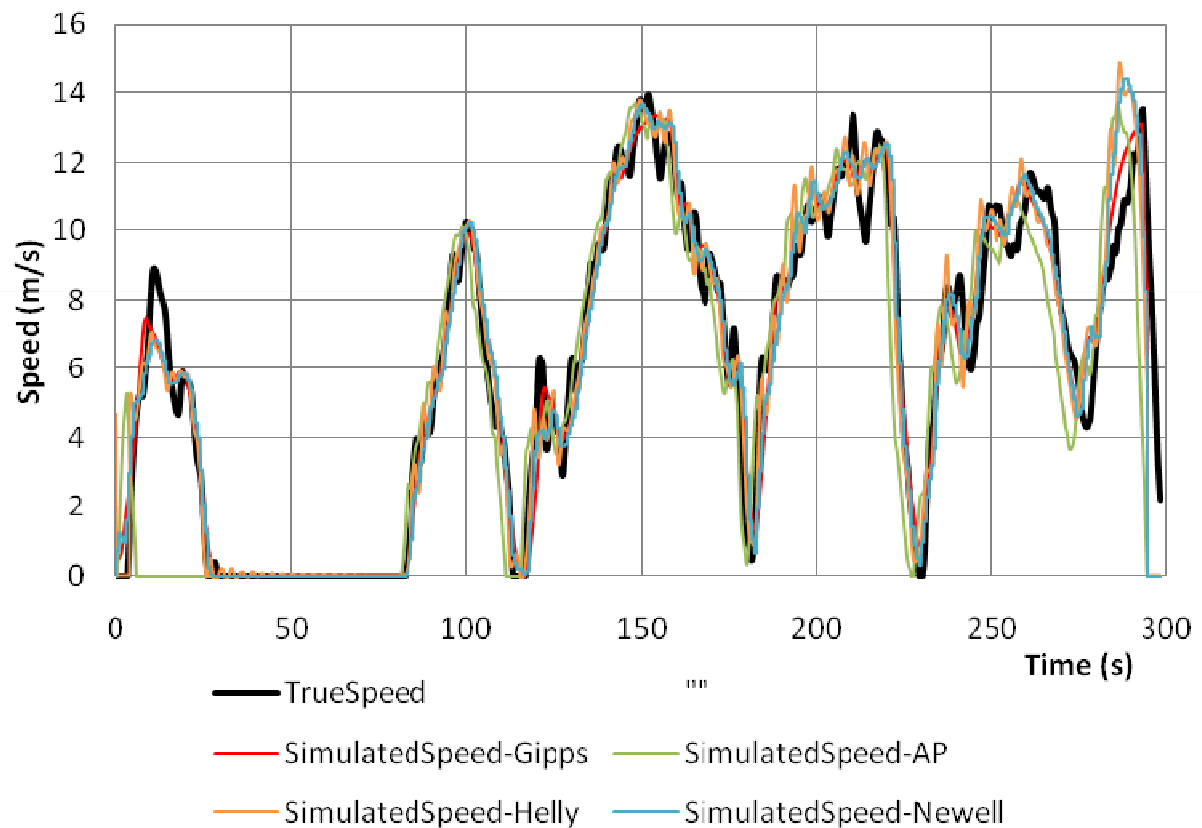
$$E[p, veh. class] = \hat{Y} = \exp [\ln \hat{Y} + (RMSEE)^2 / 2]$$

APPLICAZIONE E RISULTATI

Confronto tra il profili di velocità reale e l'ultimo veicolo simulato del plotone dopo la simulazione

E' possibile apprezzare la sovrapposizione generale tra il profilo reale e il simulato dell'ultimo veicolo del plotone

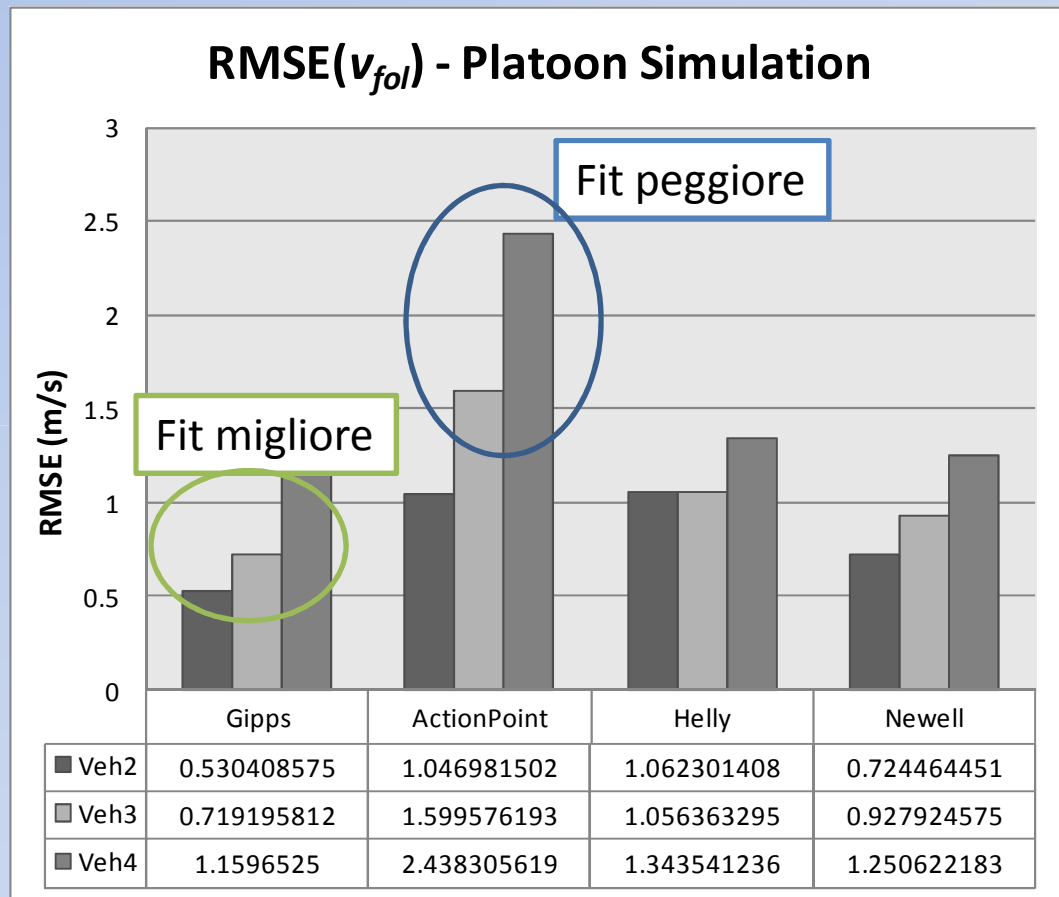
Vehicle 4 - True and simulated platoon speed



APPLICAZIONE E RISULTATI

Root Mean Square Error per le tre traiettorie e per tutti i quattro modelli dopo la simulazione del plotone

Fit dei singoli modelli di car-following



APPLICAZIONE E RISULTATI

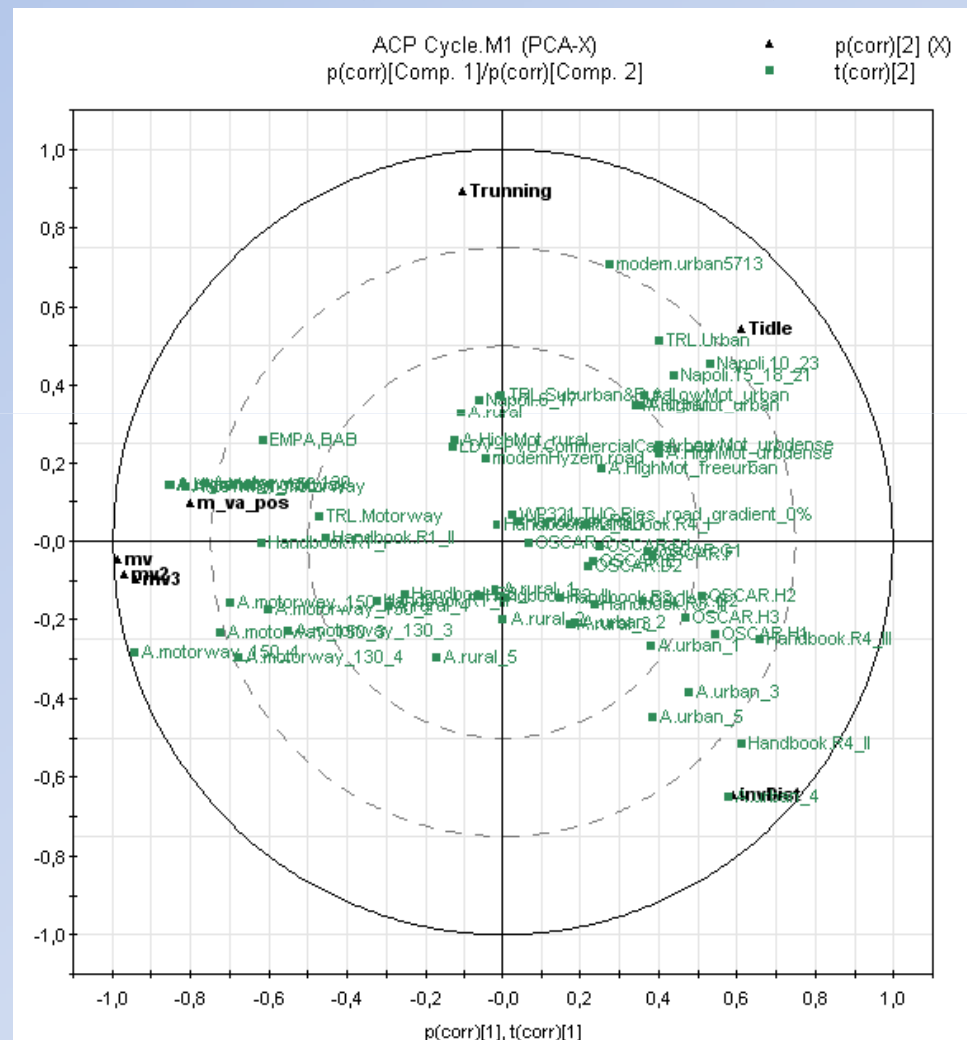
Analisi dei cicli di guida

Come base dati è stato considerato il database dei cicli di guida provenienti dal progetto Artemis

L'Analisi in Componenti Principali ci permette di analizzare le caratteristiche dei cicli di guida attraverso le variabili cinematiche identificate

Possiamo osservare la formazione di diversi gruppi di cicli caratterizzati attraverso i pesi dati dalle variabili cinematiche identificate

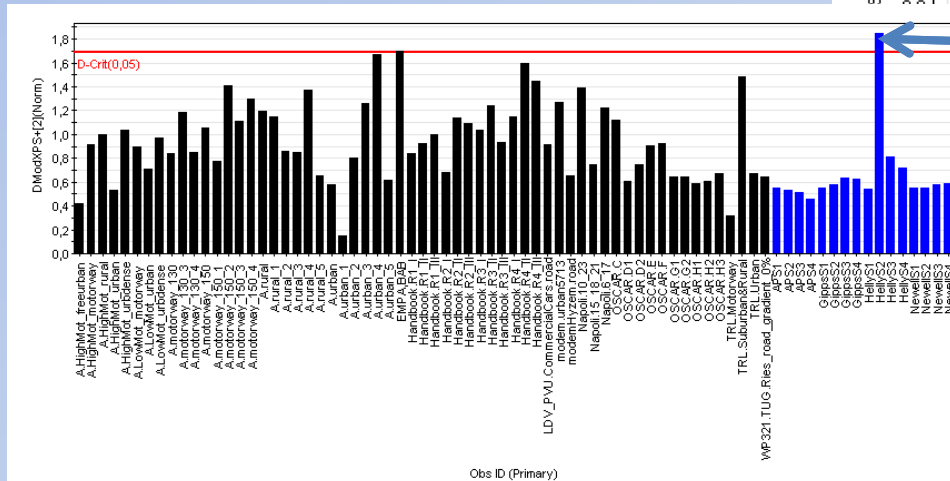
Loadings Bi-Plot of p1 vs. p2 and t1 vs. t2 component.



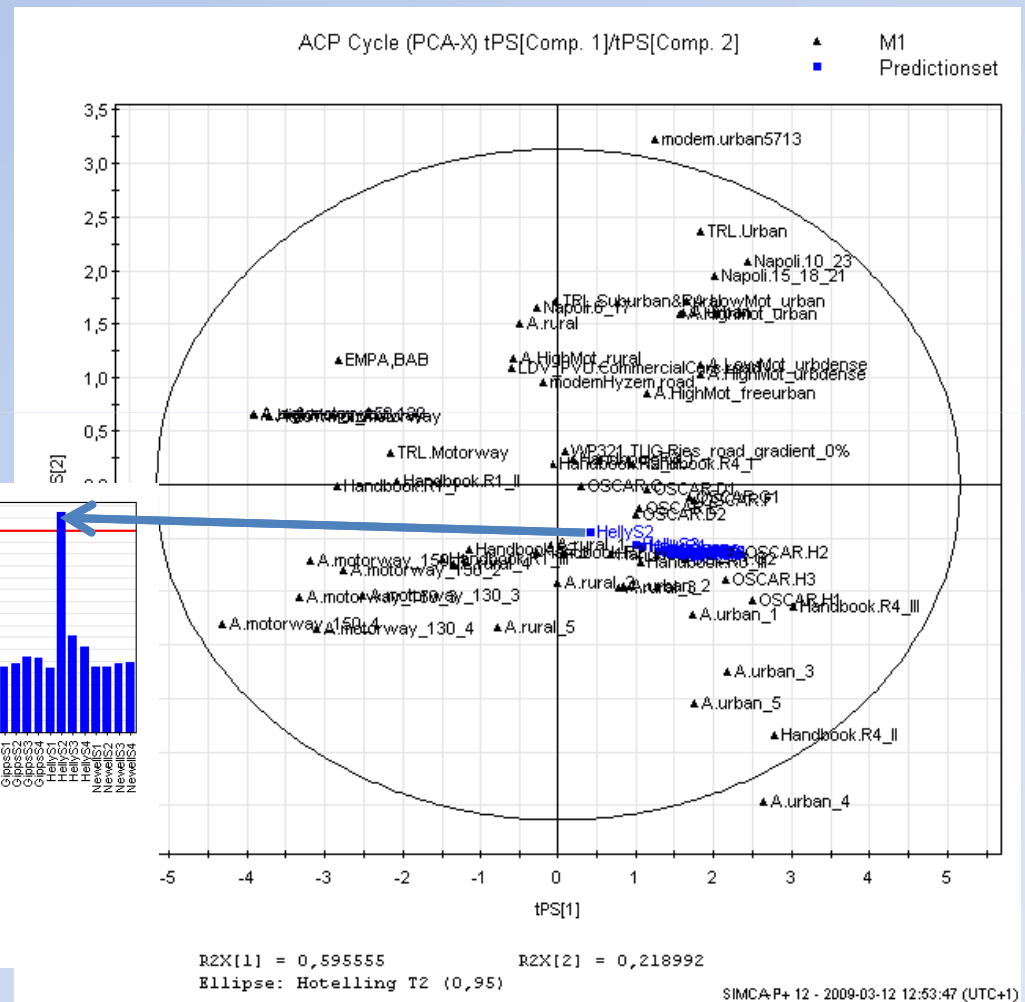
APPLICAZIONE E RISULTATI

I cicli simulati (blu), considerati come punti supplementari in relazione al work set, hanno caratteristiche cinematiche simili al Handbook.R, Oscar.G2, A.Urban.2, perchè prossimi agli stessi (considerando tutte le variabili simultaneamente)
(VM ~27÷28 Km/h)

Distance to model X column plot



Work Set (M1) and Supplementary (Prediction set) DC plot



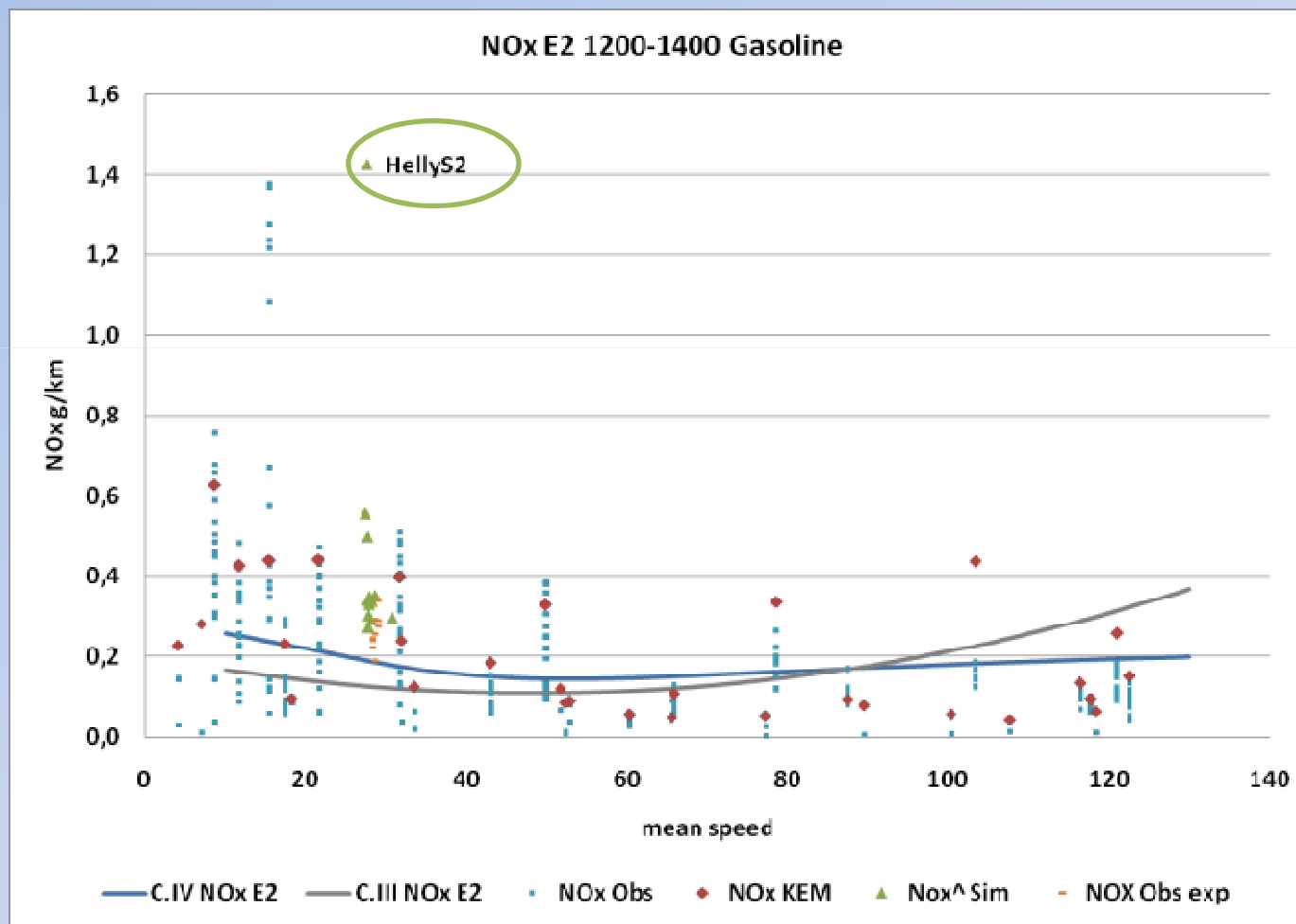
APPLICAZIONE E RISULTATI

Risultati del
modello KEM

Coefficienti del
modello
E2 1200-1400
Gasoline

Notiamo
l'elevato valore
predetto degli
NOx per il profilo
del ciclo micro
simulato HellyS2
(secondo veicolo
del platoon)

Confronto tra i dati sperimentali di NOx, COPERT (III/IV), le emissioni predette dal KEM rispetto alla velocità media



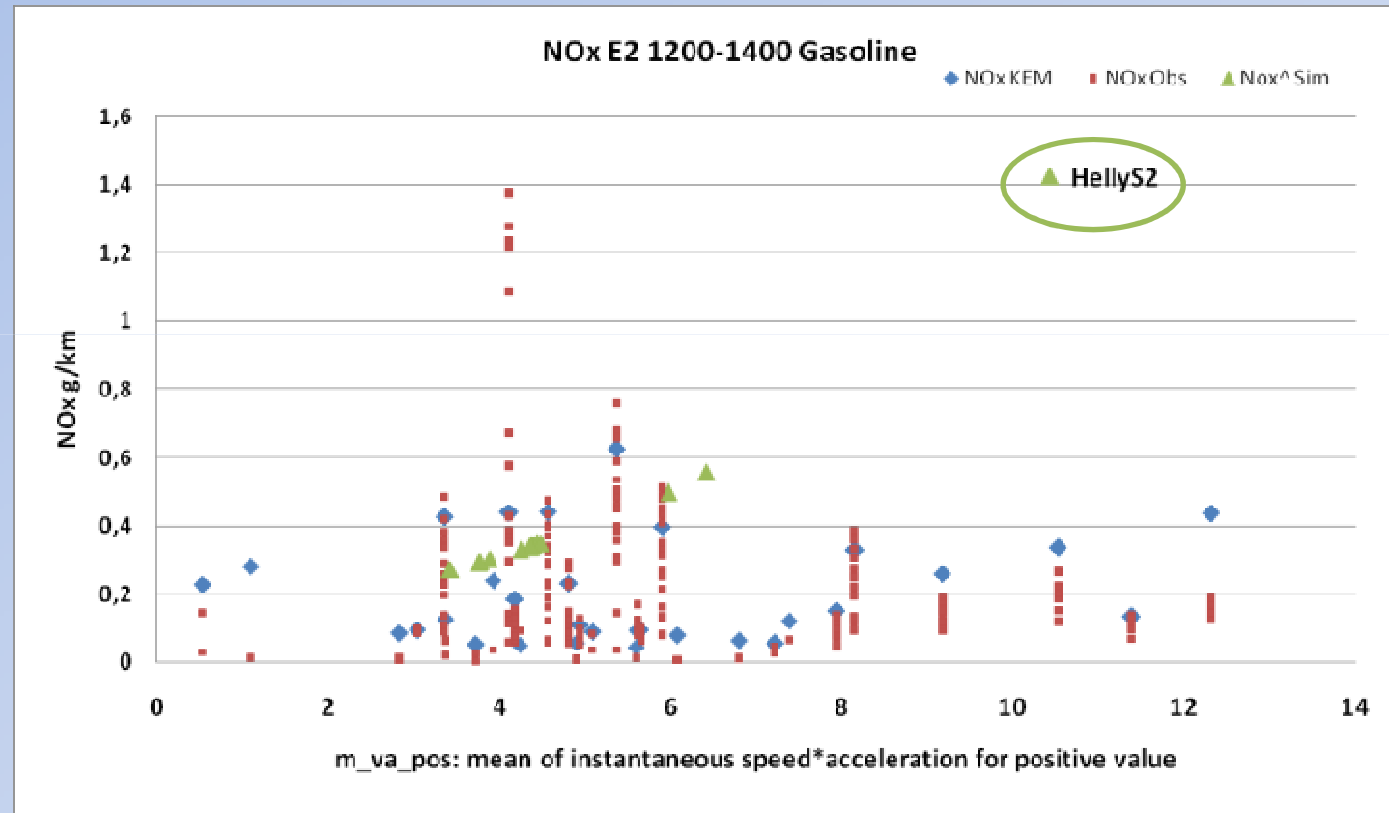
APPLICAZIONE E RISULTATI

Confronto tra i dati sperimentali di NO_x, valori predetti dal modello KEM rispetto alla variabile *m_va_pos*

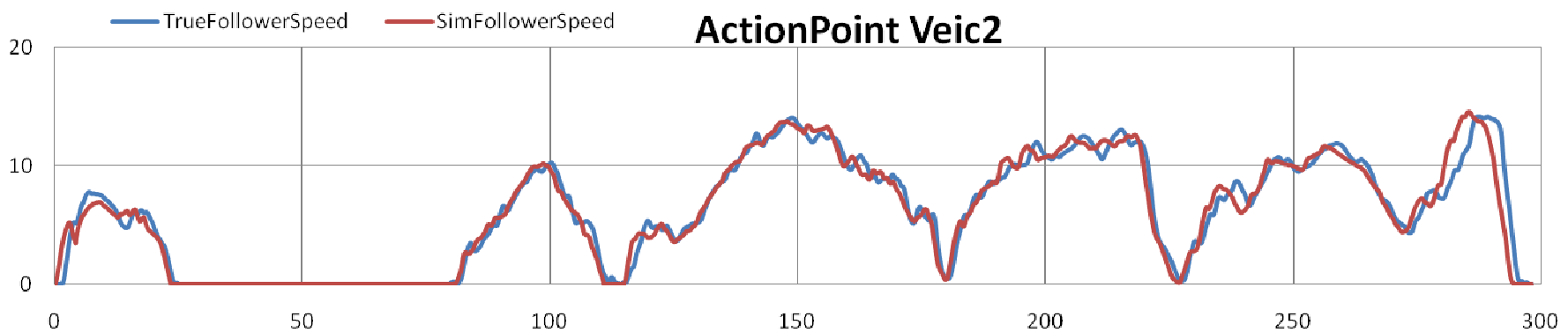
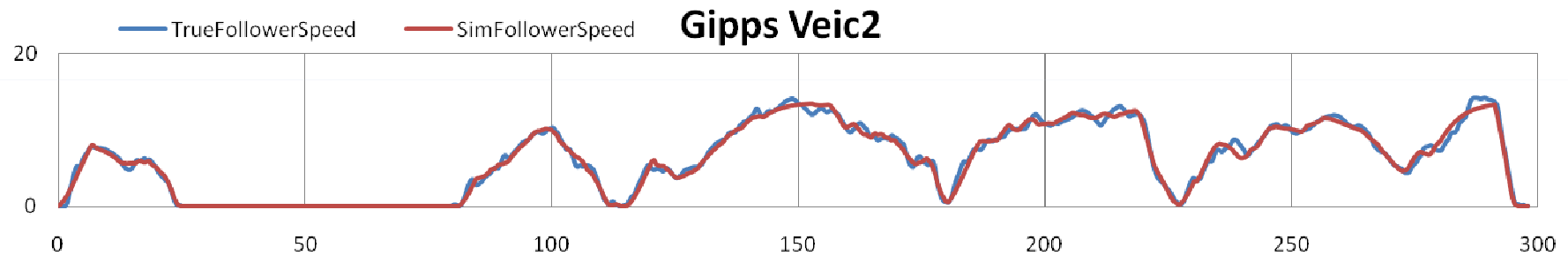
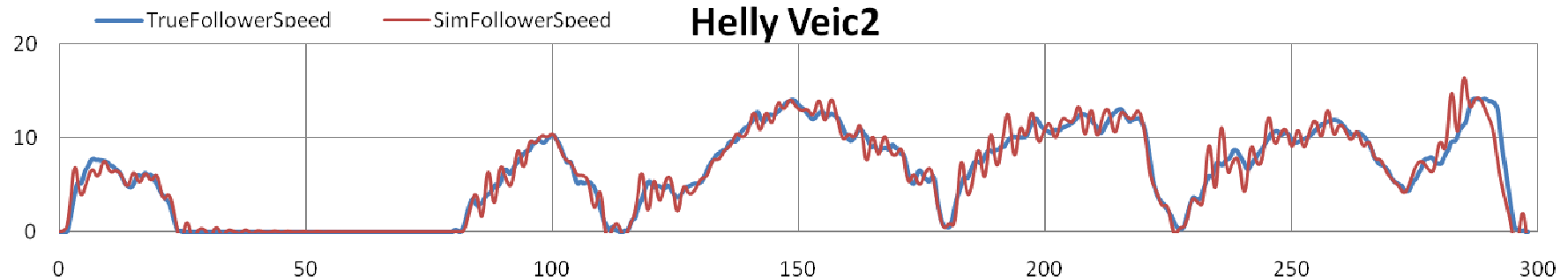
Risultati del
modello KEM

Il valore della
variabile che
descrive

l'accelerazione per
il modello micro
simulato HellyS2 è
piuttosto diverso
rispetto agli altri
dello stesso
plotone e risulta
essere il più alto.



APPLICAZIONE E RISULTATI



CONCLUSIONI

La valutazione delle emissioni dei veicoli circolanti nelle aree urbane è un'attività fondamentale per la pianificazione, gestione e controllo del traffico, rivolto ad attuare misure di intervento al fine di controllare le emissioni e al miglioramento della qualità dell'aria

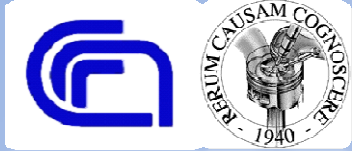
L'attività condotta vuole dare una prima risposta alla possibile integrazione dei modelli di accelerazione microscopici ed un modello di emissione

- **In dettaglio:**

- È stata verificata la sensibilità del modello KEM in funzione delle variabili cinematiche identificate.
- Sono stati valutati differenti modelli di car-following ; allo stesso tempo è stata valutata l'accuratezza di questi in termini di accelerazione, per valutare l'utilizzo come base di input per i modelli di emissione.

- **I Risultati suggeriscono:**

- Di svolgere ulteriori analisi per verificare l'accuratezza dei modelli di accelerazione nel riprodurre gli attuali cicli di guida in funzione delle emissioni.
- Di arricchire la base dati delle emissioni con nuovi dati sperimentali provenienti da veicoli di diverso segmento e tecnologia.



Istituto Motori
Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Grazie
dell'attenzione

Artemis database for cars

Diesel

TYPE-APPROVAL STAGE/ ENGINE DISPLACEMENT	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4
< 2000	E1 D 2000 N=67 NV=9	E2 D 2000 N=450 NV=19	E3 D 2000 N=165 NV=17	n.a.

Gasoline

TYPE-APPROVAL STAGE/ ENGINE DISPLACEMENT	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4
1200-1400	E1 GAS 12-14 N =31 NV=3	E2 GAS 12-14 N=255 NV=9	E3 GAS 12-14 N =699 NV=11	E4 GAS 10-20 N =112 NV=7
1400-2000	E1 GAS 14-20 N =118 NV=27	E2 GAS 14-20 N =335 NV=32	E3 GAS 14-20 N =753 NV=33	
> 2000	n.a.	n.a.	E3 GAS 2000 N =130 NV=4	n.a.

Artemis-Driving cycles

42/160 Useful driving cycles

