

# XIII Incontro EXPERT PANEL EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE

Sede ENEA – Roma, 4 ottobre 2007

## Studio sul comportamento emissivo a freddo di motocicli

Giorgio Zamboni, Chiara Carraro

Internal Combustion Engines Group (ICEG)  
Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET)  
Università di Genova

Maria Vittoria Prati, Maria Antonietta Costagliola, Mario Bonfantini

Istituto Motori CNR



- Presentazioni su veicoli a due ruote in incontri EP precedenti
- Definizione delle sovra-emissioni a freddo
- Attività sperimentale
- Modello del transitorio a freddo
- Conclusioni e sviluppi futuri

## Presentazioni ICEG

- X incontro (S. Donato Milanese, giugno 2005): misura di flussi di traffico classificato; percentuale di veicoli a due ruote differenziata per stagione
- XI incontro (Firenze, febbraio 2006): definizione dei fattori di emissione per motocicli e ciclomotori
- XII incontro (Napoli, novembre 2006): definizione dei fattori di emissione e dei dati di base (attività sottogruppo sui ciclomotori)

## Presentazioni Istituto Motori

- IX incontro (Roma, giugno 2004): emissioni regolamentate e non di moto e ciclomotori su cicli normalizzati
- XII incontro (Napoli, novembre 2006): emissioni regolamentate e non di ciclomotori su cicli normalizzati

Sul sito EP sono inoltre disponibili due SAE paper (2000-01-0862 e 2000-01-1846) sulle emissioni di veicoli a due ruote equipaggiati con motori a 2 tempi

Questo lavoro è tratto dal SAE paper 2007-24-0111 "Cold emissive behaviour of motorcycles", degli stessi autori, presentato al Convegno ICE2007

- Presentazioni su veicoli a due ruote in incontri EP precedenti
- Definizione delle sovra-emissioni a freddo
- Attività sperimentale
- Modello del transitorio a freddo
- Conclusioni e sviluppi futuri

- Pochi dati su cicli real world
- Diverse indagini con misure su cicli di omologazione eseguiti con partenza a freddo ed a caldo



$$\text{Sovra-emissioni a freddo} = E_{\text{cicli warm-up motore}} - E_{\text{cicli motore caldo}}$$

## Tre fonti

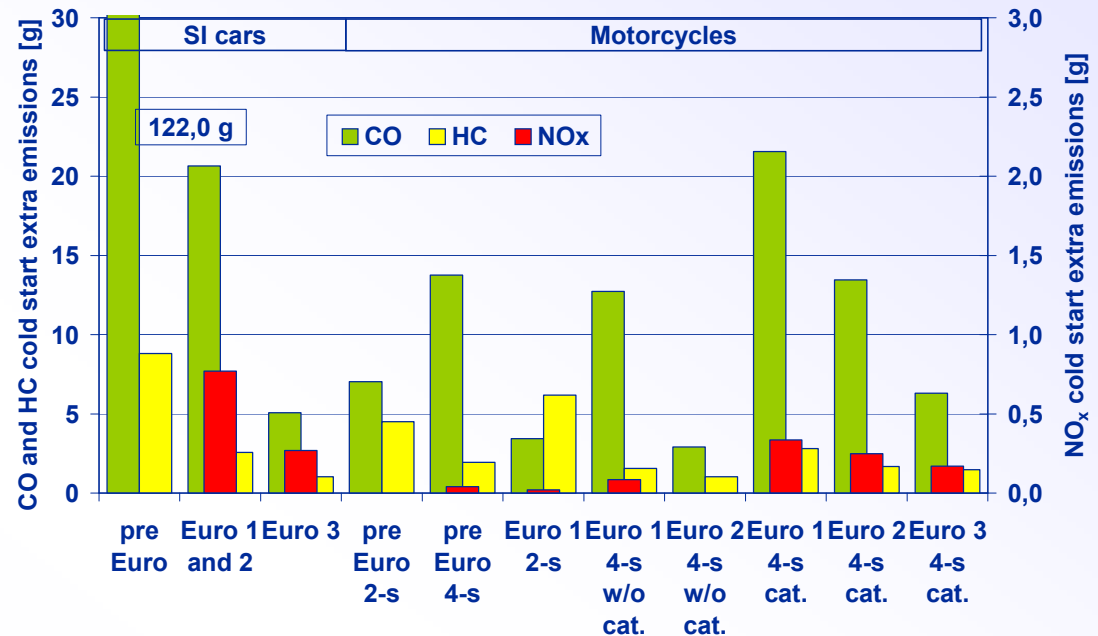
- Il progetto ARTEMIS: valori medi per 115 veicoli, riferiti a differenti classi (pre Euro/Euro 1, 2/4 tempi, con/senza catalizzatore)
- Sviluppo e validazione del ciclo WMTC: 33 veicoli pre Euro ed Euro 1 testati sulla parte 1, con partenza a freddo ed a caldo
- Definizione di limiti equivalenti per i cicli WMTC ed Euro 3, effettuata dal Joint Research Centre di Ispra: dati per circa 70 veicoli, che possono essere riferiti alle classi Euro 1, 2 e 3 e a motori 4 tempi

- I dati disponibili non erano direttamente confrontabili: in particolare i valori definiti dal JRC sono stati elaborati per associarli ad una opportuna fase legislativa e per valutare le emissioni a freddo sulla base dei diversi cicli considerati (europeo fasi Euro 2 o 3, WMTC, NEDC per le auto)
- Sulla base della definizione applicata, è possibile ottenere valori negativi: questi sono stati inclusi nella valutazione dei livelli medi delle sovra-emissioni a freddo dopo una verifica della loro plausibilità
  - per CO ed HC, il risultato è probabilmente correlato ad un funzionamento del motore a caldo con miscele molto ricche
  - per gli NO<sub>x</sub>, in generale le sovra-emissioni sono prossime a zero ed è quindi più facile ottenere valori negativi
- Le classi utilizzate per il calcolo dei valori medi a partire dal data-base complessivo sono state definite considerando
  - il principio di funzionamento del motore (2 o 4 tempi)
  - la fase di omologazione (da pre Euro ad Euro 3)
  - l'installazione o meno del catalizzatore

Motorcycle class	CO		I IC		NO <sub>x</sub>		CO <sub>2</sub>	
	Emission [g]	No. of data	Emission [g]	No. of data	Emission [g]	Nc. of data	Emission [g]	No. of data
pre Euro 2-stroke	7.03	15	4.50	13	-0.01	15	13.74	4
Euro 1 2-stroke	3.45	8	6.19	9	0.02	9	-	-
pre Euro 4-stroke	13.77	33	1.94	43	0.04	43	31.2	6
Euro 1 4-stroke w/o cat.	12.73	72	1.56	63	0.08	54	24.98	15
Euro 2 4-stroke w/o cat.	2.91	3	1.03	14	-0.26	27	-	-
Euro 1 4-stroke with cat.	21.57	25	2.82	25	0.34	21	52.10	12
Euro 2 4-stroke with cat.	13.46	21	1.68	23	0.25	26	7.70	5
Euro 3 4-stroke with cat.	6.31	8	1.47	8	0.17	4	137.48	6

- Le classi non dipendono dalla cilindrata del motore
  - i dati dal progetto Artemis non sono disponibili per ciascun veicolo
  - il numero di valori è spesso troppo limitato per consentire un'ulteriore suddivisione
  - i veicoli non catalizzati evidenziano un incremento delle emissioni a freddo all'aumentare della cilindrata, quelli catalizzati una riduzione
- In generale la sovra-emissione si riduce al migliorare della fase normativa, (raggruppando opportunamente le classi)
- Vi è una grande variabilità nel numero di dati disponibili per ciascuna classe ed inquinante, con i valori minimi per le fasi più recenti e per la CO<sub>2</sub>

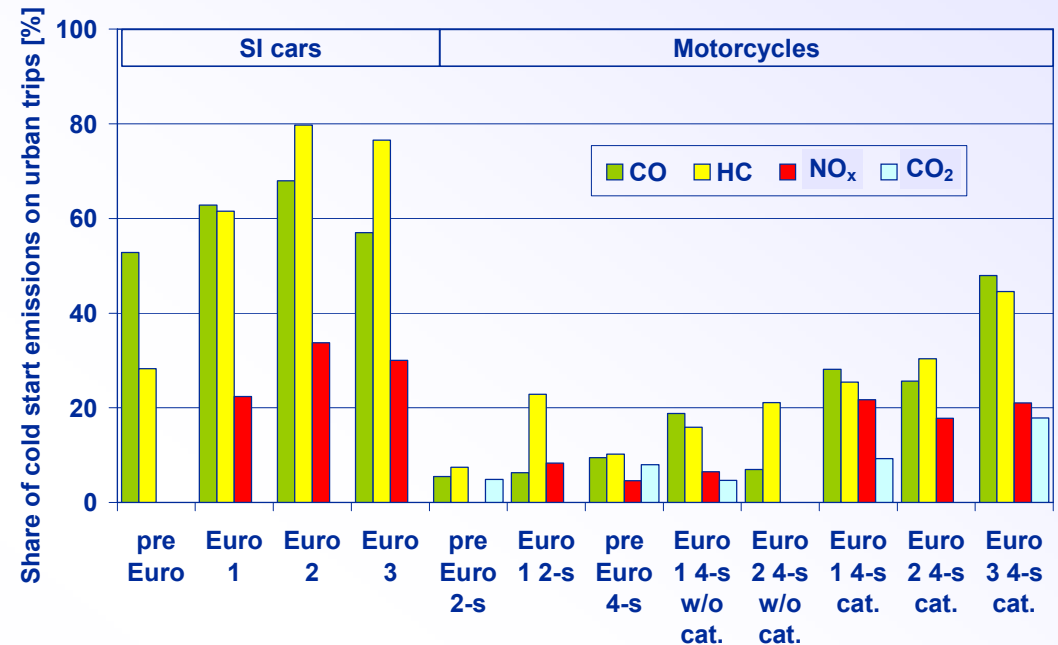
Le sovra-emissioni a freddo per le auto sono incluse in Progress, mediante una procedura dedicata per veicoli Euro 1 e 2, dati dai progetti Meet ed Artemis per le auto pre Euro ed Euro 3



- E' evidente una riduzione delle sovra-emissioni per le auto al progredire della fase normativa, analogamente a quanto visto per le moto
- Considerando i veicoli catalizzati, le auto Euro 1 e 2 e le moto Euro 1 presentano valori assoluti paragonabili; analogamente i veicoli delle classi Euro 3



Le emissioni totali per ciascuna classe sono state calcolate con Progress, considerando spostamenti urbani di 6.6 km per le auto e di 5.5 km per le moto (valori medi per singoli viaggi nell'area urbana di Genova)



- L'incidenza dell'emissione a freddo su quella totale aumenta al migliorare della fase normativa per entrambe le categorie, ad eccezione delle auto Euro 3
- Il contributo a freddo è decisamente più elevato nelle auto, probabilmente a causa di una maggiore efficienza del catalizzatore nel funzionamento a caldo, dovuta ad un miglior controllo dell'alimentazione di benzina e dei valori del rapporto aria-combustibile

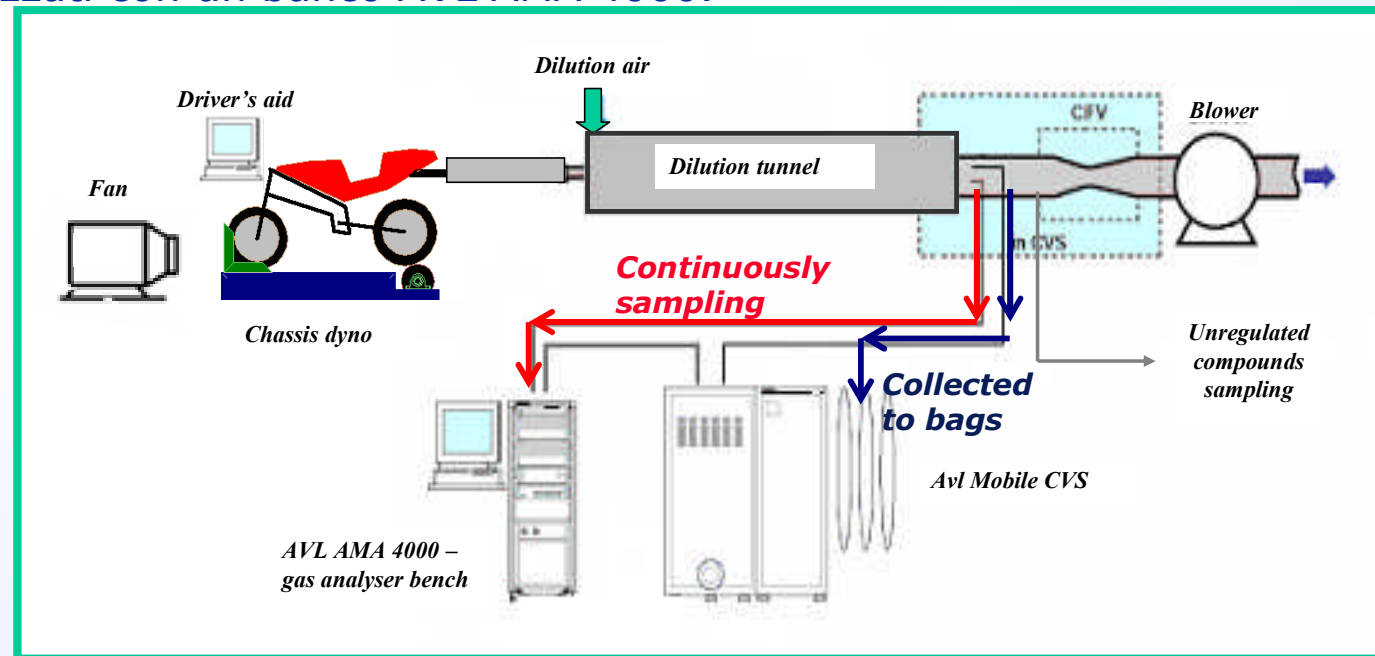
- Presentazioni su veicoli a due ruote in incontri EP precedenti
- Definizione delle sovra-emissioni a freddo
- **Attività sperimentale**
- Modello del transitorio a freddo
- Conclusioni e sviluppi futuri

Nella Sala Emissioni E4 dell'Istituto Motori è in corso una campagna di misure su motocicli Euro 3, anche al fine di approfondire l'aspetto del comportamento emissivo a freddo di questa tipologia di veicoli.

La Sala è dotata di un banco a rulli per veicoli a due ruote (monorullo AVL Zollner 20") che permette l'effettuazione di test sia con piccoli ciclomotori (80 kg) che con grossi motocicli (max 450 kg). E' possibile simulare sia la resistenza all'avanzamento stradale che l'inerzia del veicolo. Il banco permette la misura delle emissioni allo scarico durante cicli di guida dinamici. I gas di scarico vengono diluiti con l'aria ambiente tramite un sistema convenzionale costituito da un Sistema di Campionamento a Volume Costante (CVS) + tunnel di diluizione.

CO, HC, NOx e CO2 sono analizzati con un banco AVL AMA 4000.

*In questo laboratorio è anche possibile caratterizzare le emissioni di particolato sia in termini di massa (tramite determinazione gravimetrica) che come numero totale di particelle e la loro distribuzione dimensionale (tramite un Impattore a bassa Pressione, ELPI).*



**Questo laboratorio è stato attrezzato con i fondi del Centro di Competenza Trasporti della Regione Campania**

## VEICOLO

In questa presentazione si riportano solo i risultati ottenuti con uno scooter 4 T di 125 cc di cilindrata. Lo scooter è dotato di catalizzatore three-way e di sonda lambda. Le sue caratteristiche tecniche sono:

Categoria	scooter
Principio di funzionamento	4-tempi
Motore	monocilindro, 4 valvole
Cilindrata [cm <sup>3</sup> ]	124,8
Sistema di iniezione	Iniezione elettronica (EFI)
Raffreddamento	liquido
Cambio	automatico
Potenza massima [kw]	11,0
giri/min	11000
Coppia massima [N-m]	12,0
Peso a vuoto [kg]	161
Max velocità [km/h]	≈110-115
after-treatment	Si, catalizzatore a tre vie
Categoria emissiva	Euro 3



**Peugeot Satelis**

## CLASSIFICAZIONE DELLO SCOOTER

### Classe 2, sottoclasse 2-1

poiché soddisfa le seguenti specifiche:

cilindrata < 150 cm<sup>3</sup> e

100 km/h ≤ v max < 115 km/h

**Massa di inerzia equivalente: kg 240**

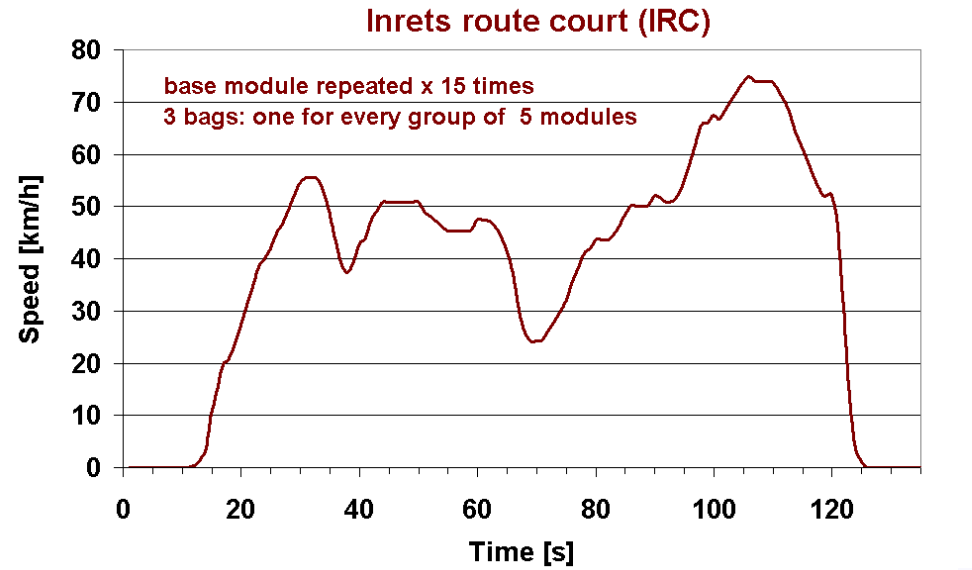
*Lo scooter è stato messo a disposizione dalla Dell'Orto S.p.A*

## CICLI DI GUIDA

Le emissioni sono state misurate durante l'esecuzione di quattro cicli di guida, tutti con partenza a freddo:

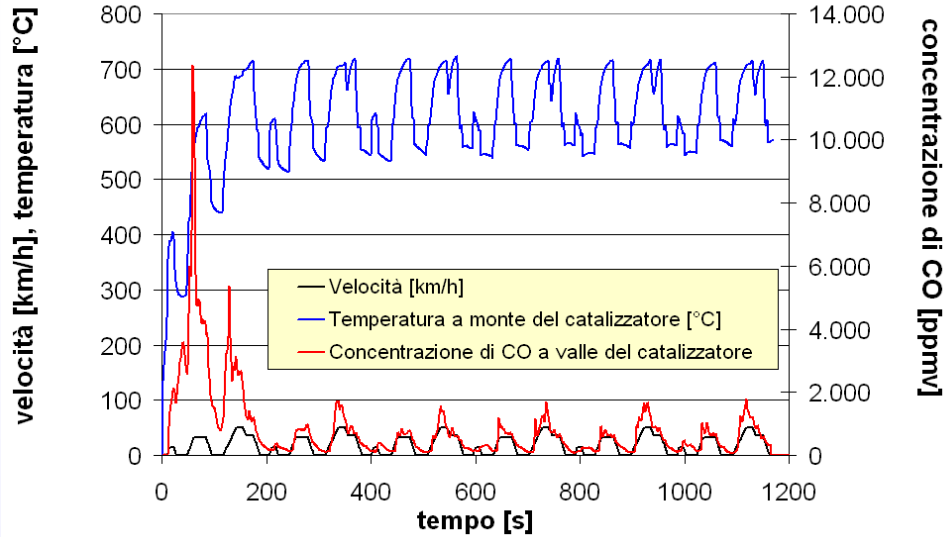
- ciclo di omologazione europeo EU Urban Driving Cycle (UDC) con partenza a freddo;
- il nuovo ciclo di omologazione World Motorcycle Test Cycle (WMTC);
- Inrets urban fluide court (IUFC)\*;
- Inrets route court (IRC)\*.

\*sviluppato dall'INRETS per studi sull'effetto della partenza a freddo

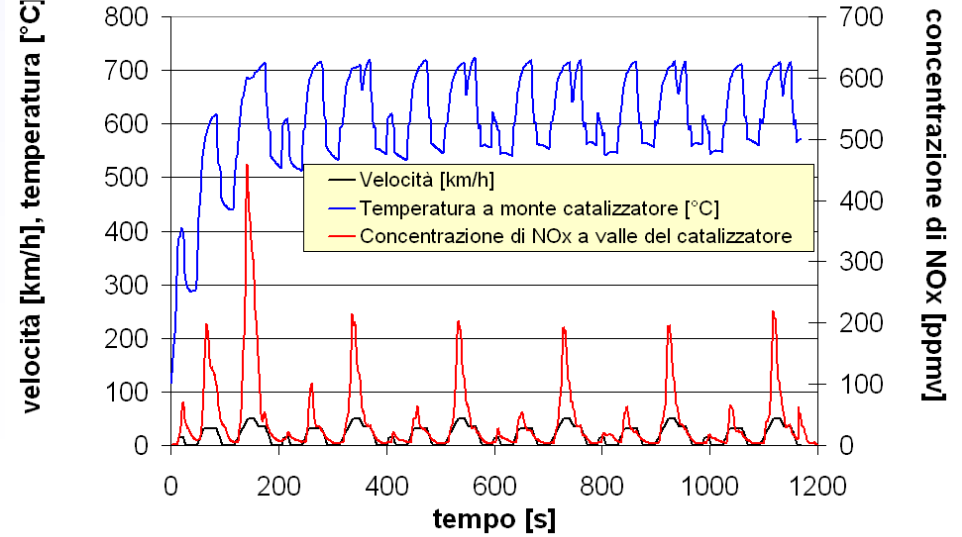


Cycle	Distance (km)	Duration (s)	Average speed (km/h)	Maximum speed (km/h)
UDC	6,052	1170	18,7	50
IUFC	14,775	2835	18,8	44
IRC	21,585	1890	41,1	74,9
WMTC Part 1	4	600	24,3	60
WMTC Part 2	8,5	600	51	83
WMTC Global	12,5	1200	37,6	83

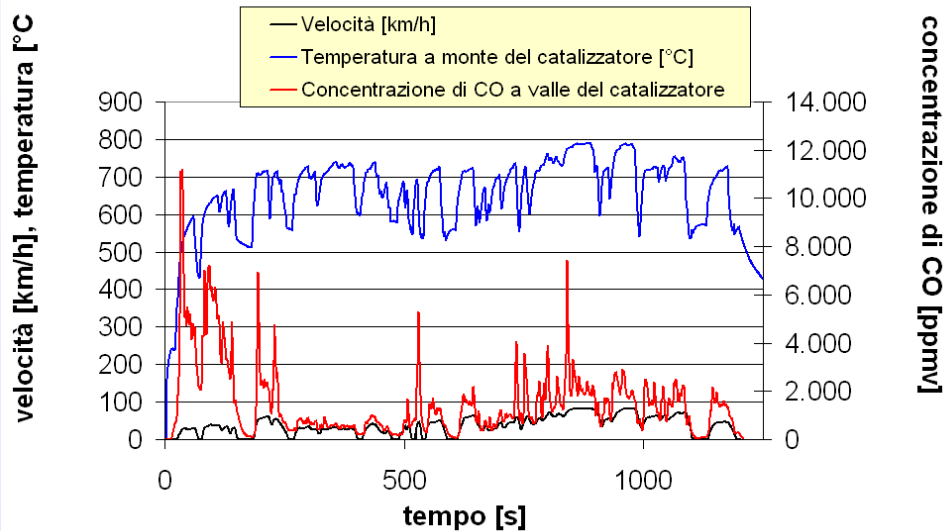
**CO - Ciclo di omologazione EU Urban Driving Cycle (UDC)**



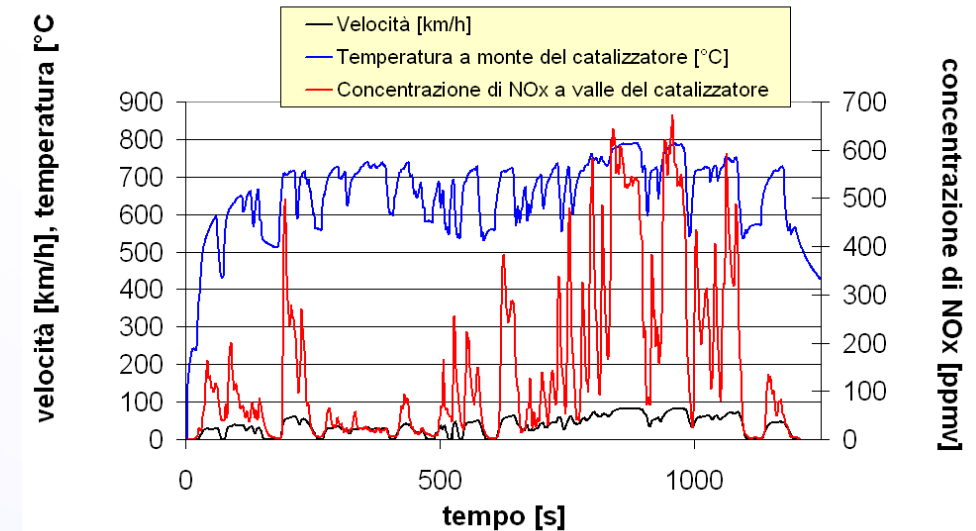
**NOx - Ciclo di omologazione EU Urban Driving Cycle (UDC)**



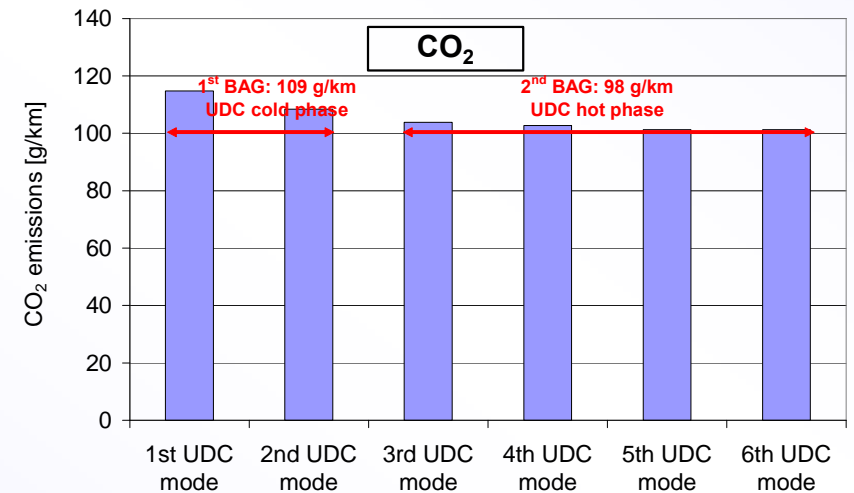
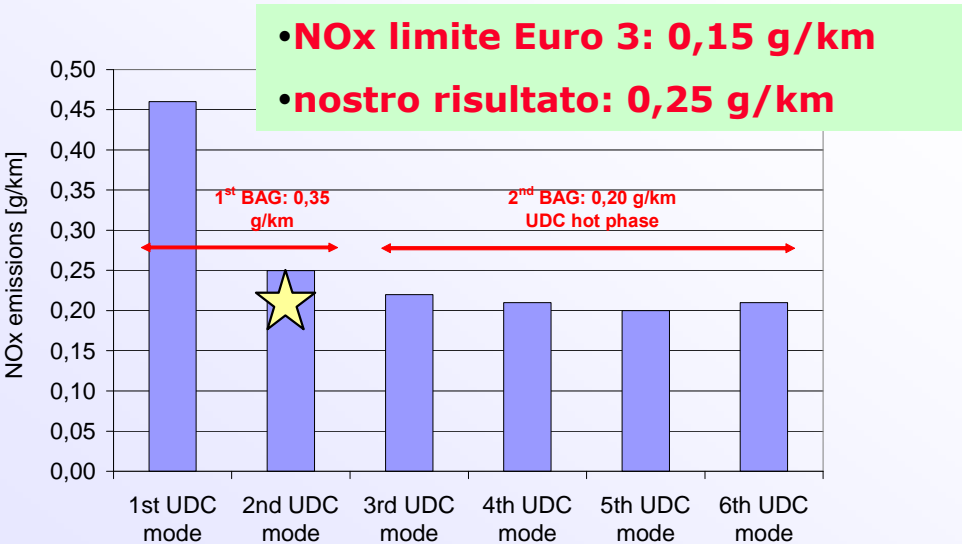
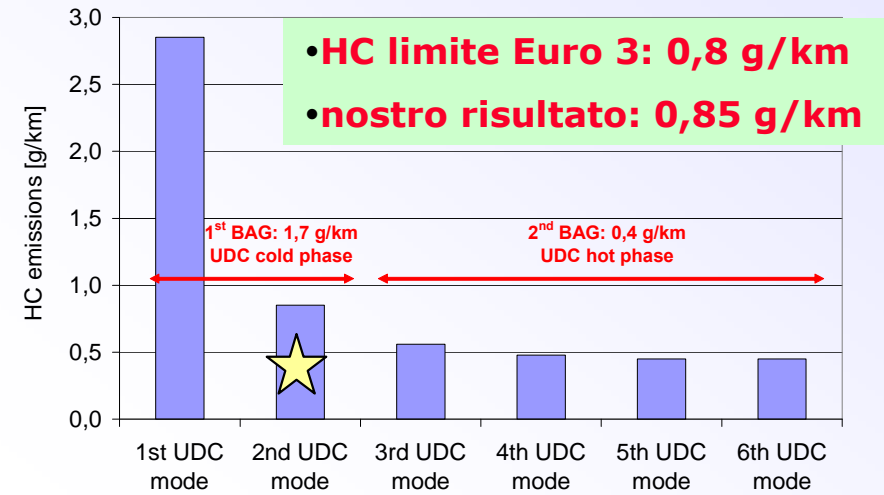
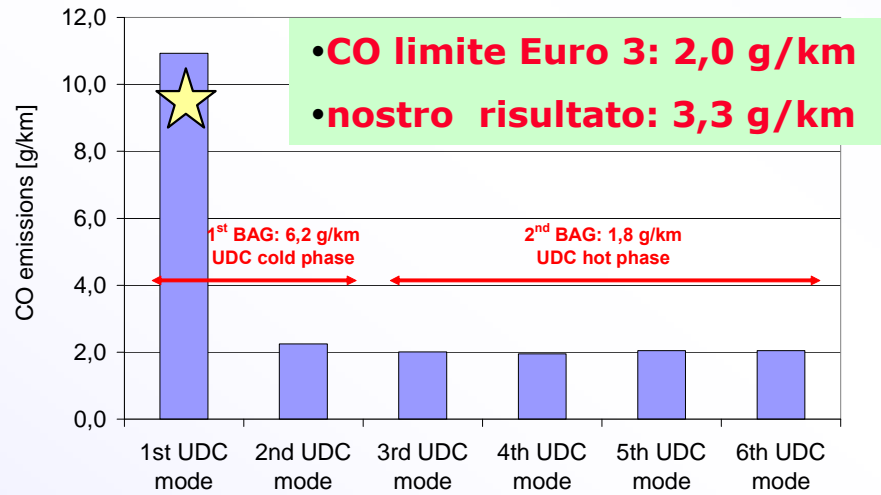
**CO - World Motorcycle Test Cycle (WMTC)**



**NOx - World Motorcycle Test Cycle (WMTC)**



## Ciclo di omologazione europeo Urban Driving Cycle (UDC)



## Ciclo di omologazione World Motorcycle Test Cycle (WMTC) per scooter di Classe 2, sottoclasse 2-1

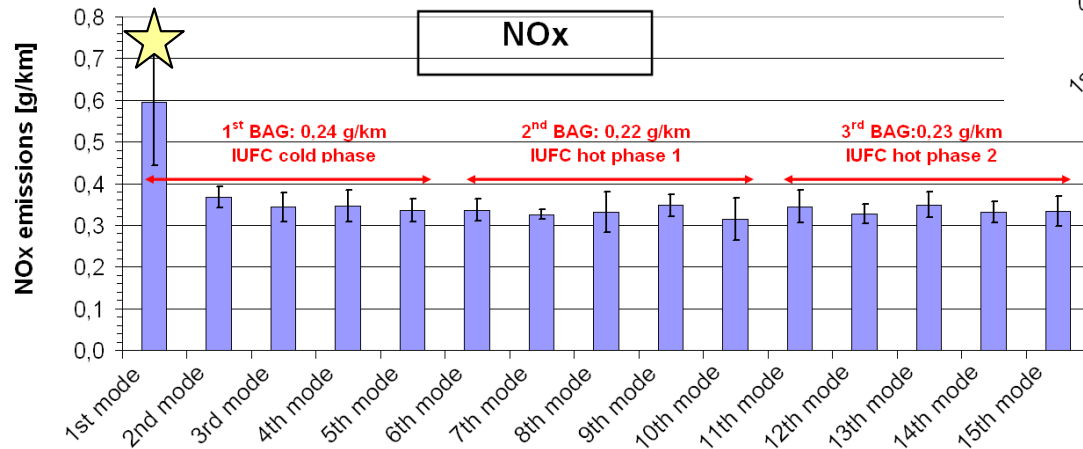
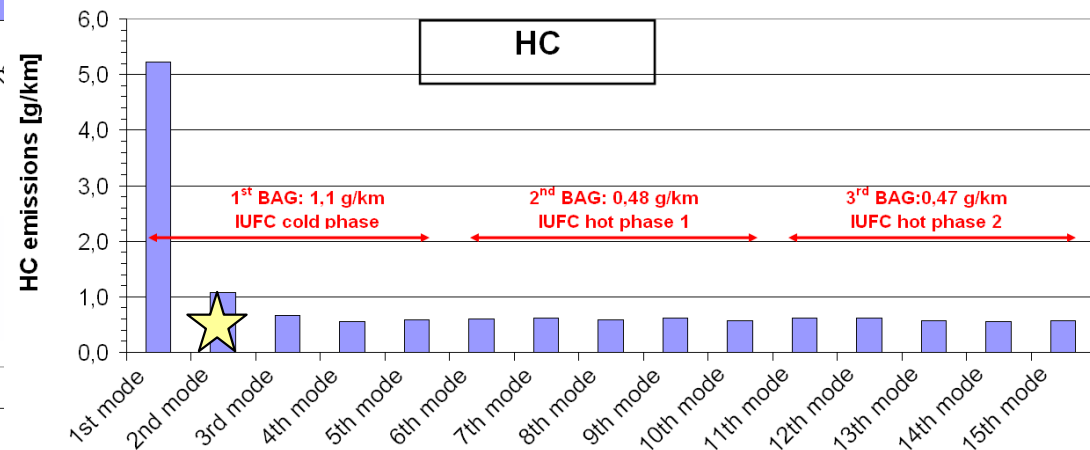
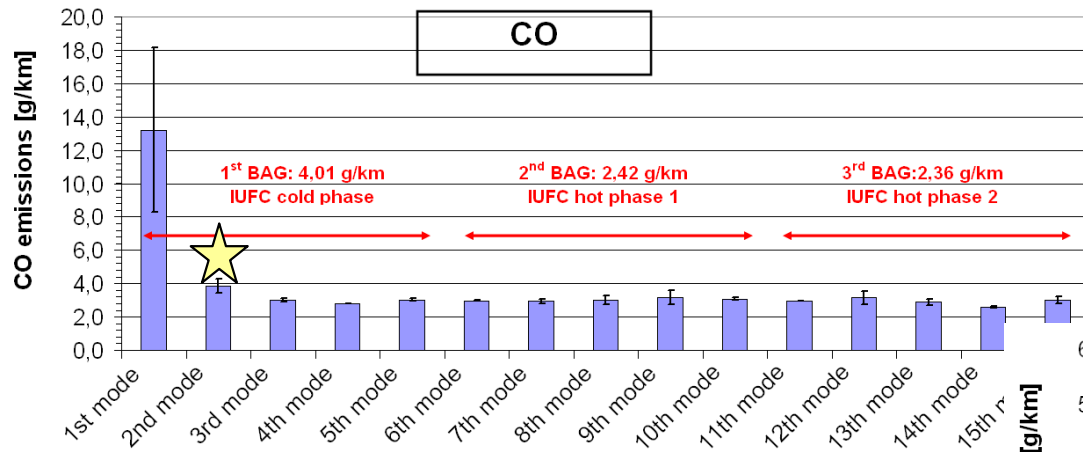
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)
<b>WMTC</b>				
Part 1, cold	4,21	1,06	0,22	83,36
<b>WMTC</b>				
Part 2, hot	1,83	0,39	0,38	67,23
<b>WMTC</b>	2,55	0,59	0,33	72,07
<i>Limits by directive 2006/27/CE v<sub>max</sub>&lt;130 km/h</i>	2,62	0,75	0,17	-

**X 0,3**

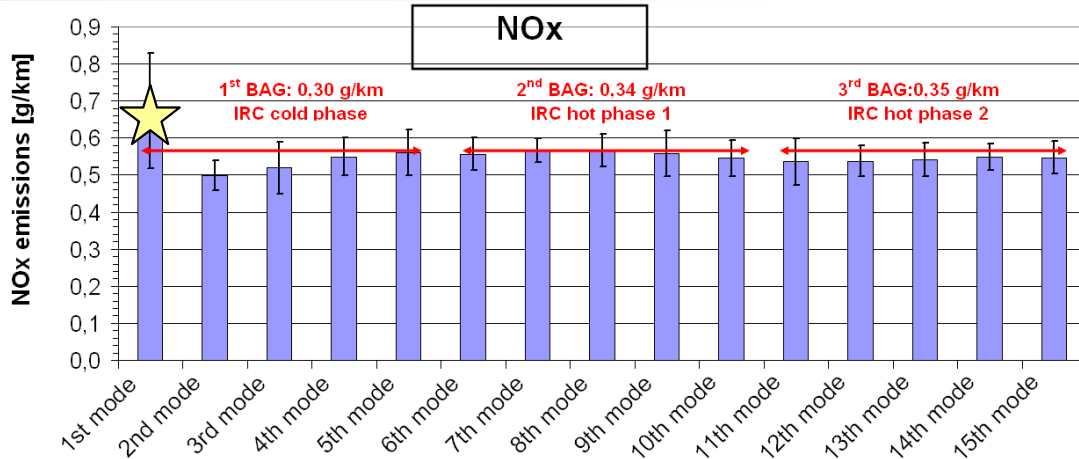
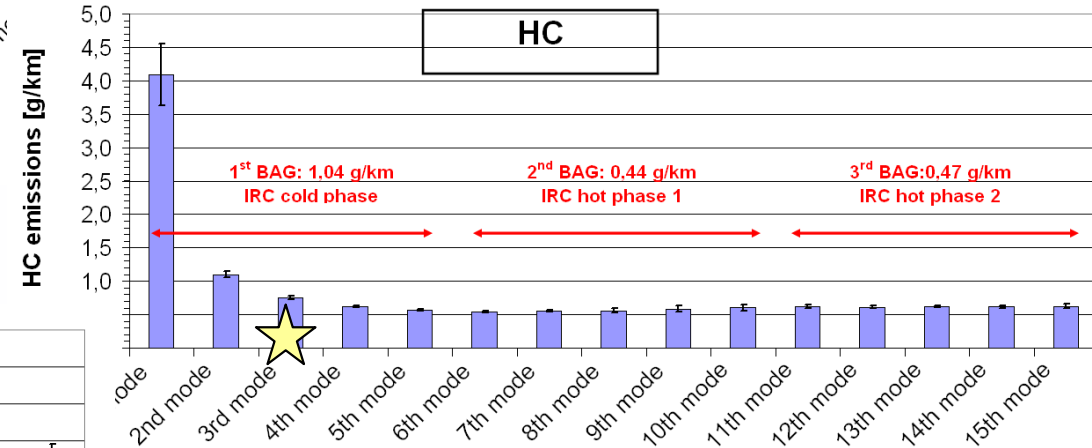
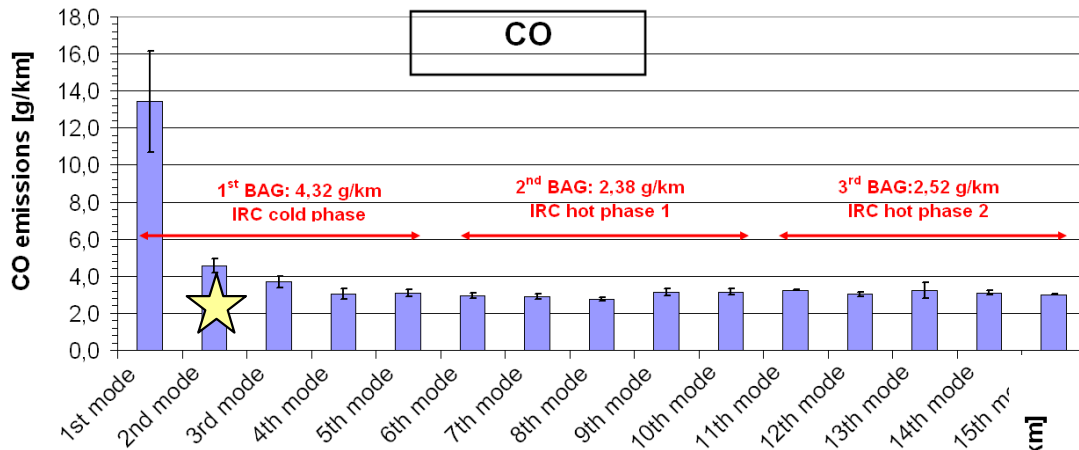
**X 0,7**



## Ciclo Inrets urbain fluide court (IUFC)



## Ciclo Inrets route court (IRC)



- Presentazioni su veicoli a due ruote in incontri EP precedenti
- Definizione delle sovra-emissioni a freddo
- Attività sperimentale
- Modello del transitorio a freddo
- Conclusioni e sviluppi futuri

Il fattore di emissione a freddo istantaneo  $f_{\text{cold}}$  è espresso mediante una funzione esponenziale decrescente della distanza percorsa  $x$ :

$$f_{\text{cold},j} = a_j \cdot \exp(-x / T_j) \quad \text{per } j = \text{CO, HC, NO}_x, \text{CO}_2$$

La sovra-emissione a freddo è calcolata integrando la funzione su un percorso di lunghezza  $d$  prefissata:

$$e_{\text{cold},j} = a_j \cdot T_j \cdot [1 - \exp(-d / T_j)]$$

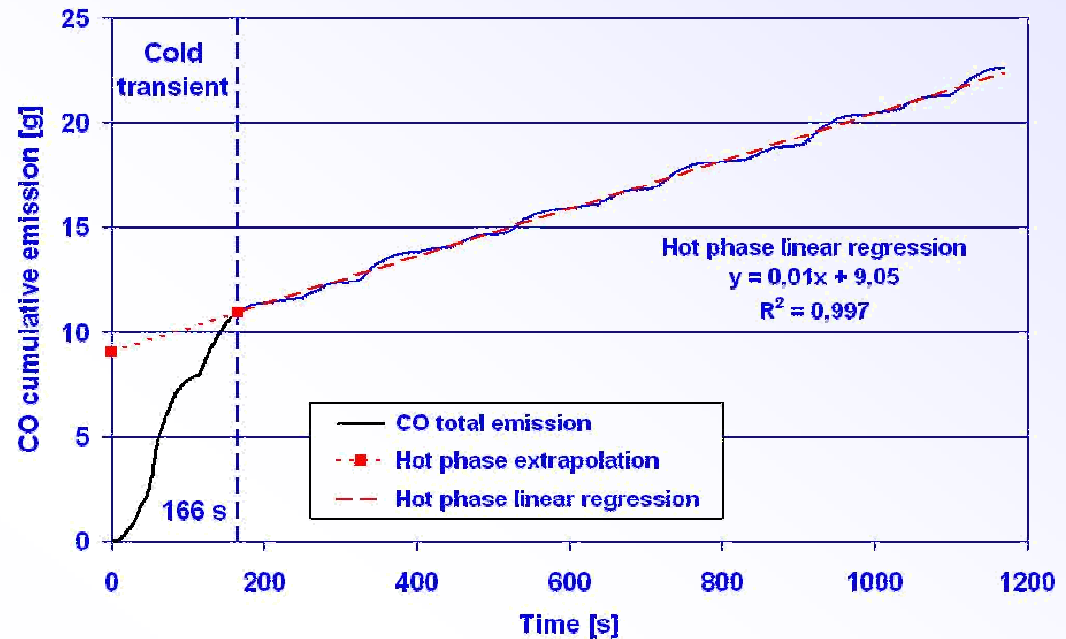
$a_j$  = fattore di emissione istantaneo all'avviamento del motore; la sua definizione richiede la conoscenza della sovra-emissione a freddo

$$T_j = -d_{\text{transient},j} / \ln(k_j/a_j)$$

$d_{\text{transient},j}$  = distanza totale percorsa nel transitorio a freddo

$k_j$  = coefficiente di forma, che può essere definito adattando i valori calcolati alla curva cumulativa di emissione sperimentale

- Le curve cumulative delle emissioni totali in funzione del tempo sono ricavate dalle misure in continuo sul ciclo di omologazione
- Il contributo a caldo viene approssimato con una retta ( $R^2$  elevati), la cui intercetta rappresenta la sovra-emissione a freddo
- Il confronto tra emissioni totali ed a caldo consente di definire la durata del transitorio a freddo e la relativa distanza percorsa, che dipendono dall'inquinante considerato



	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
Emission [g]	9,05	2,83	0,31	3,18
Duration [s]	166	343	157	159
Distance [km]	0,340	1,614	0,742	0,767

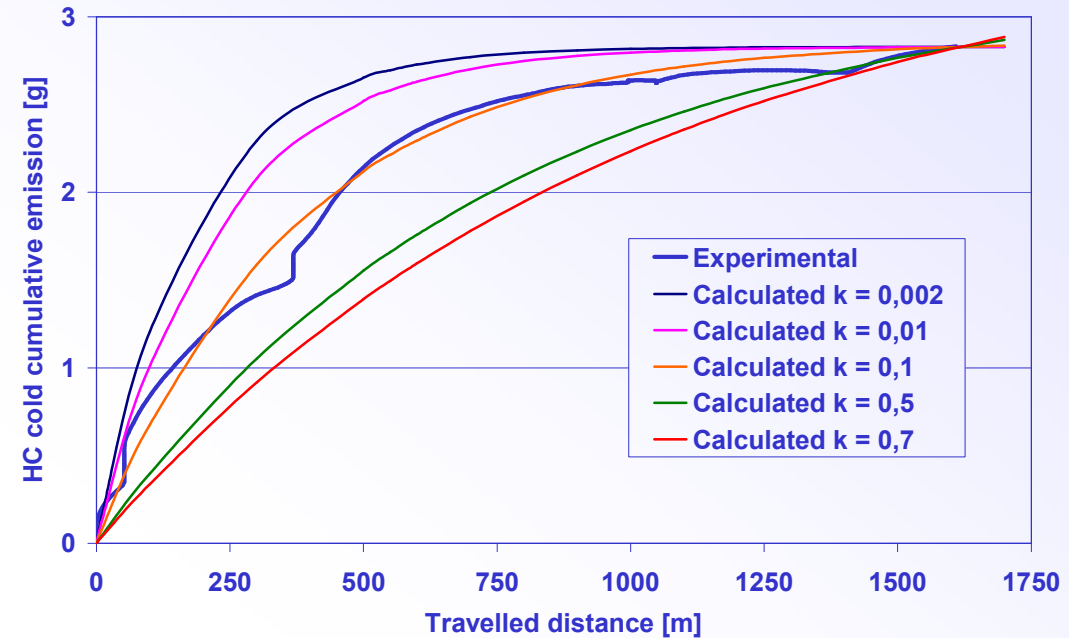
Per lo scooter Euro 3

- Le curve cumulative delle emissioni a freddo in funzione della distanza consentono di definire i coefficienti  $k_j$
- I coefficienti  $a_j$  e le costanti  $T_j$  sono stati valutati sulla base dei valori sperimentali dei parametri relativi al transitorio a freddo

Per i motocicli di tutte le classi sono stati considerati

- le sovra-emissioni a freddo definite nella prima fase
- i valori di  $k_j$  ricavati per lo scooter Euro 3
- una distanza percorsa nel transitorio pari a circa 2 km (due ripetizioni UDC) per le classi da pre Euro ad Euro 2, i valori sperimentali ricavati per lo scooter per la classe Euro 3

Poiché i dati utilizzati si riferiscono a test normalizzati, il modello è valido per velocità medie tipiche della modalità urbana e temperatura ambiente intorno a 20 °C



	CO	HC	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
k [g/km]	0.7	0.1	0.3	0.1
a [g/km]	45.7	7.7	0.57	22.6
T [km]	0.201	0.371	1.153	0.142

- L'indagine ha consentito di approfondire i seguenti aspetti:
  - l'influenza della fase normativa sulle emissioni a freddo delle moto
  - il confronto del comportamento a freddo di auto e moto, sia in termini assoluti che relativi
  - l'incidenza del ciclo di guida considerato sulle emissioni a freddo di uno scooter Euro 3
  - la variazione delle caratteristiche del transitorio secondo i diversi inquinanti
- Nuove attività programmate
  - ulteriore ricerca bibliografica, in particolare per le classi Euro 2 e 3
  - analisi dell'influenza del ciclo di guida considerato (con particolare riferimento ai cicli real world) ed alla procedura di misura sulle emissioni
  - prove su altri motocicli Euro 3, per studiare il comportamento a freddo anche in relazione agli inquinanti non regolamentati, a cominciare dal particolato
  - misura delle emissioni utilizzando profili di velocità rilevati a Genova su moto nell'attività con VBox
  - sviluppo del modello del transitorio a freddo, con nuova identificazione dei parametri riferita a differenti veicoli, valori di velocità media e di temperatura ambiente

# *Grazie per l'attenzione !*

Per ulteriori informazioni e contatti:

[www.iceg.unige.it](http://www.iceg.unige.it)

[www.im.cnr.it](http://www.im.cnr.it)

