

X Incontro

**EXPERT PANEL
EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE**

S. Donato Milanese, 21 giugno 2005

**Le più recenti attività dell'ICEG
per la valutazione delle
emissioni da veicoli stradali**

Massimo Capobianco, Giorgio Zamboni

Internal Combustion Engines Group - DIMSET - Università di Genova

Roberta Cafiero

Unità di Progetto Piano Urbano della Mobilità e Trasporti - Comune di Genova

Enrico Daminelli

Area 08 Ambiente - Provincia di Genova



Internal Combustion Engines Group (ICEG)

- L'ICEG (www.iceg.unige.it) è un gruppo di ricerca operante presso il Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET) dell'Università di Genova
- Le attività di ricerca, condotte sia a livello sperimentale che teorico, sono relative a differenti tematiche sui motori a combustione interna e rientrano in tre filoni di indagine, ognuno sviluppato da uno specifico laboratorio:
 - ◆ Caratterizzazione fluidodinamica di componenti
 - ◆ Motori a combustione interna per autotrazione
 - ◆ Valutazione delle emissioni inquinanti da veicoli stradali
- La sperimentazione viene svolta su banchi prova dedicati, che permettono indagini sia su motori completi che su componenti o sottoassiemi del sistema di aspirazione e scarico
- L'ICEG è impegnato in diversi Progetti di ricerca a livello Europeo e nazionale ed in diverse collaborazioni con Società ed Istituti di ricerca



Le attività nel campo dell'impatto ambientale dei veicoli

- Sviluppo del codice PROGRESS (computer **PRO**gramme for **R**oad vehicles **EmiSS**ions evaluation) con l'approfondimento dei seguenti filoni di indagine:
 - ◆ Evoluzione della normativa sulle emissioni inquinanti allo scarico dei motori a combustione interna
 - ◆ Stima del parco circolante e delle relative percorrenze
 - ◆ Definizione di percorsi tipici e delle relative caratteristiche cinematiche, con particolare riferimento all'ambito urbano
 - ◆ Valutazione dei fattori di emissione dei veicoli stradali nelle condizioni di reale utilizzazione
- Collaborazioni tecnico - scientifiche con Enti ed aziende (AMIU, AMI, ARPAL, Comune di Genova, Provincia di Genova, ecc.)



Gli studi più recenti (anni 2004 - 2005)

- **Evoluzione del codice Progress:**
 - ◆ Aggiornamento dei parametri utilizzati nel codice Progress (parco veicoli, percorrenze, fattori di emissione a caldo ed a freddo delle specie normalizzate)
 - ◆ Definizione di una procedura di calcolo delle sovraemissioni a freddo per i veicoli a due ruote
 - ◆ Sviluppo di una versione Fortran del codice
 - ◆ Applicazione del codice all'area urbana di Genova nel periodo 1992 - 2008
- **Collaborazioni con:**
 - ◆ l'Azienda Multiservizi d'Igiene Urbana (AMIU) - Genova
 - ◆ l'Unità di Progetto Piano Urbano della Mobilità e Trasporti del Comune di Genova
 - ◆ l'Area 08 Ambiente della Provincia di Genova



Collaborazione con AMIU (1/3)

Gli obiettivi della collaborazione possono essere così sintetizzati:

- **Valutazione dell'impatto ambientale, riferito all'inquinamento atmosferico, della flotta di veicoli utilizzata da AMIU nell'ambito dei servizi svolti (Raccolta, Trasporto e Smaltimento Rifiuti Solidi Urbani, Pulitoria, Lavaggio contenitori e Ausiliari)**
- **Ripartizione dei veicoli della flotta aziendale secondo diversi criteri: classificazione internazionale, normativa europea sulle emissioni inquinanti allo scarico dei MCI, combustibile di alimentazione, servizio effettuato**
- **Definizione di fattori di emissione riferiti alla specifica tipologia di veicoli considerata, con particolare riguardo all'incidenza dell'utilizzo dell'attrezzatura di lavoro sulle emissioni**
- **Sviluppo di un codice per il calcolo delle emissioni inquinanti allo scarico dell'intero parco mezzi dell'Azienda con riferimento alle specie normalizzate (CO, HC, NO_x, PM) e la definizione di fattori di emissione riferiti al servizio svolto**



Collaborazione con AMIU (2/3)

Per ciascuna classe di veicoli (indice i) e per ciascun inquinante considerato (indice $j = \text{CO}, \text{HC}, \text{NO}_x, \text{PM}$), l'emissione totale giornaliera $e_{\text{tot } j,i}$ è calcolata secondo la seguente formula:

$$e_{\text{tot } j,i} = n_i \cdot [(f_{\text{tot } j,i} \cdot d_i) + (f_{\text{tot } j,i} \cdot h_{\text{eq } i} \cdot v_{\text{eq } i} \cdot k_{j,i})]$$

dove:

- n_i è il numero di veicoli appartenenti alla classe i ;
- $f_{\text{tot } j,i}$ è il fattore di emissione totale, espresso in [g/km];
- d_i è la percorrenza media giornaliera per ciascun veicolo della classe considerata, quindi espresso in [km/veicolo · giorno];
- $h_{\text{eq } i}$ sono le ore di utilizzo medie giornaliere dell'attrezzatura di lavoro specifica, espresse in [ore/veicolo · giorno];
- $v_{\text{eq } i}$ è la velocità media equivalente alle condizioni operative del motore corrispondenti all'utilizzo dell'attrezzatura, espressa in [km/h];
- $k_{j,i}$ è il rapporto tra le emissioni dovute all'utilizzo dell'attrezzatura e quelle dovute allo spostamento, che permette la valutazione delle quantità rilasciate durante le fasi di lavoro.



Collaborazione con AMIU (3/3)

- I valori dei rapporti k_j sono stati ricavati sulla base del confronto delle emissioni di autobus e mezzi di raccolta RSU (studio Regione Emilia Romagna - Enitecnologie) su cicli di guida urbani reali di caratteristiche cinematiche simili. I valori sono pari a: $k_{CO} = 0.53$, $k_{HC} = 0.0$, $k_{NOx} = 0.33$, $k_{PM} = 0.18$. Non è stato per ora possibile differenziare i valori secondo la classe di veicolo
- Il codice sviluppato considera 15 diverse categorie di veicoli, ulteriormente suddivise in classi, per un totale di 80, sulla base della normativa sulle emissioni allo scarico
- Tra le applicazioni già sviluppate si possono citare:
 - ◆ Valutazione delle emissioni del parco AMIU in anni differenti per identificare le categorie e le classi di veicoli maggiormente inquinanti e per stimare i benefici legati al rinnovo della flotta avviato nel 2001
 - ◆ Stima dell'incidenza delle emissioni prodotte dai veicoli AMIU sul totale relativo all'area urbana di Genova
 - ◆ Integrazione delle stime di impatto ambientale di siti nuovi o in via di aggiornamento con valutazioni delle emissioni delle relative flotte



Collaborazione con il Comune di Genova (1/3)

- L'Unità di Progetto Piano Urbano della Mobilità e Trasporti utilizza il codice Visum per simulare la domanda, la rete e l'assegnazione del trasporto pubblico e privato genovese. L'obiettivo della collaborazione era l'integrazione di Visum con il codice Progress per consentire la valutazione delle emissioni associate alla circolazione veicolare nei diversi scenari simulati
- Le fasi dell'attività possono essere così schematicamente riassunte:
 - ◆ Studio della struttura e del funzionamento del simulatore di traffico, mirato all'identificazione degli output richiesti da Progress, e definizione del relativo file di input
 - ◆ Sviluppo della procedura di calcolo delle emissioni a caldo sui singoli archi costituenti la rete simulata da Visum per i veicoli del trasporto privato e, separatamente, per veicoli commerciali pesanti ed autobus
 - ◆ Sviluppo della procedura di calcolo delle emissioni a freddo sull'intera rete (codice ProgressCOM)
 - ◆ Sviluppo della procedura per il calcolo delle emissioni a freddo sui singoli archi (codice ProgressCOM2)



Collaborazione con il Comune di Genova (2/3)

- **Codice ProgressCOM**

- ◆ **Input:**

- file inputvisum, costruito con gli output di Visum, contenente il flusso di veicoli per ciascun arco, la lunghezza dell'arco e la relativa velocità media di percorrenza (l'intera rete comunale è simulata da circa 1600 archi)
- numero totale di veicoli sulla rete, lunghezza dello spostamento medio urbano, ecc.

- ◆ **Output:**

- ◆ emissioni a caldo per arco (suddivise per categoria di veicoli) e sulla rete (suddivise per classe di veicoli)
- ◆ emissioni a freddo e totali sulla rete (suddivise per classe di veicoli)

- **Codice ProgressCOM2**

- ◆ **Input:**

- file inputvisum, analogo a quello per Progresscom
- file inputvisumfreddo, con il numero di veicoli a freddo presenti su ogni arco

- ◆ **Output:**

- emissioni a caldo, a freddo e totali per arco (suddivise per categoria di veicoli) e sulla rete (suddivise per classe di veicoli)



Collaborazione con il Comune di Genova (3/3)

- Una prima applicazione integrata del simulatore VISUM e del codice ProgressCOM ha riguardato
 - ◆ l'area di applicazione del provvedimento di limitazione del traffico legata al cosiddetto decreto anti-benzene
 - ◆ nell'ora di punta mattutina
 - ◆ per valutare i benefici in termini di riduzione delle emissioni di particolato ipotizzando di limitare la circolazione delle seguenti classi di veicoli (che a livello di parco immatricolato genovese rappresentano poco più del 26%):
 - auto e veicoli commerciali leggeri a benzina preEuro
 - auto e veicoli commerciali leggeri Diesel preEuro, Euro I ed Euro II
 - motocicli e ciclomotori con motore a 2T preEuro
- Le emissioni di particolato nell'area considerata si sono ridotte di circa il 70% (riduzioni tra il 45 ed il 65% per le altre sostanze)
- Considerando però l'intera area comunale, il beneficio è notevolmente inferiore, con una riduzione dell'emissione di circa il 10% ⇒ area di applicazione del provvedimento più estesa e/o altre categorie di veicoli coinvolte



Collaborazione con la Provincia di Genova

- **Esecuzione di campagne di misura dei flussi di traffico finalizzate alla suddivisione del parco in opportune categorie di veicoli mediante dispositivo contatraffico con tubi a pressione**
 - ◆ **Impostazione dei parametri di funzionamento del contatraffico e dei files di acquisizione**
 - ◆ **Verifiche dell'operatività del sistema (conteggi manuali ed identificazione dei casi anomali)**
 - ◆ **Sviluppo di una procedura di elaborazione dei dati grezzi sulla base delle verifiche effettuate sul campo**
 - ◆ **Elaborazione statistica dei dati di traffico per il calcolo dei flussi orari nei giorni tipo (feriale, sabatale, festivo)**
 - ◆ **Rielaborazione dei dati di traffico di una campagna precedente in Via Piacenza (giugno – luglio 2004) tramite la procedura di elaborazione studiata**
- **Confronto fra i dati di traffico ed i livelli di qualità dell'aria**



Strumentazione utilizzata



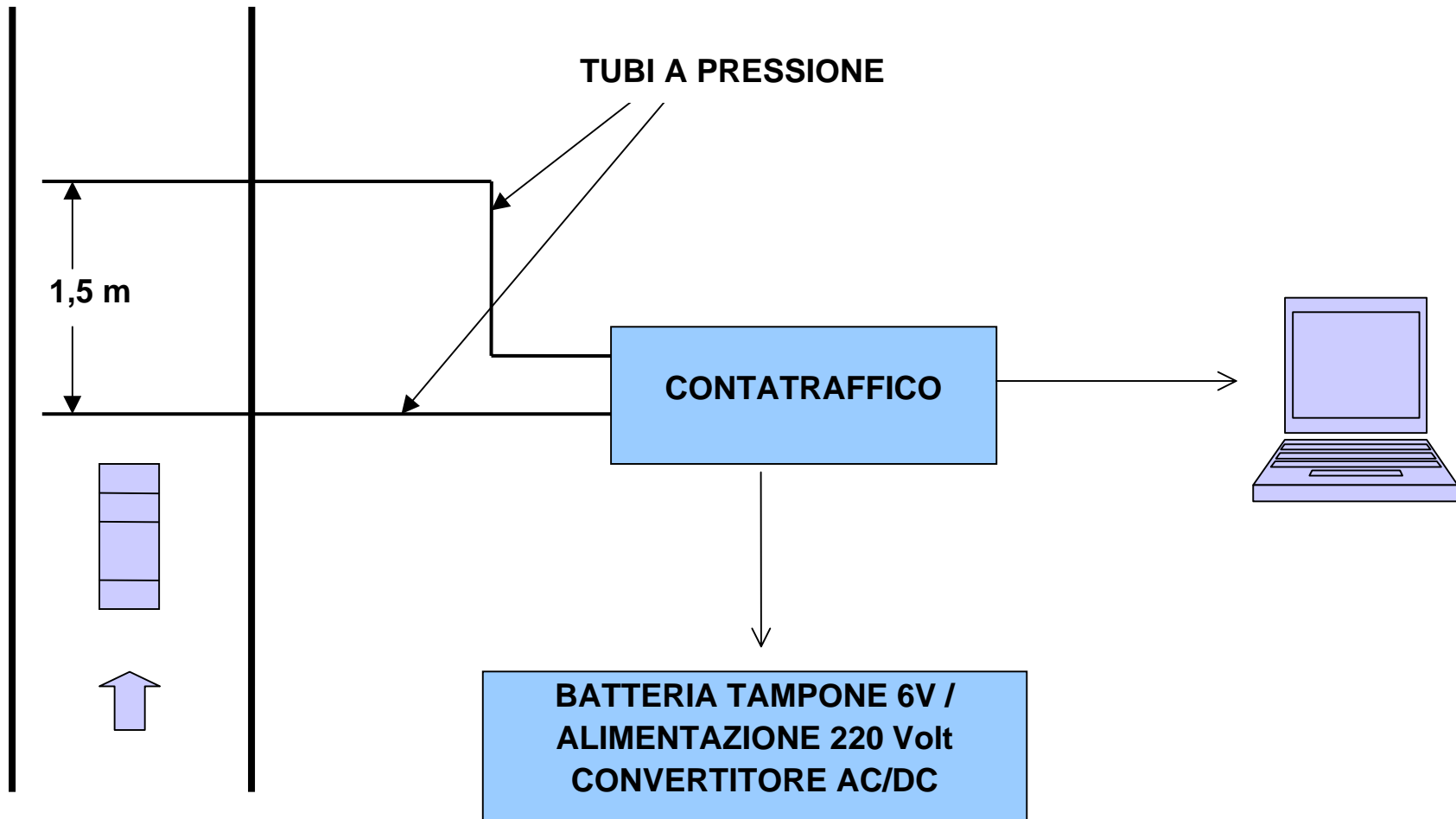
“Unicorn Counter/Classifier”
gestito mediante il software
Trafman



Installazione dei tubi a pressione



Schema di installazione



Funzionamento del contatraffico (1/2)

- Lo strumento richiede l'impostazione di files di acquisizione e di parametri operativi (ad es. il valore del massimo interasse) che risultano fondamentali per l'esito delle misure

Tipologia di veicolo	Numero di assi	Interasse [cm]
VEICOLI A 2 RUOTE	2	1-170
AUTO	2	171-320
FURGONI	2	321-400
CAMION - BUS	2-3	401-600,*
ARTICOLATI	4-6	402-601,*,*,*,*
TOTALE	2-6	2-1000,*,*,*,*
ALTRO	Tutti i veicoli non associati alle classi definite	

- Anomalie dei risultati della prima campagna di misura (giugno 2004)
 - ◆ Limitata percentuale di veicoli a due ruote
 - ◆ Elevata incidenza dei veicoli classificati come "TOTALE" ed "ALTRO"
 - ◆ Valori dei flussi totali nei giorni tipo feriale, sabatale e festivo praticamente uguali, a fronte di variazioni significative dei livelli di qualità dell'aria, in particolare del CO



Funzionamento del contatraffico (2/2)

- Il file iniziale è stato via via modificato, tenendo conto della tipologia di traffico del sito considerato, costituito essenzialmente da veicoli a due ruote ed auto che, procedendo talvolta affiancati od incolonnati nelle ore di flusso più elevato, originavano una serie di acquisizioni anomale che si è cercato di identificare impostando opportune classi

Tipologia di veicolo	Numero di assi	Interasse [cm]
VEICOLI A 2 RUOTE	2	1-170
AUTO	2	171-320
FURGONI	2	321-400
CAMION	2	401-650
ARTICOLATI	4-6	402-600,*,*,*,*
TOTALE 3A	3	2-475,*
TOTALE 4A	4	3-478,*,*
TOTALE 5A	5	4-480,*,*,*
TOTALE 6A	6	5-483,*,*,*,*
ALTRO	Tutti i veicoli non associati alle classi definite	

Verifica dell'operatività del sistema

- Per verificare i rilievi del contatraffico e ridurre le incertezze sono stati quindi effettuati una serie di conteggi manuali finalizzati a
 - ◆ quantificare il numero di veicoli delle tre categorie considerate e gli autobus
 - ◆ identificare le tipologie di veicoli coinvolti nei casi anomali, valutandone il numero

	Ora	VEICOLI A 2 RUOTE	VEICOLI LEGGERI	TOTALE
Contatraffico	11-12	151	547	770 (698)
Conteggi manuali		176	649	841 (825)
Differenza [%]		-16,6 %	-18,6 %	-6,7% (18,2 %)

	4 ASSI	INCIDENZA [%]
2 Moto	12	17,2%
1 Moto + 1 Auto	40	57,1%
2 Auto	18	25,7%
Totale	70	-

Elaborazione dei dati grezzi

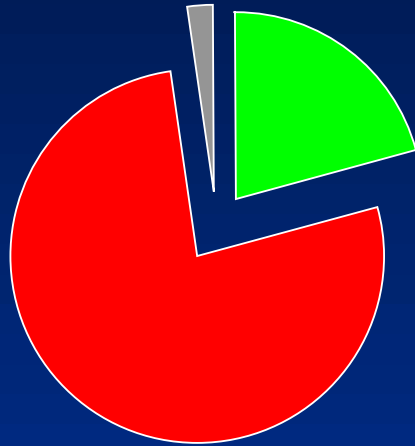
- Sulla base dei conteggi manuali è stata definita una procedura di elaborazione dei dati rilevati che consente di correggere i valori sulla base del numero di veicoli corrispondenti alle diverse tipologie di casi anomali

	VEICOLI A 2 RUOTE	VEICOLI LEGGERI	ALTRI VEICOLI	TOTALE
Cont. manuale	176	649	16	841
Dati elaborati	180	632	18	830
Differenza [%]	2,3 %	-2,6 %	12,5 %	-1,3 %

- Tale procedura è stata applicata a tutti i dati acquisiti nel periodo novembre - dicembre 2004 e, sotto opportune ipotesi per tenere conto delle differenze tra i files di acquisizione utilizzati, anche ai dati relativi alla precedente campagna estiva

Risultati campagna autunnale

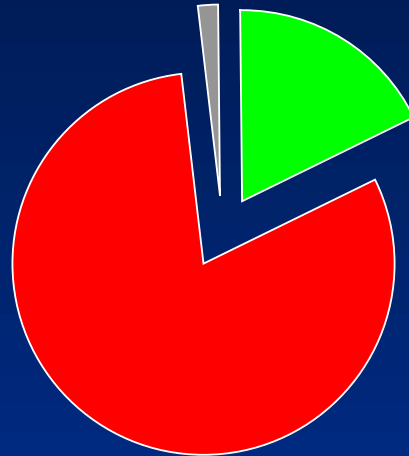
Altri veicoli 2,2%
Veicoli a due ruote 20,7%



Veicoli leggeri
77,1%

Feriale

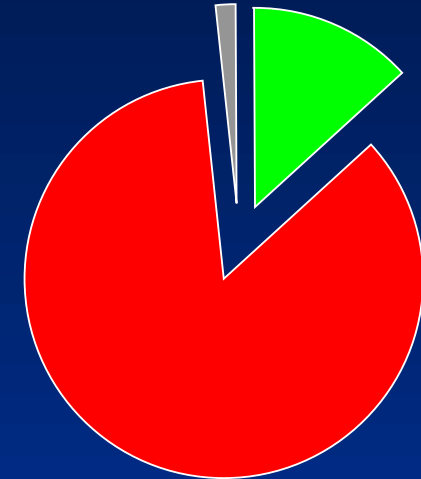
Altri veicoli 1,8%
Veicoli a due ruote 18,0%



Veicoli leggeri
80,2%

Sabato

Altri veicoli 1,7%
Veicoli a due ruote 13,2%



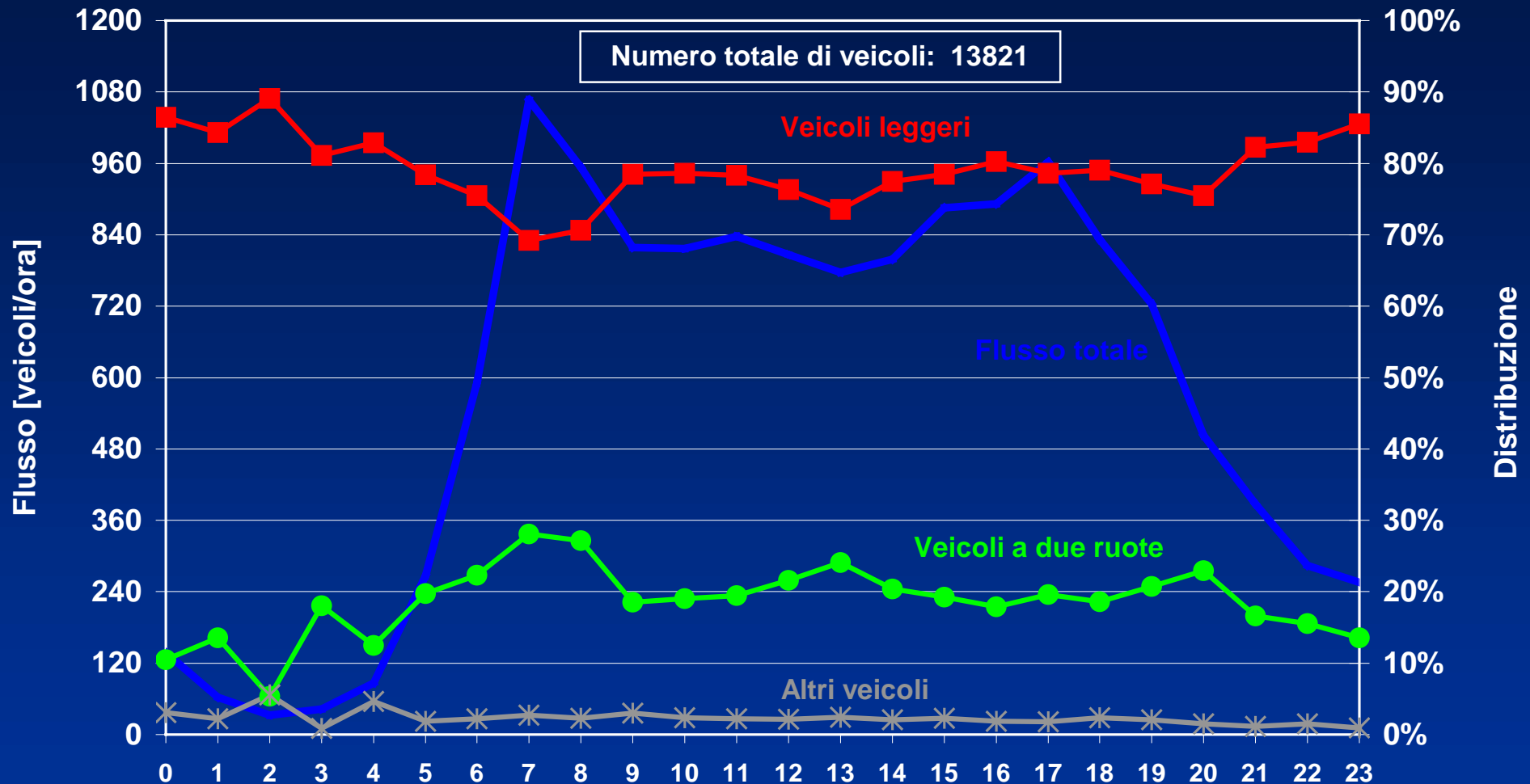
Veicoli leggeri
85,1%

Festivi

Distribuzioni medie giornaliere

Risultati campagna autunnale

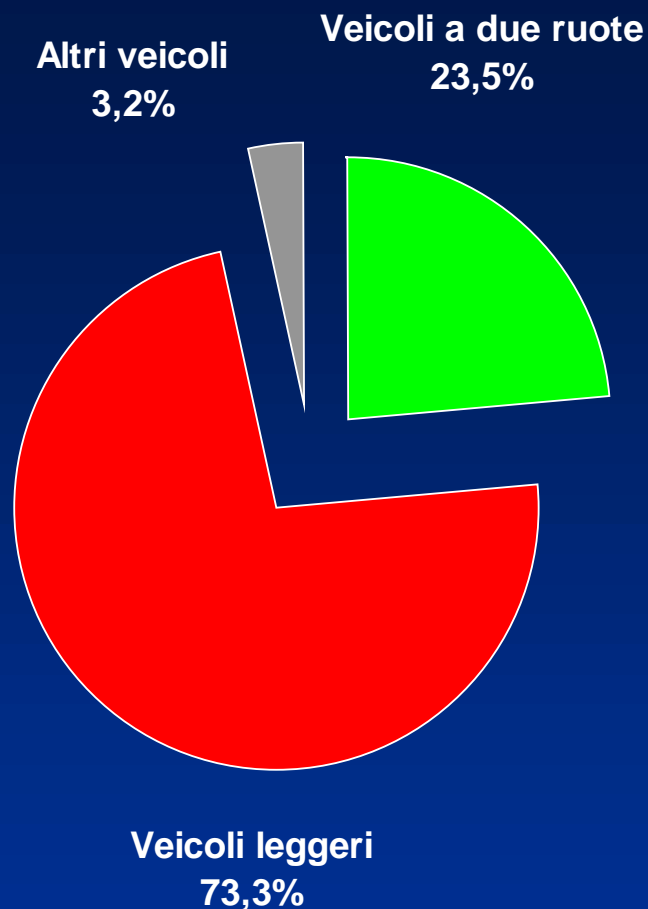
Giorno feriale tipo



Distribuzione su base oraria

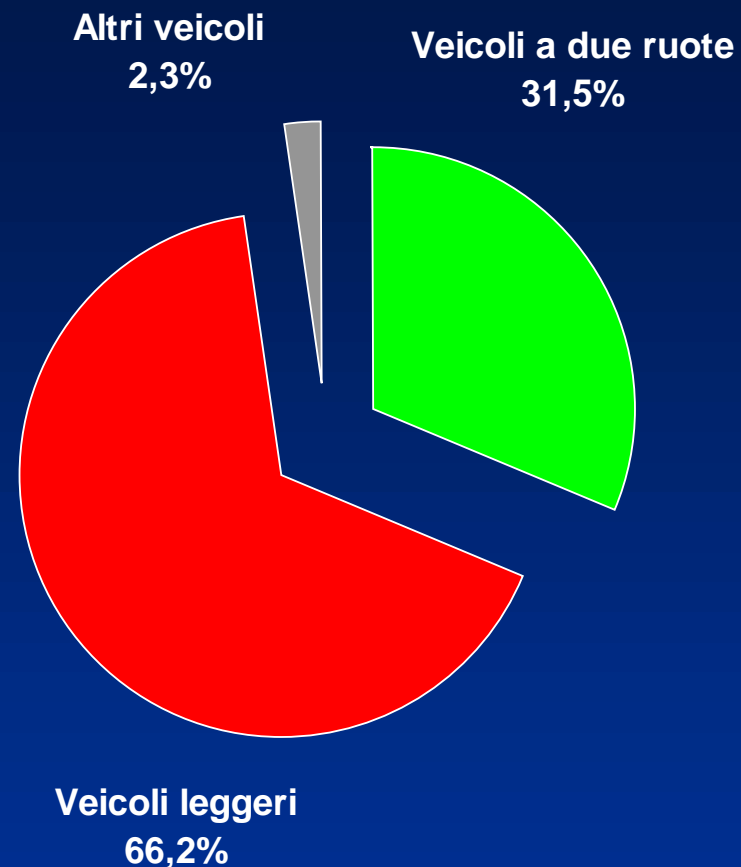


Risultati campagna estiva



Totale veicoli: 8818

Giorno
feriale
tipo

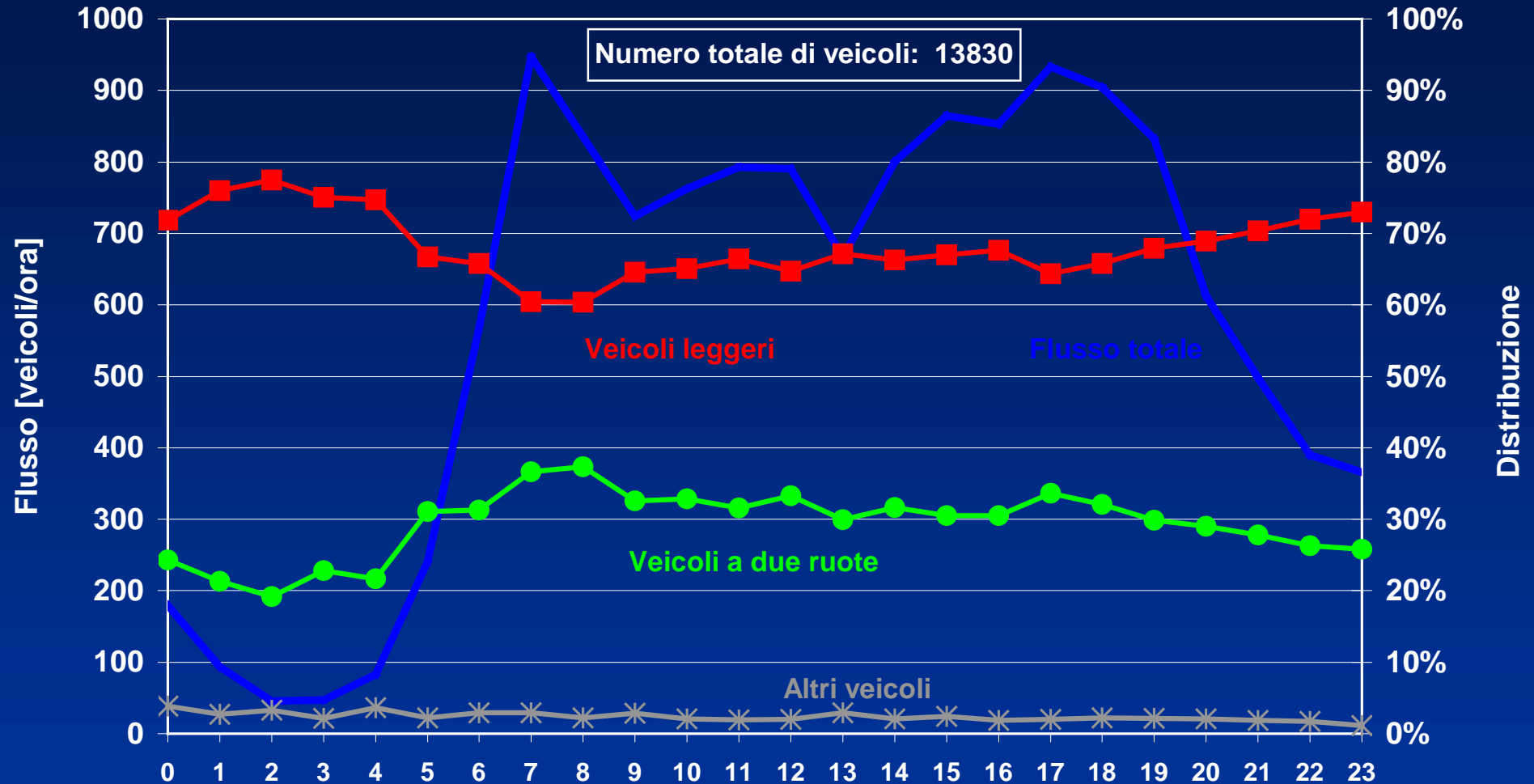


Totale veicoli: 13830

Distribuzioni medie giornaliere dei veicoli prima e dopo la correzione dei dati

Risultati campagna estiva

Giorno feriale tipo



Distribuzione su base oraria



Valutazione del sistema

- Sintetizzando, i principali aspetti da analizzare prima, durante e dopo un'attività sperimentale con il contatraffico utilizzato sono i seguenti:
 - ◆ Sito di installazione (numero di corsie e/o larghezza della carreggiata, presenza di semafori, attraversamenti pedonali, dossi artificiali, posteggi in prossimità dei tubi a pressione, ecc.)
 - ◆ Caratteristiche dei files di acquisizione e parametri operativi del contatraffico
 - ◆ Tipologia del parco circolante: prevalenza di veicoli per il trasporto privato o di veicoli commerciali o situazione intermedia
 - ◆ Tipologia del traffico: scorrevole, congestionato, ecc.
 - ◆ Reciproche interazioni tra i diversi aspetti
- Sulla base dell'esperienza sviluppata, appare indispensabile una verifica dell'operatività del sistema basata su conteggi manuali o sul confronto con altre tipologie di strumenti che offrano elevata affidabilità



Sviluppi futuri

- **Codice Progress**
 - ◆ Valutazione dei fattori di emissione di CO₂ per le categorie e le classi di veicoli incluse nel codice
 - ◆ Definizione di categorie e classi di veicoli alimentati a gas naturale (numero di veicoli, percorrenze e relativi fattori di emissione a caldo ed a freddo)
- **Con la Provincia di Genova (Area 08 Ambiente):**
 - ◆ Definizione sperimentale di leggi di moto tipiche in ambito urbano ed extra-urbano: rilievi della velocità istantanea di autovetture e motocicli mediante VBox su percorsi prestabiliti



Grazie per l'attenzione!

Contatti:

Prof. Massimo Capobianco

Dr. Giorgio Zamboni

Internal Combustion Engines Group

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

web www.iceg.unige.it

