



Consiglio Nazionale delle Ricerche



# Campagna sperimentale per la valutazione di fattori di emissione di autobus per il trasporto pubblico urbano alimentati a CNG e rispondenti allo standard emissivo Euro VI

Web Conference ISPRA  
Emissioni da trasporto stradale  
16 APRILE 2021



*A cura di:*

*Maria Vittoria Prati ([mariavittoria.prati@stems.cnr.it](mailto:mariavittoria.prati@stems.cnr.it))*

*Maria Antonietta Costagliola ([mariaantonieta.costagliola@stems.cnr.it](mailto:mariaantonieta.costagliola@stems.cnr.it))*

*Rocco Giuzio*

*Laboratorio Emissioni Veicoli – STEMS*

# Premessa

Nel novembre 2019 è stato stipulato un contratto tra l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e l'associazione temporanea di scopo costituita tra l'Istituto Motori del Consiglio Nazionale delle Ricerche ed Innovhub – Stazioni Sperimentali per l'industria S.r.l., relativo al “*Servizio di misura delle concentrazioni medie di  $CO_2/PM_{2.5}/NO_x$  emesse per Km percorso di automobili ed autobus in prove che simulano l'uso effettivo dei veicoli*” (CIG 8031562E9E).

Questa presentazione riassume l'attività relativa alle  
**PROVE CON AUTOBUS EURO VI ALIMENTATI A GAS NATURALE.**



Nella presentazione successiva verrà illustrata un'altra attività svolta sempre nell'ambito dello stesso contratto.





## Energy

**ic** Istituto di Ricerche  
sulla Combustione



**100 ricercatori**  
**60 personale tecnico**  
**ed amministrativo**

## Sustainable agriculture

# INAMOTER

Istituto per le Macchine Agricole  
e Movimento Terra



## Mobility

# Istituto Motori

Consiglio Nazionale delle Ricerche



Sede principale:  
Via Guglielmo Marconi, 4  
80125 Napoli (NA)  
Italy

<http://www.stems.cnr.it>

**da ottobre 2020 il nuovo istituto STEMS è operativo ed afferisce al  
Dipartimento di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti (DIITET) del CNR**

## MISSIONE DI STEMS-CNR



*L'Istituto nasce con la finalità di costituire un punto di eccellenza Nazionale in grado di interpretare al meglio le sfide a cui il Paese è chiamato a confrontarsi riguardanti il clima, l'energia e la mobilità: tematiche strettamente collegate che devono essere affrontate con un approccio olistico, anche per quanto riguarda le loro implicazioni per i cittadini e in generale per la società nel suo complesso.*

*In particolare, affronta tematiche di interesse prioritario a livello nazionale e internazionale, quali:*

- *la de-carbonizzazione dei settori dell'energia e della mobilità,*
- *la transizione energetica verso risorse rinnovabili alternative a quelle fossili,*
- *il miglioramento dell'efficienza energetica, sia nell'ambito della mobilità sia all'interno dei vari comparti industriali, tra cui l'agricolo e l'off-road.*

*Le attività di ricerca riguardano anche l'applicazione di metodologie avanzate di data analytics nella gestione ed ottimizzazione dei sistemi energetici.*

# Definizione dei veicoli: AUTOBUS

*Sono veicoli che appartengono alla categoria M3, cioè destinati al trasporto di persone, equipaggiati con più di nove posti compreso quello del conducente, e massa massima superiore a 5 t.*

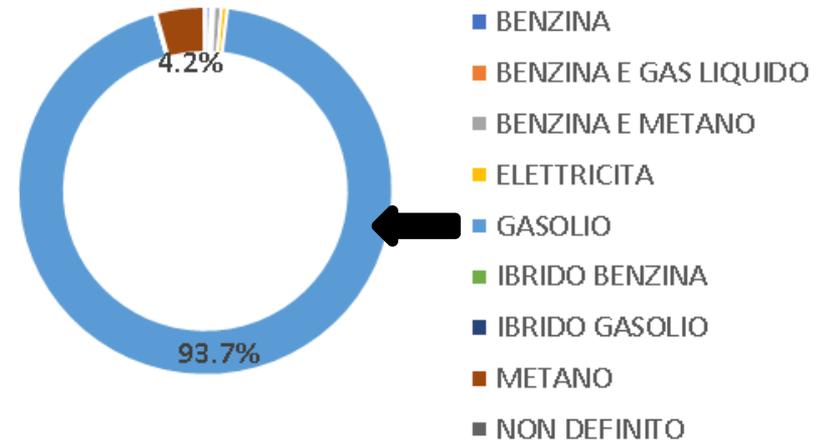


Automobile Club d'Italia  
 Open Parco Veicoli

al 31/12/2020  
 99.883 unità  
 di cui 51.429 per uso pubblico

Degli autobus per uso pubblico il 57% circa è omologato per trasportare più di 70 persone.

## Classificazione per alimentazione

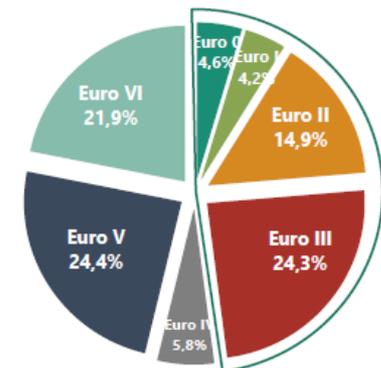


Unione Nazionale Rappresentanti Autoveicoli Esteri

al 30/06/2020

Totale\*:  
 62.600

età media  
 12 anni



Ante Euro IV:  
 (in vigore dal  
 1.10.2016)  
 30.000  
 48%

\* Stima UNRAE al 30/06/2020 basata sui veicoli ancora circolanti immatricolati dal 1990 - esclusi minibus (fino a 22 passeggeri)

# AUTOBUS oggetto della sperimentazione

Gli autobus oggetto della sperimentazione appartengono alla categoria M3, hanno capacità superiore ai 22 passeggeri oltre al conducente, ed alla «Classe I»: veicoli costruiti con zone destinate ai passeggeri in piedi, per consentire loro spostamenti frequenti.

Quindi *AUTOBUS PER TRASPORTO PUBBLICO URBANO (TPL)*

Tre aziende hanno dato la disponibilità per questa sperimentazione su un proprio autobus alimentato a Gas Naturale Compresso (CNG) e rispondente allo standard emissivo Euro VI.

*Pubblicamente ci teniamo a ringraziare i loro responsabili ed il personale che ha collaborato.*

| Azienda TPL | Città   | Periodo della sperimentazione |
|-------------|---------|-------------------------------|
| AMAT        | PALERMO | Novembre 2019                 |
| SETA        | MODENA  | Dicembre 2019                 |
| SAF         | UDINE   | Febbraio 2020                 |



Palermo, Modena ed Udine rappresentano tre diverse realtà comunali italiane:

- ✓ Palermo una grande città del Sud Italia (la quinta come numero di abitanti in Italia, circa 660.000) con una elevata densità abitativa di circa 4.100 abitanti/kmq,
- ✓ Modena una media città (con poco meno di 200.000 abitanti e circa 1.000 ab/kmq),
- ✓ Udine una piccola cittadina del Nord-Est (con poco meno di 100.000 abitanti ed una densità di 1.700 ab/kmq circa).

*Si ritiene quindi che i risultati di questa attività sperimentale possano dare delle informazioni rappresentative del comportamento emissivo di questa tipologia di autobus nei principali contesti urbani italiani.*

# AUTOBUS oggetto della sperimentazione

|   | IVECO URBANWAY   | MENARINI BUS CITYMOOD   | CITYWIDE   |
|---|--|---|--|
| Azienda di trasporto                              | AMAT SPA (PALERMO)   | SETA SPA (MODENA)   | SAF SPA (UDINE)  |
| Costruttore autobus                               | IVECO FRANCE   | INDUSTRIA ITALIANA AUTOBUS  | SCANIA   |
| CO <sub>2</sub> /CONSUMO/NOX/PM <sub>g</sub> /kWh | -/-/0.2141/0.000   | -/-/0.174/0.0044  | 604/301/0.1827/0.0024  |
| Motore termico                                    | FPT Cursor 8 CNG Euro VI<br>6 cilindri in linea<br>4 valvole per cilindro  | FPT Cursor 8 CNG Euro VI<br>6 cilindri in linea<br>4 valvole per cilindro<br>con turbina a geometria<br>variabile (VGT) | Scania OC09 106 CNG<br>5 Cilindri in linea<br>4 valvole per cilindro<br>con turbina a geometria<br>variabile (VGT) |
| Cilindrata, cm <sup>3</sup>                       | 7800   | 7800  | 9291   |
| Potenza massima, kW (cv)                          | 213 (290) a 2000 rpm   | 243 (330) a 2000 rpm  | 235 (320) a 1900 rpm   |
| Coppia massima, Nm                                | 1100 da 1100 a 1850 rpm  | 1300 da 1200 a 1600 rpm   | 1350 da 1000 a 1400 rpm  |
| Massa in ordine di marcia, kg                     | 11770  | 11770   | 11770  |
| Massa Totale a Terra (MTT), kg                    | 19000  | 19000   | 19000  |
| Cambio  | Automatico   | Automatico  | Automatico   |
| Lunghezza/Larghezza, m                            | 12,023/2,50  | 12,100/2,55   | 11,985/2,55  |
| Passo, m  | 6,12   | 5,9   |  |
| n. Posti e Tipo di carrozzeria                    | 97/103 - M3/A3   | 97/103 - M3/CE  | 100 - M3/  |
| Omologazione                                      | 627/2014C<br>24 dicembre 2018  | 627/2014C<br>25 gennaio 2019  | 627/2014C<br>06 dicembre 2018  |
| Posizione tubo di scarico                         | Verso il basso   | Sul tetto   | In alto dietro   |
| Serbatoio combustibile                            | 4 bombole tipo CNG 3 o CNG 4 montate su rack longitudinale da 320 litri ciascuna (1280 litri di capacità totale) | 4/5 bombole tipo CNG 4 montate su rack longitudinale da 340 litri ciascuna (1360 litri di capacità totale)              | 4 bombole tipo CNG 4 montate su rack longitudinale da 320 litri ciascuna (1280 litri di capacità totale)           |



*Da richiesta ISPRA i tre autobus dovevano essere di tre produttori differenti. Gli autobus Iveco Urbanway e Menarini Citymood sono dotati dello stesso motore Cursor ma in configurazione potenziata quello dell'azienda SETA. Tutti e 3 i motori presentano combustione stechiometrica e sono dotati di catalizzatore three-way (TWC) allo scarico.*

# AUTOBUS: standard di omologazione Europei

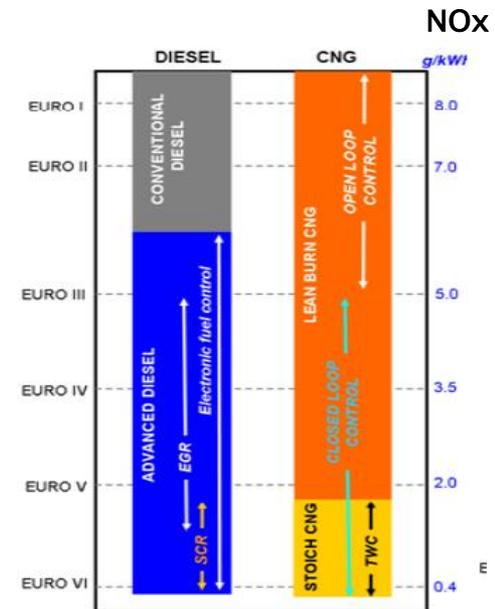
Tutti e tre gli autobus sono stati omologati secondo la direttiva 627/2014. Gli standard emissivi Euro VI per veicoli Heavy-duty sono stati introdotti con il Regolamento 595/2009 seguito da una serie di pacchetti comitologici che hanno specificato dettagli tecnici ed integrazioni. Per i veicoli ad accensione comandata (come i motori alimentati a CNG) sono previste due tipologie di prova:

- prove con il solo motore su ciclo transitorio (WHTC, World Harmonized Transient Cycle)

| Stage    | Date    | Test     | CO    | NMHC | CH <sub>4</sub> <sup>a</sup> | NOx  | PM <sup>b</sup> | PN                |                        |
|----------|---------|----------|-------|------|------------------------------|------|-----------------|-------------------|------------------------|
|          |         |          | g/kWh |      |                              |      |                 | 1/kWh             |                        |
| Euro III | 1999.10 | EEV only | ETC   | 3.0  | 0.40                         | 0.65 | 2.0             | 0.02              |                        |
|          | 2000.10 |          |       | 5.45 | 0.78                         | 1.6  | 5.0             | 0.16 <sup>c</sup> |                        |
| Euro IV  | 2005.10 |          |       | 4.0  | 0.55                         | 1.1  | 3.5             | 0.03              |                        |
| Euro V   | 2008.10 |          |       | 4.0  | 0.55                         | 1.1  | 2.0             | 0.03              |                        |
| Euro VI  | 2013.01 | WHTC     |       | 4.0  | 0.16 <sup>d</sup>            | 0.5  | 0.46            | 0.01              | 6.0×10 <sup>11</sup> e |

<sup>a</sup> for gas engines only (Euro III-V: NG only; Euro VI: NG + LPG)  
<sup>b</sup> not applicable for gas fueled engines at the Euro III-IV stages  
<sup>c</sup> PM = 0.21 g/kWh for engines < 0.75 dm<sup>3</sup> swept volume per cylinder and a rated power speed > 3000 min<sup>-1</sup>  
<sup>d</sup> THC for diesel (CI) engines  
<sup>e</sup> PN limit for PI engines applies for Euro VI-B and later [4374]

*Limite sul numero di particelle(PN)*



- prove emissive Off-Cycle (OCE): con motore in 15 modi stazionari «random» (NTE) e con veicolo con test su strada (anche test In-Service Conformity, ISC)

| Stage  | Implementation Date                    |                           | OCE/ISC Requirements |                             |  |                                       |                   |
|--------|--|---------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|-------------------|
|        | Type approval (new types/all vehicles) | Last date of registration | PEMS power threshold | Cold start included in PEMS | OCE NTE g/kWh                              | PEMS CO, HC, NMHC, CH <sub>4</sub> CF | PEMS PN CF        |
| A      | 2013.01/2014.01                        | 2015.08                   | 20%                  | No                          | NOx 0.60<br>THC 0.22<br>CO 2.0<br>PM 0.016 | 1.50                                  | -                 |
| B (CI) | 2013.01/2014.01                        | 2016.12                   |                      |                             |  |                                       |                   |
| B (PI) | 2014.09/2015.09                        | 2016.12                   |                      |                             |  |                                       |                   |
| C      | 2016.01/2017.01                        | 2017.08                   |                      |                             |  |                                       |                   |
| D      | 2018.09/2019.09                        | 2021.12                   | 10%                  |                             |  |                                       |                   |
| E      | 2020.09/2021.09                        | -                         |                      | Yes                         |  |                                       | 1.63 <sup>a</sup> |

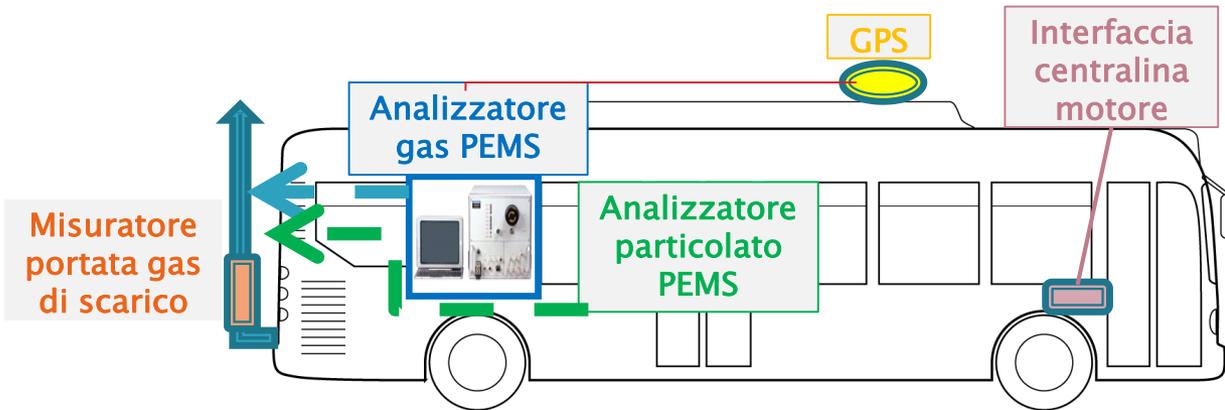


*In questa attività sperimentale si sono seguite alcune delle prescrizioni contenute nei regolamenti per i test su strada (n. 582/2011 e n. 595/2009)*

<sup>a</sup> For PI engines and type 1A and 1B dual fuel engines in dual fuel mode, PN CF applies 2023.01/2024.01

# AUTOBUS: allestimento per le prove

I bus sono stati strumentati con strumentazione PEMS (Portable Emission Measurement Systems) per la misura di CO<sub>2</sub>, CO, NOX (in g/km o mg/km) e il particolato in massa (PM<sub>2.5</sub> in mg/km) e quindi all'interno ed all'esterno degli autobus sono state allocate e collegate diverse strumentazioni e attrezzature:



- ❑ la misura degli inquinanti gassosi è stata eseguita tramite l'analizzatore Gas PEMS Horiba OBS 2200,
- ❑ una sonda lambda per la misura del tenore di O<sub>2</sub>,
- ❑ misuratore della portata volumetrica dei gas esausti con un tubo di Pitot montato allo scarico del veicolo,
- ❑ analizzatore PEMS Pegasor Particle Sensor-M (PPS-M) per misurare la massa totale delle particelle aventi diametro da 10 nm fino a 2,5 µm (PM<sub>2.5</sub>),
- ❑ GPS per acquisire le coordinate spaziali e l'altitudine del percorso,
- ❑ sistema di acquisizione parametri motore da presa OBD (Texa TXT),
- ❑ computer per gestione strumenti ed acquisizione dati,
- ❑ una sonda di temperatura, umidità e pressione ambiente,
- ❑ bombole per la calibrazione degli strumenti,
- ❑ batterie 12V 110Ah ed inverter per alimentare la strumentazione,
- ❑ eventuale zavorra (con sabbia o sale)

*Il collegamento con lo scarico del motore e lo zavorramento degli autobus hanno rappresentato le maggiori criticità della sperimentazione.*

*Tutti i dati sono stati acquisiti istantaneamente alla frequenza di 1 Hz, cioè un dato al secondo, per tutte le prove eseguite e poi mediati su ogni percorso effettuato.*

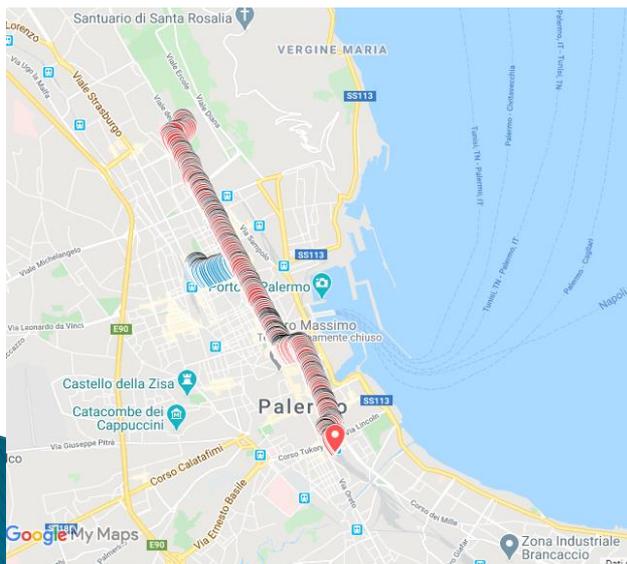
# Percorsi effettuati

Con i referenti di ogni azienda di trasporto sono stati valutati i percorsi e le linee rappresentative per l'attività sperimentale, seguendo suggerimenti relativi al maggior utilizzo ed alle coperture su ampie zone delle città. E' stato chiesto ad ogni azienda, ed ottenuto, di mettere a disposizione per i giorni di attività di prove su strada sempre lo stesso autista (con uno stile di guida "medio", nè troppo aggressivo nè troppo dolce). Ogni autobus strumentato ha seguito un autobus in normale esercizio sulla linea selezionata per simulare i tempi delle fermate e di stop di autobus in reale utilizzo. Percorsi pianeggianti in tutte e 3 le città.

La fascia oraria di sperimentazione è stata dalle 08:00 alle 15:00 circa.

## PALERMO

Linee rappresentative: 101 e 102



LINEA 101 ha come direttrice: STADIO - STAZIONE CENTRALE  
 LINEA 102 ha come direttrice: STAZIONE NOTARBARTOLO - STAZIONE CENTRALE

## MODENA

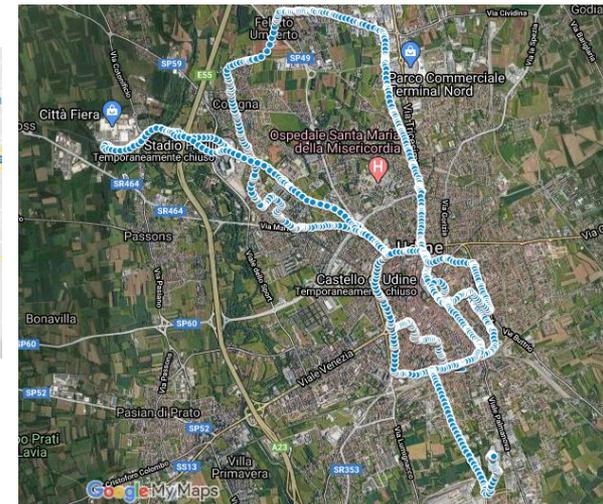
Linea rappresentativa: 9



LINEA 101 ha come direttrice: GOTTARDI – MARZAGLIA NUOVA

## UDINE

Linee rappresentative: Circolari 2 e 9



CIRCOLARE 2 ha come direttrice: TAVAGNACCO  
 CIRCOLARE 9 ha come direttrice: MARTIGNACCO

# Caratteristiche delle prove

ZAVORRA/CARICO

| Autobus/Azienda | Allestimento base | Zavorra  | Totale  | % Carico |
|-----------------|-------------------|--|---------|----------|
| IVECO/AMAT      | 1000 kg           | -  | ~ 1 t   | 14%      |
| MENARINI/SETA   | 1000 kg           | 1000 kg (in alcuni test)<br>con sacchi di sale | ~ 1/2 t | 14/27%   |
| SCANIA/SAF      | 1000 kg           | 2000 kg<br>con sacchi di sabbia                | ~ 3 t   | 42%      |

CONDIZIONI TERMICHE DEL MOTORE

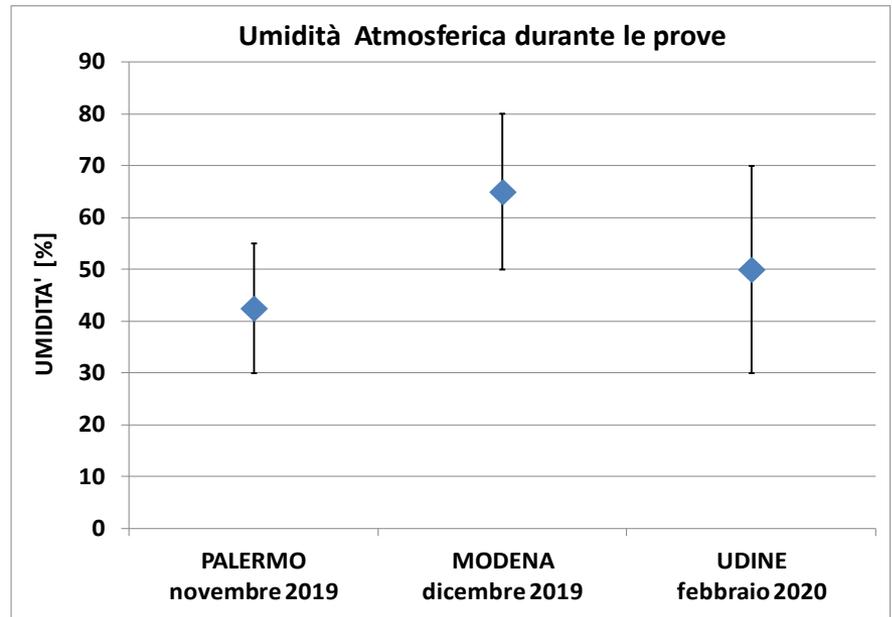
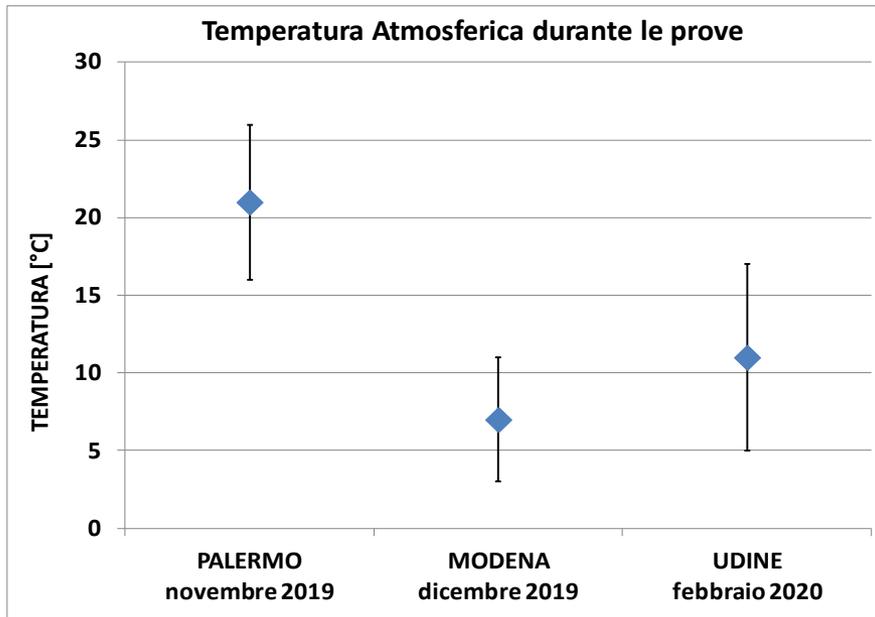
**WARM:** le prove sono state condotte in condizioni regimate "a caldo" del motore (temperatura olio >75°C) e del sistema di after-treatment (>300 °C)  
**COLD:** le prove sono state condotte partendo dopo almeno 8 ore di stop del veicolo, condizioni "a freddo" del motore e del sistema di after-treatment

| Autobus/Azienda      | Zavorra | Carico realizzato [%] | Condizioni termiche motore | N° percorsi ripetuti | Km totali | Velocità media [km/h] | Tempo arresto [%] |
|----------------------|---------|-----------------------|----------------------------|----------------------|-----------|-----------------------|-------------------|
| IVECO/AMAT-PALERMO   | NO      | 14                    | WARM                       | 12                   | 75        | 13                    | 23                |
| MENARINI/SETA-MODENA | NO      | 14                    | WARM                       | 3                    | 53        | 20                    | 25                |
| MENARINI/SETA-MODENA | SI      | 28                    | WARM                       | 5                    | 66        | 21                    | 20                |
| SCANIA/SAF-UDINE     | SI      | 42                    | WARM                       | 8                    | 140       | 20.5                  | 20                |
| SCANIA/SAF-UDINE     | SI      | 42                    | COLD                       | 4                    | 12        | 16.5                  | 30                |

# Caratteristiche delle prove

La campagna sperimentale si è svolta in circa tre mesi (da novembre 2019 a febbraio 2020) in realtà localizzate al Sud e al Nord dell'Italia.

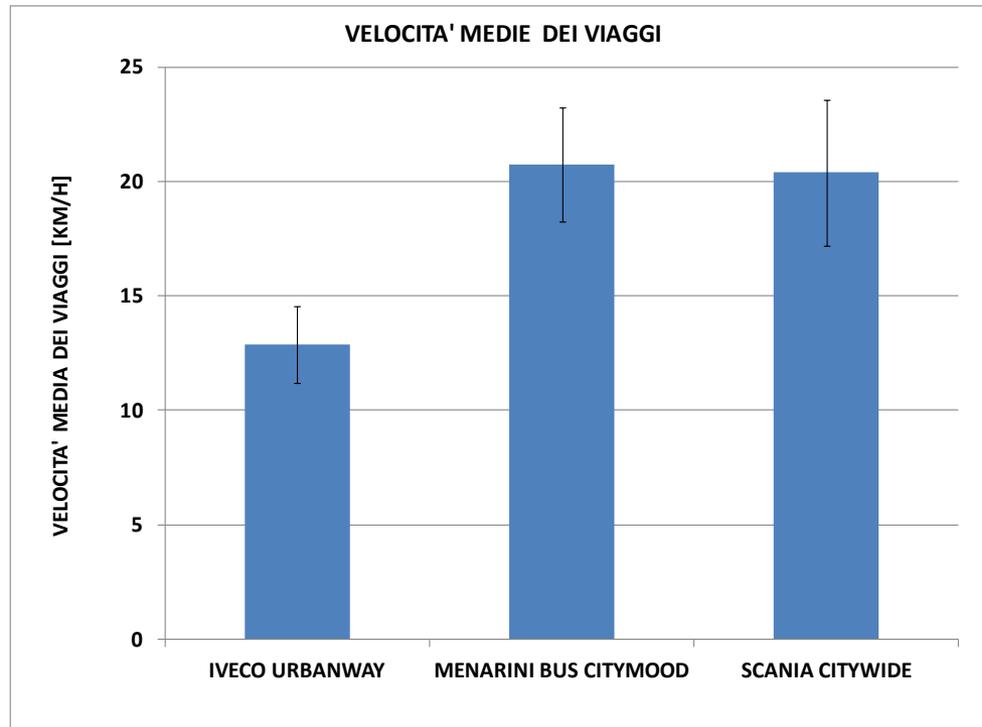
Le condizioni ambientali, in termini di temperatura e umidità atmosferiche, sono state quindi variabili.



A Palermo la temperatura media è stata di 21 °C contro i 7–10 °C di Modena ed Udine.

Durante le ore di prova si è riscontrata una variazione di temperatura di circa 10 °C (nella fascia oraria 7:30–14:30 circa) con una corrispondente variazione nell'umidità di circa il 30% (all'aumentare della temperatura vi è una diminuzione nel grado di umidità).

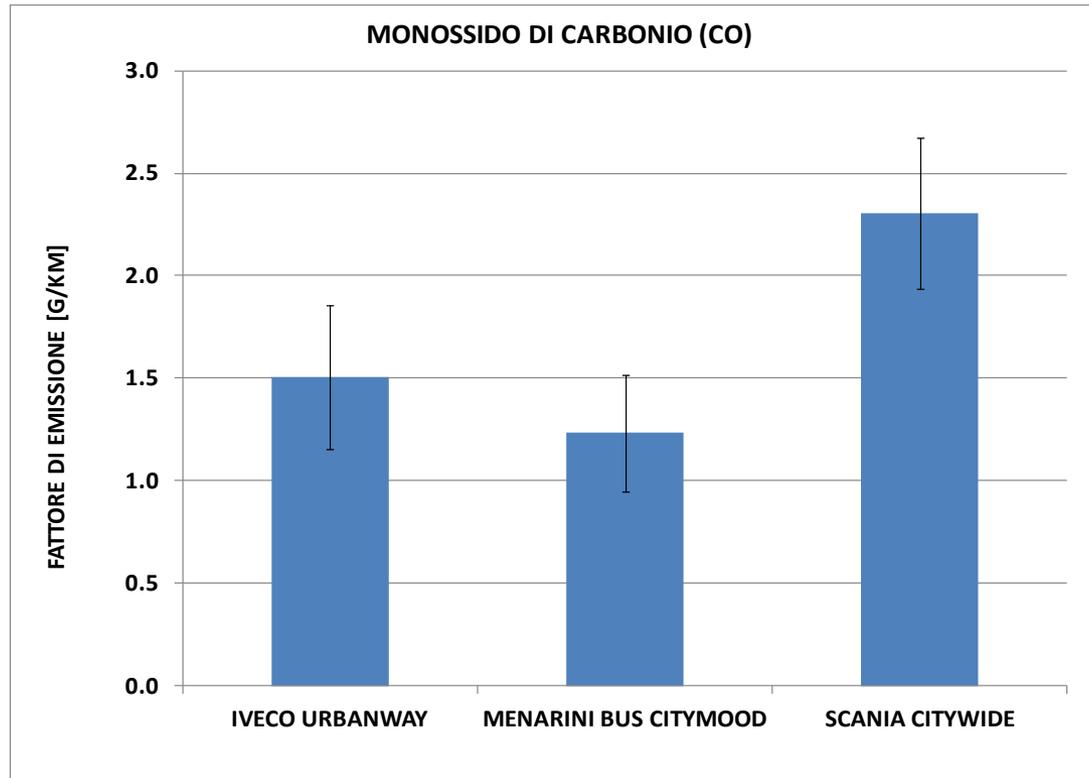
# Caratteristiche delle prove



Le velocità medie si sono attestate sui 20.5 km/h ( $\pm 3.0$  km/h) per i viaggi effettuati durante le sperimentazioni a Modena ed Udine e ad una velocità media più bassa e pari a 13 km/h ( $\pm 2.0$  km/h) a Palermo.

Le condizioni di traffico riscontrate a Palermo sono risultate più congestionate rispetto alle altre due città.

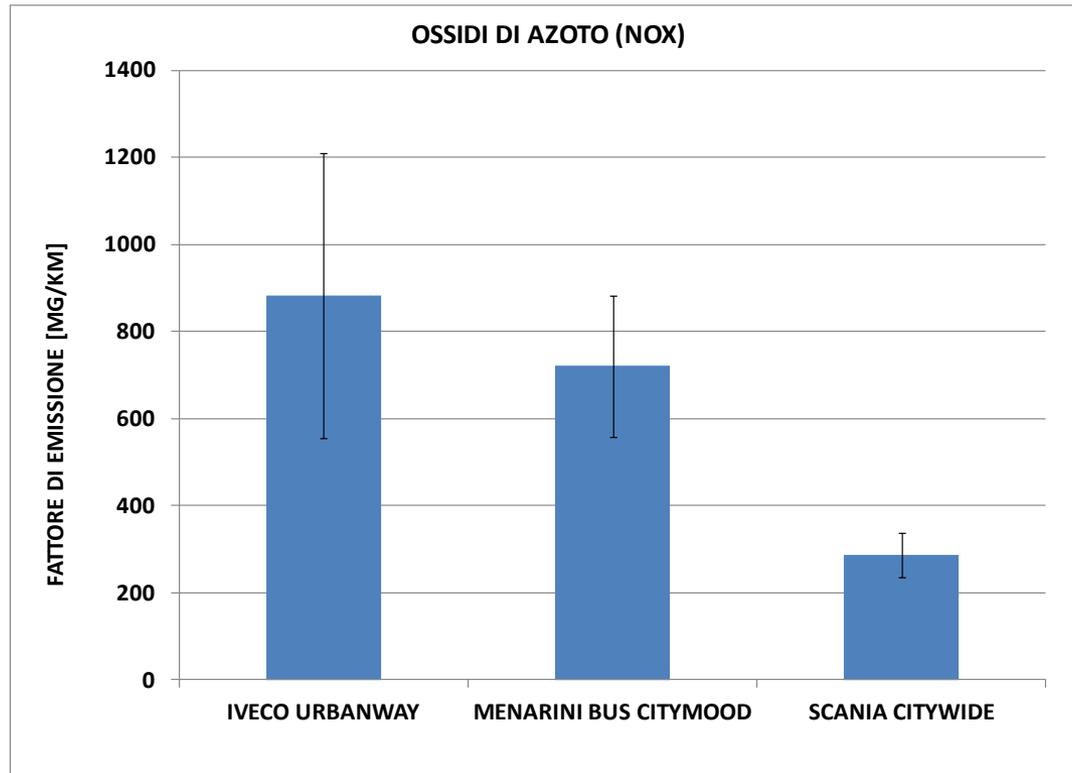
# Risultati: fattori di emissione «a caldo» per CO (in g/km)



I fattori di emissione “a caldo” di CO mostrano dei valori confrontabili (intorno a 1.25–1.5 g/km) per l’Iveco ed il Menarini e dei valori più elevati emessi dallo Scania (circa 2.3 g/km).

La variabilità è intorno al 20% per tutti e tre gli autobus.

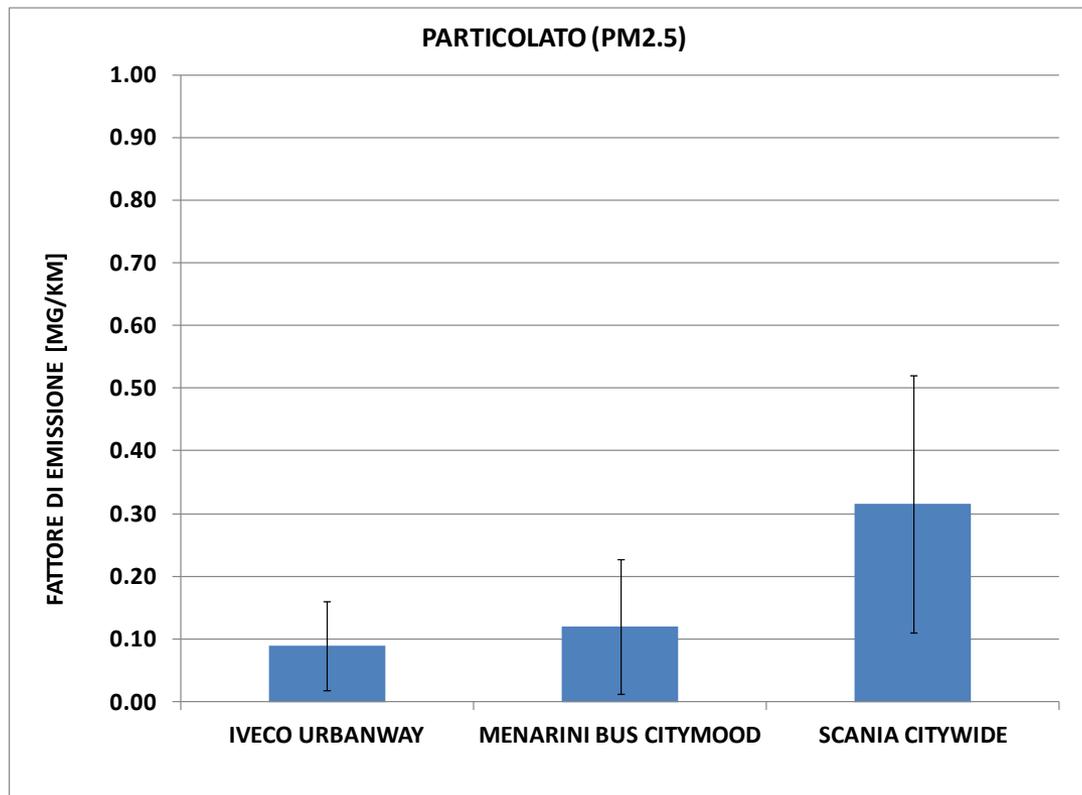
# Risultati: fattori di emissione «a caldo» per NOx (in mg/km)



I fattori di emissione “a caldo” di NOx mostrano dei valori confrontabili (intorno a 0.72–0.88 g/km) per l’Iveco ed il Menarini e dei valori decisamente più bassi allo scarico dallo Scania (circa 0.3 g/km).

La variabilità è risultata intorno al 20% per il Menarini e lo Scania, di circa il 30% per l’Iveco.

# Risultati: fattori di emissione «a caldo» per PM<sub>2.5</sub> (in mg/km)

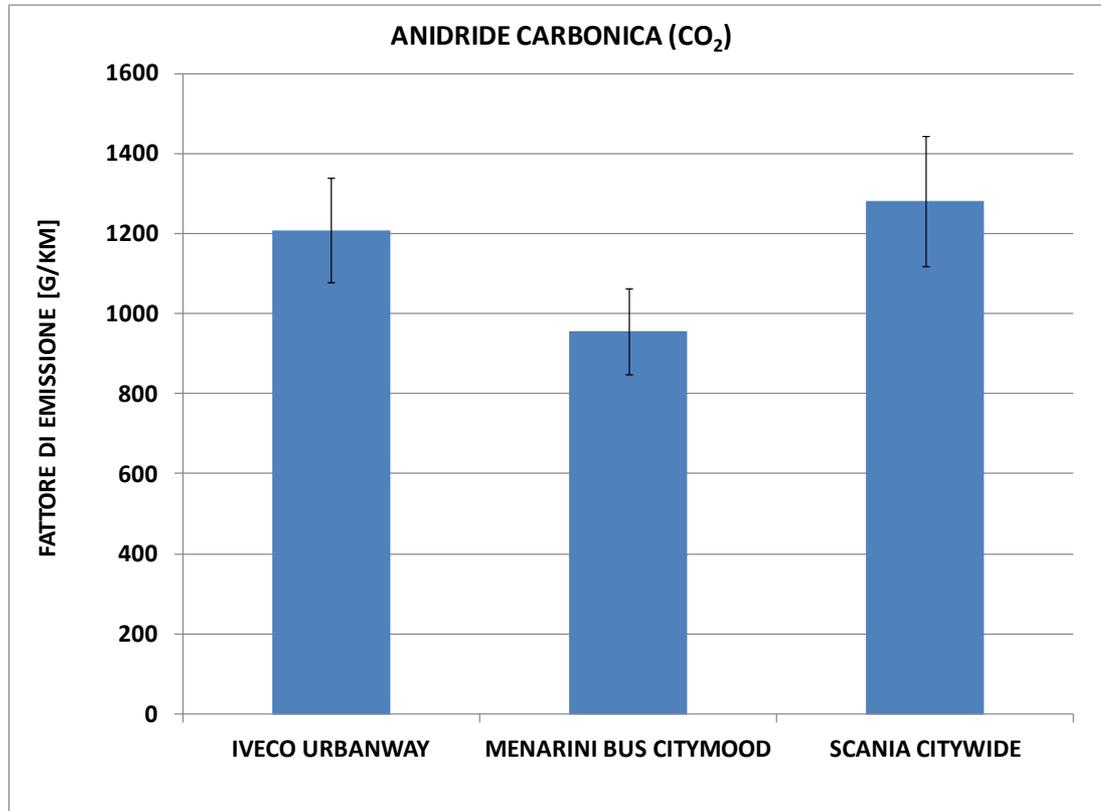


Le emissioni di PM<sub>2.5</sub> “a caldo” sono risultate molto basse e sempre minori di 0.5 mg/km.

Per questo inquinante la variabilità nei valori misurati è molto elevata, principalmente a causa delle basse concentrazioni misurate.

Si evidenzia che per i due autobus con motore Cursor 8 (Iveco Urbanway e Menarini Citymood) si sono osservati fattori di emissione simili per CO, NOX e PM<sub>2.5</sub>.

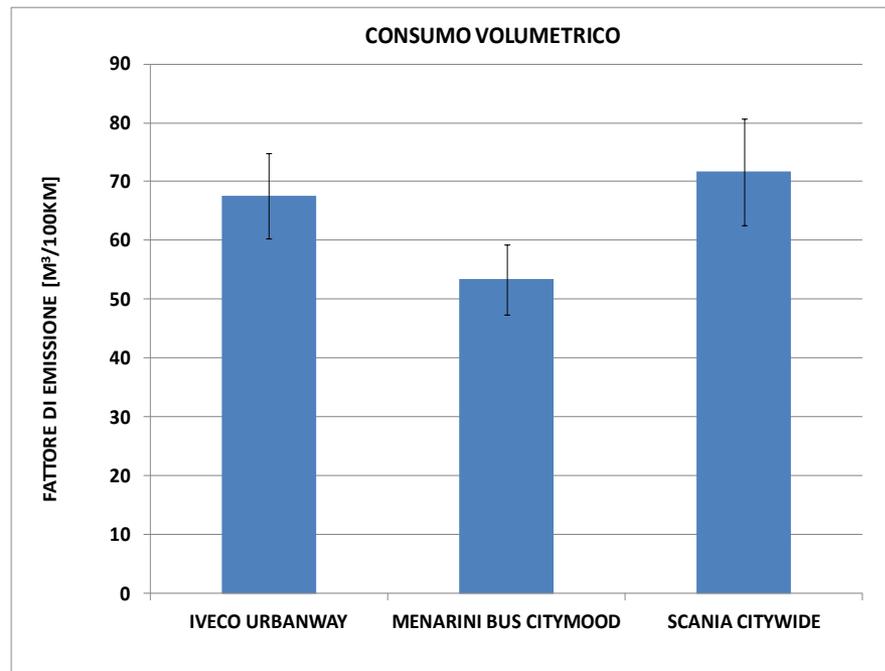
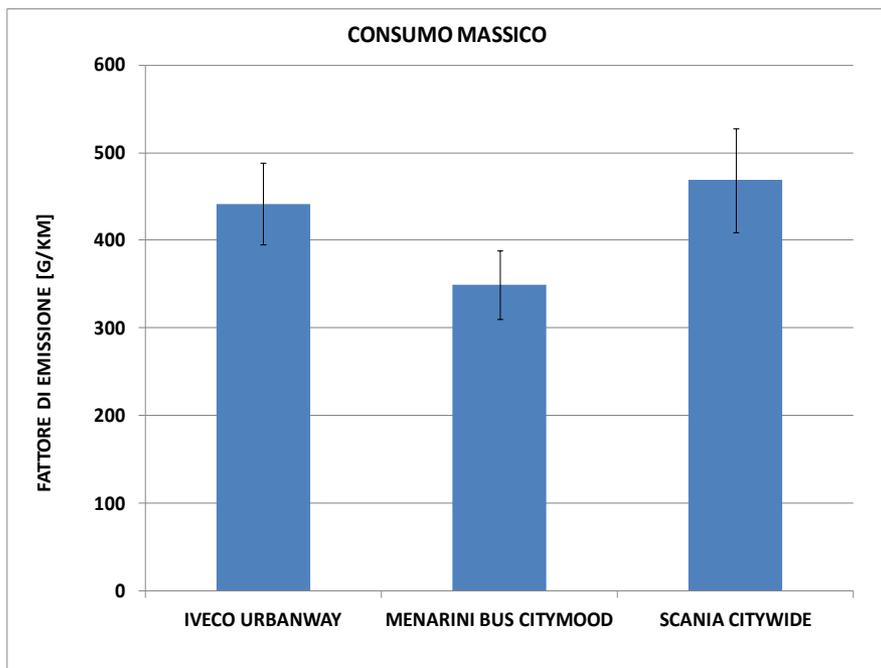
# Risultati: fattori di emissione «a caldo» per CO<sub>2</sub> (in g/km)



Sono state misurate emissioni confrontabili di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) tra l'Iveco e lo Scania (1200÷1280 g/km) mentre il Menarini presenta emissioni più basse (~960 g/km): tali differenze potrebbero essere spiegate con il maggior carico trasportato sullo Scania (circa 3 t contro le 1-2 t degli altri due veicoli) e con le velocità medie di spostamento più basse per l'Iveco (14 contro i 20 km/h).  
NOTA: i valori diagrammati per il Menarini rappresentano il valore medio tra le due configurazioni di carico.

La variabilità è tra il 10-12% per tutti e tre gli autobus.

# Risultati: fattori di consumo di CNG (in g/km e m<sup>3</sup>/100km)



Nella due figure sono diagrammati i consumi massici (in g/km) e volumetrici (m<sup>3</sup>/100 km) ricavati dalle emissioni inquinanti secondo le formule del bilancio del carbonio (Regolamento 49 UNECE Allegato 4B).

Si evidenzia che durante questa campagna sperimentale gli idrocarburi incombusti (HC) non sono stati misurati e quindi il loro contributo alla stima del consumo non è stato considerato

# Conclusioni

- ▶ Sono stati selezionati tre autobus urbani omologati con lo standard Euro VI alimentati a CNG, commercializzati da diversi fornitori, e in dotazione alle aziende AMAT di Palermo, SETA di Modena e SAF di Udine. Le prove sono state effettuate presso le tre aziende nel periodo novembre 2019–febbraio 2020.
- ▶ I bus sono stati strumentati per la misura di CO<sub>2</sub>, CO, NOX (in g/km o mg/km) e il particolato in massa (PM<sub>2.5</sub> in mg/km).
- ▶ Ogni autobus è stato guidato da un autista, messo a disposizione dall'azienda, seguendo un autobus in normale esercizio su una linea per simulare i tempi delle fermate e di stop di autobus in reale utilizzo su linee rappresentative del trasporto urbano.
- ▶ Il collegamento con lo scarico del motore e lo zavorramento degli autobus hanno rappresentato le maggiori criticità della sperimentazione.
- ▶ I fattori di emissione medi valutati sulle tre tipologie di autobus Euro VI in condizioni di prova termicamente regimate “a caldo” e su percorsi pianeggianti sono risultati nei seguenti range:
  - ❑ CO (monossido di carbonio): 1.3–2.3 g/km;
  - ❑ NOx (ossidi di azoto): 0.3–0.9 g/km;
  - ❑ PM<sub>2.5</sub> (particolato di dimensioni inferiori ai 2.5 micron) < 0.5 mg/km
  - ❑ CO<sub>2</sub> (anidride carbonica): 950–1250 g/km.
- ▶ Per i due autobus con motore Cursor 8 (Iveco Urbanway e Menarini Citymood) si sono osservati fattori di emissione simili per CO, NOX e PM<sub>2.5</sub>.