

VII Incontro

**EXPERT PANEL
EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE**

Roma, 16 gennaio 2003

**VALUTAZIONE DEL PARCO CIRCOLANTE,
DELLE PERCORRENZE URBANE E DEI
FATTORI EMISSIVI DEI VEICOLI STRADALI
NELLA CITTÀ DI GENOVA**

Massimo Capobianco, Giorgio Zamboni

Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET)
Università di Genova



Caratteristiche ed obiettivi della ricerca

■ Collaborazione tecnico - scientifica

→ sviluppata nel periodo 1/12/2000 - 30/11/2002 da:

◆ Area Ambiente - Provincia di Genova

◆ U.O. Mobilità, Trasporti e Parcheggi - Comune di Genova

◆ Gruppo di ricerca sui Motori a Combustione Interna (Gruppo MCI) del Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET) - Università di Genova

→ finanziata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio

→ finalizzata alla realizzazione di un codice di calcolo delle emissioni inquinanti da veicoli stradali in condizioni di reale utilizzo in ambito urbano, con riferimento alla città di Genova



Programma di studio

- **Identificazione delle categorie e classi di veicoli**
- **Stima del parco circolante e delle percorrenze urbane**
- **Definizione dei percorsi tipici nella città di Genova**
- **Valutazione dei fattori di emissione di veicoli stradali con riferimento a spostamenti urbani**



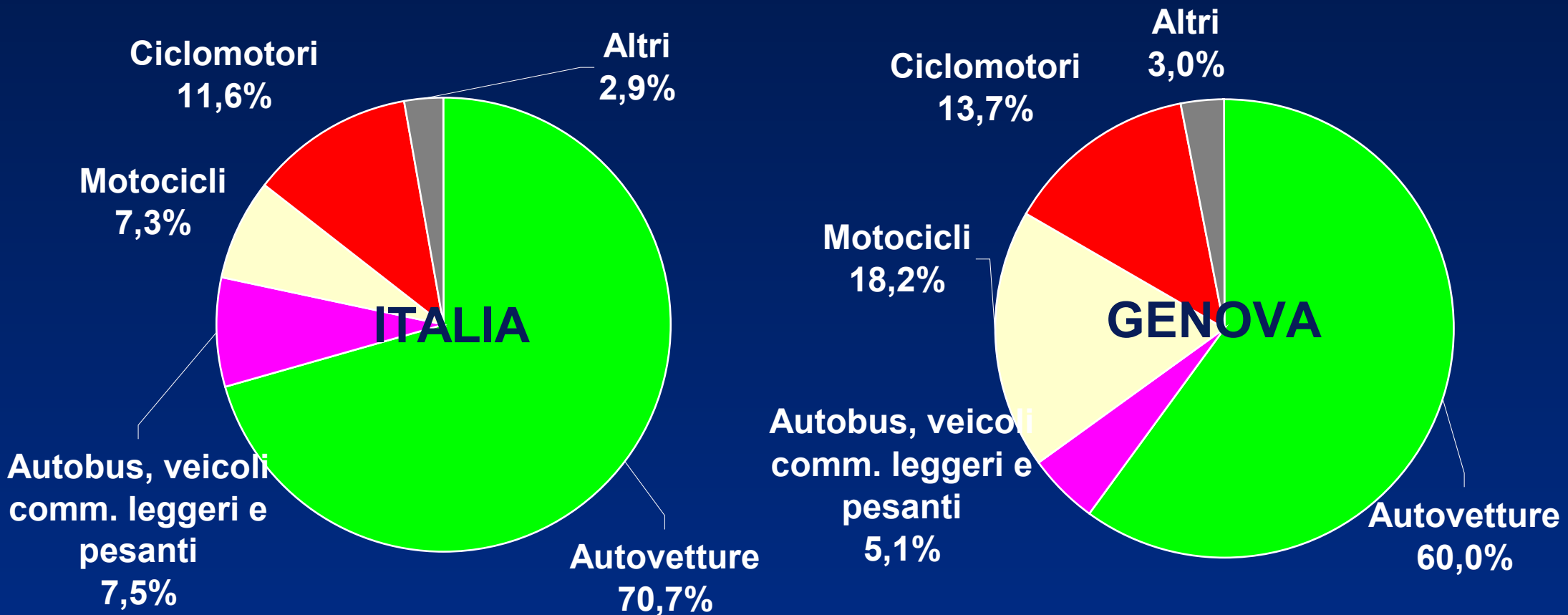
Categorie e classi di veicoli

Sulla base di fonti differenti, sono state definite sette categorie di veicoli, ciascuna suddivisa in classi con riferimento a diversi parametri, tra i quali la cilindrata del motore, il combustibile di alimentazione, la massa di riferimento del veicolo, l'anno di immatricolazione, il tipo di motore (2 o 4 tempi), ecc.:

- autovetture con motore ad accensione comandata (20 classi)
- autovetture con motore Diesel (16 classi)
- veicoli comm. leggeri con motore ad acc. comandata (35 classi)
- veicoli commerciali leggeri con motore Diesel (34 classi)
- veicoli commerciali pesanti ed autobus (14 classi)
- motocicli (18 classi)
- ciclomotori (6 classi)



Distribuzione del parco immatricolato

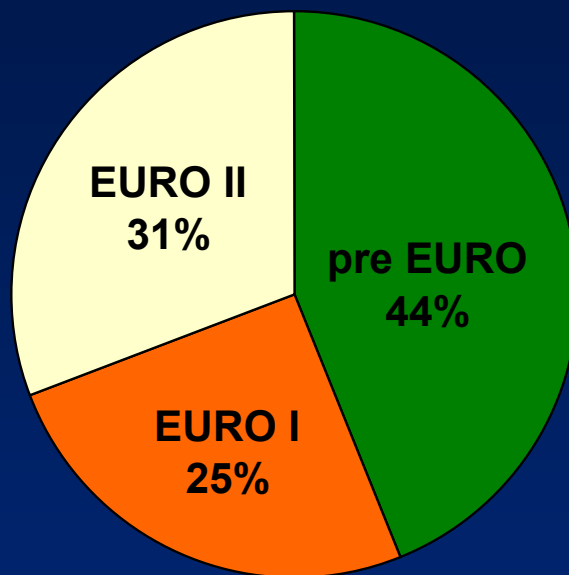


Fonte: elaborazione DIMSET di dati ACI ed ANCMA/ANPA, anno 2000

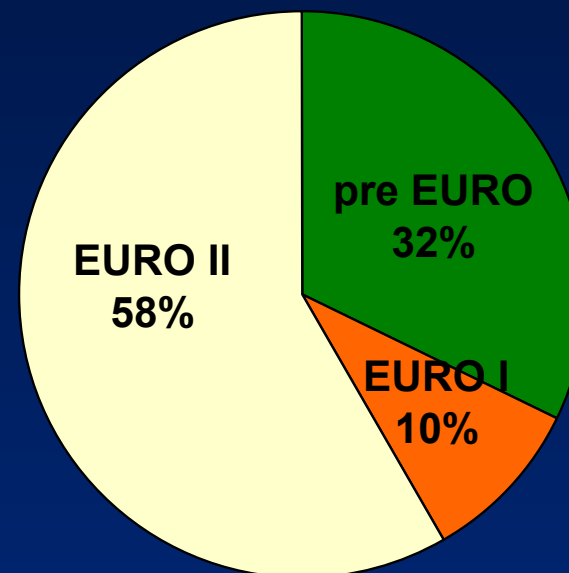


Distribuzione delle autovetture a Genova

Secondo le
Direttive
Europee

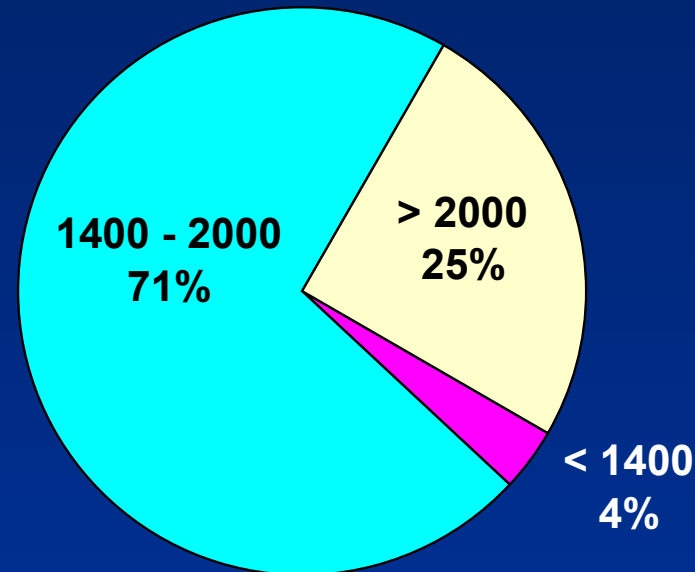
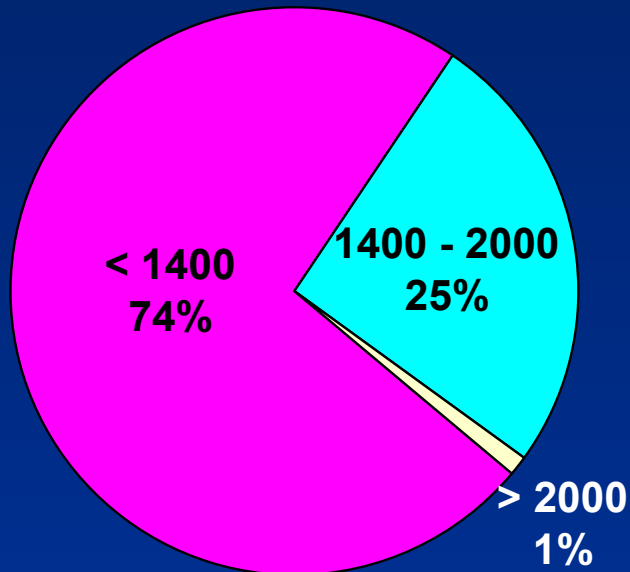


Benzina: 265.006



Diesel: 30.139

Secondo la
cilindrata del
motore [cm³]



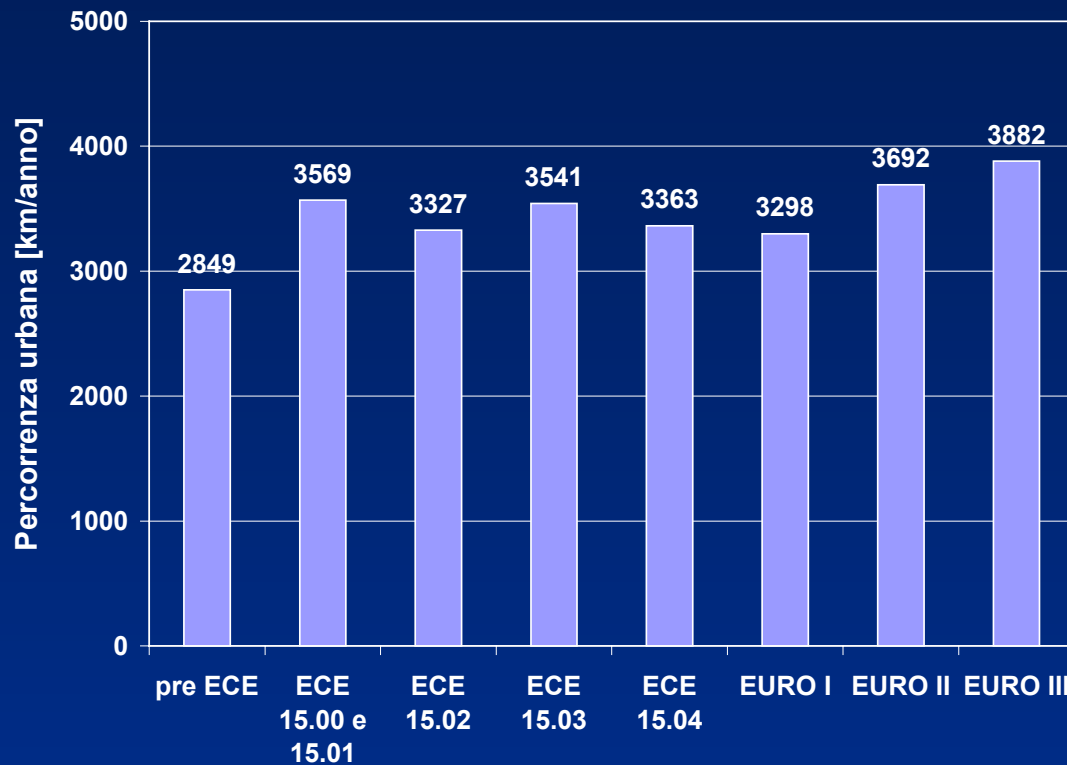
Parco circolante in Genova

- Una indagine statistica sulla mobilità urbana in Genova, sviluppata dal Comune e dalla Provincia, ha permesso di definire le matrici O - D degli spostamenti in un giorno medio per le fasce orarie di punta mattutina e serale (6.30 ÷ 9.00 e 17.00 ÷ 20.00)
- Dalla elaborazione dei dati è stato possibile stimare il numero di autovetture e di veicoli a due ruote circolanti nell'ambito del territorio comunale:
 - ➔ autovetture: 77.000 nella fascia mattutina, 54.000 nella fascia serale (pari a circa il 25 ed il 18% del parco immatricolato nel Comune)
 - ➔ ciclomotori + motocicli: 33.000 nella fascia mattutina, 21.000 nella fascia serale (pari a circa il 21 ed il 13% del parco immatricolato e stimato nel Comune)



Percorrenze urbane annuali delle autovetture

Benzina



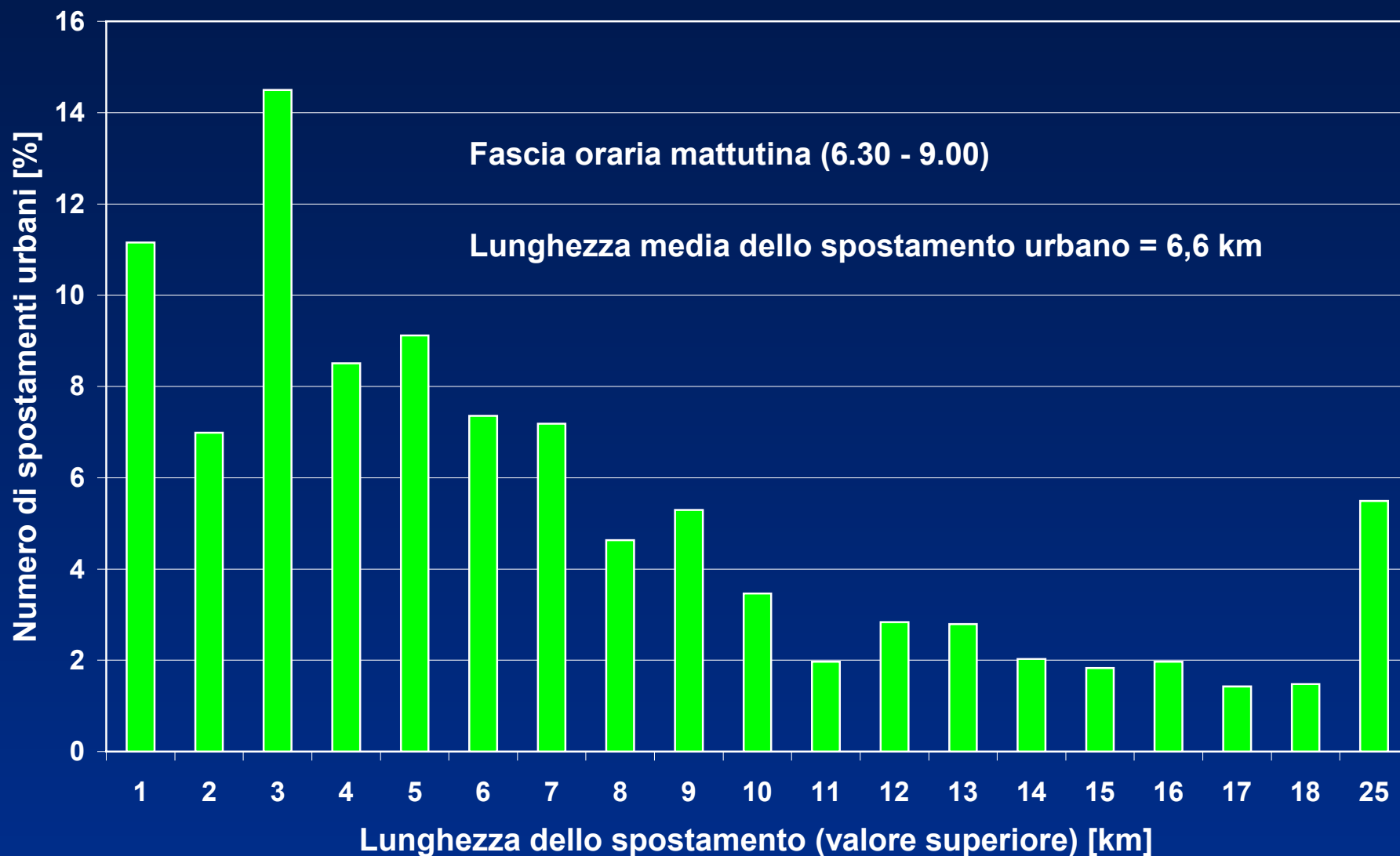
Diesel



Fonte: elaborazione DIMSET di dati studio O - D e manuale codice COPERT III



Distribuzione degli spostamenti delle autovetture



Fonte: elaborazione DIMSET di dati studio O - D



Definizione dei percorsi tipici (1/2)

- Utilizzando una vettura strumentata, vengono effettuati rilievi sperimentali di velocità nel traffico, per valutare i valori medi nell'area urbana e confrontarli con quelli dei cicli di guida normalizzati
- Percorsi considerati:
 1. da ponente al centro città (lunghezza totale = 11,6 km, compresa la Sopraelevata, strada a scorrimento veloce di 5,0 km)
 2. da levante al centro città (6,3 km)
 3. zona centrale (4,8 km)
- Fasce orarie: 7.30 ÷ 9.00, 11.00 ÷ 13.00 e 17.00 ÷ 19.00



Definizione dei percorsi tipici (2/2)

- Le velocità medie ricavate elaborando i dati acquisiti sono pari a:
 1. 25,1 km/h, considerando la Sopraelevata
18,6 km/h, escludendo la Sopraelevata
 2. 20,9 km/h
 3. 20,9 km/h
- La velocità media complessiva è pari a 23,3 km/h (20,1 km/h escludendo la Sopraelevata)
- Si evidenzia inoltre una certa riduzione della velocità media nella fascia oraria serale, in particolare per i percorsi 1 e 3, e nelle zone centrali dei vari percorsi



Emissioni dei veicoli in ambito urbano (1/2)

In generale, per ciascuna classe di veicoli, l'emissione totale E_{totale} (g) per uno spostamento di lunghezza d fissata (km) è valutata secondo la relazione:

$$(E_{\text{totale}})_{i,j} = (F_{\text{caldo}})_{i,j} \cdot (F_{\text{CP}})_{i,j} \cdot d + (E_{\text{freddo}})_{i,j}$$

per $i = \text{CO, HC, NO}_x \text{ e PM}$ e $j = \text{classe del veicolo}$

dove:

- $(F_{\text{caldo}})_{i,j}$ = fattore di emissione a caldo (g/km), riferito a veicoli nuovi
- $(F_{\text{CP}})_{i,j}$ = fattore di correzione in funzione della percorrenza
- $(E_{\text{freddo}})_{i,j}$ = emissione a freddo (g)

sono stati definiti confrontando ed elaborando i dati ricavati da fonti differenti.



Emissioni dei veicoli in ambito urbano (2/2)

■ Fonti:

- fattori emissivi normalizzati (Direttive Europee sulle emissioni inquinanti allo scarico dei veicoli);
- metodologia COPERT (rapporti dei progetti Cost319 e Meet e manuali dei codici COPERT II e III);
- dati sperimentali da costruttori, istituti di ricerca, università, gestori di flotte pubbliche, ecc.

- Ciascuna delle fonti presenta specifiche caratteristiche, alcune delle quali verranno sinteticamente evidenziate nel seguito; risulta opportuno utilizzare tutti i dati disponibili, confrontandoli criticamente per stabilirne la validità e l'applicabilità al contesto urbano considerato



Fattori emissivi normalizzati

- I cicli di guida normalizzati rappresentano solo parzialmente l'effettiva utilizzazione dei veicoli (differenze nelle velocità medie, nei tempi di sosta al minimo, nelle condizioni operative del motore, ecc.)
- Le modalità di esecuzione delle prove di omologazione evolvono nel tempo: i dati relativi a classi di veicoli differenti non sono quindi sempre confrontabili se non dopo opportune elaborazioni che tengano conto di tale evoluzione
- Le prove di omologazione non tengono conto degli effetti dovuti all'invecchiamento e alla temperatura ambiente, in quanto vengono eseguite su veicoli con una percorrenza limitata (ad es. 3000 km per le autovetture) e ad una temperatura compresa tra i 20 ed i 30 °C; solo la più recente Direttiva per le auto (98/69/CE) ha introdotto il controllo delle emissioni di CO ed HC a -7 °C



Metodologia COPERT

- Le correlazioni proposte per il calcolo dei fattori di emissione sono basate su dati sperimentali raccolti a livello europeo, relativi ad una grande varietà di flotte e cicli di guida reali (mai rappresentativi di realtà italiane) e caratterizzati da valori dei coefficienti di correlazione non sempre soddisfacenti, soprattutto per le autovetture EURO I ed EURO II
- Le correlazioni sono valide per velocità medie superiori a 5 o 10 km/h: l'estrapolazione è sconsigliata e non è quindi possibile valutare le emissioni nel caso di situazioni di traffico congestionato o con motore al minimo
- Il modello di calcolo delle emissioni a freddo appare poco rappresentativo del reale comportamento dei veicoli, comportando probabilmente una stima per difetto nel caso di spostamenti brevi (< 10 - 12 km) ed una stima per eccesso per gli spostamenti più lunghi (> 15 - 20 km)



Dati sperimentali da fonti diverse

- La quantità di informazioni disponibili è generalmente correlata alla diffusione della categoria di veicoli ed al numero di direttive emanate
- Esiste una notevole variabilità nei dati relativi ad una stessa classe di veicoli provenienti da fonti differenti, dovuta tra l'altro a:
 - differenze nei veicoli testati (cilindrata, percorrenza, stato del veicolo, caratteristiche costruttive, ecc.);
 - ciclo di guida selezionato;
 - errori di misura, comunque presenti;
 - variazioni nella procedura di condizionamento del veicolo;
 - ...



Fattori di emissione a caldo da cicli normalizzati

Autovetture EURO I e EURO II

Per consentire il confronto dei risultati ottenuti nei tests normalizzati (ECE 15 + EUDC) con i dati ricavati da fonti differenti (cicli urbani reali, metodologia Copert III, ecc.) è stata sviluppata una procedura in tre passi:

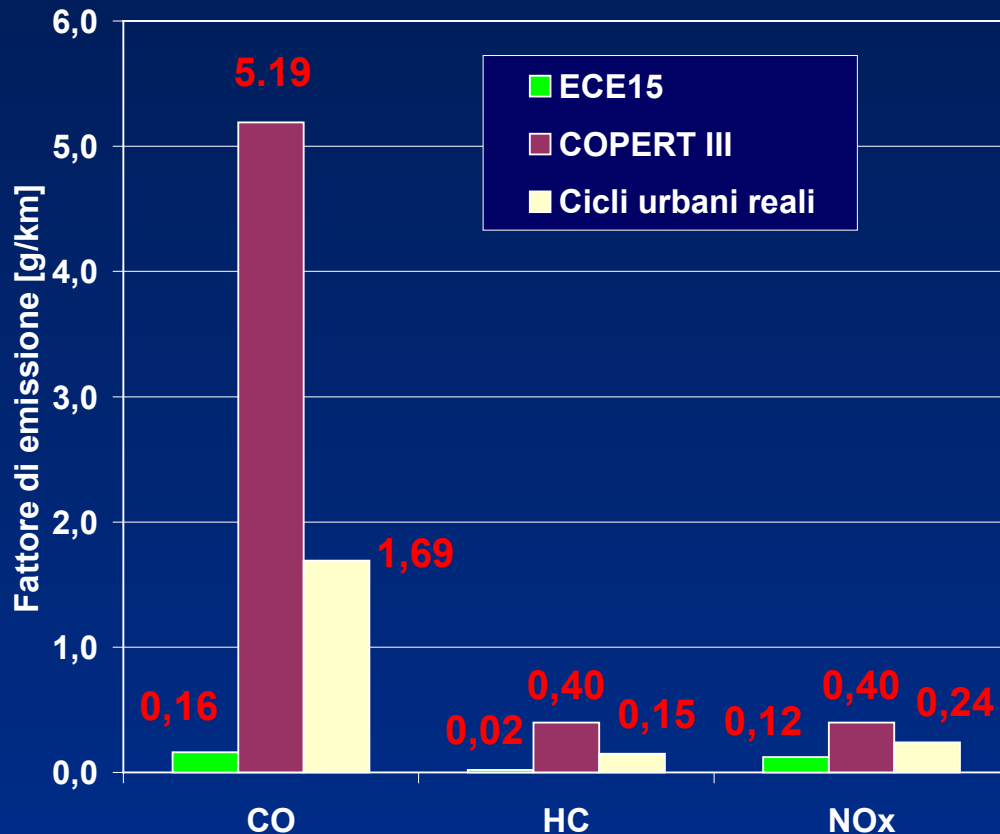
- calcolo dei fattori di emissione relativi al solo ciclo urbano (F_{ECE15}) partendo dal fattore di emissione totale (F_{totale}), attraverso la definizione di opportuni rapporti (F_{totale} / F_{ECE15})
- suddivisione dei dati relativi alla emissione totale di HC + NO_x nei contributi dovuti alle singole specie
- valutazione del contributo a caldo (F_{caldo}) nel ciclo ECE15, mediante la definizione di rapporti (F_{caldo} / F_{ECE15}) basati sul confronto tra risultati di test a caldo e a freddo



Confronto di fattori di emissione a caldo

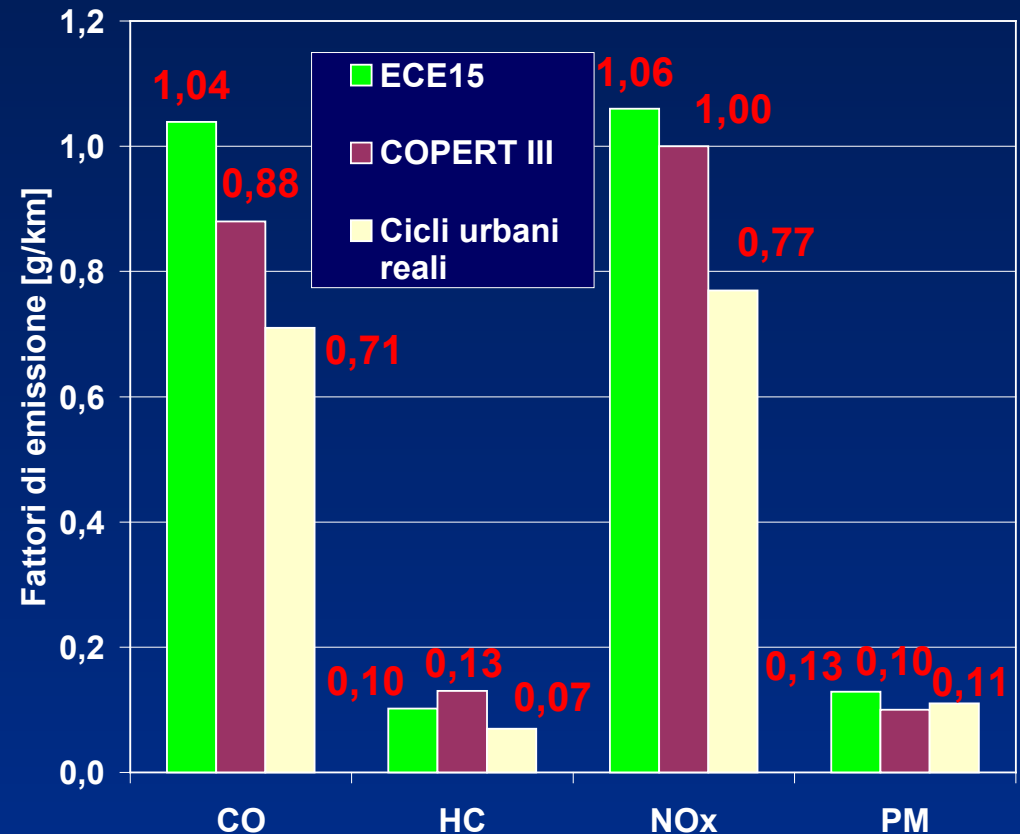
Autovetture EURO I

Benzina



Calcoli COPERT: cilindrata < 1400 cm³,
v_{media} = 19 km/h

Diesel



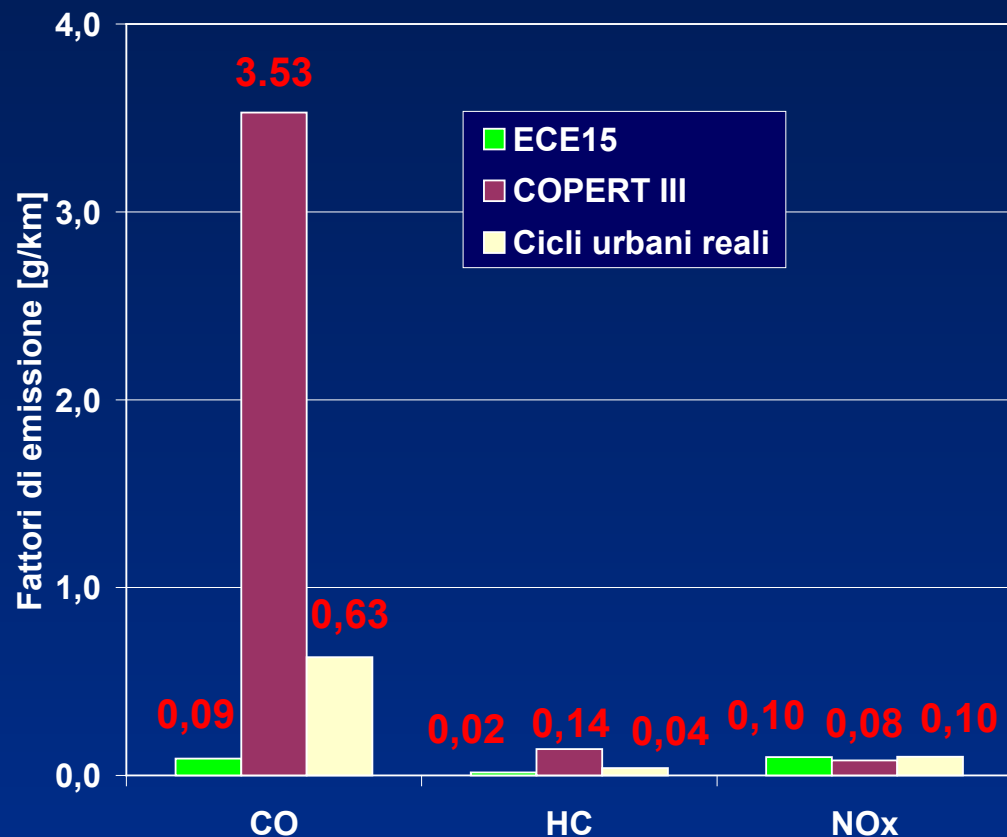
Calcoli COPERT: v_{media} = 19 km/h



Confronto di fattori di emissione a caldo

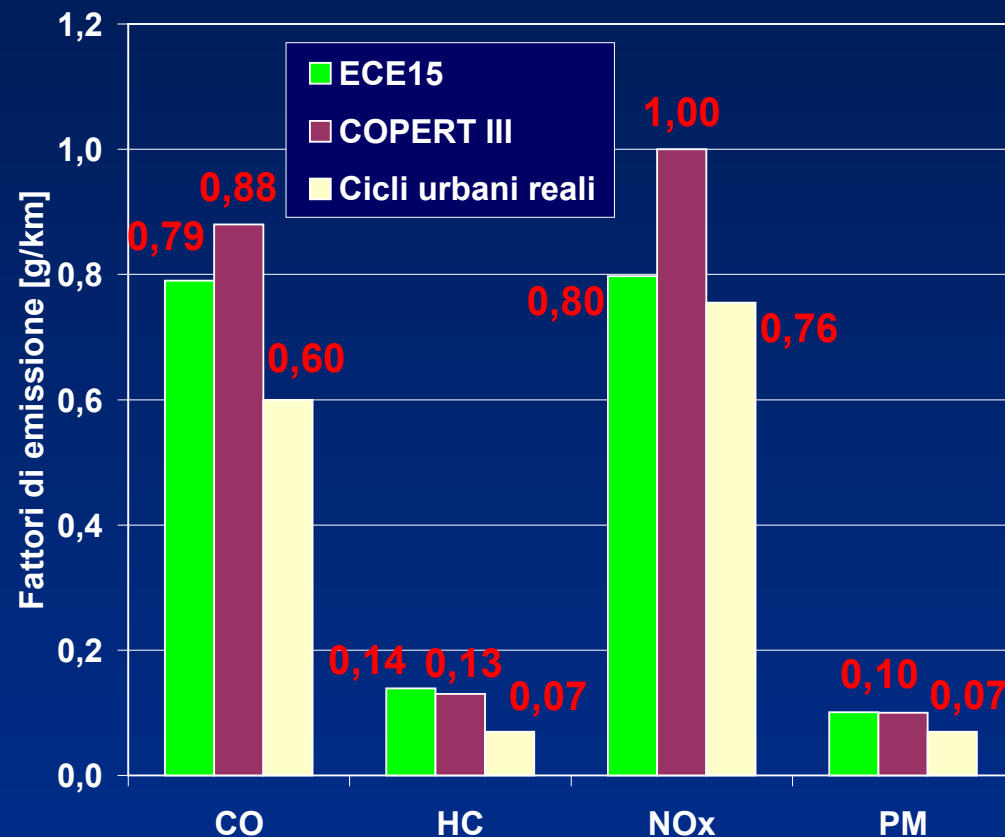
Autovetture EURO II

Benzina



Calcoli COPERT: cilindrata < 1400 cm³,
v_{media} = 19 km/h

Diesel

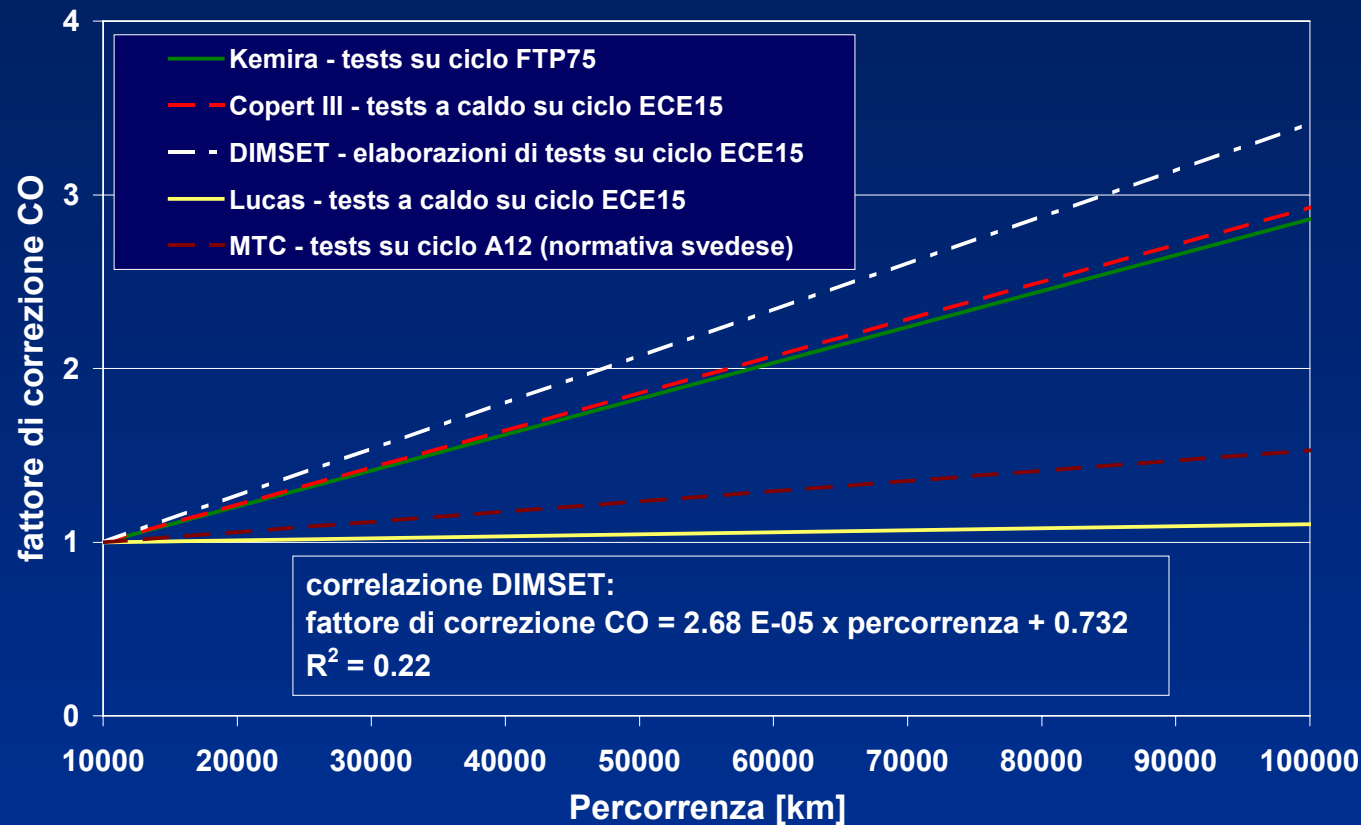


Calcoli COPERT: v_{media} = 19 km/h



Effetto della percorrenza sui fattori di emissione a caldo - Autovetture a benzina EURO I e EURO II

L'elaborazione di dati riferiti a misure sul ciclo di guida europeo ha consentito di valutare i fattori a caldo relativi alla parte urbana per diverse percorrenze e definire opportuni fattori di correzione



Influenza della partenza a freddo e della temperatura ambiente - Autovetture a benzina EURO I e EURO II

Il fattore di emissione istantaneo a freddo F_{freddo} (g/km) è espresso attraverso una funzione esponenziale decrescente della distanza percorsa x (km):

$$(F_{\text{freddo}})_i = a_i \cdot \exp(-x / T_i) \quad \text{per } i = \text{CO, HC, NO}_x$$

dove:

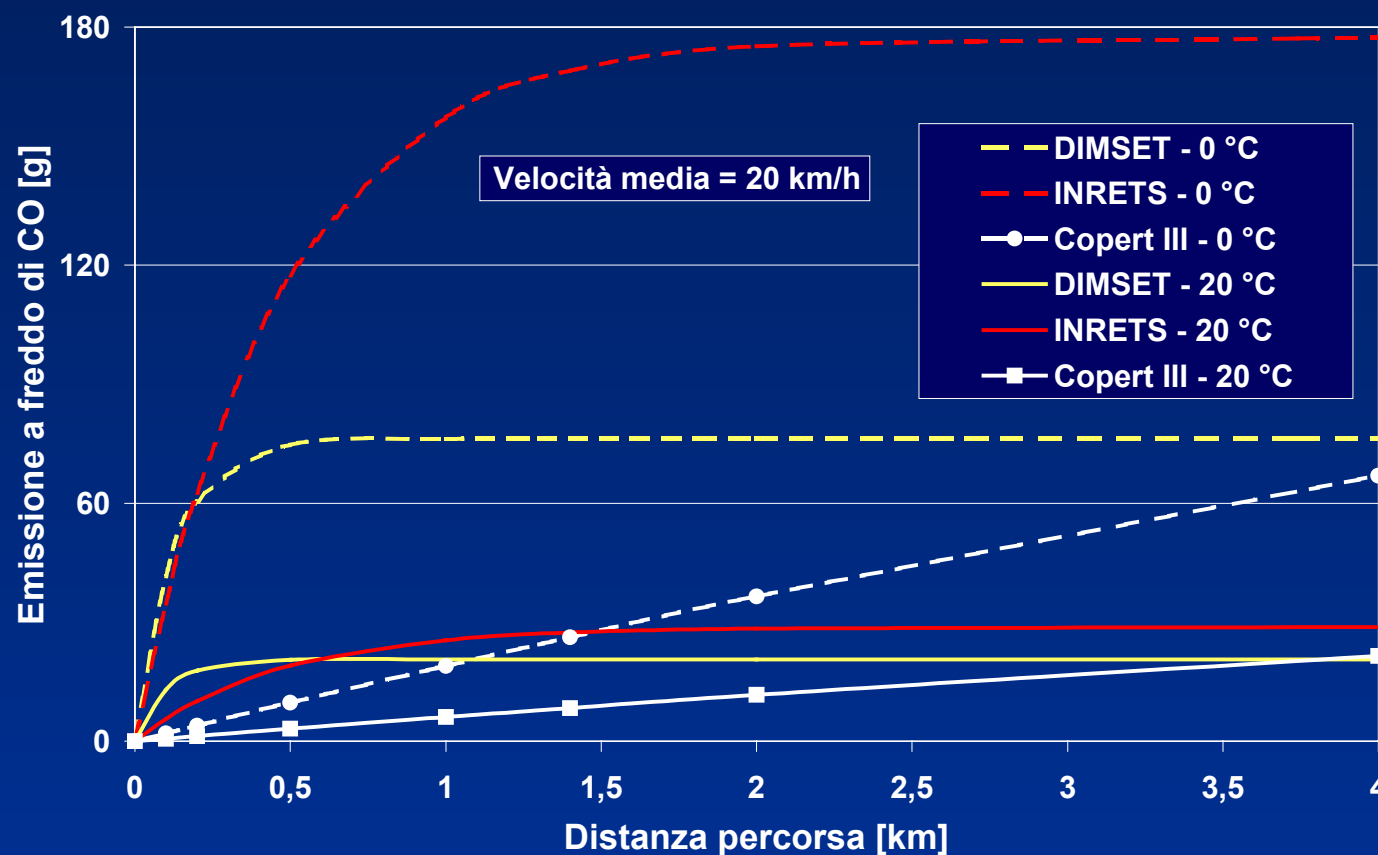
- a_i = fattore di emissione istantaneo all'avviamento del motore
- T_i è correlato alla lunghezza del transitorio a freddo

I valori di a_i e T_i sono stati definiti sulla base di dati sperimentali relativi alla prima ripetizione del ciclo ECE15 (o parti di esso) con partenza a freddo, considerando due livelli di temperatura ambiente (0 e 20 °C) e tre valori di velocità media (10, 20 e 40 km/h)



Influenza della partenza a freddo e della temperatura ambiente - Autovetture a benzina EURO I e EURO II

L'emissione a freddo ($E_{\text{freddo}})_i$ viene valutata integrando la legge esponenziale dei fattori emissivi istantanei su un percorso di lunghezza stabilita d , fissando i valori di velocità media e temperatura ambiente



Conclusioni e sviluppi futuri

- L'attività sinteticamente presentata ha consentito di definire il codice PROGRESS (computer PROGramme for Road vehicles EmiSSions evaluation in Genoa)
- Attualmente la collaborazione con il Comune e la Provincia di Genova prosegue su alcuni aspetti, tra i quali:
 - ➔ definizione del parco circolante (in particolare per ciclomotori e veicoli comm. pesanti), correlazioni con l'immatricolato e sua evoluzione nel tempo
 - ➔ integrazione del codice con simulatori di traffico
 - ➔ approfondimenti sui fattori di emissione (autovetture EURO III, ciclomotori, veicoli commerciali pesanti)
 - ➔ definizione di leggi di moto dei veicoli in ambito urbano ed extra-urbano



Riferimenti

- **Brescianini C., Capobianco M., Zamboni G.**
Analisi degli Effetti di Provvedimenti di Limitazione del Traffico Veicolare sulla Qualita' dell'Aria in un Grande Centro Urbano
56° Congresso Nazionale ATI, Napoli, 9/2001
- **Capobianco M., Dagnino R., Mastretta M., Zamboni G.**
Road Vehicles Emissions under Real Urban Driving Conditions
Fisita 2002 World Automotive Congress, Helsinki, 6/2002
- <http://www.inrets.fr/infos/cost319/>
- <http://walshcarlines.com/>
- <http://www.ingegneria.unige.it/associazioni/ata/>

