

XI Incontro

**EXPERT PANEL
EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE**

Firenze, 7 febbraio 2006

**Sulla definizione dei fattori di
emissione reali di alcune
categorie di veicoli stradali**

Massimo Capobianco, Giorgio Zamboni

Internal Combustion Engines Group (ICEG)

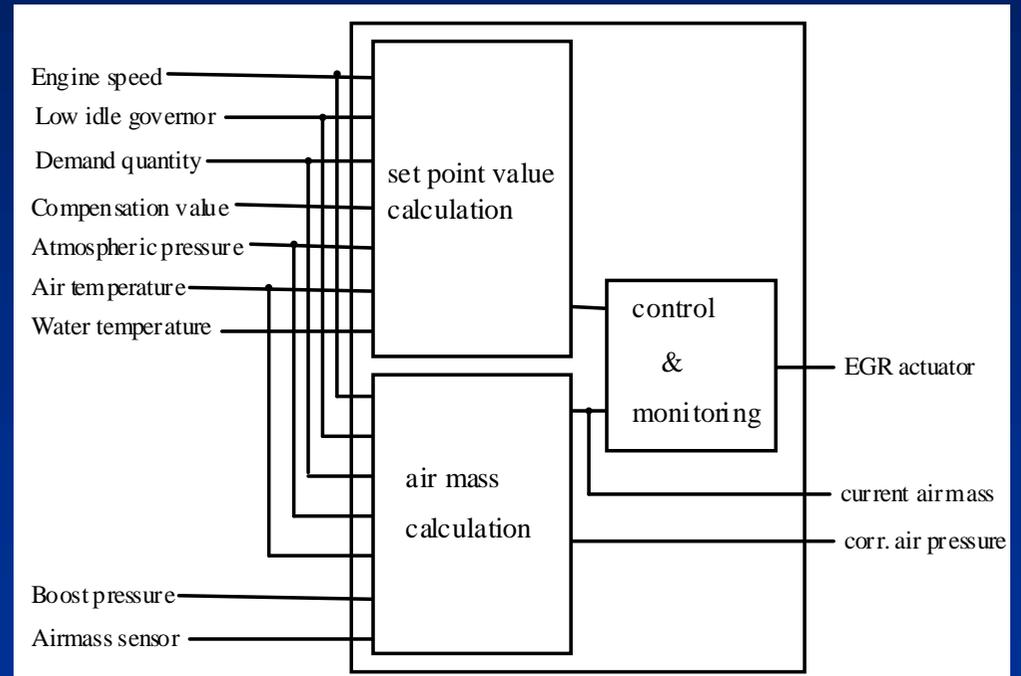
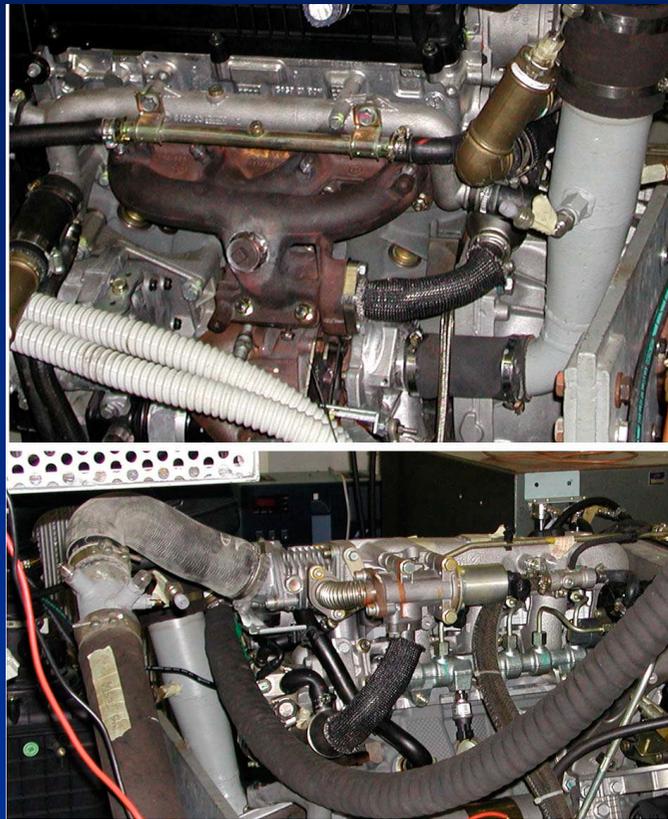
Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET)

Università di Genova



Esempio di tecnologia motoristica: il ricircolo dei gas di scarico (EGR) (1/4)

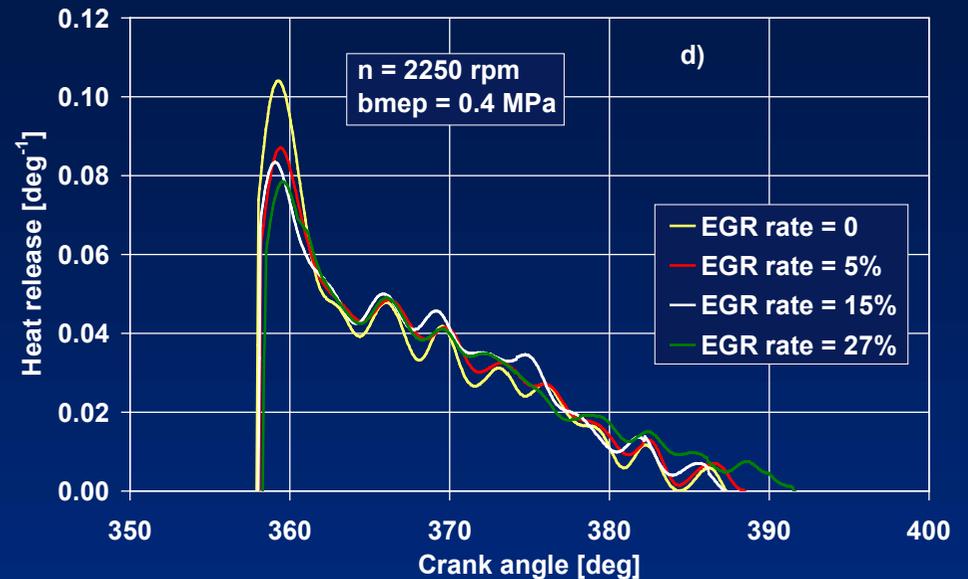
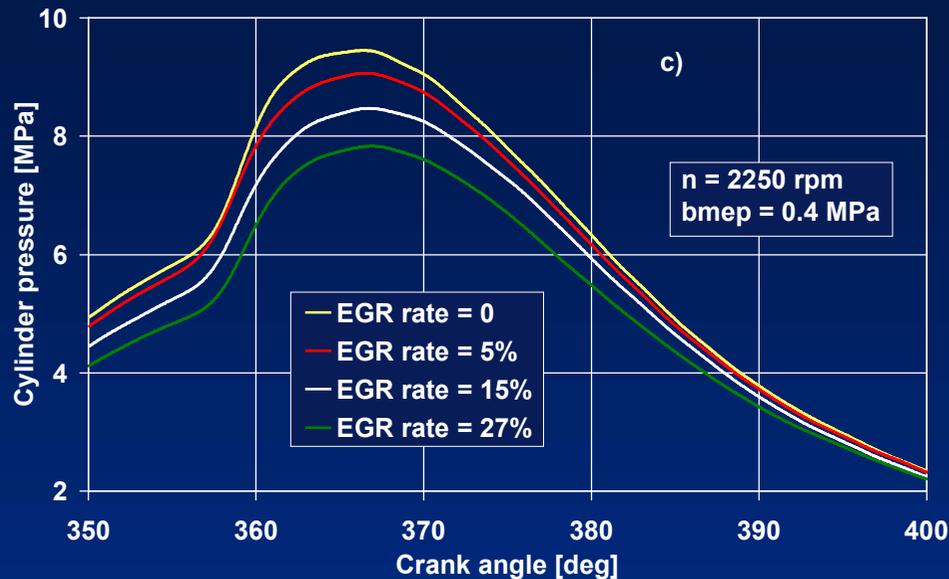
- L'EGR consiste nella sostituzione di parte dell'aria aspirata con gas di scarico, eventualmente raffreddati prima della miscelazione con l'aria e la re-introduzione nel motore



Il ricircolo dei gas di scarico (EGR) (2/4)

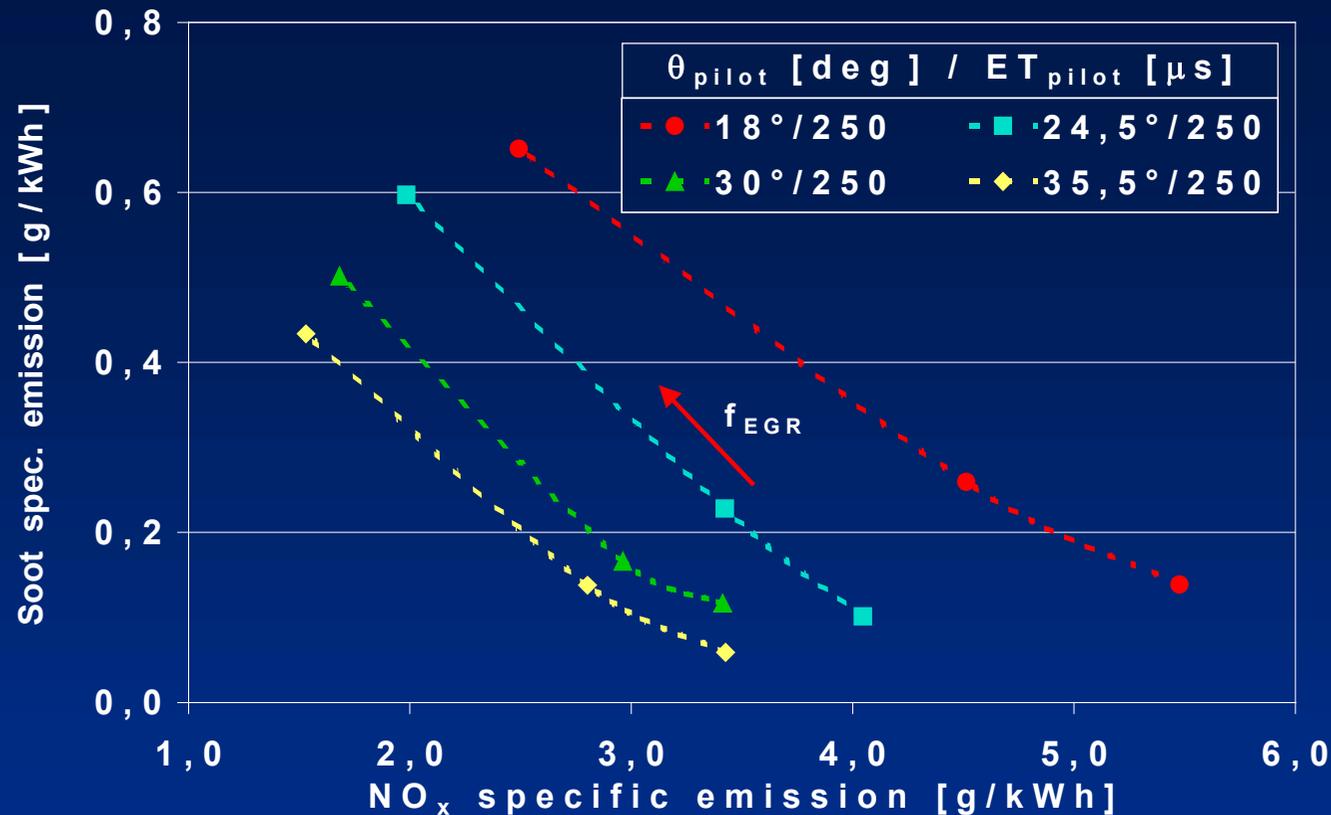
- L'EGR viene normalmente applicata ai motori Diesel: dalla fase Euro I per quelli utilizzati su autovetture, più recentemente (fase Euro III) per i propulsori installati su VCP ed autobus; viene anche utilizzata nei motori a benzina ad iniezione diretta ed è essenziale per i motori HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition)
- Gli effetti dell'EGR sono:
 - riduzione della temperatura della fiamma dovuta alla maggiore capacità termica della carica aspirata (effetto termico)
 - diminuzione della concentrazione di ossigeno dovuta alla diluizione della carica aspirata (effetto di diluizione)
 - variazione della struttura della fiamma con alterazione della durata di combustione
 - aumento della temperatura di aspirazione dovuto alla introduzione, nel caso di EGR non raffreddato, di gas combusti caldi (effetto della temperatura della carica aspirata)
 - ...
- La frazione di EGR varia a seconda della condizione operativa (10 - 30% su Euro II); i valori aumentano con l'evoluzione della normativa e l'applicazione del raffreddamento
- Si ottiene quindi una riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto, ma un aumento delle emissioni di particolato; le variazioni del consumo di combustibile e delle emissioni di CO ed HC dipendono dalla condizione operativa e dalla frazione di EGR

Il ricircolo dei gas di scarico (EGR) (3/4)



Diagrammi indicati di pressione in camera di combustione e corrispondenti rilasci di calore per diversi livelli di EGR a parità di condizione operativa, su un motore Diesel Euro I con pompa di alimentazione meccanica (rif.:Zamboni G., Evaluation of Mechanical Losses and Analysis of the Influence of EGR and Turbocharger Control on Heat Release Rate in an Automotive Diesel Engine, 3° Convegno Internazionale su “Control and Diagnostics in Automotive Applications” (CDAUTO01), paper 01A3029, ATA, Sestri Levante, 2001)

Il ricircolo dei gas di scarico (EGR) (4/4)



Trade-off tra le emissioni specifiche di NO_x e particolato carbonioso all'aumentare dell'EGR per diversi anticipi dell'iniezione pilota, su un motore Diesel Euro II con sistema di alimentazione common rail di 1° generazione (rif.:Capobianco M., Montini M., Zamboni G., Fuel Injection and EGR Systems Control in a Common Rail Diesel Engine, 4° Convegno Internazionale su "Control and Diagnostics in Automotive Applications" (CDAUTO03), paper 03A2034, ATA, Sestri Levante, 2003)

Influenza dell'EGR sulle emissioni reali (1/2)

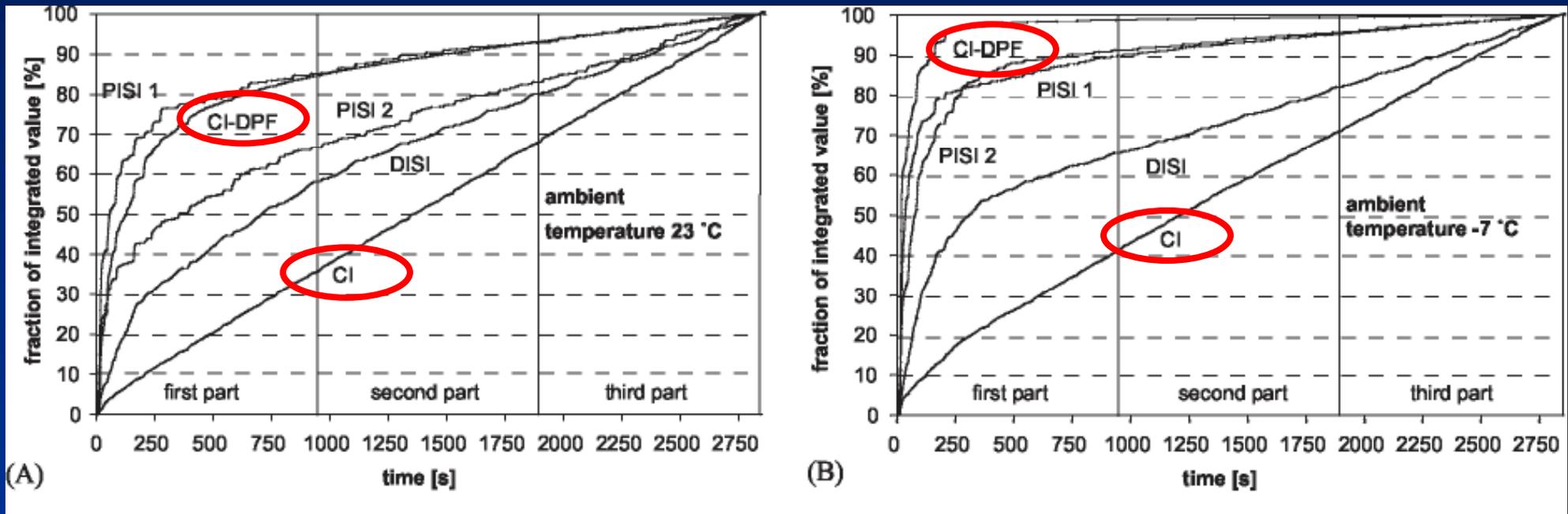
- Sui motori automobilistici, l'EGR viene tipicamente applicata nella zona di funzionamento del motore corrispondente ai cicli di omologazione (indicativamente sino a velocità di rotazione e carichi del motore rispettivamente pari a circa il 70 ed il 50% di quelli massimi); al di fuori di tale zona viene esclusa per limitare la fumosità
- L'utilizzo del ricircolo dei gas di scarico può comportare nel tempo i seguenti problemi:
 - ➔ formazione di depositi nel collettore di aspirazione
 - ➔ maggiore usura del motore, legata alla variazione delle caratteristiche del lubrificante causata dalla presenza di elevate quantità di gas combusti in camera
 - ➔ progressiva ostruzione del cooler (se presente) dovuta a depositi carboniosi
 - ➔ ...

Influenza dell'EGR sulle emissioni reali (2/2)

- Le strategie di controllo dell'EGR tengono conto di alcuni parametri per modificare la frazione di gas riciccolati rispetto ai valori standard; in particolare:
 - ➔ all'avviamento del motore, sino a temperature del refrigerante inferiori a 85 - 90 °C, l'EGR viene esclusa o ridotta
 - ➔ al variare della temperatura ambiente: al di fuori di un intervallo che comprende i livelli tipici delle prove di omologazione (20 ÷ 30 °C), l'EGR viene ridotta o esclusa, con strategie che dipendono dal costruttore
 - ➔ al variare della pressione atmosferica (ad esempio in quota), l'EGR viene limitata per problemi di fumosità
 - ➔ ...
- Per le classi Euro III e successive è probabile una significativa differenza tra i risultati sul ciclo di omologazione ed il comportamento reale, soprattutto per temperature ambiente < 15 - 18 °C

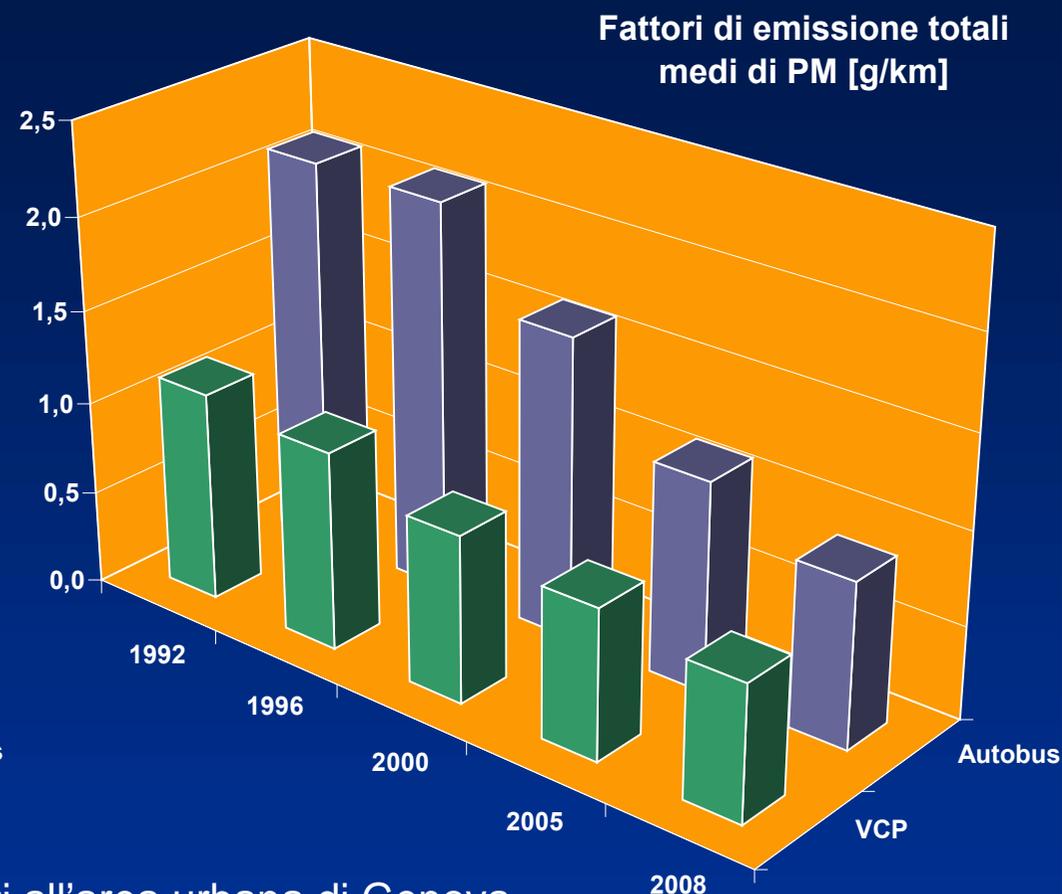
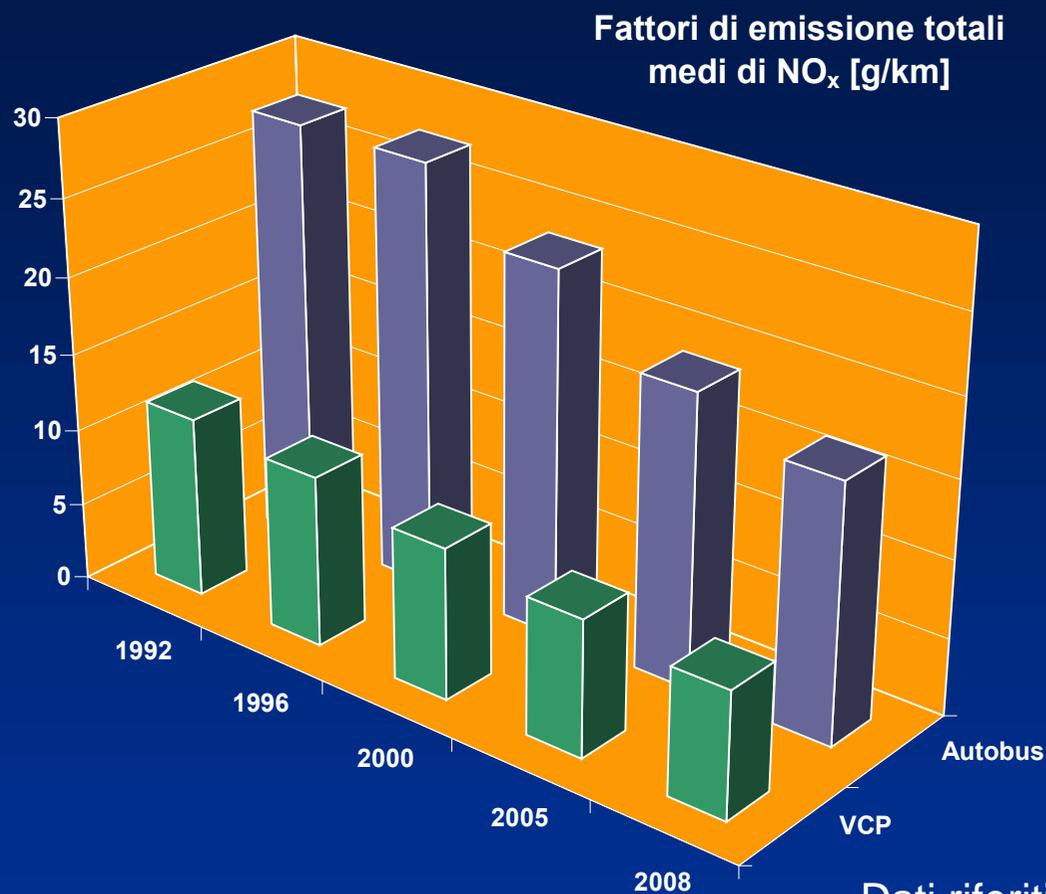
Influenza dei dispositivi di controllo delle emissioni sul comportamento reale

- Nel caso dei motori Diesel, l'introduzione di ulteriori dispositivi (quali ad es. i filtri per particolato) comporta un maggiore contributo delle emissioni a freddo rispetto al totale, come è evidente dalle curve cumulative di PM riportate nei grafici, relative a prove con partenza a freddo sul ciclo IUFC15 per due diversi livelli di temperatura



ref.: Mathis U., Mohr M., Forss A.M., Comprehensive particle characterization of modern gasoline and diesel passenger cars at low ambient temperatures, Atmospheric Environment, 39, 1, pages 107 - 117, 2005

Fattori di emissione veicoli comm./autobus



Dati riferiti all'area urbana di Genova

- Per i VCP l'unica (?) fonte disponibile (Copert III) sembra richiedere un aggiornamento dei dati, soprattutto per i veicoli di massa più elevata

Evoluzione dei veicoli commerciali pesanti

A livello europeo (progetto Artemis WP 400) si è evidenziato:

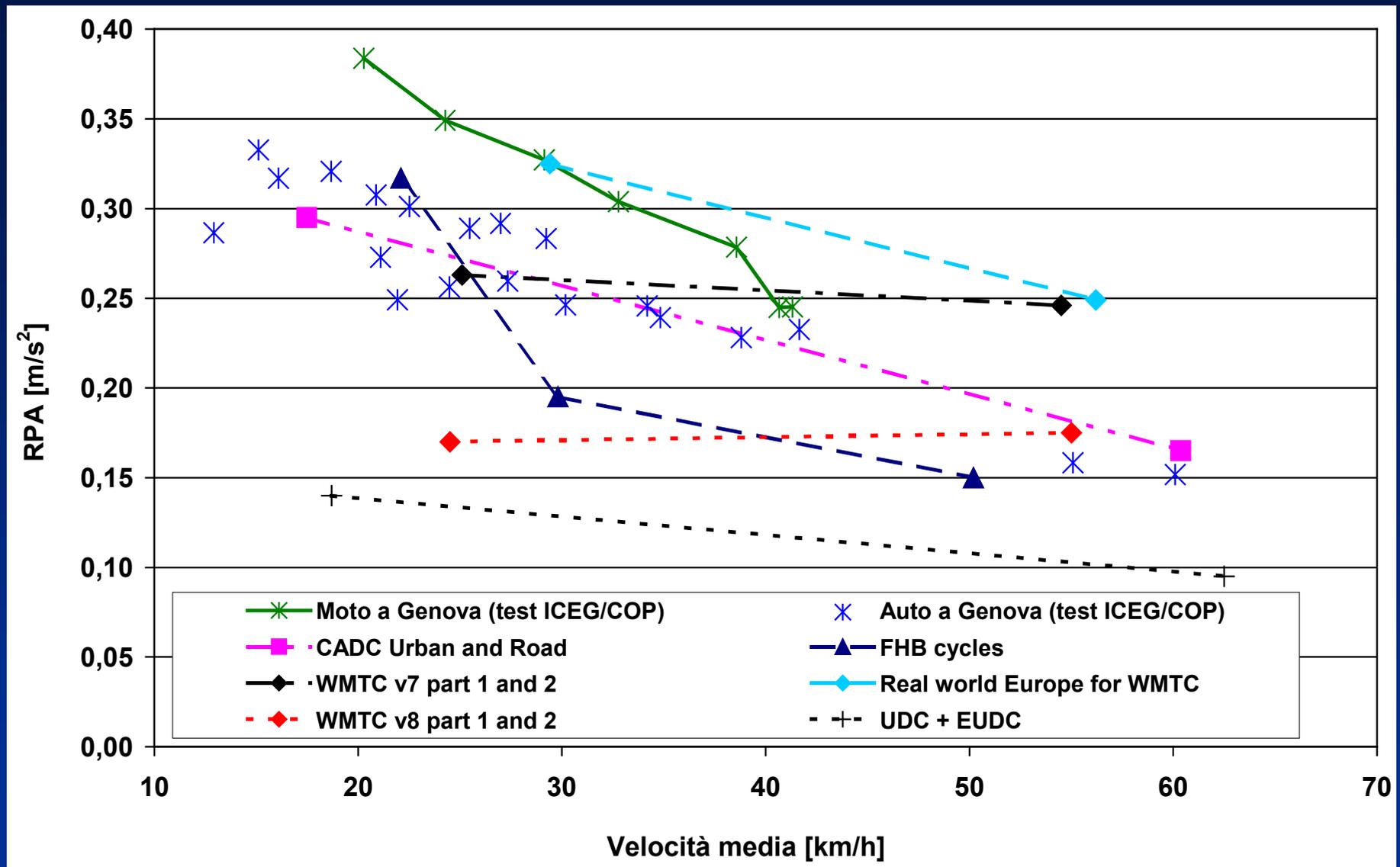
- con riferimento al motore, ed in particolare all'evoluzione dei sistemi di iniezione del combustibile, la necessità di monitorare l'influenza dei livelli crescenti della pressione di iniezione del gasolio e della riduzione del diametro dei fori dell'iniettore, che possono comportare una maggiore usura del polverizzatore, influenzando in particolare le emissioni di PM. Occorre tenere presente che, secondo uno studio olandese IUC, già nei motori Euro I e II (equipaggiati con sistemi di alimentazione più semplici), i difetti più frequenti si verificavano nel sistema di iniezione, in particolare negli iniettori
- con riferimento ai sistemi di abbattimento delle emissioni:
 - ➔ per i veicoli Euro I e II, un'influenza trascurabile della percorrenza sulle emissioni e sul consumo di combustibile
 - ➔ per i veicoli Euro III i dati erano insufficienti e relativi a percorrenze limitate (200.000 km)
 - ➔ per i veicoli Euro IV (immatricolati dal 01.10.06) ed Euro V (immatricolati dal 01.10.09), l'estesa utilizzazione di dispositivi di controllo delle emissioni (EGR + filtri per particolato e/o catalizzatori deNO_x SCR) comporterà la necessità di studiare l'influenza della percorrenza sul comportamento a durata dei suddetti dispositivi e, di conseguenza, sui livelli di emissione per tenere conto di alcuni processi (invecchiamento del catalizzatore dovuto ad effetti termici, avvelenamento dovuto a zolfo o ceneri, corrosione, variazione delle caratteristiche del lubrificante, comportamento dei sensori, ecc.)

Fattori di emissione a caldo per motocicli

| Velocità media | Inquinante | Dati | Classe normativa | | | |
|--|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------|--------------|--------------|
| | | | Pre Euro 2T | Euro I 2T | Pre Euro 4T | Euro I 4T |
| 10 ÷ 40 km/h (in realtà 17 ÷ 30 km/h) | CO, HC, NO _x | Veicoli/tests | 18/44 | 10/23 | 46/122 | 82/205 |
| | | Numero e tipo cicli | 6 real world | | | |
| | PM | Veicoli/tests | 4/6 | 2/3 | 14/16 | 12/15 |
| | | Numero e tipo cicli | 3 (compreso ECE 40) | | | |
| | CO ₂ | Veicoli/tests | 6/8 | 4/5 | 9/11 | 25/34 |
| | | Numero e tipo cicli | 3 real world | | | 6 real world |
| > 40 km/h (in realtà 50 ÷ 63 km/h) | CO, HC, NO _x | Veicoli/tests | 13/25 | 6/12 | 43/80 | 87/147 |
| | | Numero e tipo cicli | 3 real world | | | |
| | PM | Veicoli/tests | - | - | - | - |
| | | Numero e tipo cicli | - | | | |
| | CO ₂ | Veicoli/tests | 1/1 | - | 6/6 | 30/33 |
| | | Numero e tipo cicli | 1 real world | - | 1 real world | 3 real world |

- Ad oggi non sono stati reperiti dati per le classi Euro II fase A (immatricolati dal 01.07.04) e fase B (immatricolati dal 01.01.07); per la CO₂ i dati disponibili sono decisamente limitati, per tutte le classi

Motocicli: perché dati da cicli real world ?



Fattori di emissione a freddo per motocicli

| Classe normativa | Numero di veicoli testati (ECE 40/WMTC part 1) | | | | |
|---------------------|--|-------|-----------------|-----|-----------------|
| | CO | HC | NO _x | PM | CO ₂ |
| pre Euro 2T | 12/3 | 12/1 | 12/3 | - | -/4 |
| Euro I 2T | 6/2 | 6/3 | 6/3 | - | - |
| pre Euro 4T | 36/2 | 36/3 | 36/3 | 2/- | -/6 |
| Euro I 4T (no cat.) | 48/3 | 48/4 | 48/4 | - | -/6 |
| Euro I 4T (cat.) | 13/11 | 13/10 | 13/8 | - | -/12 |

- Anche in questo caso, ad oggi non sono stati reperiti dati per le classi Euro II fasi A e B e per la CO₂ i dati disponibili sono decisamente limitati, per tutte le classi
- Per il particolato non è possibile definire le sovraemissioni a freddo
- I dati sono riferiti al ciclo di omologazione o, in misura minore, ai test di validazione della parte urbana dei cicli definiti nell'ambito del WMTC
- Non è possibile analizzare l'influenza della velocità media e della temperatura ambiente
- Nel caso di moto Euro I 4T, i dati consentono la distinzione tra veicoli catalizzati e non

Fattori di emissione per ciclomotori

- Per gli inquinanti gassosi (CO₂ compresa), i dati a caldo su cicli di guida reali disponibili sono relativi allo studio Regione Emilia Romagna / Labeco (che riporta anche informazioni sul PM)
- I dati di altri studi (Istituto Motori, SSC, ANCMA - ARPAT, Campagna “Vado pulito” 2001 (ARPAT - ACIToscana Service), Campagna “2 ruote ... a posto !!!!” 2003 (Comune e Provincia di Genova, ARPAL, ACIToscana Service e Tecnomotor), ecc.) sono stati misurati sui cicli di omologazione o in condizioni di marcia a velocità costante
- Per il particolato, numerosi studi sono stati effettuati utilizzando i cicli di omologazione ECE 40 ed ECE 47; in alcuni casi, le misure sono riferite anche a condizioni di partenza a freddo
- Non sono disponibili dati a freddo per gli inquinanti gassosi
- Salvo rare eccezioni, non esistono dati riferiti alla classe Euro II (in vigore dal 17.06.02)

Fattori di emissione per veicoli alimentati con combustibili alternativi

- Presso l'ICEG è in programma uno studio per la definizione dei fattori di emissione per veicoli alimentati a gas naturale: una prima parziale analisi dei dati raccolti ha evidenziato la disponibilità di informazioni sui fattori di emissione per auto, autobus e mezzi raccolta RSU, probabilmente riferiti anche a cicli di guida reali. E' da verificare la disponibilità di dati che consentano l'analisi quantitativa dell'influenza della velocità media, della temperatura ambiente e del transitorio a freddo sulle emissioni
- Biodiesel: pur non avendo sinora effettuato specifiche indagini in questo campo, la bibliografia sin qui raccolta evidenzia soprattutto informazioni relative a test al banco motore. I dati sui fattori di emissione sono limitati (ad es. studio Regione Emilia Romagna - Enitecnologie su mezzi pesanti)
- Gasolio emulsionato: questa opzione è stata studiata presso l'ICEG, in termini di riduzione dei fattori di emissione rispetto al gasolio tradizionale, nell'ambito della collaborazione con AMIU (Azienda Multiservizi e d'Igiene Urbana - Genova) sulla valutazione delle emissioni allo scarico del parco aziendale. I dati elaborati erano però relativi a prove al banco motore e riferiti quindi alle emissioni specifiche in [g/kWh]

I dispositivi di controllo delle emissioni e la definizione del parco circolante

- In generale, la disponibilità di diverse tecnologie e dispositivi di post - trattamento pone una serie di problemi per la definizione sia dei fattori di emissione sia del parco circolante, in quanto sempre più spesso i costruttori ricorrono ad un “mix” tra di esse per soddisfare i limiti normativi. Le opzioni aumentano ulteriormente se si considerano le strategie di controllo per gestire i singoli dispositivi e le relative interazioni, soprattutto su veicolo
- Nel caso della definizione del parco, occorre distribuire i veicoli tra le diverse opzioni; alcuni esempi:
 - ➔ auto Diesel (EGR, catalizzatori ossidanti, filtri di particolato, ecc.)
 - ➔ veicoli commerciali pesanti ed autobus (EGR, filtri per particolato, catalizzatori deNO_x SCR)
 - ➔ ciclomotori (motore a 2 o a 4T, iniezione diretta/indiretta, iniezione di aria secondaria, ecc.)
 - ➔ ...

Grazie per l'attenzione!

Ulteriori informazioni sulle attività di ricerca
dell'Internal Combustion Engines Group
e tutti i contatti sono reperibili sul sito web:

www.iceg.unige.it