

VIII Incontro

**EXPERT PANEL  
EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE**

Roma, 5 novembre 2003

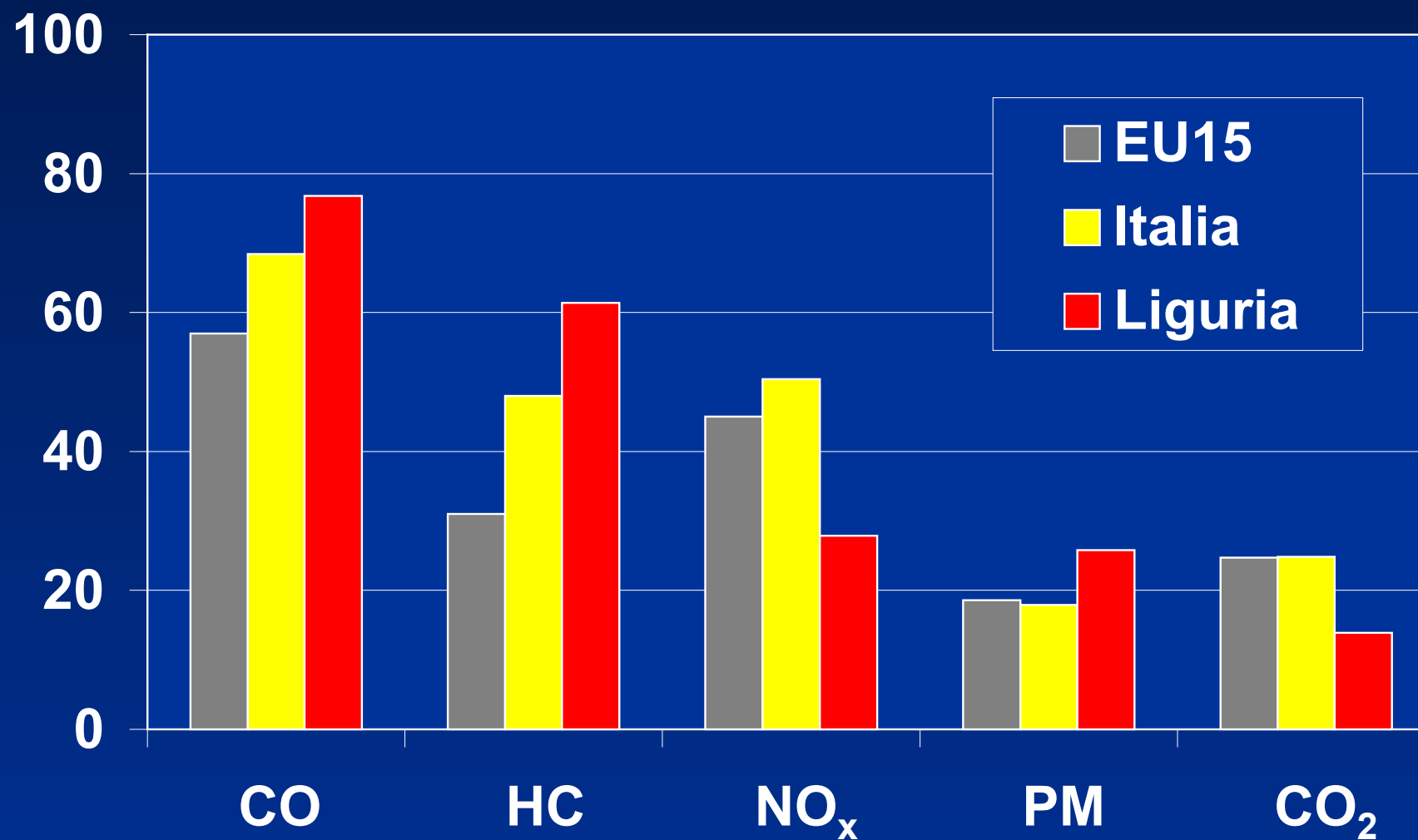
**PROGRESS: UN CODICE PER IL  
CALCOLO DELLE EMISSIONI DA VEICOLI  
STRADALI IN AMBITO URBANO**

**Massimo Capobianco, Giorgio Zamboni**

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



# Contributo dei trasporti stradali all'inquinamento atmosferico



# Sviluppo 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 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 (PROGRESS) da veicoli stradali in condizioni di reale utilizzo in ambito urbano



# Caratteristiche principali del codice PROGRESS (1/2)

- **Calcolo delle emissioni totali (suddivise nei contributi a caldo ed a freddo) degli inquinanti normalizzati (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM) allo scarico di otto differenti categorie di veicoli**
- **Le otto categorie (autovetture e veicoli comm. leggeri a benzina e Diesel, veicoli commerciali pesanti, autobus, motocicli e ciclomotori) sono ulteriormente suddivise in 46 classi sulla base di diversi parametri (anno di produzione, cilindrata, sistema di combustione, massa di riferimento del veicolo, motore a 2 o 4 tempi, ecc.)**
- **La procedura di calcolo può essere applicata ad una intera area urbana o parte di essa, considerando differenti intervalli di tempo (da un'ora ad un intero anno)**



# Caratteristiche principali del codice PROGRESS (2/2)

- La composizione del parco circolante e le relative percorrenze possono essere definite secondo tre differenti opzioni di input: valori di default, input per ogni classe considerata, input di un numero totale di veicoli e/o di chilometri percorsi
- Per il calcolo delle emissioni a freddo, viene richiesto il valore medio della lunghezza degli spostamenti urbani, unitamente alla loro distribuzione di frequenza tra differenti classi di velocità media e temperatura ambiente
- La procedura è basata su differenti moduli, dedicati rispettivamente all'input dei dati, alla selezione delle categorie e delle classi di veicoli, alla definizione della composizione del parco circolante e delle percorrenze, alla valutazione dei fattori di emissione a caldo ed a freddo ed al calcolo delle emissioni a caldo, a freddo e totali



# Procedura di calcolo delle emissioni allo scarico (1/2)

Per ogni classe di veicoli (j) considerata occorre definire i seguenti parametri:

- $(F_{\text{medio caldo}})_{i,j}$  = fattore di emissione medio a caldo
  - $(F_{\text{medio freddo}})_{i,j}$  = fattore medio di sovraemissione a freddo
  - $N_j$  = numero di veicoli
  - $M_j$  = distanza percorsa
- $i = \text{CO, HC, NO}_x, \text{PM}$

Il fattore di emissione medio a caldo  $(F_{\text{medio caldo}})_{i,j}$  è calcolato sulla base di:

- $(f_{\text{caldo}})_{i,j}$  = fattori di emissione per veicoli nuovi riferiti a tre differenti classi di velocità media
- $(f_{\text{MC}})_{i,j}$  = fattore di correzione in funzione della percorrenza
- distribuzione di frequenza degli spostamenti urbani riferiti alle classi di velocità media



# Procedura di calcolo delle emissioni allo scarico (2/2)

Il fattore medio di sovraemissione a freddo  $(F_{\text{medio freddo}})_{i,j}$  è calcolato sulla base di:

- $(f_{\text{freddo}})_{i,j} = a_{i,j} \cdot \exp(-x/t_{i,j})$  = fattore di emissione a freddo istantaneo  
     $a_{i,j}$  = fattore di emissione istantaneo all'avviamento del motore  
     $x$  = distanza percorsa  
     $t_{i,j}$  = parametro correlato alla lunghezza del transitorio a freddo  
    ( $a_{i,j}$  e  $t_{i,j}$  dipendono dalla temperatura ambiente e dalla velocità media del veicolo)
- valore medio della lunghezza degli spostamenti urbani
- distribuzione di frequenza degli spostamenti urbani relativa a differenti classi di temperatura ambiente

Le emissioni a caldo, a freddo e totali sono date da:

- $(E_{\text{caldo}})_{i,j} = (F_{\text{medio caldo}})_{i,j} * N_j * M_j$
- $(E_{\text{freddo}})_{i,j} = (F_{\text{medio freddo}})_{i,j} * N_j * M_j$
- $(E_{\text{totale}})_{i,j} = (E_{\text{caldo}})_{i,j} + (E_{\text{freddo}})_{i,j}$



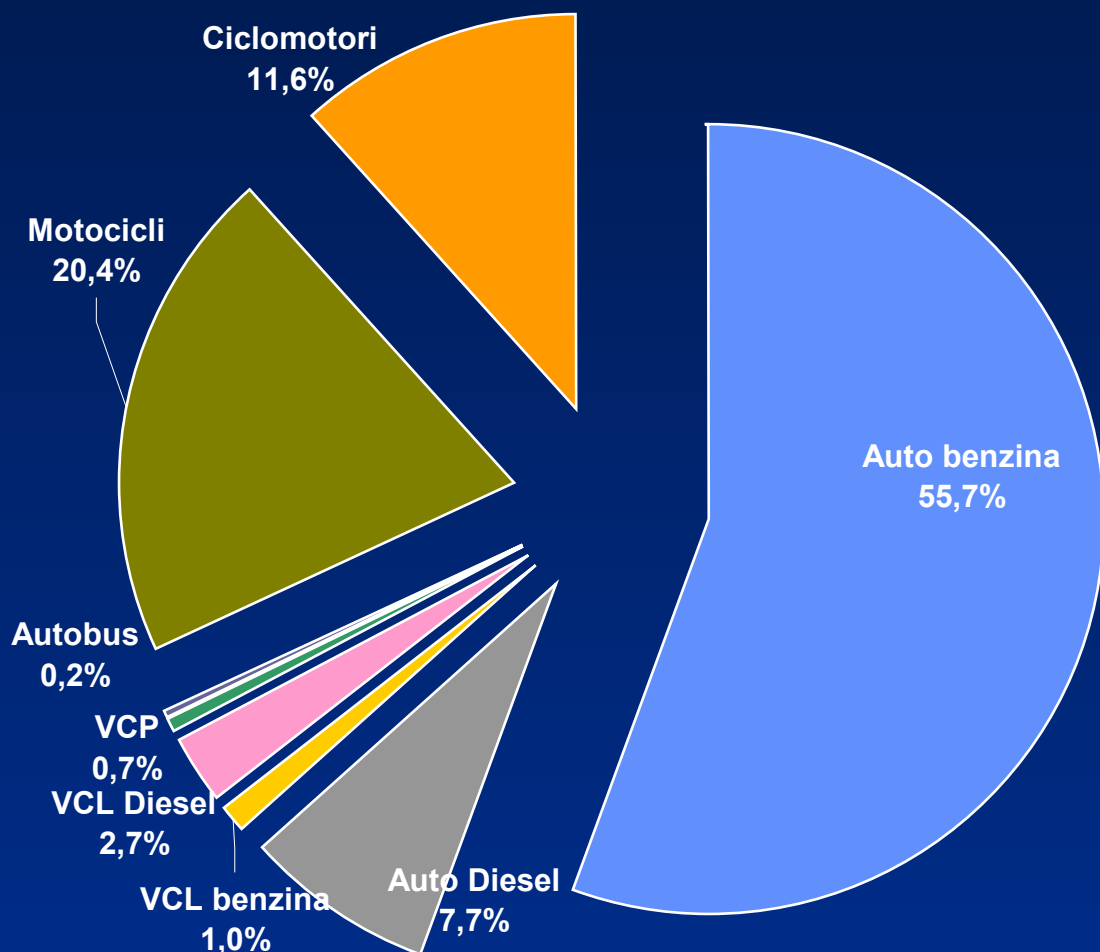
# Applicazione di PROGRESS all'area urbana di Genova

- Una prima applicazione del codice PROGRESS ha riguardato l'intera area urbana della città di Genova considerando l'anno 2001
- La composizione del parco circolante è stata ottenuta elaborando dati del Pubblico Registro forniti dall'ACI, opportunamente corretti con i risultati di uno studio statistico sulla mobilità urbana a Genova; per i ciclomotori la stima si è basata su dati di tre fonti diverse
- Le percorrenze per ciascuna classe di veicoli sono state ricavate considerando fonti differenti: risultati sull'utilizzo delle autovetture da parte dei residenti in Genova, dati dall'azienda di trasporto pubblico locale per gli autobus ed informazioni da studi nazionali per veicoli commerciali leggeri e pesanti, motocicli e ciclomotori
- La caratterizzazione degli spostamenti urbani (lunghezza media, distribuzione di frequenza tra le classi di velocità media e di temperatura ambiente) è stata sviluppata sulla base di studi sulla mobilità urbana e delle serie storiche delle temperature mensili massime e minime a Genova





# Distribuzione del parco veicoli a Genova

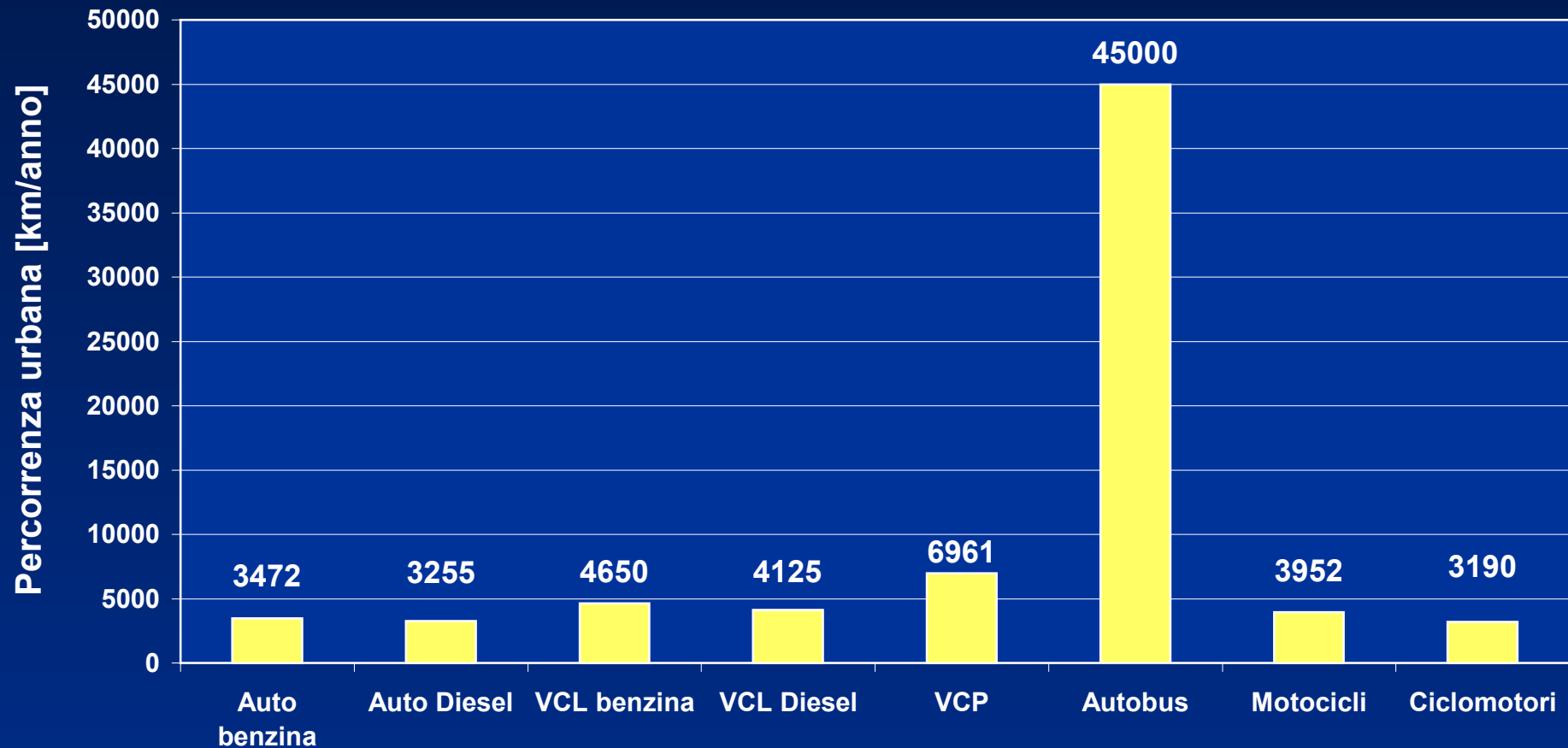


- La mobilità privata rappresenta più del 95% dell'intero parco circolante
- I veicoli a due ruote coprono una quota significativa (più del 30%)
- Il numero di veicoli comm. pesanti è probabilmente più elevato (veicoli utilizzati per attività industriali e legate al Porto)

**Numero totale di veicoli: 508.822**



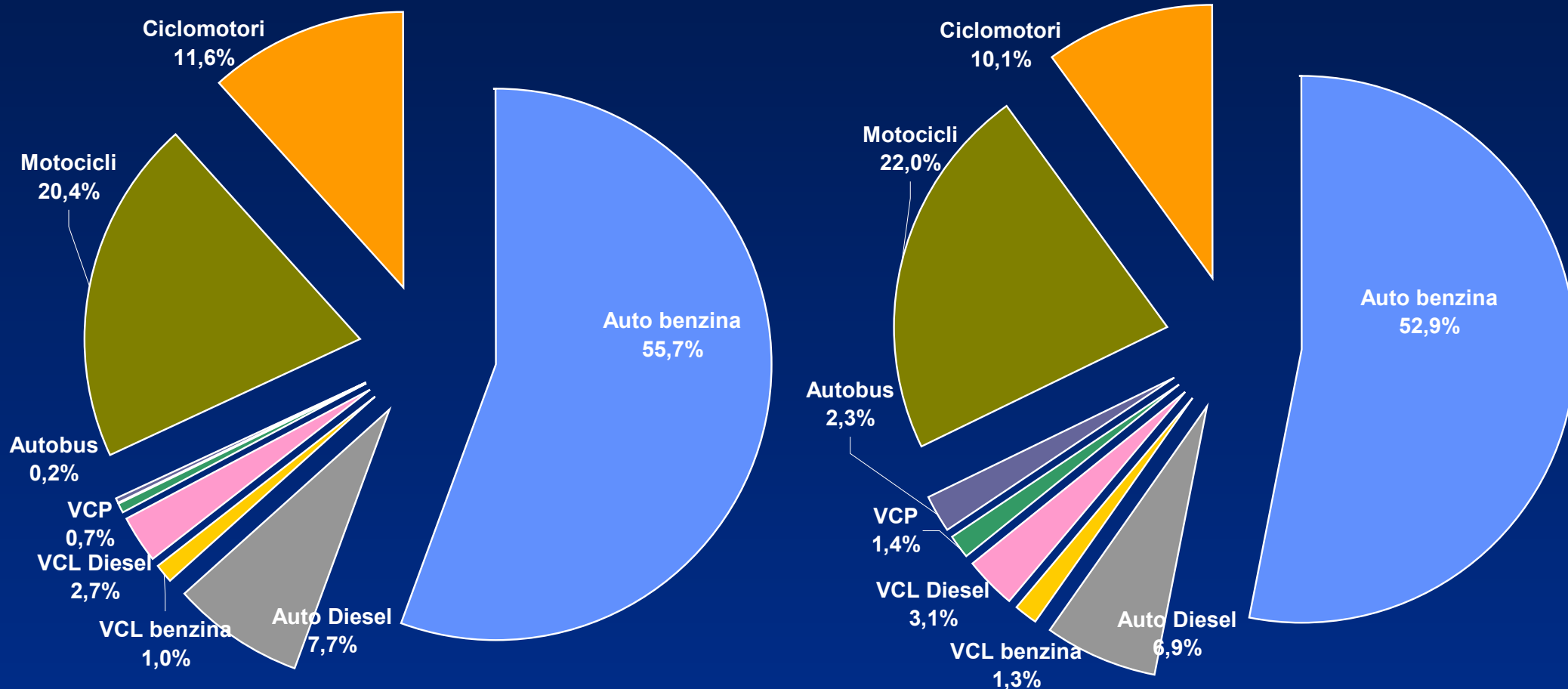
# Percorrenza urbana per veicolo



⇒ gli autobus sono l'unica categoria di veicoli con una percorrenza decisamente più elevata



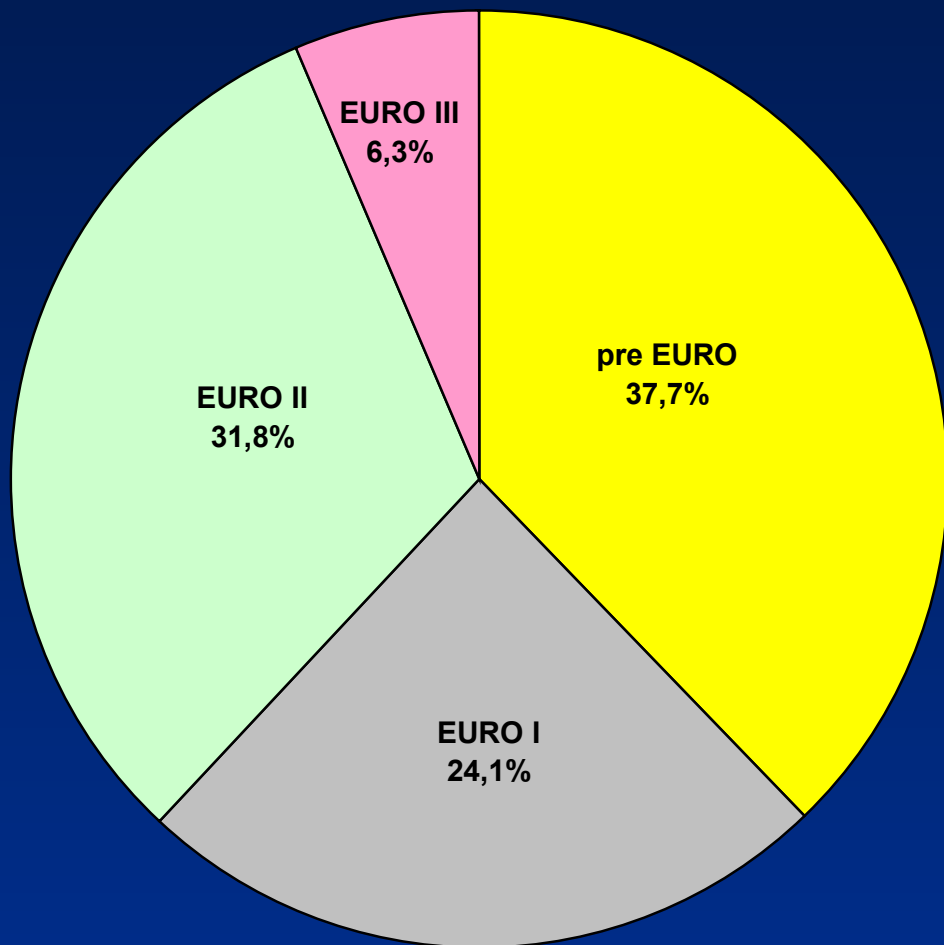
# Confronto del parco veicoli e delle percorrenze urbane totali



⇒ la percorrenza urbana è correlata alla composizione del parco, ad eccezione degli autobus



# Distribuzione delle auto a benzina a Genova (anno 2001)

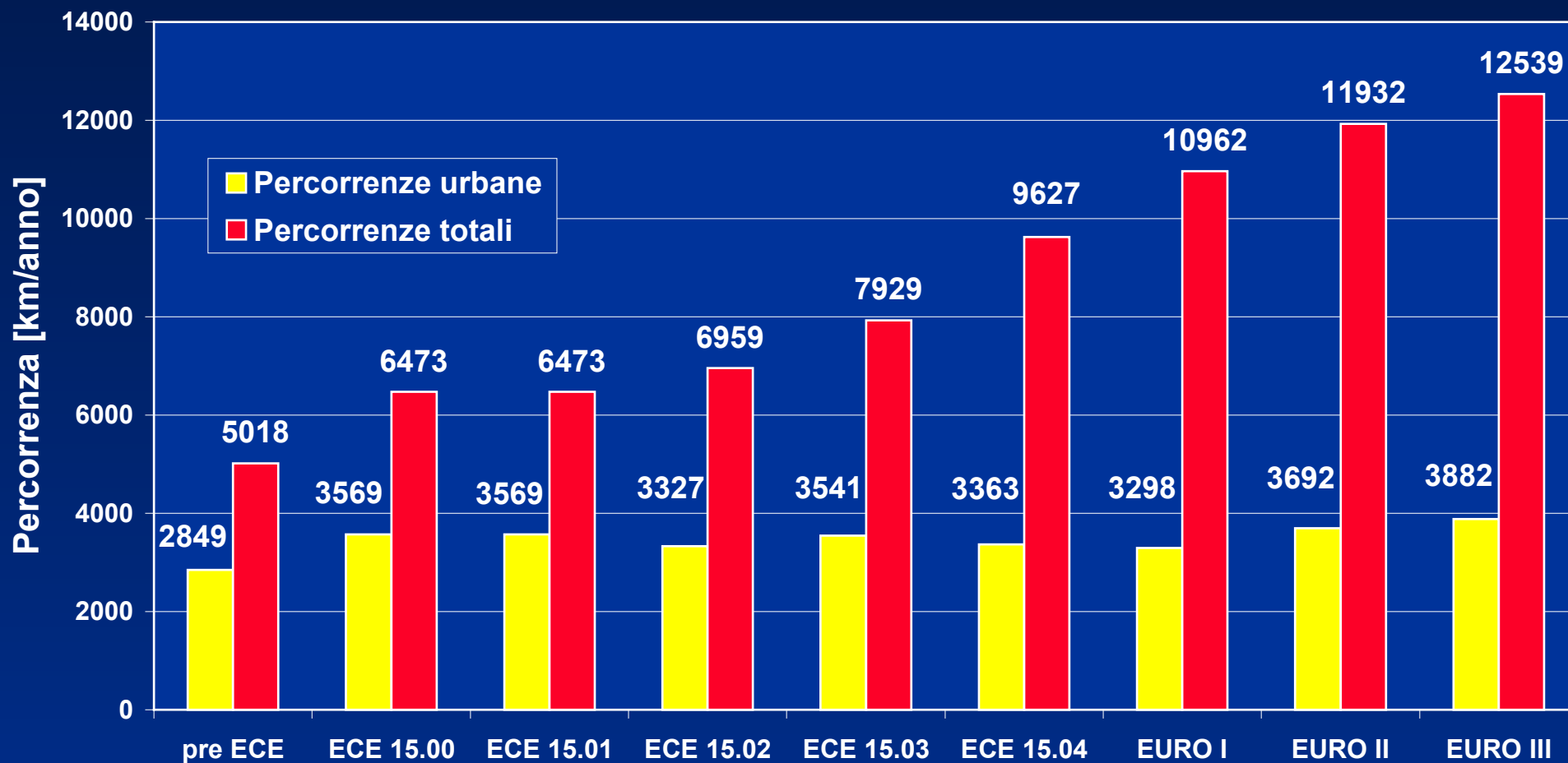


- Nel 2001 la classe pre Euro era ancora la più numerosa (37,7%)
- La vita media delle auto a benzina è circa 15 anni
- Il parco delle auto catalizzate era pari a circa i 2/3 del totale
- Più del 60% delle auto a benzina era stato immatricolato da più di 5 anni (solo il 30% per le auto Diesel)

**Numero totale di auto a benzina: 283.257**



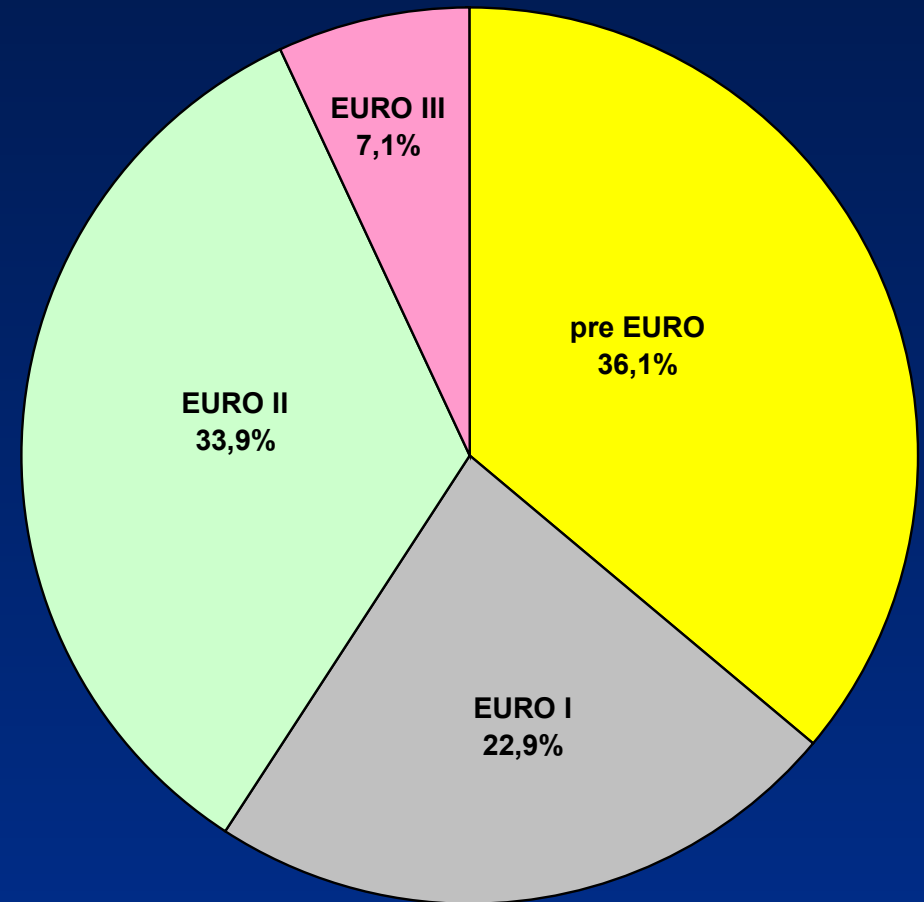
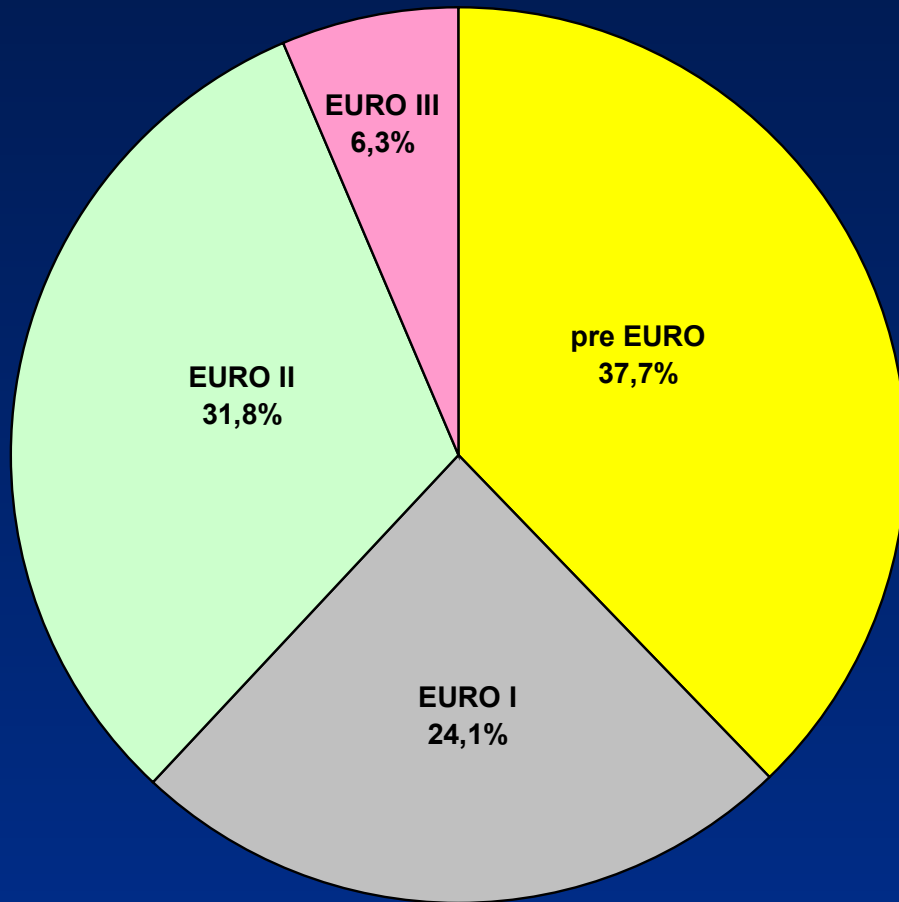
# Percorrenze totali ed urbane delle auto a benzina



⇒ la percorrenza totale dei veicoli più datati è ridotta, ma limitata principalmente all'ambito urbano

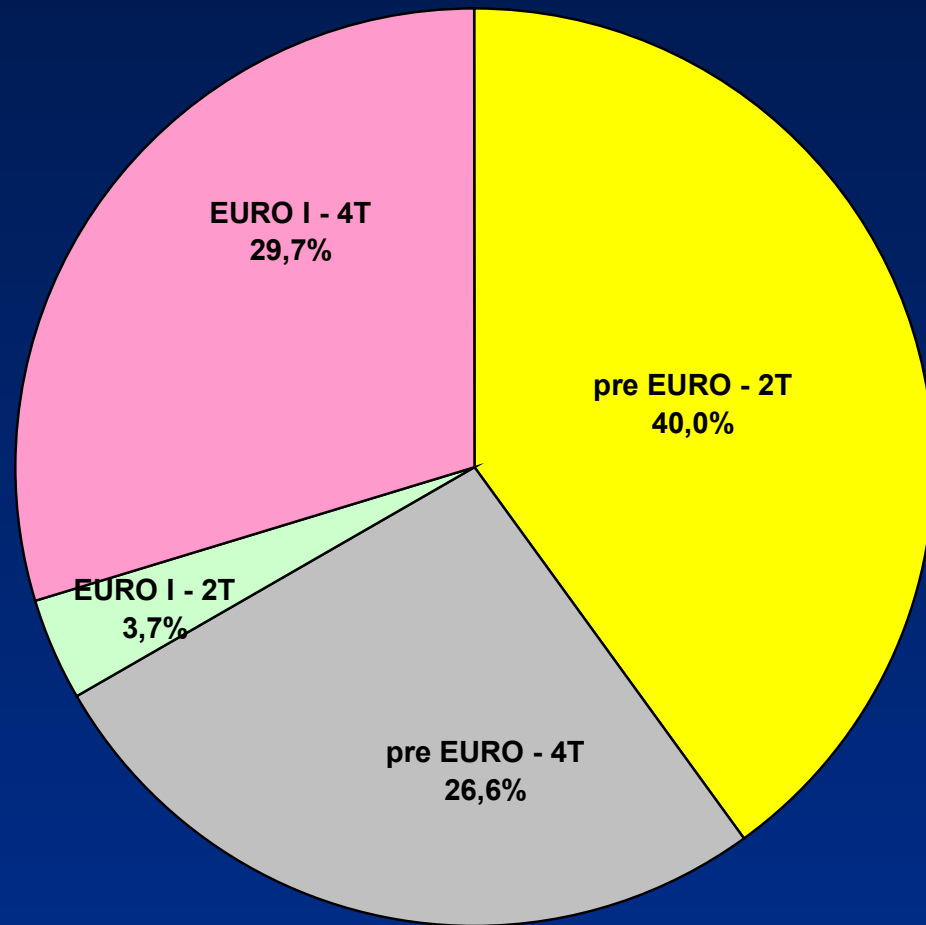


# Confronto del parco e delle percorrenze totali urbane delle auto a benzina



⇒ La distribuzione delle percorrenze urbane è strettamente correlata alla composizione del parco

# Distribuzione dei motocicli



- Nel 2001 la classe pre Euro rappresentava circa i 2/3 del parco circolante (⇒ rinnovo del parco moto più veloce negli anni recenti)
- La classe pre Euro era costituita soprattutto da veicoli equipaggiati con motore a 2 tempi
- Circa il 90% dei motocicli Euro I sono equipaggiati con motori a 4 tempi

**Numero totale di motocicli: 103.627**



# Fattori di emissione totale medi per veicoli stradali (Area urbana di Genova – Anno 2001)

Categoria	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
	[g/km]			
Auto a benzina	22.84	2.72	0.75	0.06
Auto Diesel	1.21	0.35	0.81	0.36
VCL a benzina	33.33	3.39	1.28	0.07
VCL Diesel	1.98	0.39	2.44	0.83
VCP	4.55	3.18	9.82	0.91
Autobus	18.34	2.32	23.15	1.57
Motocicli	21.14	5.53	0.33	0.04
Ciclomotori	18.68	11.42	0.04	0.20

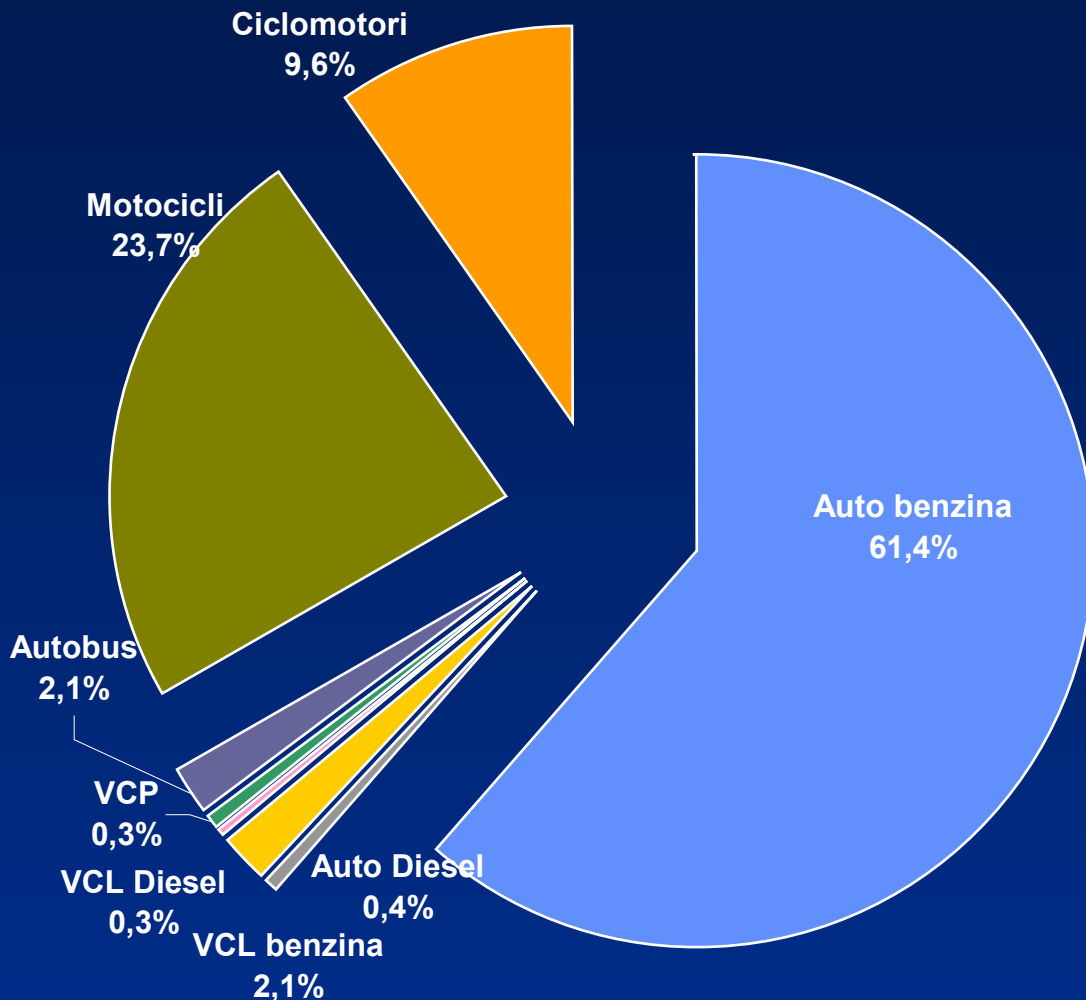
- I fattori sono calcolati per ciascuna categoria come rapporto tra le relative emissioni e percorrenze totali ed includono i contributi a caldo ed a freddo
- I fattori dipendono da molte variabili (parco veicoli, percorrenze, anno di riferimento, lunghezza media e distribuzioni di frequenza degli spostamenti urbani, ecc.)

- La loro applicazione ad ambiti urbani differenti richiede quindi una attenta valutazione preliminare, anche se può essere utile come primo approccio
- A seconda della specie considerata, è possibile identificare le categorie maggiormente inquinanti





# Distribuzione dell'emissione totale di CO

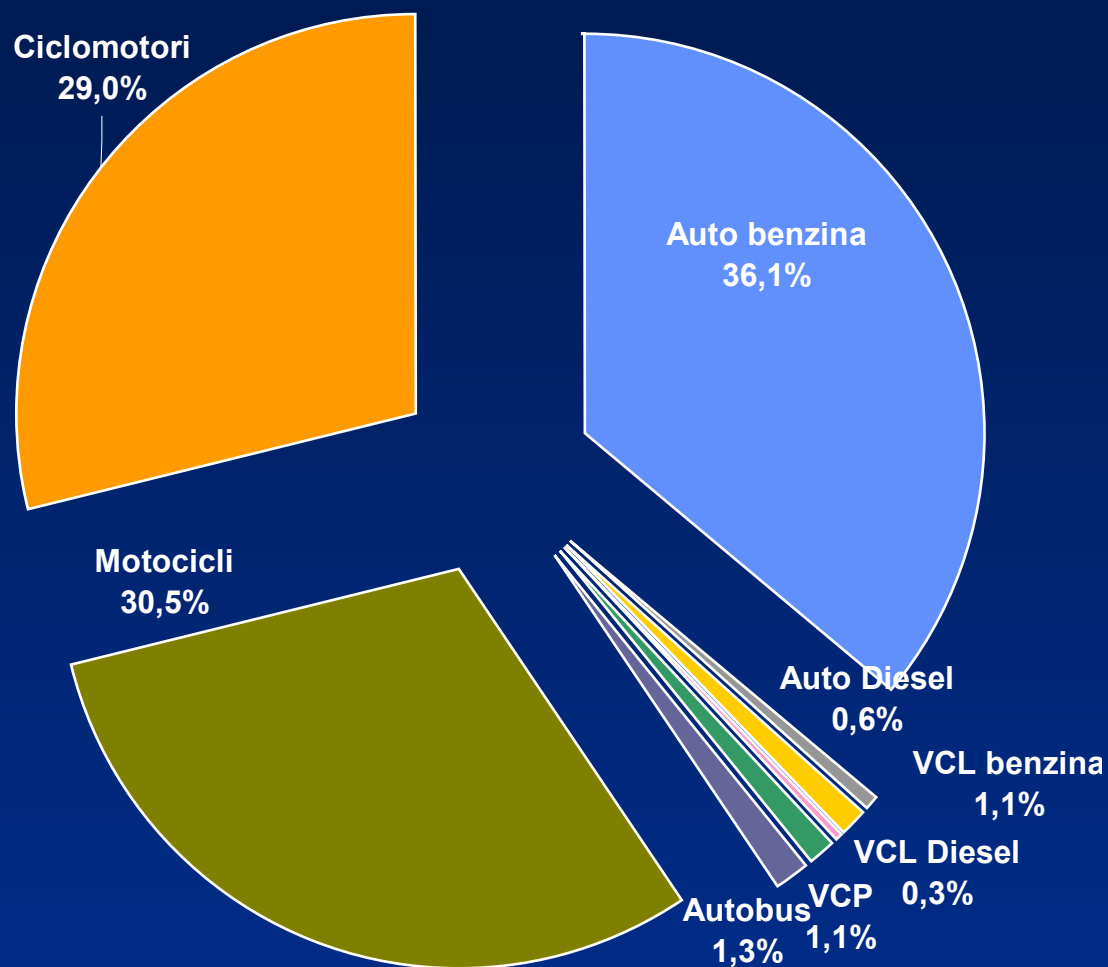


- La maggior parte dell'emissione di CO è dovuta a veicoli con motori ad acc. comandata
- Le auto con motore a benzina sono responsabili del 97% dell'emissione di CO a freddo
- Il contributo dei motocicli e dei ciclomotori all'emissione di CO è significativo (elevata incidenza di veicoli con motore a 2 tempi) anche se le loro emissioni a freddo non sono ancora incluse nel calcolo

**Emissione totale di CO: 36.570 t; contributo a freddo: 36,5%**



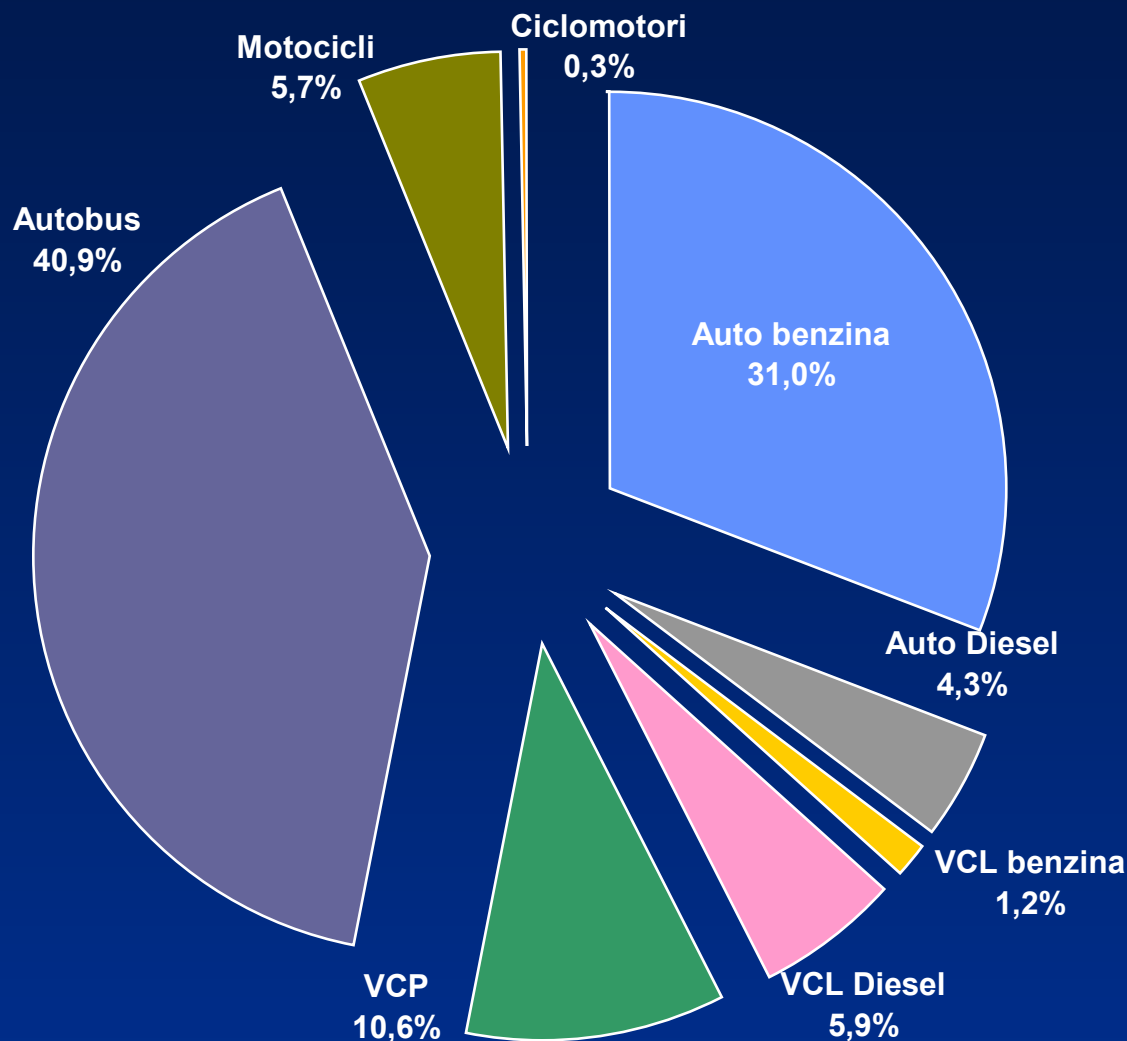
# Distribuzione dell'emissione totale di HC



- Il contributo di motocicli e ciclomotori all'emissione di HC è particolarmente significativo (circa il 60%)
- Le emissioni delle auto a benzina sono dovute principalmente alla marcia a freddo

**Emissione totale di HC: 7.417 t; contributo a freddo: 19,4%**

# Distribuzione dell'emissione totale di NO<sub>x</sub>

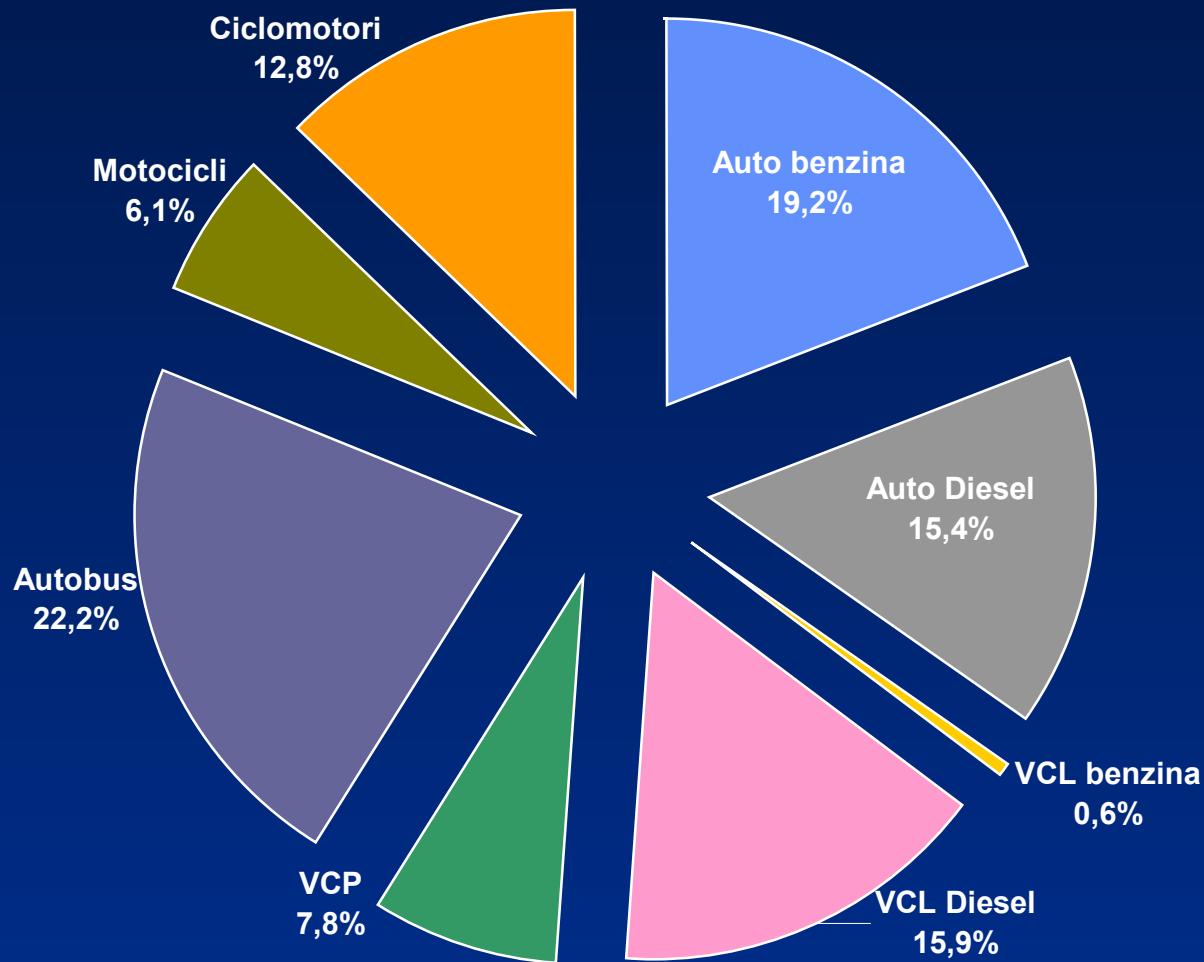


- Il contributo più elevato è dovuto agli autobus, a causa principalmente della quota di veicoli pre Euro (circa il 60%, immatricolati da più di 8 anni)
- Il contributo dell'emissione a freddo è trascurabile per gli NO<sub>x</sub>

Emissione totale di NO<sub>x</sub>: 2.387 t; contributo a freddo: 3,0%



# Distribuzione dell'emissione totale di PM



- Il contributo dei veicoli con motore ad accensione comandata è rilevante
- La quota emessa da motocicli e ciclomotori è significativa e dovuta principalmente (90% circa) a veicoli con motore a 2 tempi
- La definizione del contributo delle auto a benzina (93% dovuto alla classe pre Euro) richiede ulteriori dati

**Emissione totale di PM: 299 t; contributo a freddo: 20,7%**

# Ulteriori applicazioni e confronto con altre fonti

- Sempre con riferimento all'area urbana di Genova e sulla base di opportune stime del parco circolante e delle percorrenze, il codice è stato successivamente applicato ad anni differenti (dal 1992 al 2005)
- Tale applicazione ha consentito di valutare i benefici legati alla riduzione dei limiti sulle emissioni allo scarico fissati dalla normativa europea e al rinnovo del parco circolante a fronte dell'aumento delle percorrenze totali nell'arco temporale analizzato
- A seconda della specie considerata, le emissioni totali calcolate per il 2005 sono dal 35 al 60% inferiori rispetto a quelle del 1992
- E' stato inoltre possibile confrontare le emissioni totali calcolate con PROGRESS con i risultati di altre elaborazioni (riferite in particolare al 1995 ed al 1996) con una buona rispondenza tra le diverse fonti
- Ulteriori confronti sono attualmente sviluppati con le serie storiche delle misure di qualità dell'aria effettuate dal C.O.P. della Provincia di Genova



# Conclusioni

- Il codice PROGRESS consente di valutare le emissioni a caldo e a freddo di veicoli stradali in ambito urbano
- Una prima applicazione, riferita all'intera area urbana della città di Genova e all'anno 2001, ha fornito alcuni interessanti risultati:
  - auto, motocicli e ciclomotori contribuiscono per oltre il 90% al parco circolante e alle percorrenze urbane totali, con prevalenza delle auto a benzina, ma con quote significative anche dei veicoli a due ruote
  - le emissioni totali di CO e HC sono dovute principalmente ad auto a benzina, motocicli e ciclomotori, come conseguenza delle rispettive flotte, dell'entità delle emissioni a freddo delle auto e delle elevate emissioni dei motori a 2 tempi usualmente utilizzati sui veicoli a due ruote delle classi pre Euro
  - il contributo più elevato all'emissione di NO<sub>x</sub> è fornito dagli autobus, la cui flotta include circa il 60% di veicoli immatricolati prima del 1993
  - la distribuzione delle emissioni di PM comprende contributi da tutte le categorie considerate: attraverso la definizione di appropriati fattori di emissione, quote significative sono state valutate per le auto a benzina, i motocicli ed i ciclomotori, dovute principalmente ai veicoli più datati



# Sviluppi futuri

- Approfondimento sui fattori di emissione e sul parco circolante di alcune categorie di veicoli (motocicli, ciclomotori e veicoli commerciali pesanti)
- Integrazione del codice PROGRESS con modelli di simulazione del traffico e di previsione della qualità dell'aria
- Sviluppo di procedure di calcolo delle emissioni evaporative e delle emissioni di CO<sub>2</sub>



# *Grazie per l'attenzione!*

## **Contatti:**

*Prof. Massimo Capobianco*

*Dr. Giorgio Zamboni*

*Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET)*

*Università di Genova*

*Via Montallegro 1 – 16145 Genova*

*Tel. 010 353 2446/2447*

*Fax 010 353 2566*

*E-mail cpbn@unige.it*

*giorgio.zamboni@unige.it*

