



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA

I risultati della sperimentazione su una flotta di veicoli Euro 6d alimentati a GPL/DME

Simone Casadei

innovazione e ricerca

Expert di Sostenibilità dei Trasporti – Team Mobilità
Sostenibile

Plenaria UNICHIM - 3 dicembre 2024

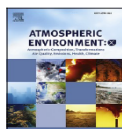
GPL vs alimentazione benzina per 5 veicoli bifuel Euro 6b/c: sia in laboratorio che su strada significative riduzioni delle emissioni di particolato e particelle e circa -10% delle emissioni di CO₂

ATMOSPHERIC ENVIRONMENT: X 15 (2022) 100186

Contents lists available at ScienceDirect

Atmospheric Environment: X

journal homepage: www.journals.elsevier.com/atmospheric-environment-x



Determination of Euro 6 LPG passenger car emission factors through laboratory and on-road tests: Effect on nation-wide emissions assessment for Italy

Tommaso Bellin^a, Simone Casadei^a, Tommaso Rossi^{a,*}, Antonella Bernetti^b, Riccardo De Lauretis^b, Giove^c

^a Innovhub - Stazioni Sperimentali per l'Industria,
^b Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca /
^c Department of Civil and Environmental Engineeri

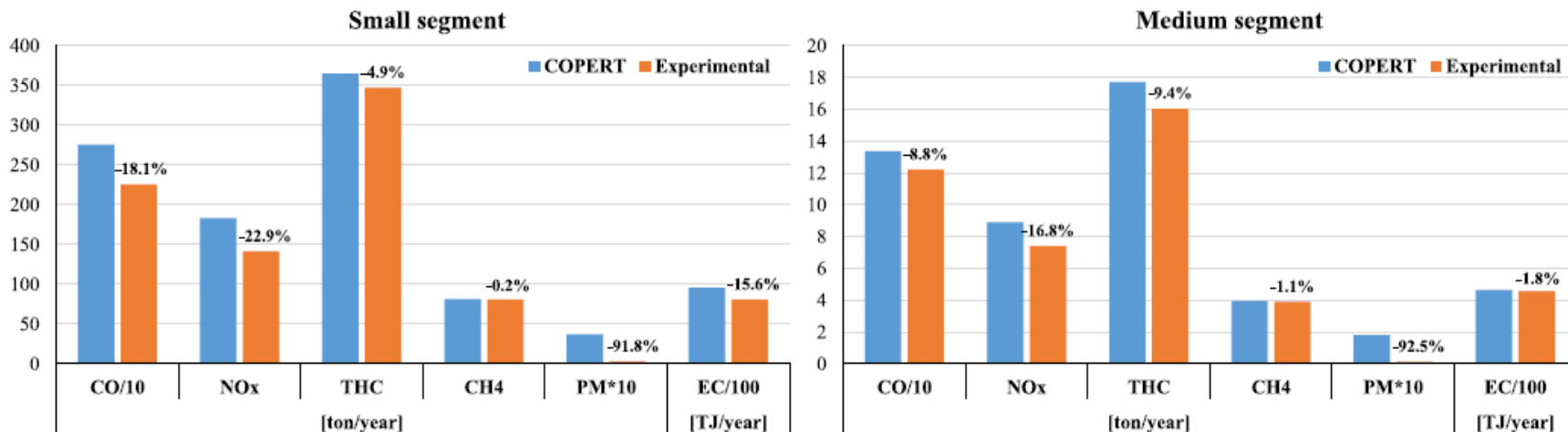
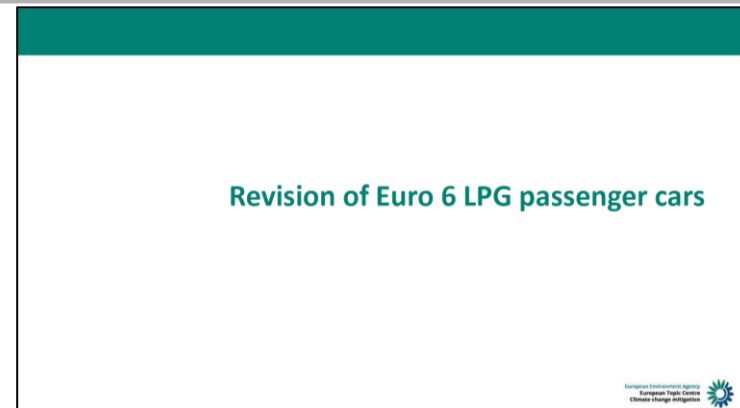
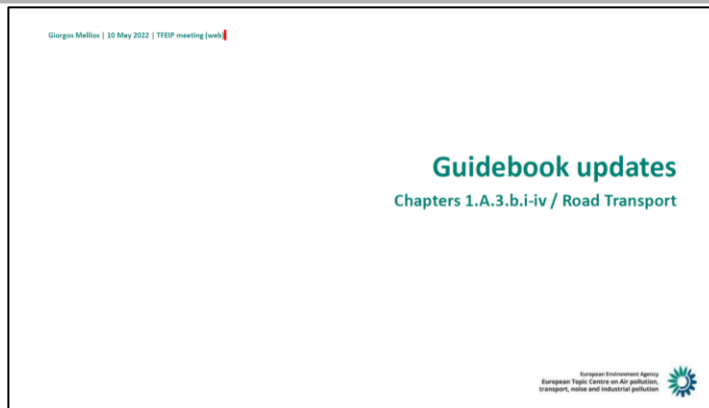


Fig. 8. Italian national emissions and energy consumptions for Euro 6 LPG passenger cars calculated using the COPERT model predefined factors and the experimental factors.



Revision of EC of Euro 6 LPG passenger cars (1/2)

• Vehicles updated

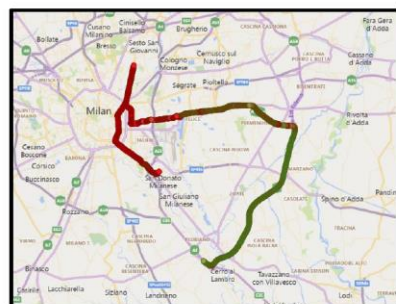
- *Categories:* Passenger Cars
- *Powertrains:* LPG
- *Segments:* Mini/Small/Medium/Large
- *Euro standards:* Euro 6 a/b/c, d/e, d-temp

• Measurements*

- Chassis cycles (WLTC, NEDC, ECE...)
- RDE (on road measurements)

• Pollutants updated

Energy Consumption only
(NOx, CO, VOC, SPN23, CH4 updated in v5.6)

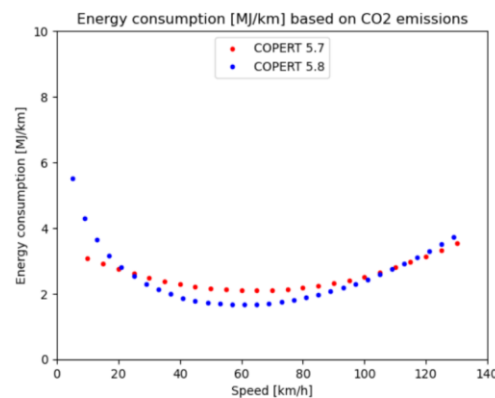


RDE cycle in Milan

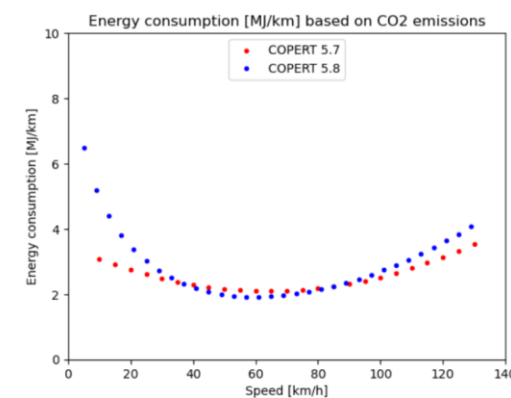
Revision of EC of Euro 6 LPG passenger cars (2/2)

Small differences between COPERT v5.7 & v5.8 – Larger differences for low speeds

Mini/Small



Medium/Large



*Reference: Laboratory and On-road cycles (conducted by Innovhub in Italy)

➤ Motivazione del progetto

Lo scopo principale di questo progetto di ricerca, commissionato da Liquigas/Assogasliquidi, è quello di **avere una valutazione completa di un'innovativa miscela di carburante per veicoli alimentati a GPL costituita da GPL (compreso il bio-propano) e dimetiletere, potenzialmente rinnovabile (rDME).**

Sarà una buona opzione per gli obiettivi di decarbonizzazione dei trasporti e per il rispetto delle nuove normative in materia di emissioni e impatto ambientale nell'UE?

➤ Fasi progettuali:

- 1) **WP1 Determinazione RON/MON di miscele DME/GPL*** per rilevare quella più adatta, compatibile con EN589
- 2) **WP2 Emissioni dei gas di scarico delle autovetture:** tre autovetture (due piccole e una segmento medio) sono state testate seguendo sia le procedure di omologazione (WLTC e RDE) sia i cicli di ricerca. Risultati da utilizzare come dati primari per il WP3
- 3) **WP3 Valutazione del ciclo di vita dalla «culla» alla «tomba» (LCA):** gli impatti da confrontare con quelli di un'auto a benzina e di un'auto completamente elettrica per entrambi i segmenti [Politecnico di Milano]

* È utilizzato il GPL fossile in quanto chimicamente indistinguibile dal bioLPG, non influisce quindi sulle emissioni di gas di scarico



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA

WP1-WP2: recentissima pubblicazione sul Journal of the Energy Institute (IF 5.7)

innovazione e ricerca



Journal of the Energy Institute

Volume 117, December 2024, 101851



Fuel consumption and exhaust emissions from Euro 6d vehicles fueled by innovative LPG/DME blend

T. Rossi^a, S. Lixi^a, S. Puricelli^b, M. Grosso^b, D. Faedo^a, S. Casadei^a  

Show more 

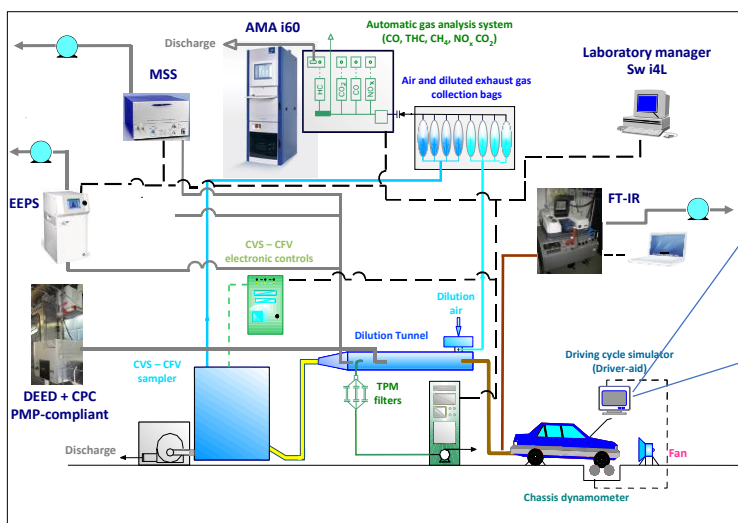
Composizione % m/m		Determinazione numero di Ottano ASTM D2623-86		pressione di vapore, manometro (kPa)
DME	Propane	MON	RON	Grade A, -10 °C (EN 589)
10	90	92,7	106,0	228,6
15	85	91,7	104,6	220,6
20	80	90,8	102,5	212,6
30	70	86,2	92,8	196,6
50	50	71,4	72,1	164,5
75	25	28,1	19,1	124,4



Conclusioni del WP1: la miscela **20%/80% - DME/propano** è stata identificata come la miscela da utilizzare per le prove automobilistiche (WP2), risultando anche - dalla letteratura - compatibile con componenti e materiali del motore

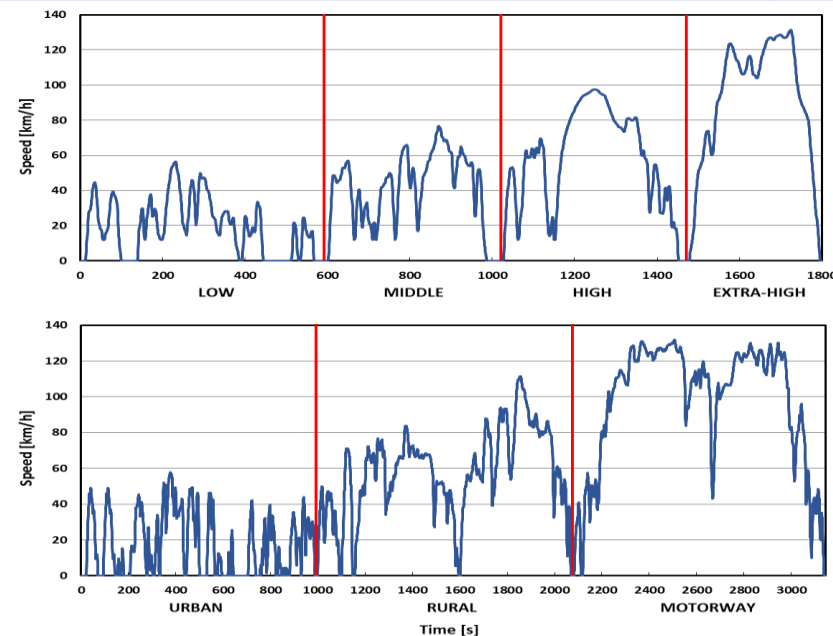
Prove di laboratorio e su strada su tre veicoli bi-fuel benzina/GPL EURO 6d (due piccoli e un segmento medio)

Test di laboratorio:



WLTC: ciclo di guida di omologazione con avviamento a freddo

CADC: ciclo di guida con avviamento a caldo



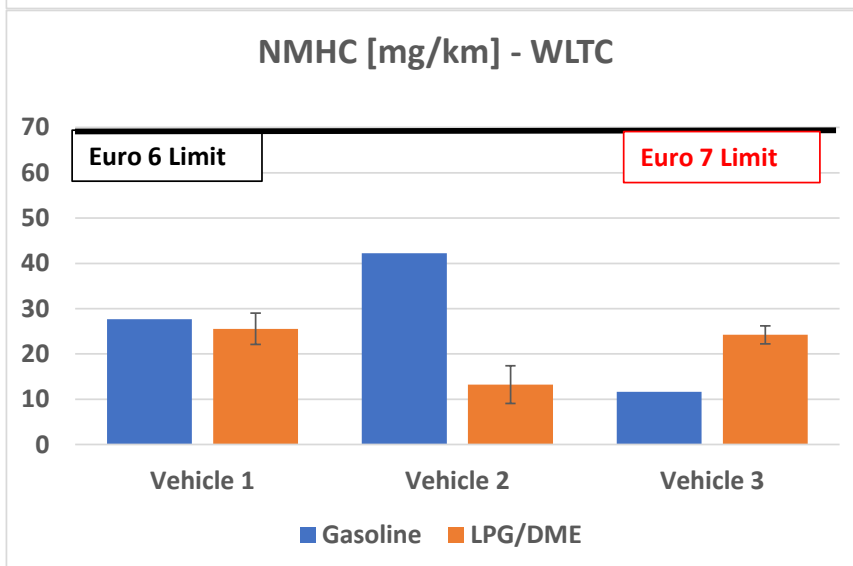
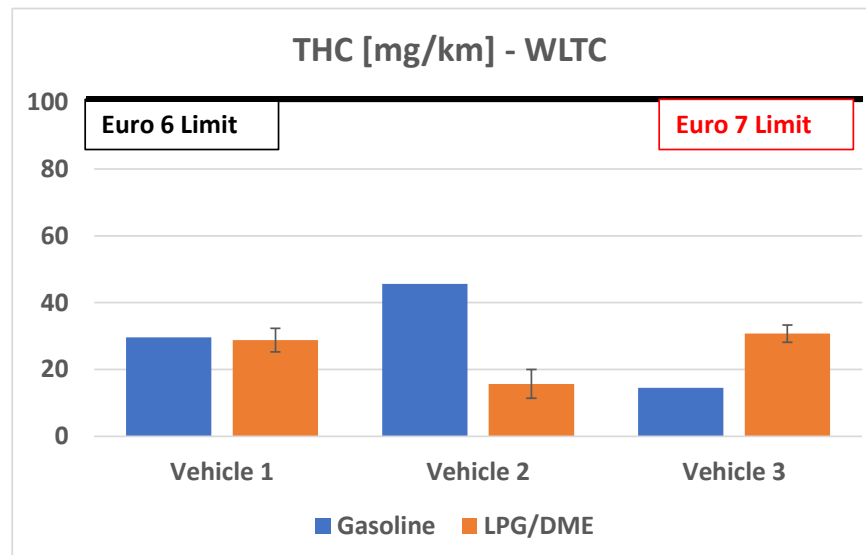
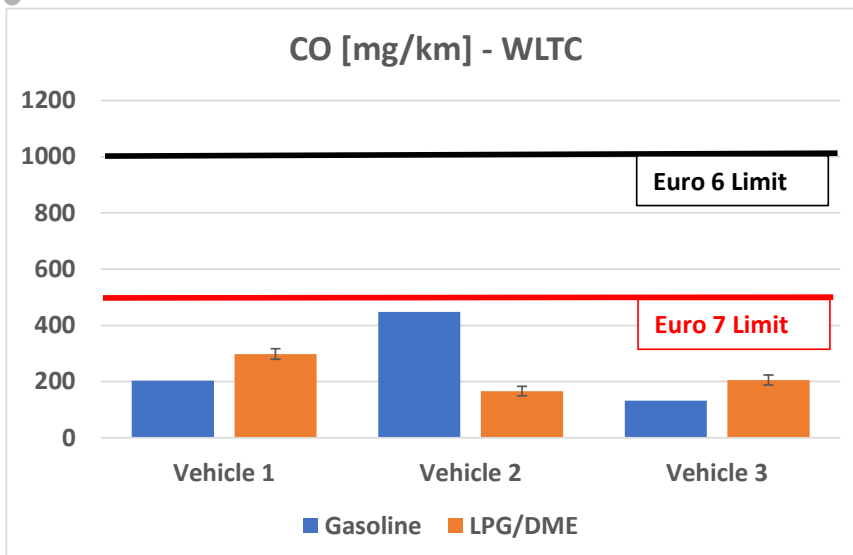
Test su strada con PEMS: emissioni in guida reale (RDE)



	Vehicle 1	Vehicle 2	Vehicle 3
Homologation Emission Standard	Euro 6d	Euro 6d	Euro 6d
Mileage at test start (km)	8715	982	4952
Engine displacement (cm ³)	1197	999	1598
COPERT segment	small	small	medium
Injection type	Positive Ignition – PFI	Positive Ignition – PFI	Turbo Positive Ignition – TGD
LPG powertrain	Retrofit	OEM	Retrofit

Risultati WLTC: CO, THC e NMHC

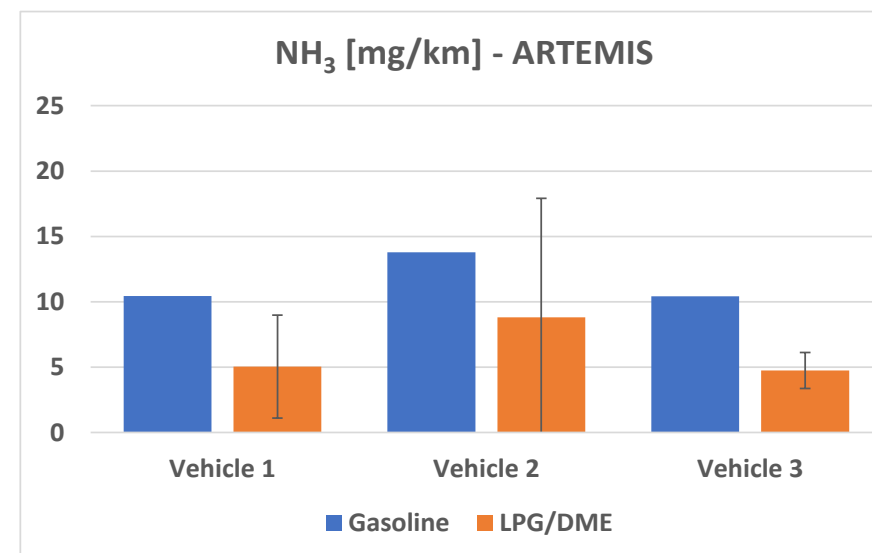
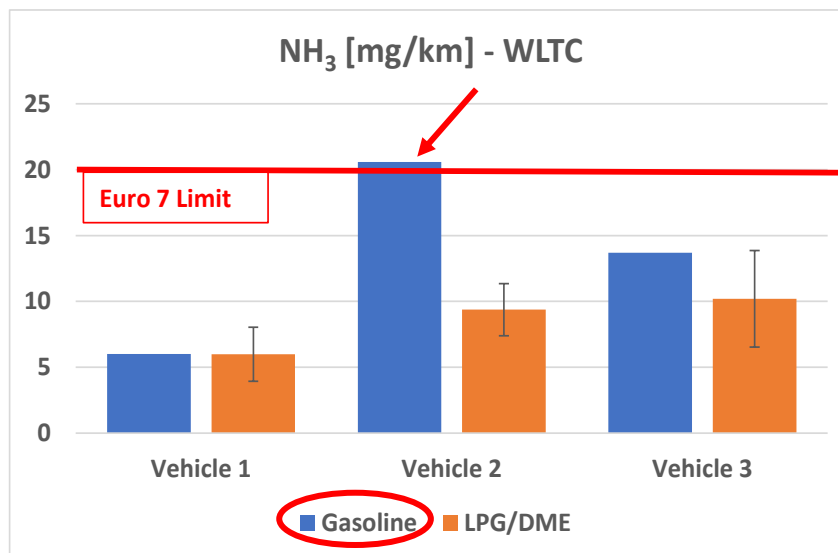
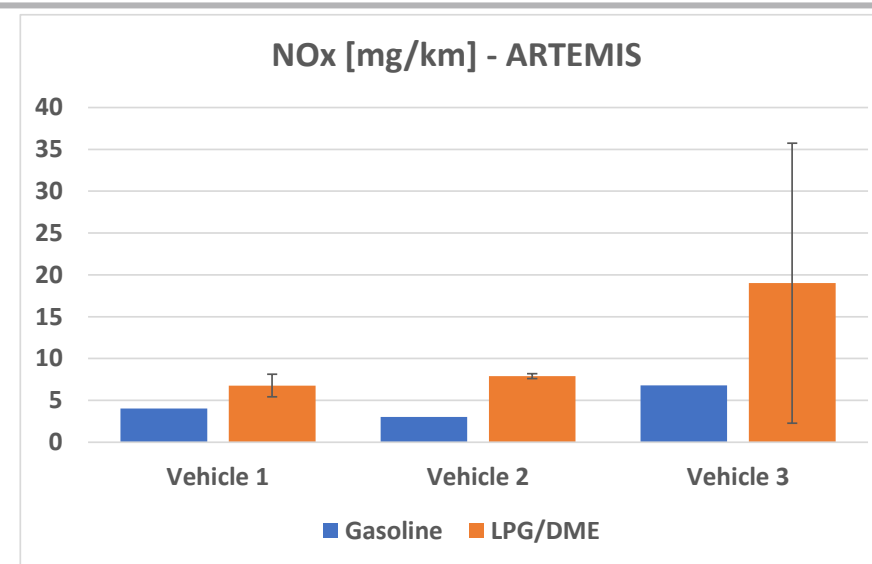
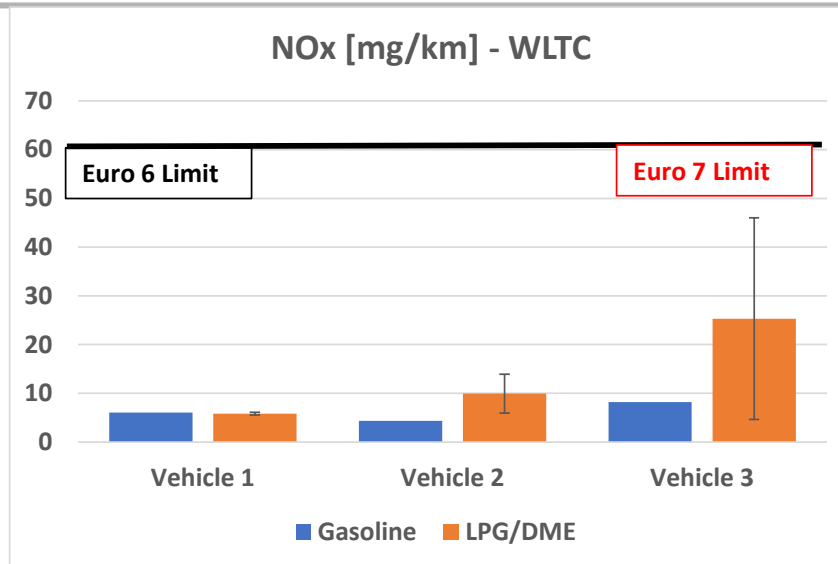
innovazione e ricerca

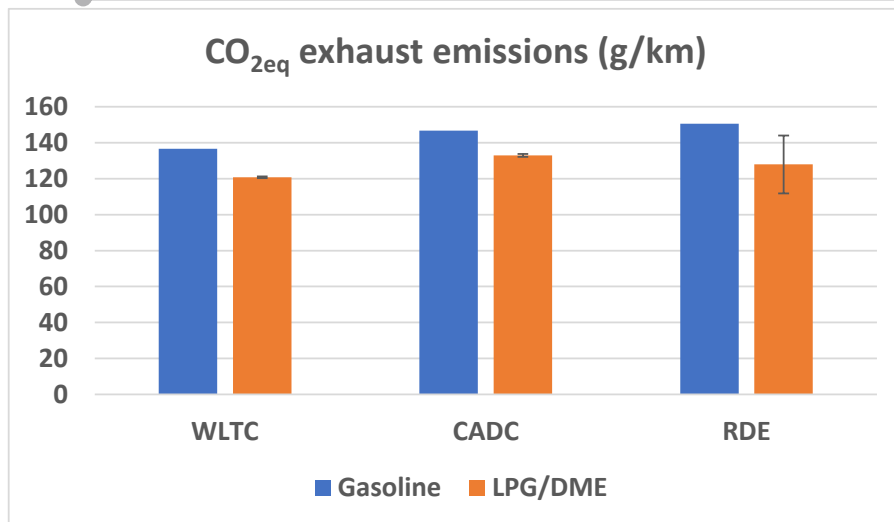


- **Tutti i risultati rispettano gli standard di omologazione Euro 6d, sia con benzina che con GPL/DME**
- **Rispettati anche i nuovi limiti di emissione previsti dalla proposta Euro 7 (prima versione severa)**
- Nessuna chiara tendenza per il passaggio da benzina a carburante GPL/DME (comportamento simile nel ciclo ARTEMIS)

Risultati WLTC e ARTEMIS : NO_x in aumento, NH₃ in diminuzione

innovazione e ricerca



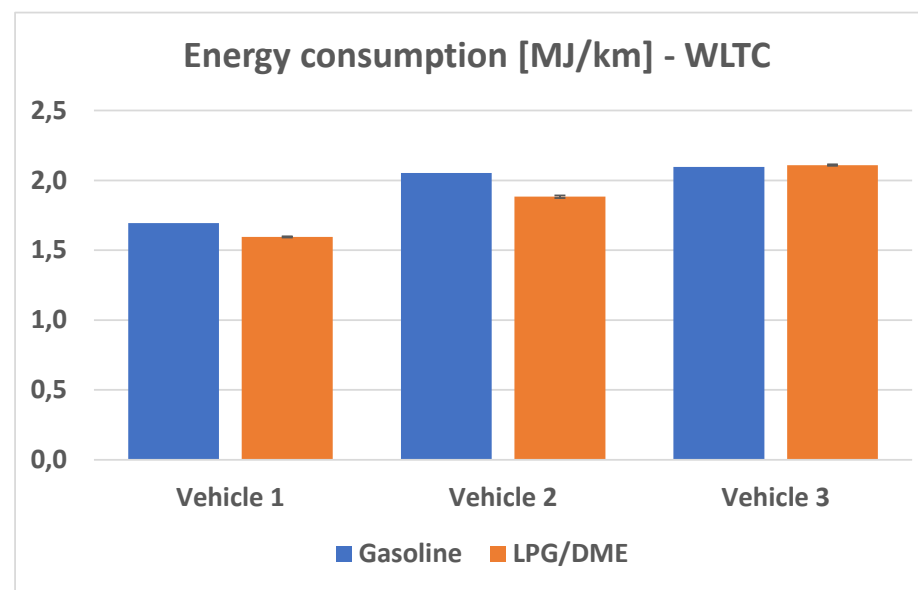
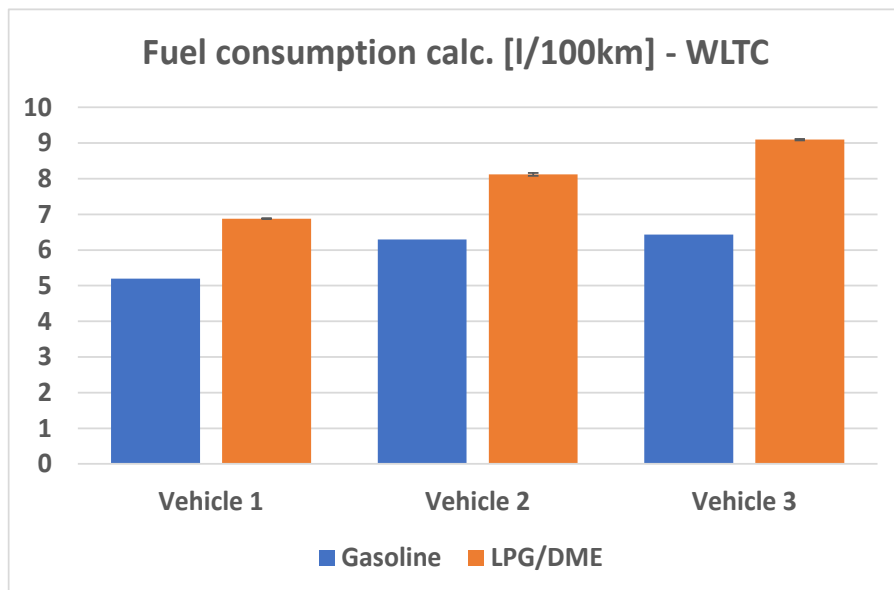


Riduzione delle emissioni di GHG
(valori equivalenti di CO₂ considerano
le emissioni di CO₂, CH₄ e N₂O):

-11.6% per WLTC

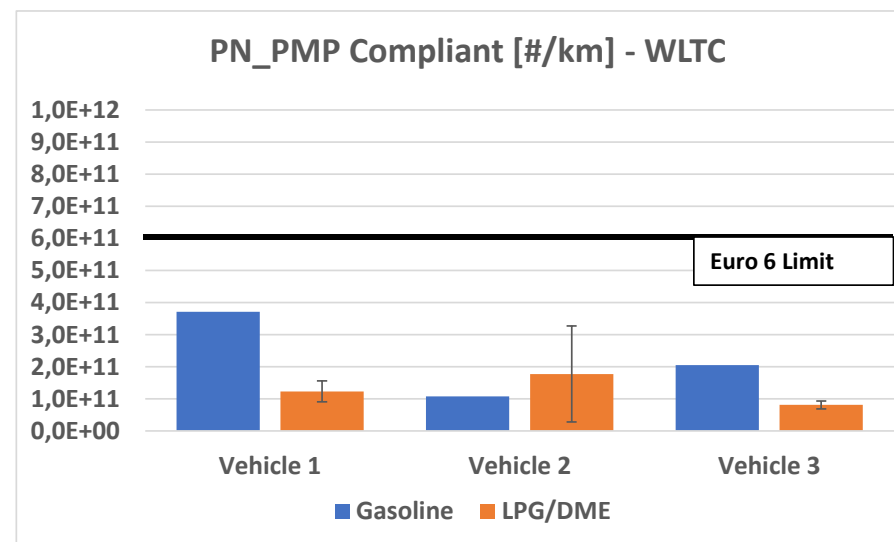
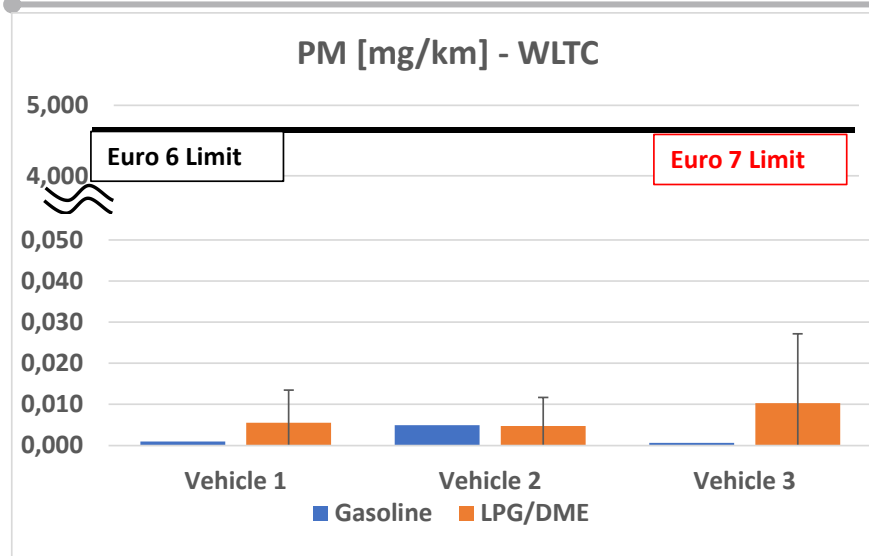
-9.3% per CADC

-15% per RDE

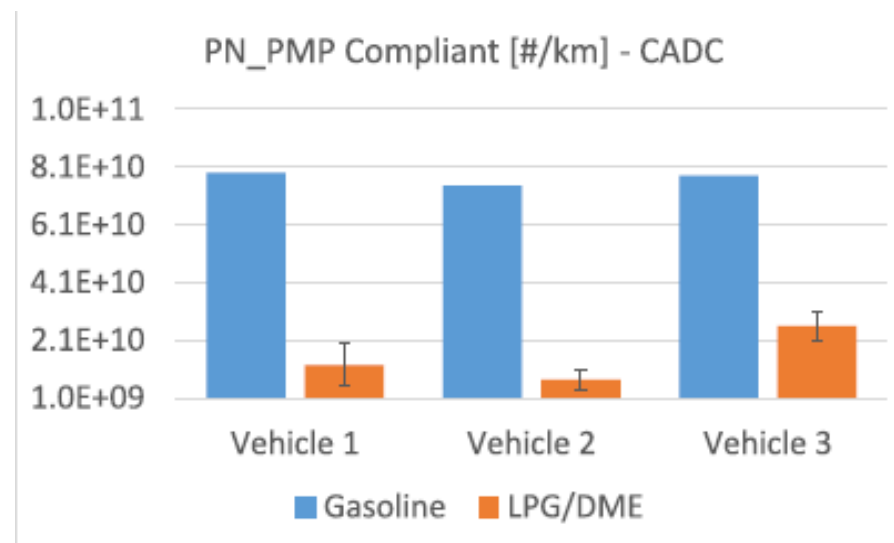


WLTC e Artemis: PM e PN

innovazione e ricerca

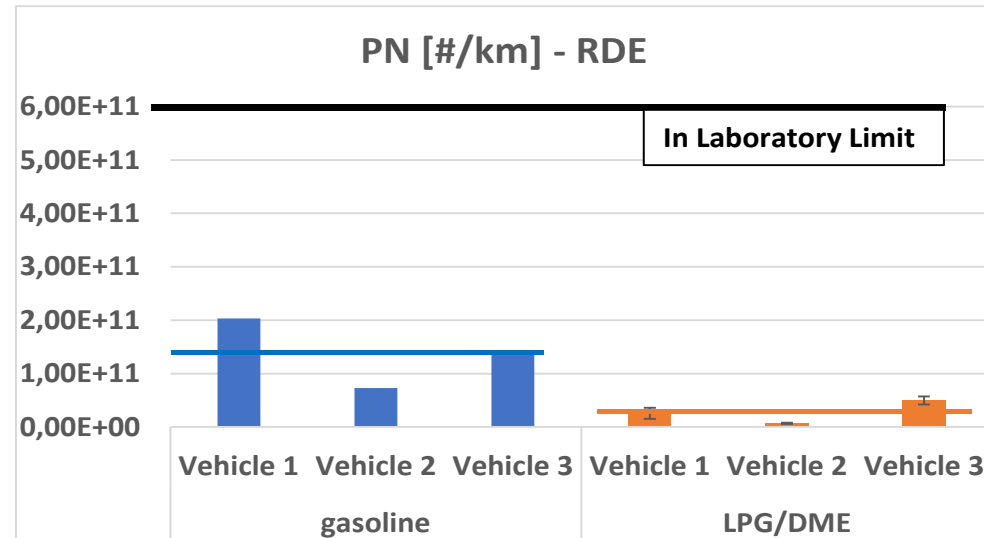
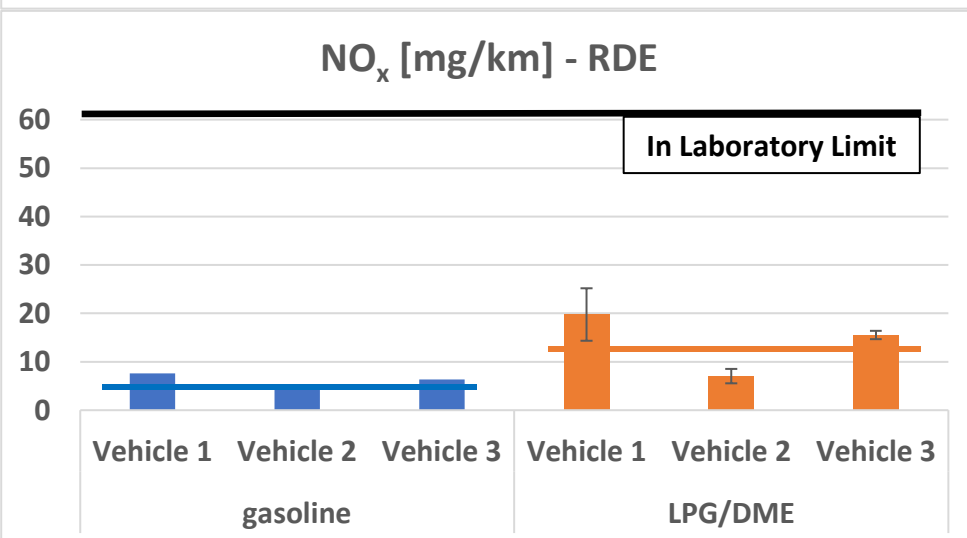
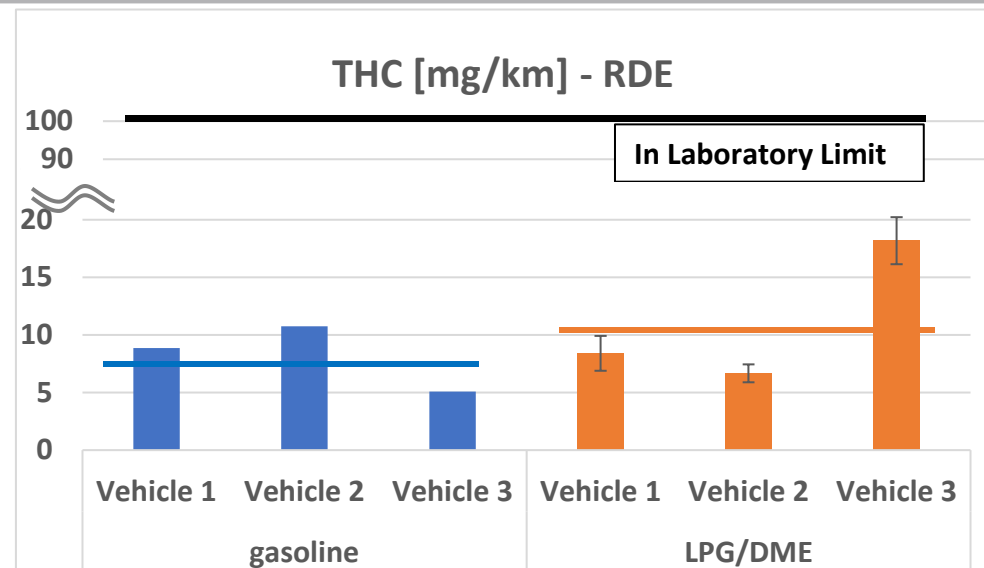
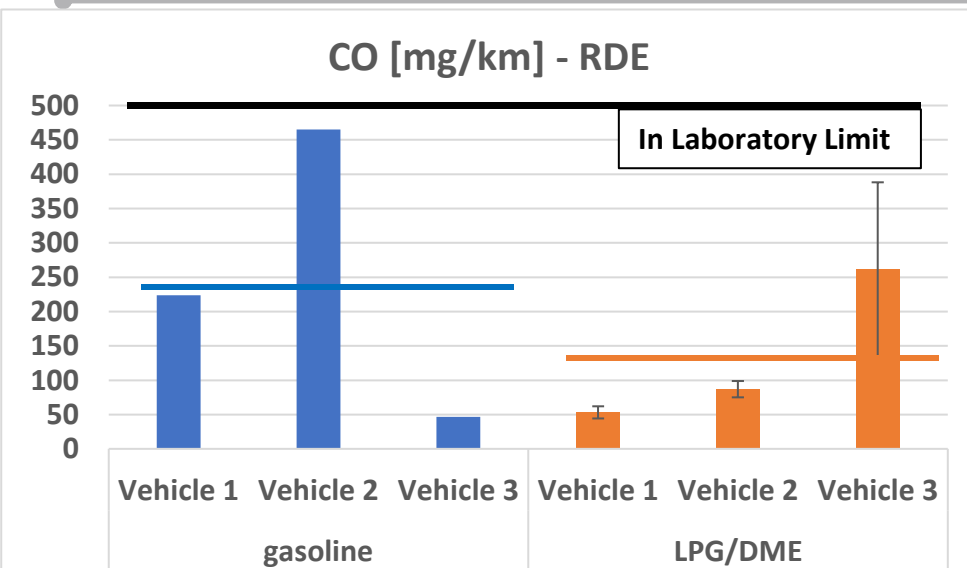


- Emissioni di PM **significativamente** inferiori al limite Euro 6 e alla proposta Euro 7
- Le emissioni di PN mostrano una **diminuzione** quando si passa dall'alimentazione a benzina a quella a GPL/DME



Test RDE: tutti i limiti rispettati. Aumento di THC e NO_x, riduzione di CO e PN

innovazione e ricerca



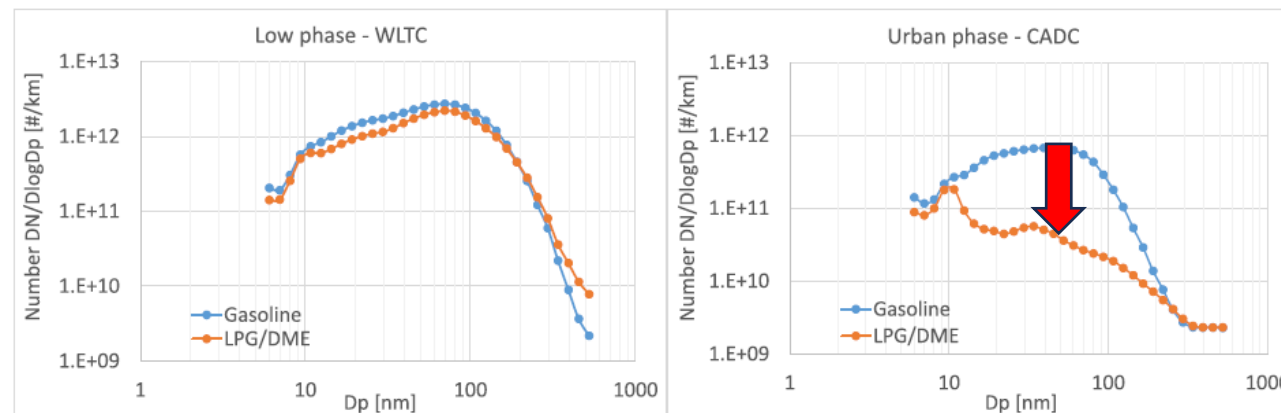


Fig. 10. Particle size distribution as an average for all testing vehicles, for each fueling, over the WLTC cold start phase on the left and over the CADC Urban hot-start phase on the right.

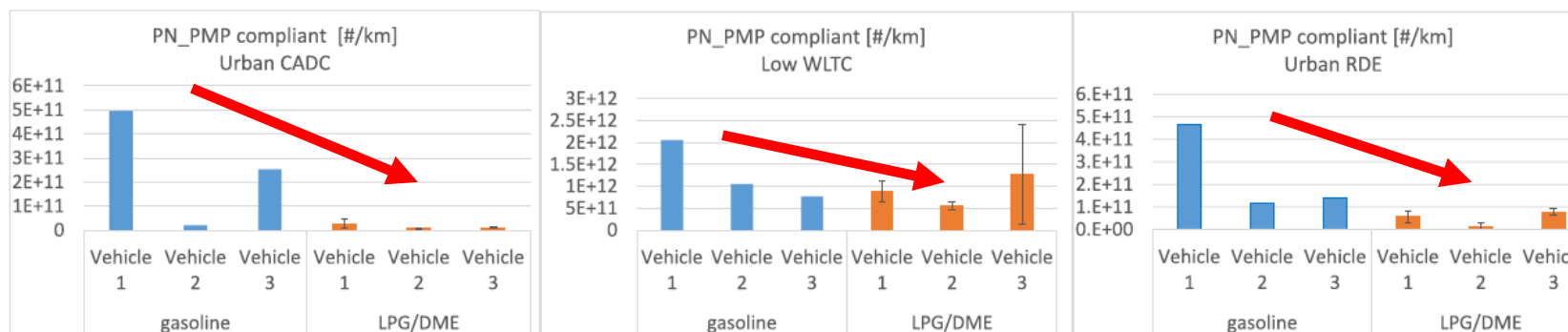


Fig. 11. PN emission results associated with gasoline and LPG/DME feeding detected over the Urban phase of CADC, the Low phase of WLTC, and the Urban phase of RDE tests from left to right, respectively.

WP3: Life cycle assessment of passenger cars fed with a blend of LPG, bio-LPG, and renewable DME, and comparison with conventional and electric passenger cars

Author(s): Stefano Puricelli^{*1}, Michelle Eid¹, Simone Casadei², Mario Grosso¹, Giovanni Lonati¹, Lucia Rigamonti¹, Stefano Cernuschi¹

SIDISA 2024

XII International Symposium on Environmental Engineering
Palermo, Italy, October 1 – 4, 2024

Table 1. Percentage differences in impacts compared to the petrol car scenario.

Impact category	SI engine with LPG + bio-LPG + rDME* (B segment)	Electric motor (B segment)	SI engine with LPG + bio-LPG + rDME* (C segment)	Electric motor (C segment)
Acidification	+5%	+55%	+10%	+50%
Climate change	-21%	-36%	-16%	-38%
Ecotoxicity, freshwater	-36%	-27%	-34%	-29%
Particulate matter	-5%	-1%	-3%	-4%
Eutrophication, marine	+8%	+45%	+17%	+39%
Eutrophication, freshwater	+13%	+122%	+14%	+113%
Eutrophication, terrestrial	+8%	+31%	+19%	+26%
Human toxicity, cancer	+1%	+44%	+3%	+40%
Human toxicity, non-cancer	+2%	+141%	+3%	+135%
Ionising radiation	+8%	+170%	+9%	+155%
Land use	-0.5%	+31%	+0.4%	+25%
Ozone depletion	-27%	-32%	-24%	-35%
Photochemical ozone formation	-33%	-37%	-23%	-33%
Resource use, fossils	-18%	-31%	-13%	-33%
Resource use, minerals and metals	+7%	+134%	+8%	+120%
Water use	+372%	+236%	+394%	+219%

* The results of the sub-scenarios involving the use of the three different types of rDME have been averaged.

Submissions a:

- **Clean Technologies and Environmental Policy (IF 4.2)**
"Well-to-Wheel analysis of passenger cars fuelled with a blend of LPG, bio-LPG, and renewable DME"
- **Journal of Cleaner Production (IF 9.8)**
"Life cycle assessment of a partially renewable blend for bi-fuel passenger cars and comparison with petrol and battery electric cars"
- L'innovativa miscela di GPL, bio-GPL e DME rinnovabile riduce l'impatto di un'auto a benzina sul cambiamento climatico dal 16% al 21%. **La miscela è adatta per ridurre le emissioni climalteranti della flotta di ICEV**
- Il numero di categorie di impatto in cui la miscela è migliore di benzina ed energia elettrica è superiore al numero in cui è peggiore. **Considerando tutte le categorie di impatto, la miscela nel complesso si comporta meglio di benzina ed energia elettrica**
- La miscela causa impatti maggiori di un'auto elettrica sul cambiamento climatico, ma una miscela di 80% bio-LPG e 20% DME rinnovabile causerebbe impatti minori. **Una miscela totalmente rinnovabile sarebbe in grado di competere con le attuali auto elettriche**

- **Verso la decarbonizzazione del GPL:** la ricerca ha valutato un'innovativa miscela di carburante costituita da GPL (compreso il bio-propano) e etere dimetilico rinnovabile (rDME) con un **20% di DME e 80% di propano conforme alla specifica EN 589**, compatibile con i componenti del motore e **testata su 3 autovetture Euro 6d bi-carburante GPL/benzina** vs alimentazione benzina.
- Con la miscela innovativa, tutti i limiti di emissione degli inquinanti regolamentati sono rispettati **sia in laboratorio (WLTC) che su strada (RDE con PEMS)**. **In laboratorio i limiti Euro 7 saranno facilmente rispettati (lo sarebbero stati anche nell'ipotesi severa Euro 7).**
- Confermata anche con GPL/DME - miscela 80%/20% la riduzione di emissioni di particelle e **CO₂ eq. (-10÷-15%) vs alimentazione benzina**, sia in laboratorio che su strada.
- L'utilizzo di questa innovativa miscela ha comportato anche una **diminuzione del consumo energetico, fino al -4% in laboratorio e -8% su strada**, anche se è stato rilevato un aumento di consumo di combustibile.
- L'analisi LCA Cradle-to-grave, in via di pubblicazione peer-reviewed da parte del Politecnico di Milano, sottolinea le **ottime potenzialità di decarbonizzazione della miscela**. Fondamentale per il suo utilizzo e la sua diffusione sarà la disponibilità in quantità sufficienti dei feedstock di 2^A e 3^A generazione.



Grazie per l'attenzione !

Simone Casadei



simone.casadei@mi.camcom.it



+39 02 8515.3509



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA

innovazione e ricerca

Innovation is our tradition
