

POLITECNICO DI TORINO



Dal ciclo NEDC al WLTP: come colmare il “gap” tra valori di omologazione e emissioni reali di CO₂

Federico Millo, Claudio Cubito, Luciano Rolando

e³ - Engines, Energy and Environment

<http://www.polito.it/engines>



e³ - Engines, Energy and Environment

<http://www.polito.it/engines>



Mission:

the research activities of the **e³** group are focused on the efficient use of **energy** from fossil and biofuels by means of internal combustion **engines** in order to minimize their carbon dioxide and pollutants emissions, preserving our **environment**.

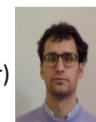
Permanent staff:

- Federico MILLO (Associate Professor)



Temporary staff:

- Luciano ROLANDO (Post Doc)
- Alessandro ZANELLI (Research Engineer)



PhD students:

- Rocco FUSO



- Claudio CUBITO



- Mahsa RAFIGH



- Mohsen MIRZAEIAN



- Giulio BOCCARDO



- Andrea PIANO



- Sabino CAPUTO



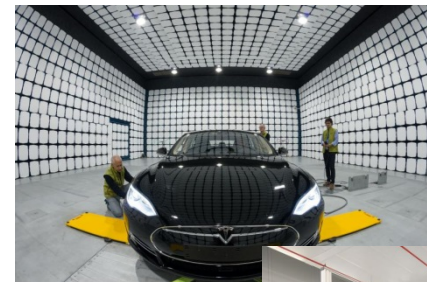
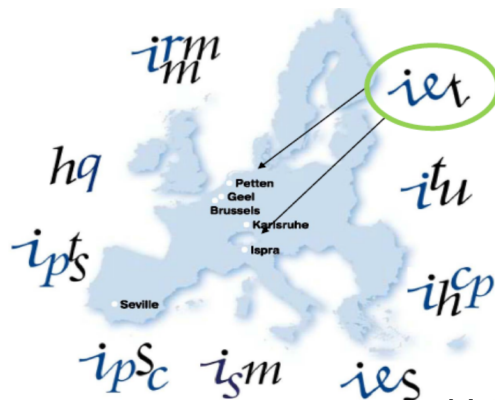
- Daniele PORCU



- Pranav ARYA



Questo lavoro è svolto in collaborazione tra il **Politecnico di Torino – Dipartimento Energia** e il **Joint Research Centre/Institute (JRC) for Energy and Transport** della Commissione Europea con lo scopo di determinare l'impatto delle nuove procedure di omologazione sulle emissioni di CO₂ da autoveicoli, e di contribuire a colmare il «gap» tra valori di omologazione ed emissioni reali, al fine di rendere pienamente efficaci le misure adottate per il contenimento delle emissioni di gas serra.



Vehicle Emissions Laboratory (VELA) - JRC

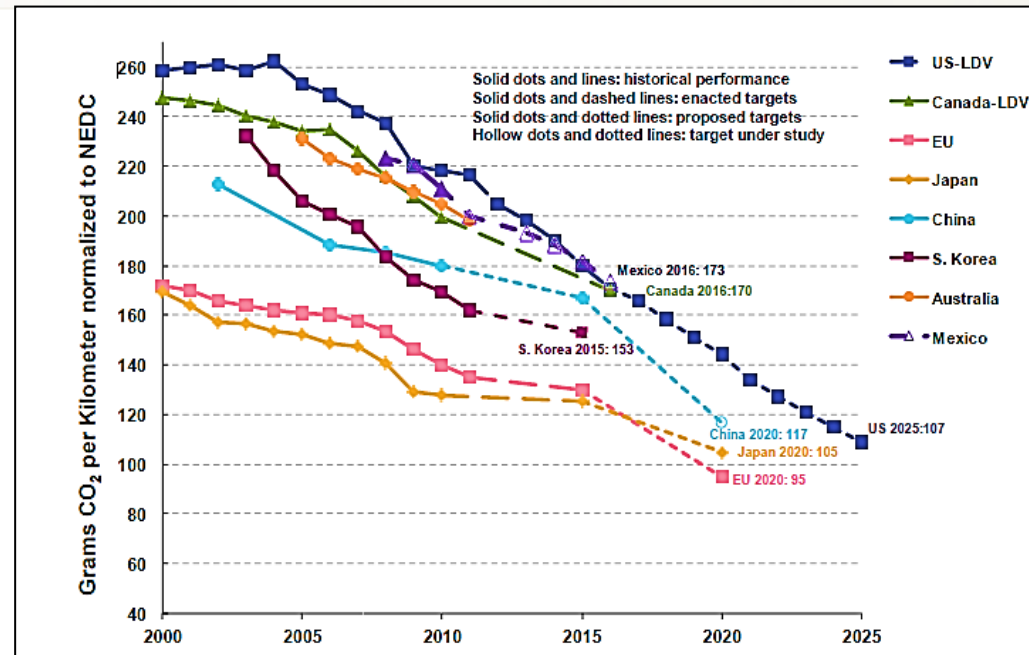
Indice

- 1. Introduzione***
- 2. Attività Sperimentale***
- 3. Hybrid Meta-Model***
- 4. Conclusioni***

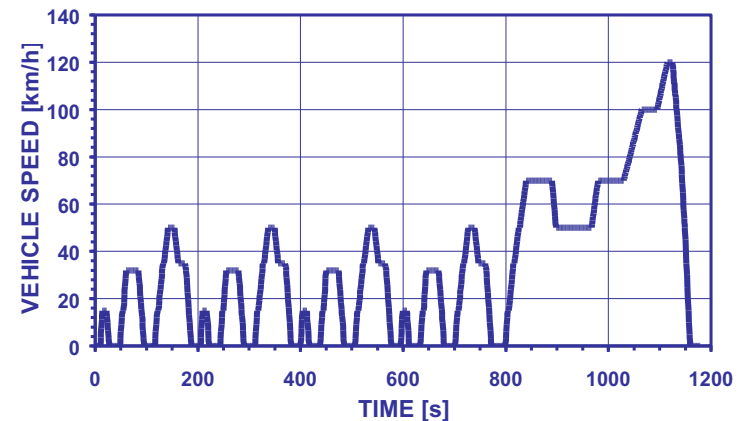
Indice

- 1. Introduzione***
- 2. Attività Sperimentale*
- 3. Hybrid Meta-Model*
- 4. Conclusioni*

- La Normativa Europea fissa per i costruttori di autovetture come target di flotta per le emissioni di CO₂ un valore di 95 g/km da raggiungere entro il 2020.
- Questo target è definito sulla base di test effettuati su banco a rulli lungo il ciclo **NEDC (New European Driving Cycle)**.
- Numerosi studi hanno dimostrato lo scarso realismo dei test effettuati in laboratorio seguendo il ciclo NEDC, in quanto poco rappresentativi delle condizioni reali di guida.



Storico delle emissioni di CO₂ e standard attuali (Fonte: ICCT)



NEDC – New European Driving Cycle

«GAP» tra valori reali e dati omologativi

Di conseguenza, a fronte di riduzioni dei valori di omologazione in linea con gli obiettivi, le emissioni reali di CO₂ delle autovetture sono rimaste sostanzialmente costanti, con un significativo aumento della divergenza tra valori reali e dati omologativi.

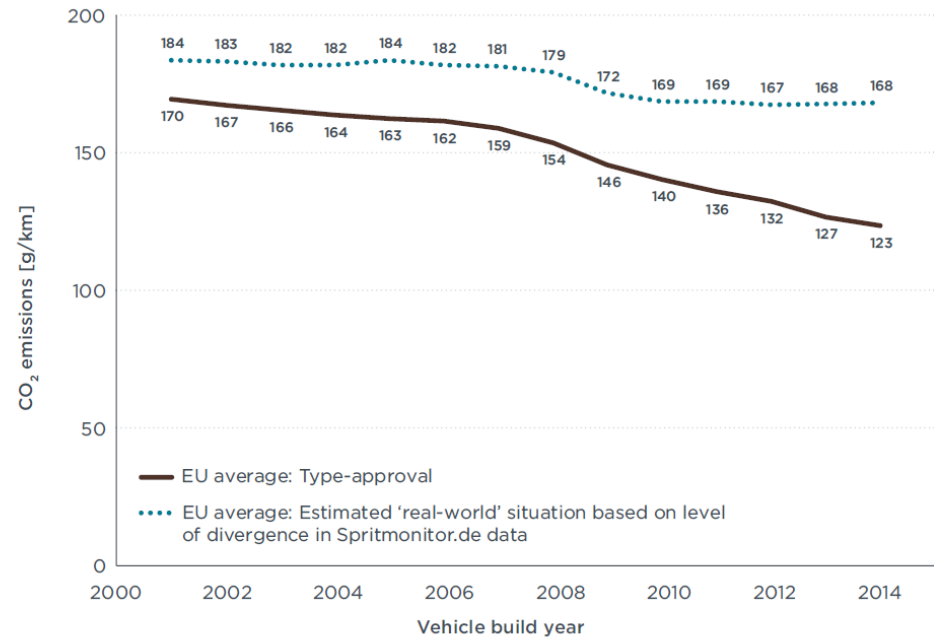


Figure 30. 2001–2014 real-world vs. type-approval CO₂ emissions based on Spritmonitor.de estimates and type-approval data from the European Environment Agency (European Environment Agency, 2014; European Environment Agency, 2015)⁴³.

Fonte: ICCT « FROM LABORATORY TO ROAD : 2015 UPDATE »

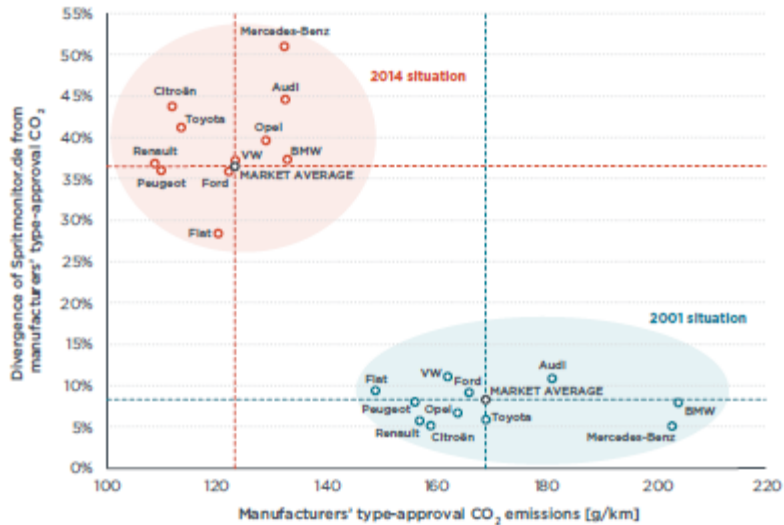
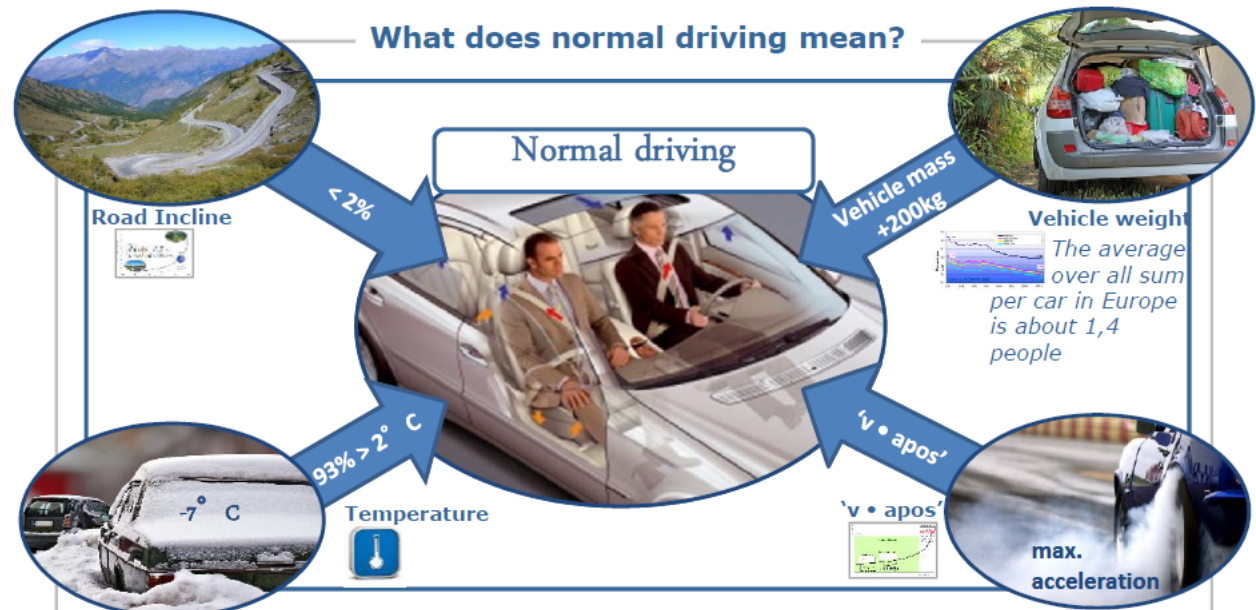


Figure 32. Type-approval CO₂ emission values and the corresponding divergence from Spritmonitor.de for selected brands/manufacturers in 2001 and 2014.

Type approval values and «real drive» emissions

The lack of correlation with the “real world” operating conditions, can be attributed to:

1. “real world” driving, which is definitely more “dynamic” than the NEDC (i.e. show higher vehicle accelerations/decelerations due to more aggressive drivers’ behaviors and different traffic conditions);
2. “real world” vehicle mass which is generally higher than type approval;
3. road incline;
4. environmental conditions



- The scope of RDE testing must be defined on a legal basis so that it results in the same stringency of RDE test for all OEMs and such that testing by 3rd parties are within reasonable boundaries.
- This has to be defined by clear unambiguous boundary conditions

Con l'obiettivo di colmare il divario tra dati omologativi ed emissioni reali a partire dal 2007 un gruppo di lavoro sotto l'egida delle Nazioni Unite ha sviluppato una nuova procedura di prova, nota come **Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP)**, caratterizzata da uno stile di guida piu' dinamico e da valori di "road load" piu' rappresentativi delle condizioni reali, che sostituirà il ciclo NEDC a partire dal 2017.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Limits			Euro 6b			Euro 6d TEMP		Euro 6d			
Test Procedure	NEDC (Emissions)				WLTP (Emissions)						
	NEDC (CO ₂)				WLTP (CO ₂)*						
					WLTP (CO ₂)**						
RDE					April RDE (monitoring)	RDE (CF=2.1)		RDE (CF=1.5)			
					PN RDE (CF=tbid)		PN RDE (stringent CF=tbid)				
CO ₂ Limits	Phase-in of 130 g/km			130 g/km			Phase-in 95 g/km		95 g/km		

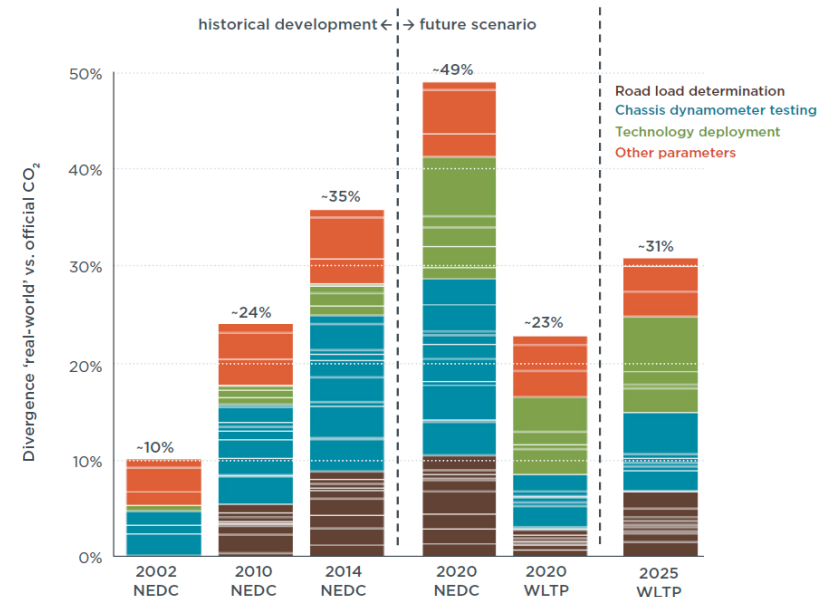
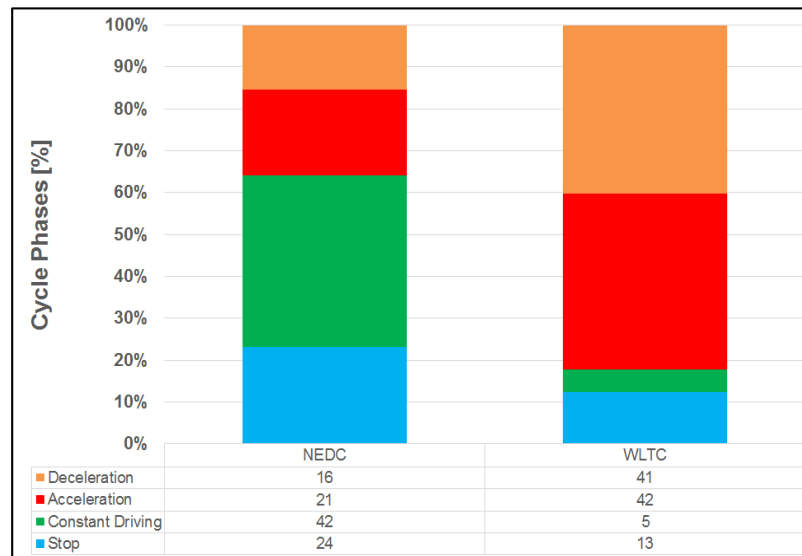
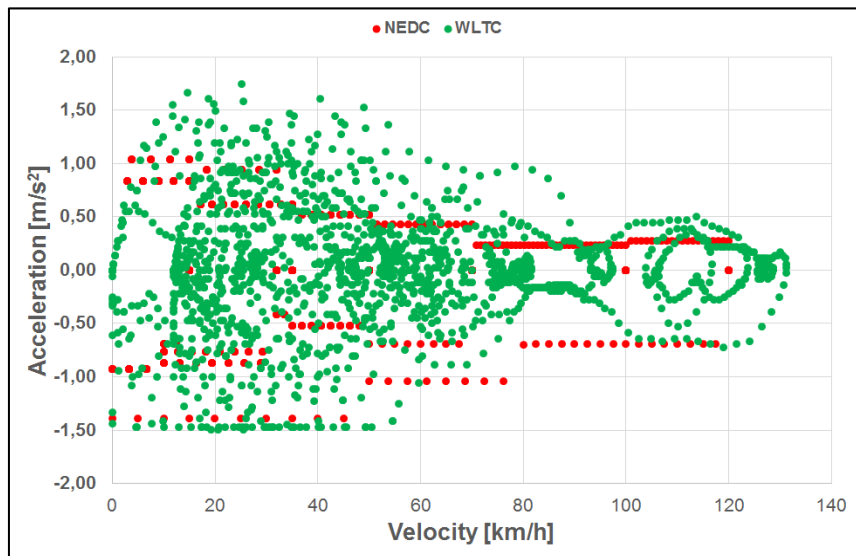
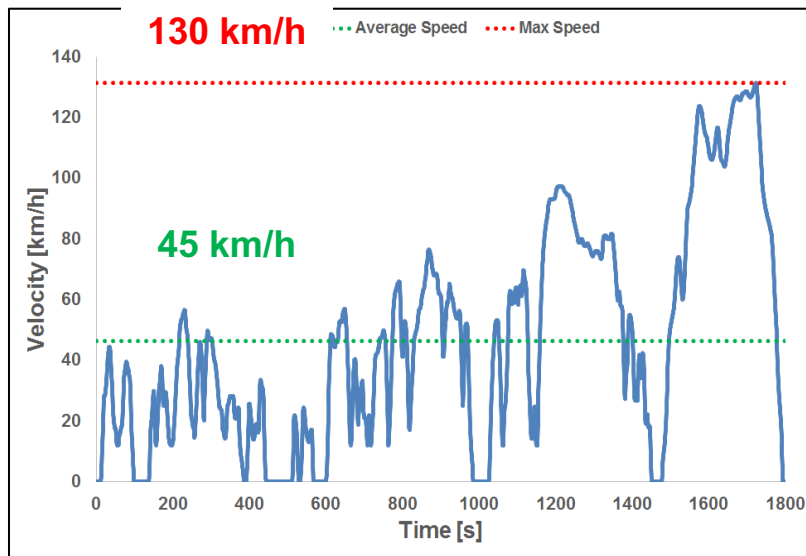
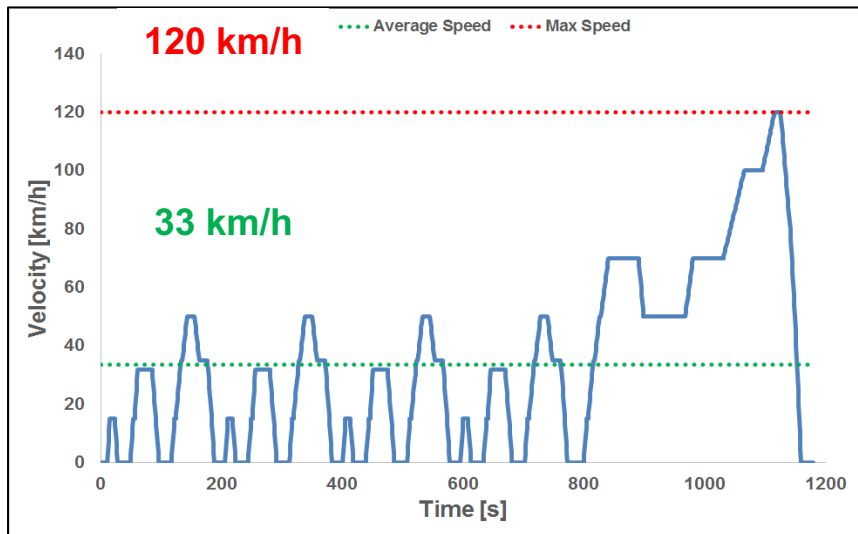


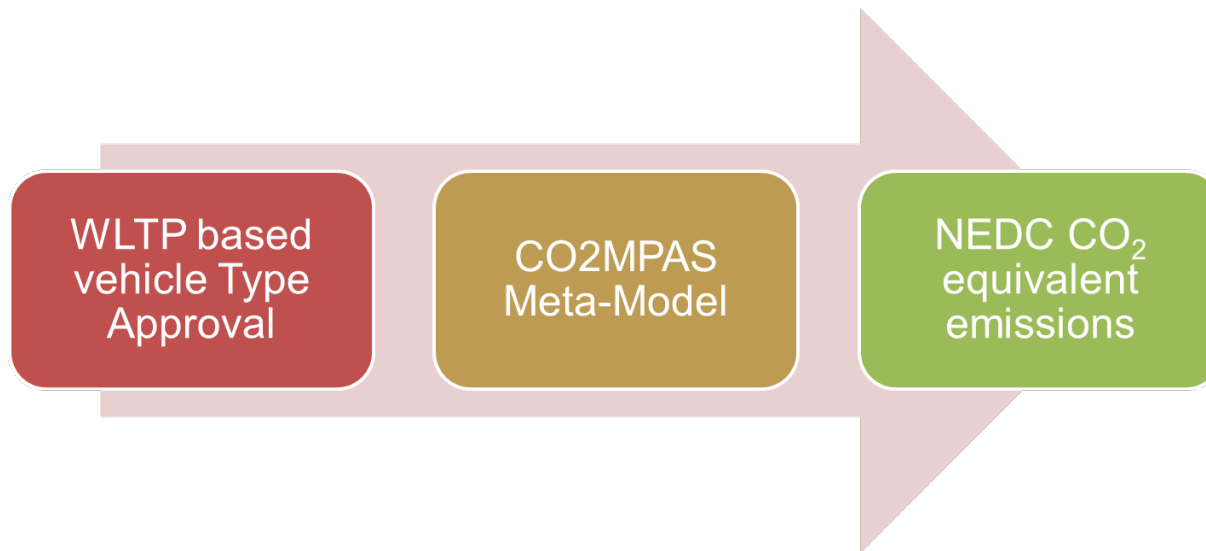
Figure 29: Estimate of the reasons for the divergence between type-approval and real-world CO₂ emission levels for new passenger cars in the past as well as in the future, with and without introduction of the WLTP (for details, see Stewart, Hope-Morley, Mock, & Tietge, 2015).

NEDC vs. WLTP



L'introduzione del ciclo WLTP comporta la necessità di ridefinire gli obiettivi in termini di emissioni di CO₂ originariamente stabiliti sulla base del ciclo NEDC (ad es. 95 g/km entro il 2020).

Nel periodo 2017-2020 le misurazioni delle emissioni di CO₂ eseguite secondo il ciclo **WLTP** verranno correlate con i corrispettivi valori su **NEDC** utilizzando il modello **CO2MPAS** (CO₂ Model for Passenger and commercial vehicles Simulation) sviluppato dal **Joint Research Centre**.



L'attività di collaborazione tra il **Politecnico di Torino** e il **Joint Research Centre** ha lo scopo di estendere le capacità predittive del modello **CO2MPASS** alle vetture ibride (HEV) ed ibride plug-in (p-HEV), per le quali le divergenze attese sono particolarmente elevate.

Il modello deve garantire un buon grado di accuratezza sulla determinazione delle emissioni di CO₂ disponendo esclusivamente delle prove sperimentali eseguite lungo il ciclo WLTP indipendentemente dall'architettura del sistema di propulsione del veicolo.

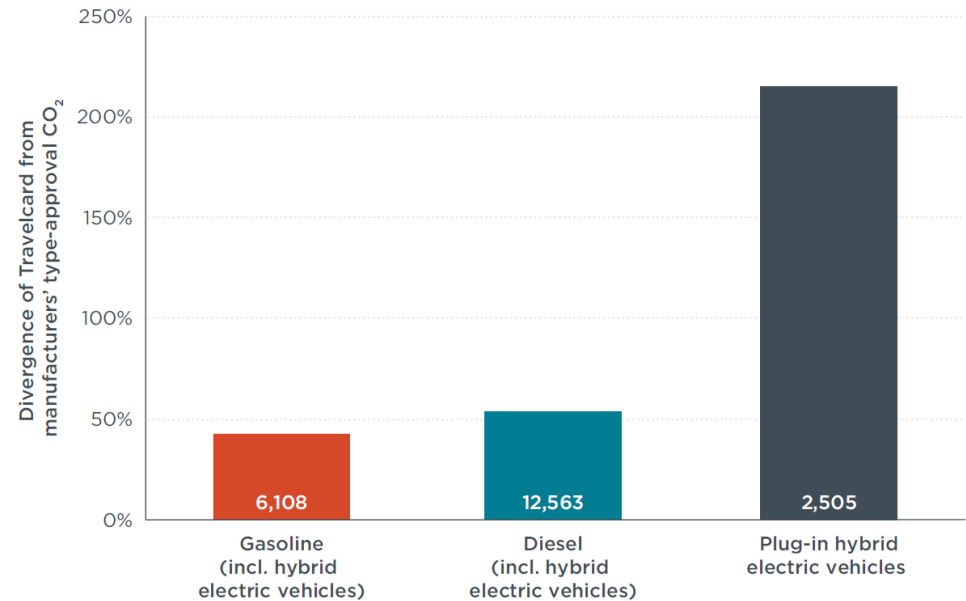


Figure 12. Divergence of Travelcard data from manufacturers' type-approval CO₂ emissions for 2014 comparing gasoline and diesel vehicles to plug-in hybrid electric vehicles. Number of Travelcard vehicles per category presented at the base of each bar.

(Fonte: ICCT)

Indice

- 1. Introduzione*
- 2. Attività Sperimentale***
- 3. Hybrid Meta-Model*
- 4. Conclusioni*

Scopo dell'attività sperimentale è quello di analizzare l'impatto del nuovo ciclo di omologazione sulle emissioni di CO₂ per differenti veicoli, al fine di consentire una valutazione della capacità predittiva del modello CO2MPASS.

A titolo di esempio sono riportate nel seguito alcune delle analisi effettuate sulle vetture seguenti:

- Una vettura del **segmento B** equipaggiata con un **motore Benzina 1.4L**
- Una vettura del **segmento C** combinata ad un **motore Diesel 1.6L**
- Una vettura del **segmento C Plug-In Hybrid (PHEV)** con un motore a combustione **1.4L Benzina**

	Vettura 1 (Gasoline)	Vettura 2 (Diesel)	Vettura 3 (PHEV)
Massa a Vuoto	1025 kg	1400 kg	1490 kg
Massa a Pieno Carico	1575 kg	2075 kg	2020 kg
Motore	4 Cilindri in Linea ad accensione comandata aspirato 8 V Euro 5	4 Cilindri in Linea ad accensione per compressione con turbocompressore 16 V Euro 5	4 Cilindri in Linea ad Accensione comandata sovralimentato 16 V Euro 6
Architettura Ibrida	-	-	Flywheel Alternator Starter (FAS)
Potenza Macchina Elettrica	-	-	70 kW
Cilindrata	1400 cm ³	1600 cm ³	1400 cm ³
Coppia Max	115 Nm @ 3250 rpm	320 Nm @ 2250 rpm	250 Nm @ 1600-3500 rpm
Potenza Max	70 CV @ 6000 rpm	135 CV @ 3500 rpm	150 CV @ 5000-6000 rpm
Trasmissione	Manuale a 5 rapporti	Manuale a 6 rapporti	Doppia Frizione a 6 rapporti

Le vetture sono state testate utilizzando un banco a rulli lungo i cicli **NEDC** e **WLTP**.
Le condizioni di prova per i due cicli sono diverse, portando ad avere significative variazioni in termini di CO₂ poiché:

- La massa di prova per il ciclo **WLTP** (TM_H) è superiore a quella del ciclo **NEDC** (TM_{EU}) in quanto si deve considerare la massa degli «equipaggiamenti opzionali»

$$TM_{EU} = UM + 100$$

$$TM_H = UM + OM + 100 + 0,15 \cdot (LM - UM - OM - 100)$$

Dove **UM** è la massa a vuoto del veicolo, **OM** è la massa degli equipaggiamenti opzionali e **LM** è la massa a pieno carico del veicolo

- La prova su ciclo **WLTP** richiede per le vetture equipaggiate con una trasmissione manuale che il profilo di cambio marcia venga definito sulla base delle caratteristiche del veicolo (motore, trasmissione e road load), mentre per il ciclo **NEDC** il profilo è fisso con l'opzione della sesta marcia (qualora sia disponibile) sul tratto Extra-Urbano

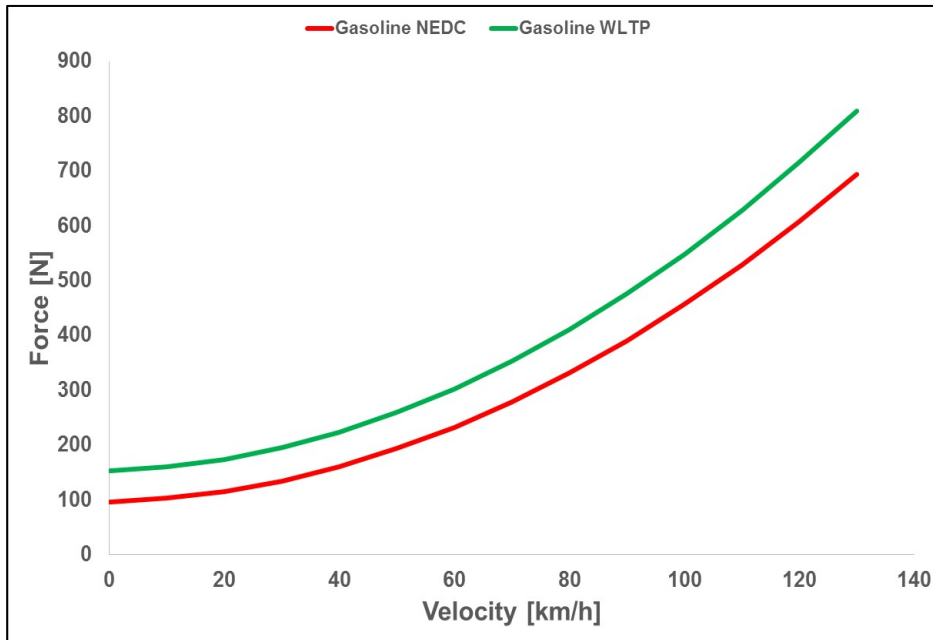
	NEDC	WLTP	Δ
Richiesta Energetica	101 Wh/km	146 Wh/km	44%
Efficienza Media del Motore	22%	26%	18%
Emissioni di CO₂	141 g/km	163 g/km	15%

Analisi Energetica/Emissioni di CO₂ della vettura 1 in condizioni di «partenza a freddo»

L'energia specifica richiesta per l'avanzamento del veicolo aumenta di oltre il 40% per due ragioni:

1. Aumento della massa di prova e dei Road Load
2. Maggiori accelerazioni del ciclo **WLTP**

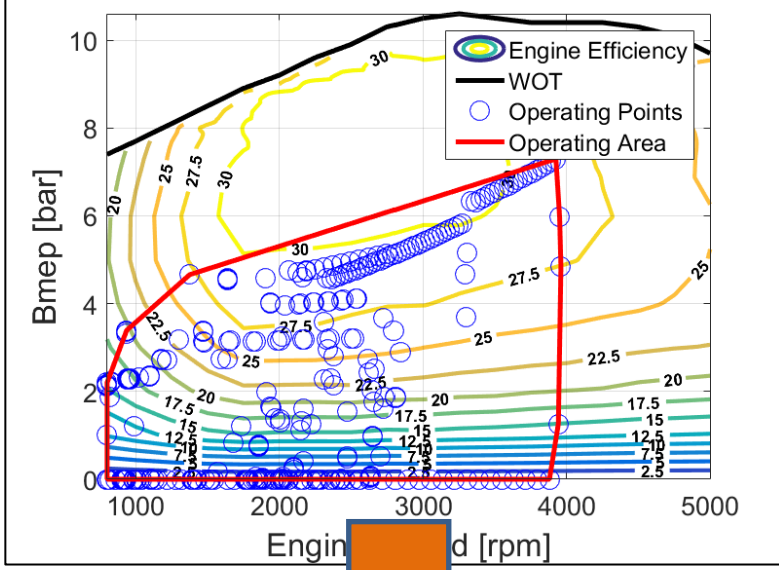
- **L'aumento delle emissioni di CO₂ è soltanto del 15%**



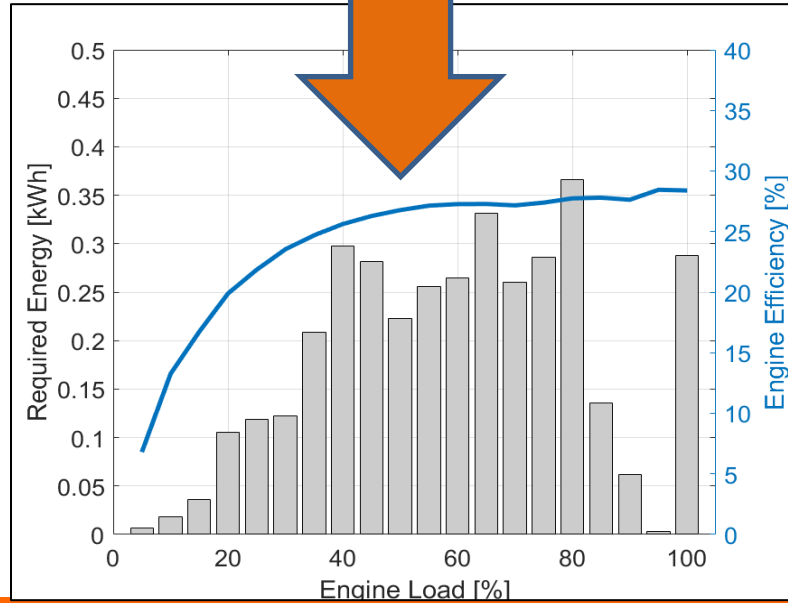
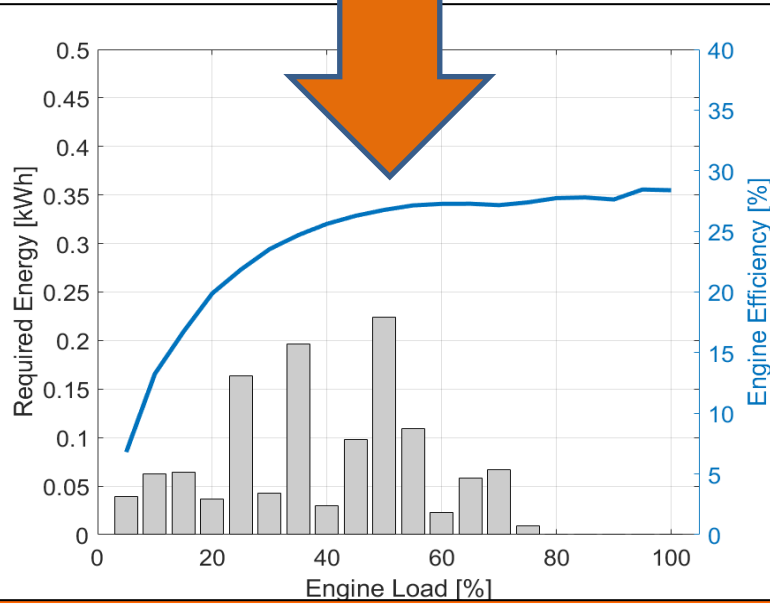
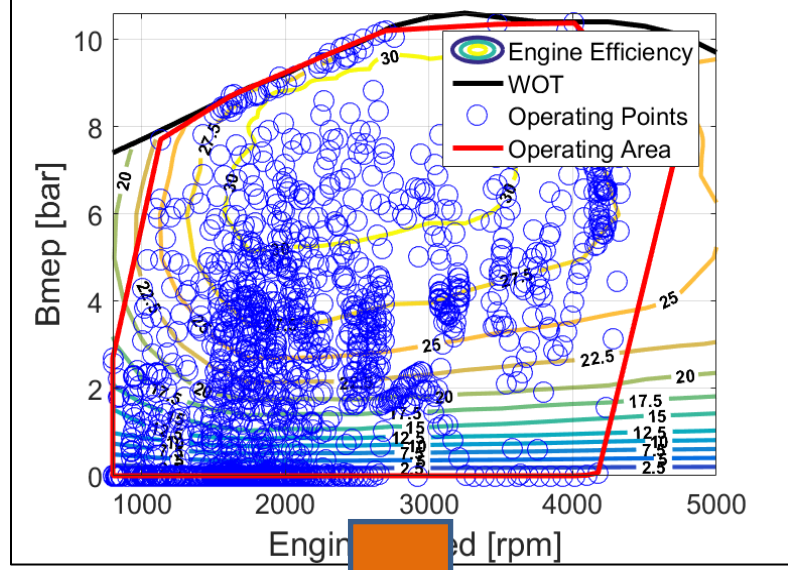
Variazione dei Road Load per la vettura 1



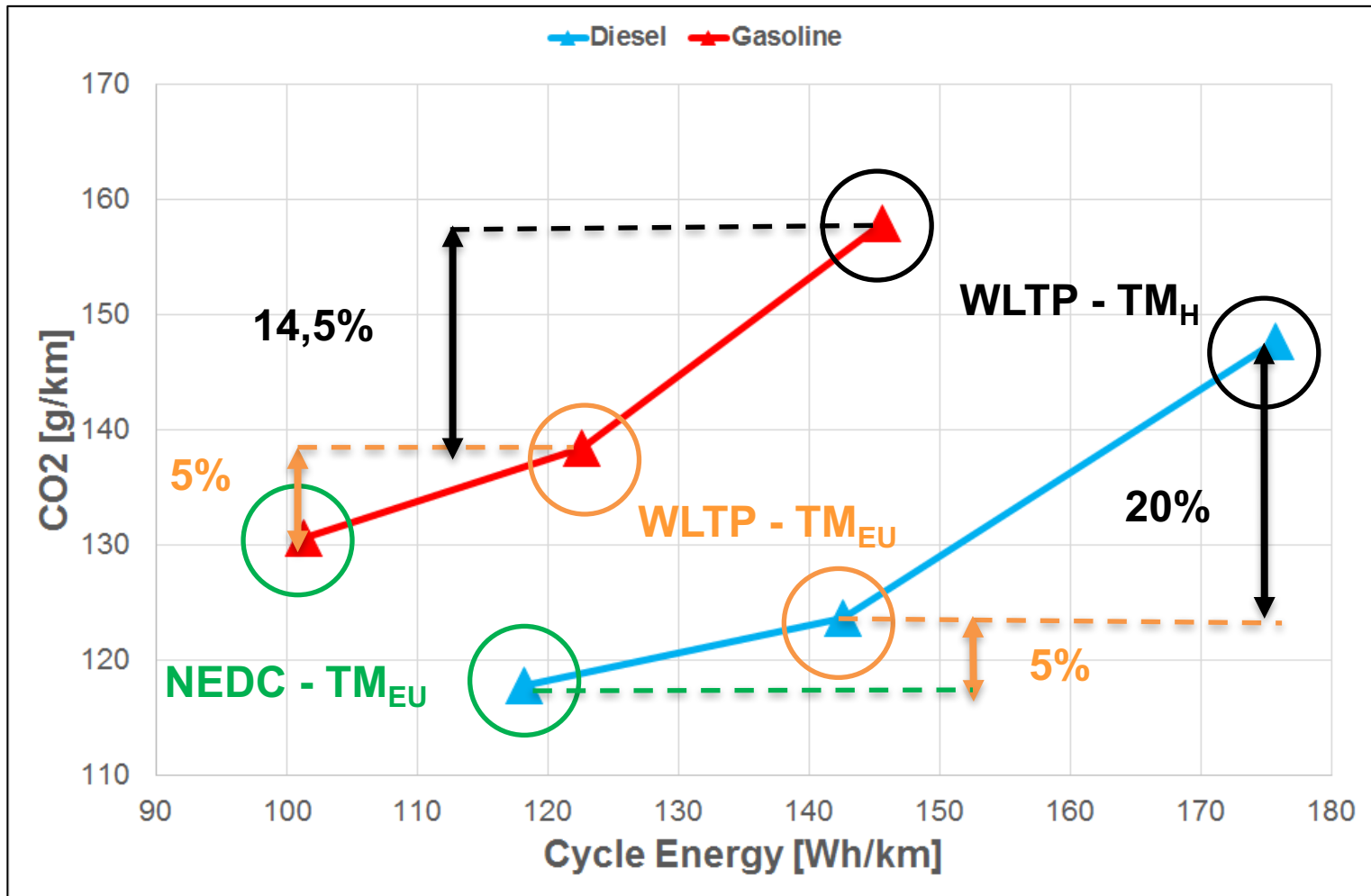
NEDC - Vettura 1



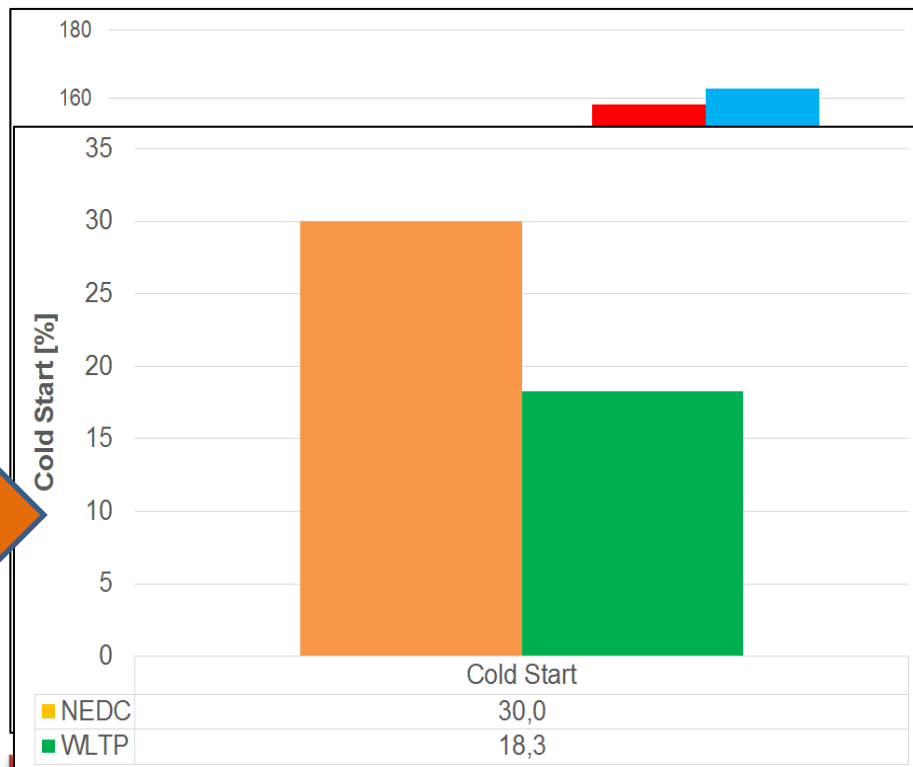
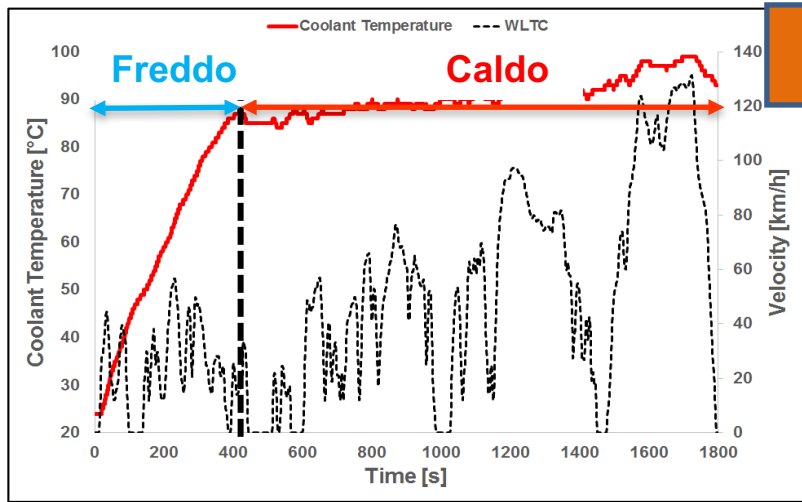
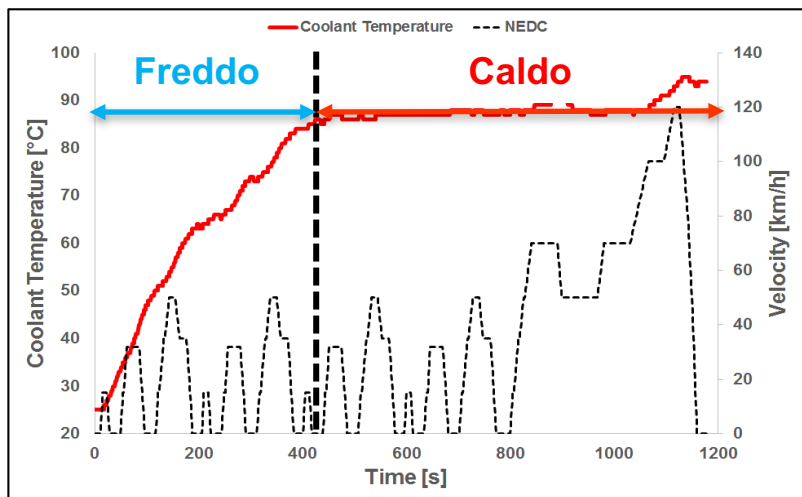
WLTP - Vettura 1



L'aumento delle emissioni di CO₂ è principalmente legato al cambiamento delle condizioni di prova (Massa e Road Load) piuttosto che al maggiore dinamismo del ciclo.

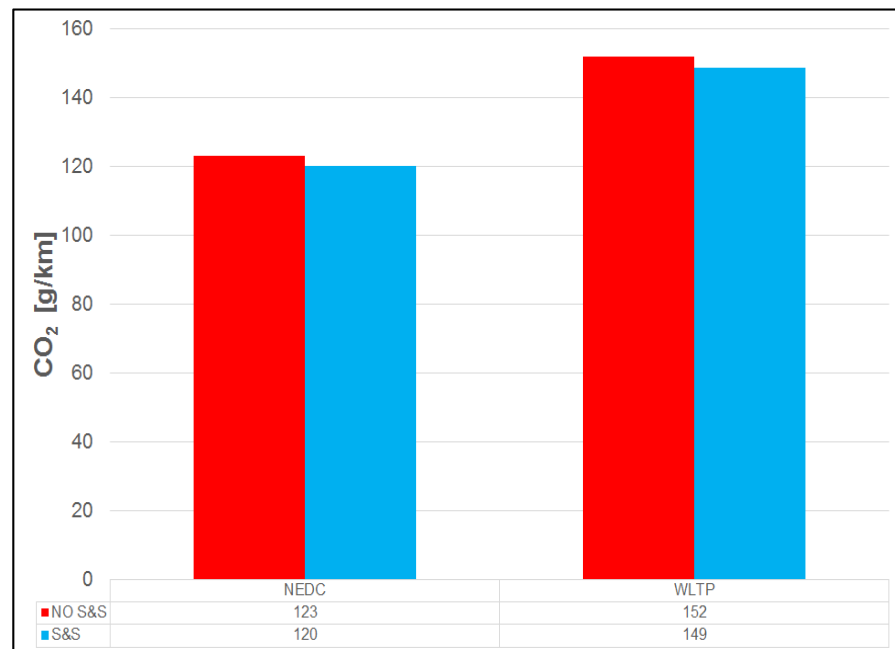
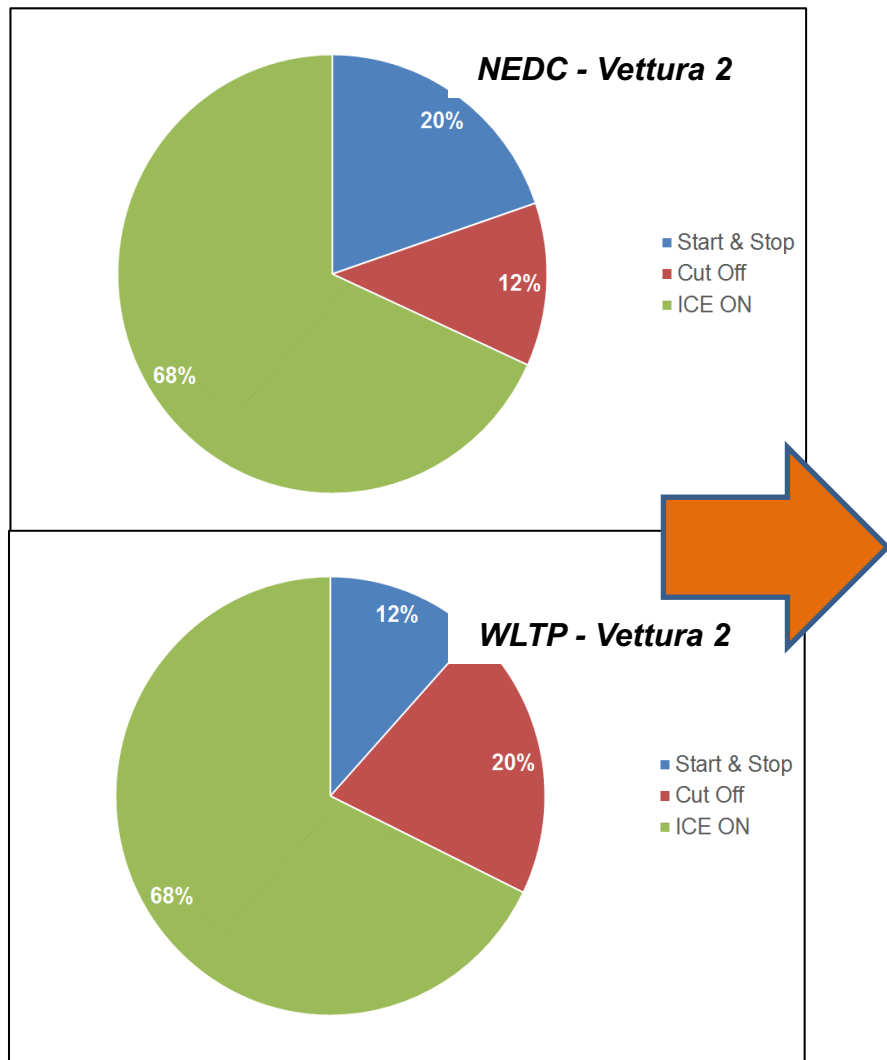


L'impatto della partenza a Freddo sulle emissioni di CO₂ lungo il ciclo WLTP è nettamente inferiore rispetto al ciclo NEDC, in quanto il maggior carico richiesto al motore porta ad un più rapido riscaldamento



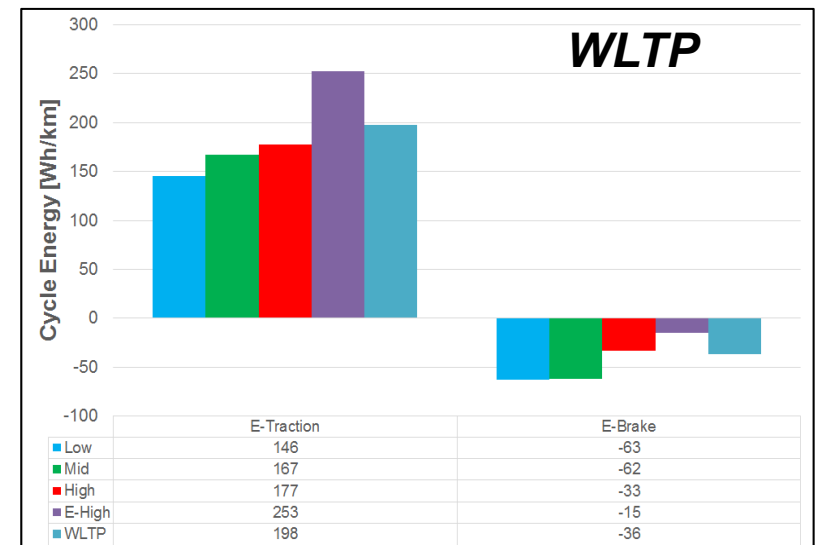
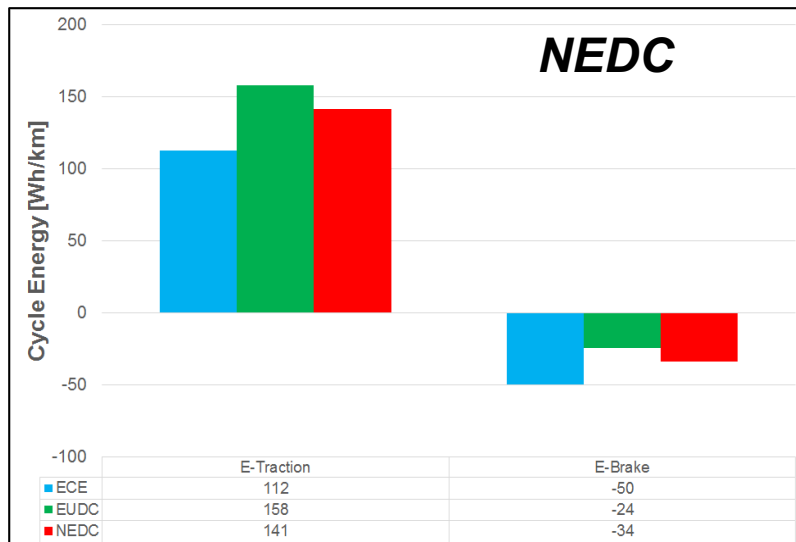
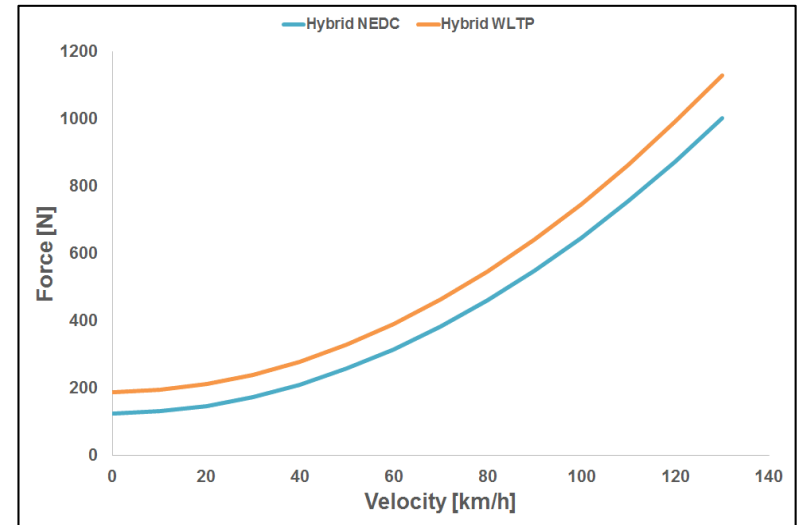
La partenza a freddo rappresenta in termini di tempo il 30% del ciclo NEDC, mentre per il WLTP è pari al 18%

L'efficacia dello Start & Stop lungo il ciclo WLTP diminuisce poiché il numero di stop è inferiore al ciclo NEDC



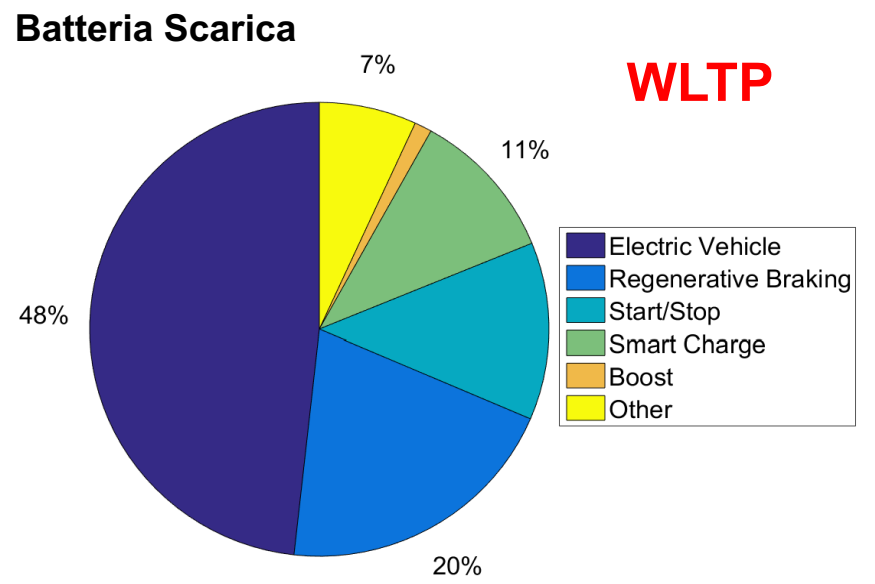
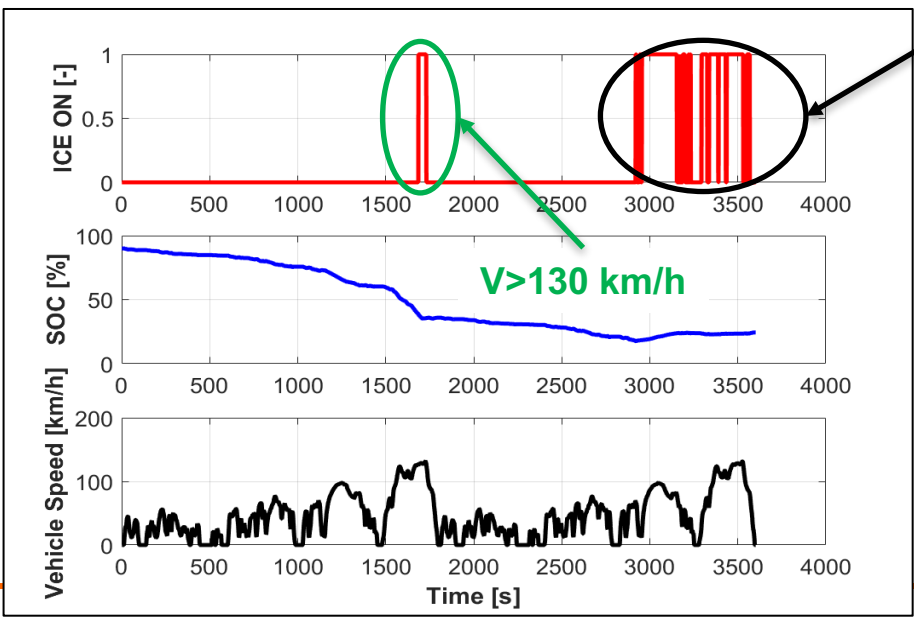
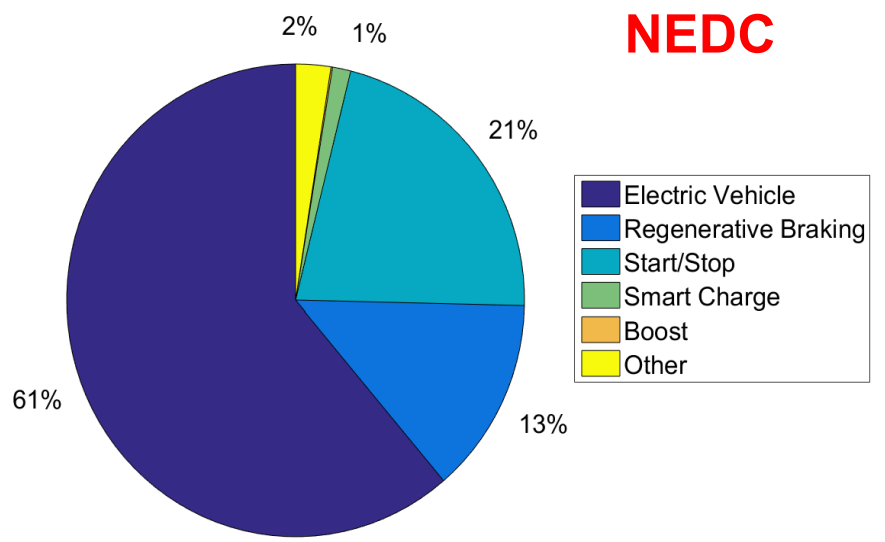
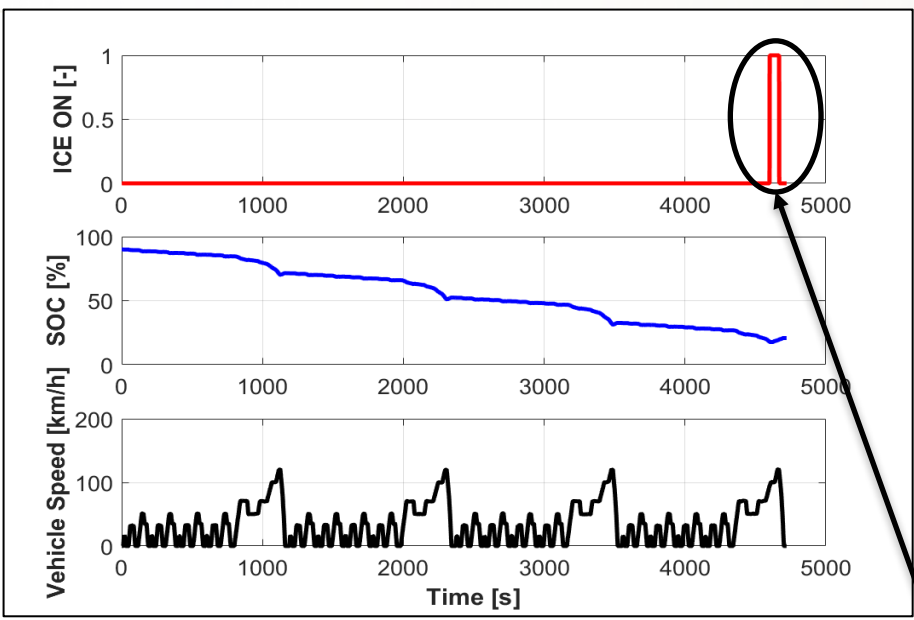
L'uso dello Start & Stop porta ad una riduzione del 4,5 % delle emissioni di CO₂ lungo il ciclo NEDC, mentre il risparmio per il WLTP è solo del 2,5%

- L'aumento di energia richiesta in fase di trazione è comparabile con i casi precedenti (+40%)
- L'energia richiesta lungo i tratti urbani (Low + Medium) aumenta del 45% andando ad incidere significativamente sul range elettrico del veicolo
- L'energia recuperabile in fase di frenata aumenta soltanto del 2%,

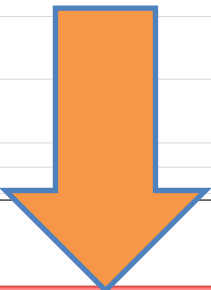
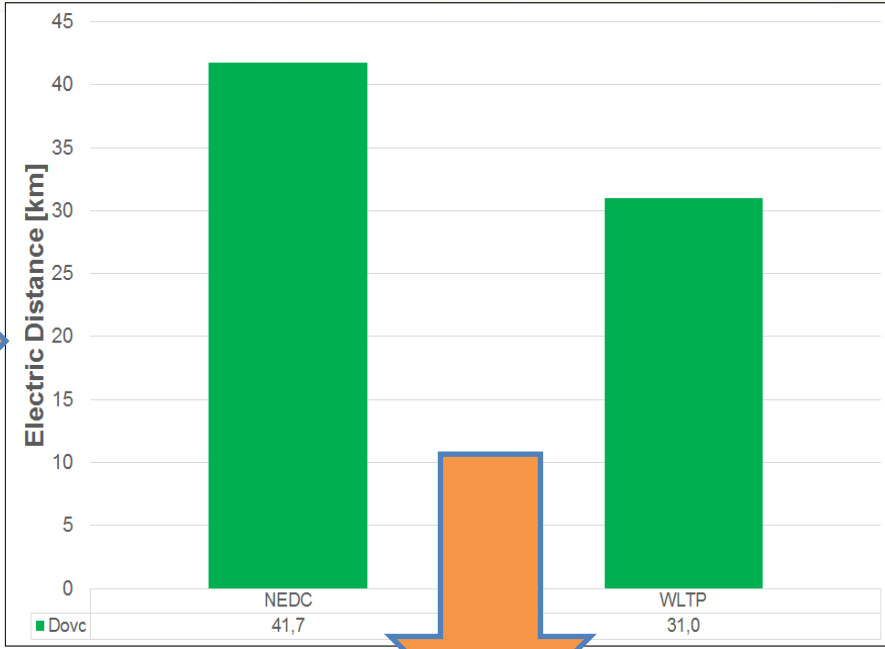
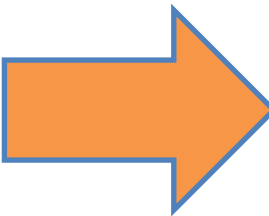




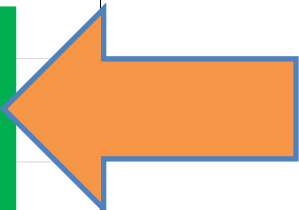
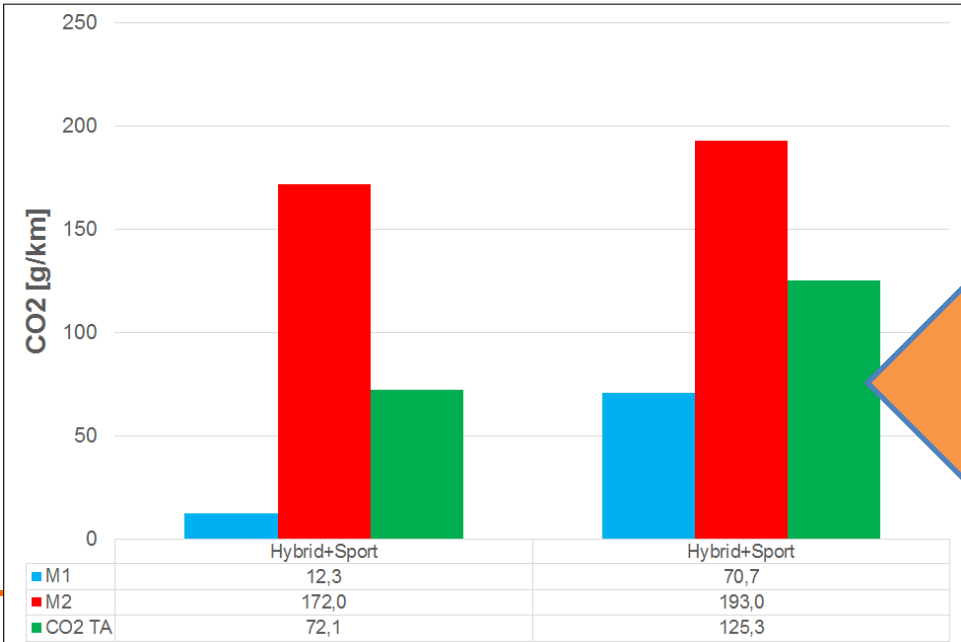
Batteria carica – Modalità di Funzionamento



Il significativo aumento della richiesta energetica lungo il ciclo WLTP (+40%) comporta una riduzione del range elettrico del 45%



La significativa riduzione del range elettrico combinata con l'aumento delle emissioni nelle condizioni A (batt. carica) e B (batteria scarica) portano ad avere un aumento delle emissioni di CO₂ del 73% secondo la procedura di omologazione

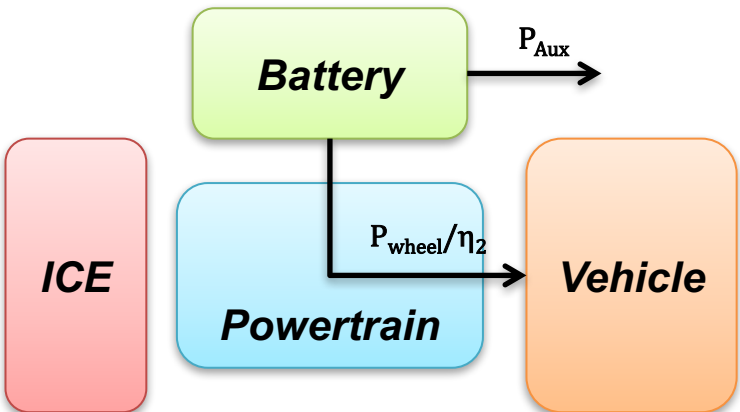


Indice

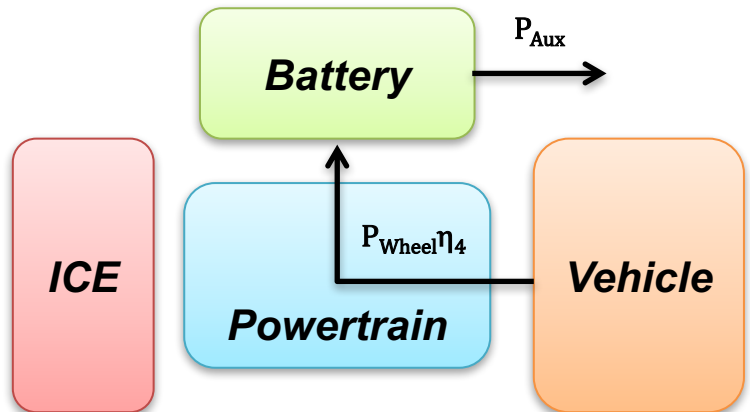
- 1. Introduzione*
- 2. Attività Sperimentale*
- 3. Hybrid Meta-Model***
- 4. Conclusioni*

Il Meta-Modello per le vetture HEV/PHEV deve identificare correttamente le differenti modalità di funzionamento del veicolo e valutare per ciascuna di esse il consumo di combustibile e di energia elettrica

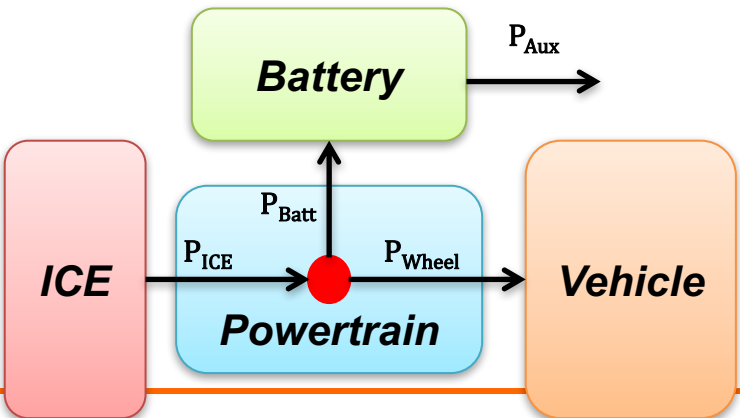
Electric Vehicle



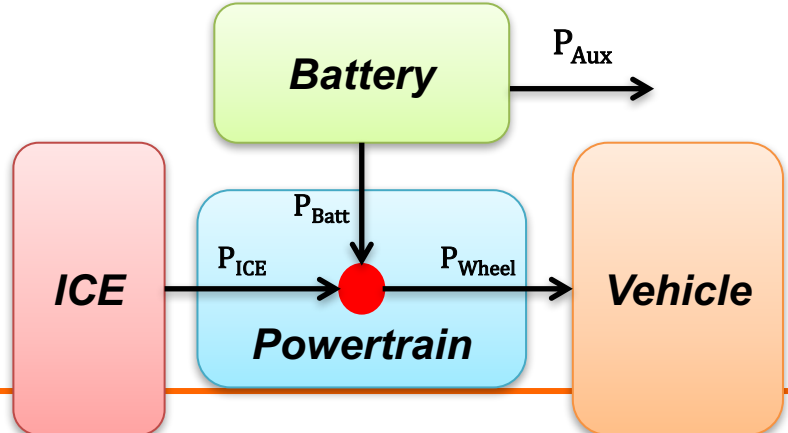
Regenerative Braking



Smart Charge



Electric Boost

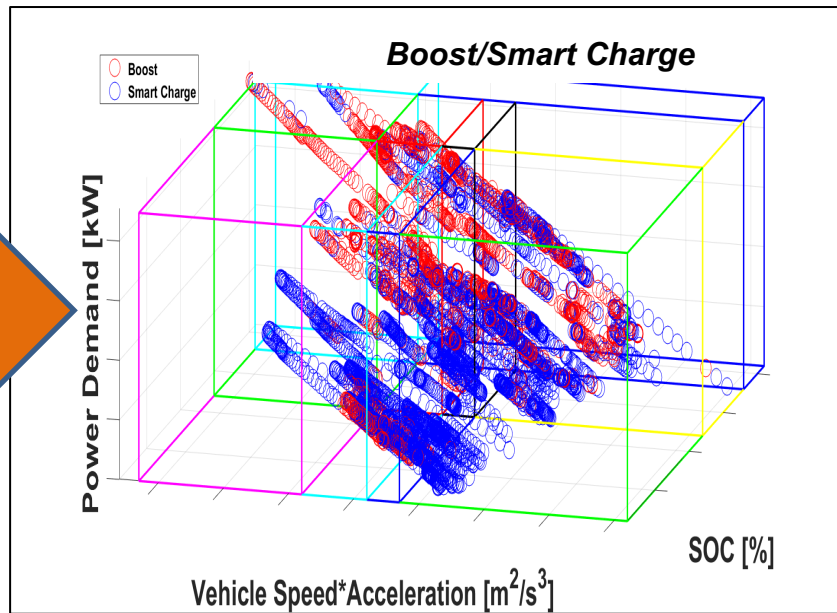
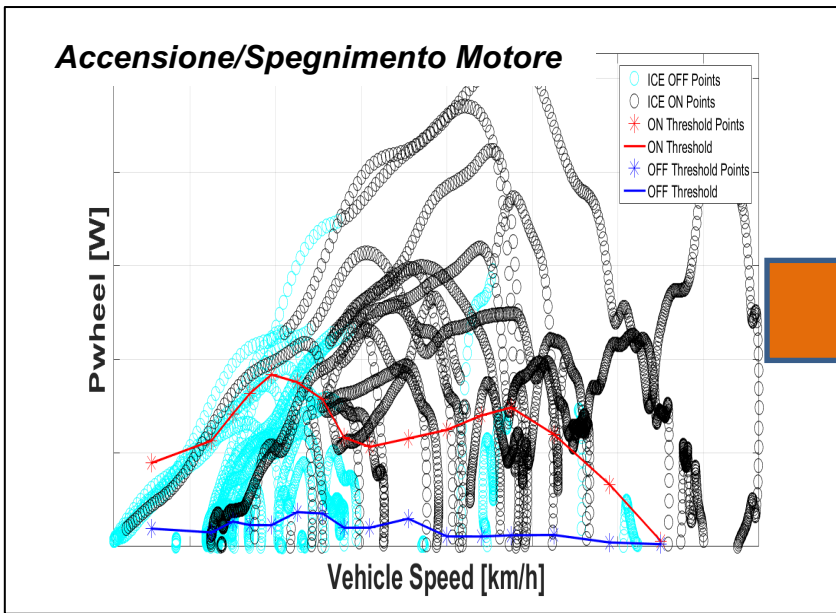


Il codice deve essere in grado di simulare:

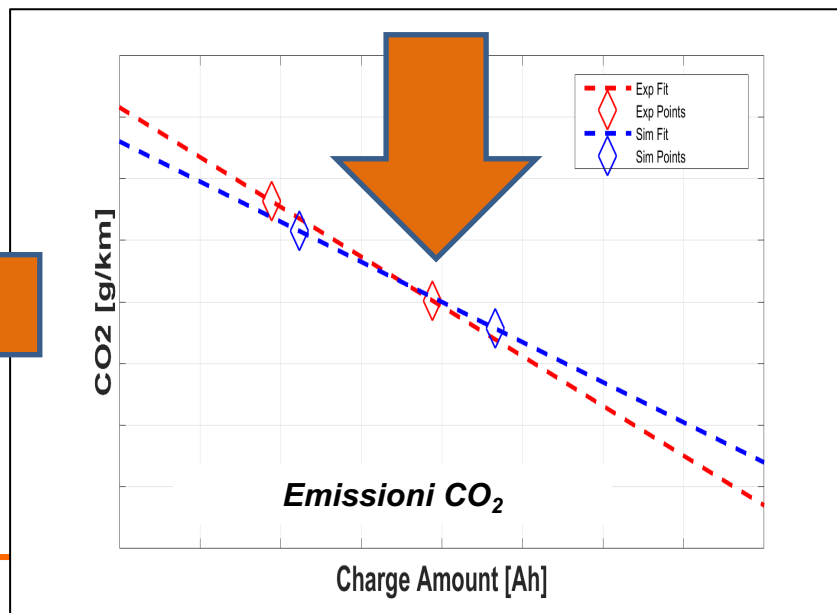
1. Accensione e spegnimento del motore a combustione in funzione dello Stato di Carica della batteria
2. Avviamento a freddo (durante questa fase funzioni come lo Start & Stop e il Cut-Off sono disabilitate)
3. Temperatura dell'acqua di raffreddamento
4. Efficienze del Powertrain (Motore + Batteria + Trasmissione) durante le fasi di trazione e rilascio
5. Energia assorbita/rilasciata dalla batteria durante le fasi di Smart Charge/Boost elettrico
6. Funzionamento del motore a combustione (velocità, potenza, coppia e emissioni di CO₂)

I dati necessari per la simulazione delle emissioni di CO₂ su ciclo NEDC delle vetture HEV/PHEV sono costituiti, oltre naturalmente alle caratteristiche del veicolo (Road Load e curva di massima potenza del motore a combustione) dai valori misurati su ciclo WLTP di :

1. Velocità veicolo
2. Velocità di rotazione del motore a combustione
3. Corrente/Tensione della batteria ad alta tensione
4. Temperatura dell'acqua di raffreddamento motore
5. Emissioni istantanee di CO₂



CO₂ Sperimentale	90 g/km
CO₂ Simulata	89,3 g/km
Errore	0,81%



Indice

- 1. Introduzione***
- 2. Attività Sperimentale***
- 3. Hybrid Meta-Model***
- 4. Conclusioni***

Confronto tra il ciclo NEDC e WLTP :

- La richiesta energetica del veicolo aumenta (maggiore dinamismo del ciclo combinato ad una maggiore massa di prova del veicolo)
- Nel caso delle vetture convenzionali il ciclo WLTP a causa dei carichi maggiori porta il motore a combustione a lavorare ad efficienze superiori rispetto al ciclo NEDC, contenendo l'aumento delle emissioni di CO₂
- L'influenza dello Start & Stop e dell'avviamento a freddo sul ciclo WLTP risulta limitata rispetto al ciclo NEDC
- La maggiore severità delle nuove condizioni di prova incide significativamente sulle vetture PHEV in termini di autonomia elettrica e di emissioni di CO₂

Sviluppo del Meta-Modello per vetture ibride:

- Il modello è in grado di simulare correttamente il comportamento della vettura lungo il ciclo NEDC
- Il modello per le vetture HEV è completo, pur necessitando ancora di essere validato su un numero maggiore di vetture
- Il modello per le vetture PHEV è attualmente in fase di sviluppo

[1] P. Mock, U. Tietge, V. Franco, J. German, A. Bandivadekar , N. Ligterink, U. Lambrecht, J. Kühlwein e I. Riemersma, ***From Laboratory to Road: A 2014 update of official and real-world fuel consumption and CO2 values for cars in Europe***, ICCT, 2014

[2] L. Ntziachristos, G. Mellios, D. Tsokolis, M. Keller, S. Hausberger, N. Ligterink e P. Dilara, ***In-use vs type-approval fuel consumption of current passenger cars in Europe***, *Energy Policy*, n. 67, pp. 403-411, 2014.

Politecnico di Torino

- Federico Millo, Dipartimento di Energia, federico.millo@polito.it
- Claudio Cubito, Dipartimento di Energia, claudio.cubito@polito.it
- Luciano Rolando, Dipartimento di Energia, luciano.rolando@polito.it

Joint Research Center

- Biagio Ciuffo, Institute for Energy and Transport, biagio.ciuffo@jrc.ec.europa.eu
- Simone Serra, Institute for Energy and Transport, simone.serra@jrc.ec.europa.eu

POLITECNICO DI TORINO



Dal ciclo NEDC al WLTP: come colmare il “gap” tra valori di omologazione e emissioni reali di CO₂

Federico Millo, Claudio Cubito, Luciano Rolando

e³ - Engines, Energy and Environment

<http://www.polito.it/engines>

