



Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

DIPARTIMENTO PER I TRASPORTI, LA NAVIGAZIONE,
GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE

**PROGRAMMA DI PROVE
PER LA VALUTAZIONE DEL COMPORTAMENTO EMISSIVO
DI VETTURE DIESEL EURO 5
COMMERCIALIZZATE IN ITALIA
CON PROVE IN LABORATORIO E SU PISTA**

Condotte in collaborazione con



ISTITUTO MOTORI
Consiglio Nazionale delle Ricerche

REPORT

Indice

1. Introduzione	3
2. Veicoli	4
3. Protocollo di prova.....	4
3.1 Prove sul banco a rulli	5
3.2 Cicli di guida.....	7
3.3 Valutazioni medie complessive su tutti i veicoli testati in laboratorio.....	8
3.4 Prove su pista.....	19
Conclusioni	34
Riferimenti bibliografici.....	45

Elenco Tabelle:

Tabella 1: Rapporto tra emissioni di NOx in ciclo NEDC a caldo rispetto al NEDC a freddo e tra ciclo NEDC reverse e ciclo NEDC a freddo	14
Tabella A: Elenco veicoli Euro 5b provati	36
Tabelle B1/B8: Scheda con le caratteristiche dei singoli veicoli provati in IM-CNR	37-43
Tabella C: Parametri acquisiti da centralina per ogni veicolo provato in IM-CNR	44
Tabella Test requirements IM-CNR	46

1. Introduzione

Nelle due “NOTICE OF VIOLATION” inviate dall’EPA (Environmental Protection Agency) degli USA il 18/09/2015 e il 02/11/2015 a Volkswagen, Audi e Porsche, l’EPA ha contestato la presenza di DEFEAT DEVICES installati su alcuni modelli di veicoli commercializzati negli USA. In particolare VW avrebbe prodotto ed installato un software nel Modulo di Controllo Elettronico (ECM/ECU) di ogni veicolo che produce un diverso comportamento del veicolo quando questo viene testato per verificare la rispondenza con gli standard emissivi EPA rispetto all’uso normale. Il software, se ha determinato che il veicolo sta per iniziare un test FTP 75, attiva un “*temperature conditioning*” mode nel quale un certo numero di parametri legati al controllo emissivo dei NOx (ad esempio: tempo di iniezione, EGR, pressione del common rail) consentono di produrre basse emissioni di NOx ed alte temperature dei gas di scarico (per migliorare la capacità dei sistemi catalitici, già presenti sui modelli americani, di ridurre i NOx). Alla disattivazione di questa modalità il software attua un “*normal mode*” (sia alla fine del FTP 75 che quando il veicolo parte in condizioni che non sono del test FTP 75) ed il motore lavora con differenti tempi di iniezione, EGR e pressione del rail che producono più alti livelli di NOx e più basse temperature dei gas di scarico rispetto al “*temperature conditioning*” mode [1]. I due veicoli su cui è stato riscontrato questo comportamento, testati dal centro Centro CAFEE della West Virginia University in USA, erano dotati dello stesso motore Diesel 2.0 litri 104 kW ma con differenti tecnologie di after-treatment installate allo scarico per la riduzione degli NOx: una Lean-NOx Trap (LNT) ed un sistema a Selective Catalyst Reduction (SCR) [2].

L’Autorità di omologazione italiana (Direzione generale per la Motorizzazione del MIT) ha incaricato, nel novembre 2015, l’Istituto Motori del CNR di mettere a punto una metodologia di verifica del comportamento emissivo (in termini di Ossidi di Azoto NOx) di veicoli diesel rispondenti ai limiti Euro 5 commercializzati in Italia e studiarne nel dettaglio il comportamento emissivo al fine di stabilire:

1. La eventuale presenza di dispositivi di manipolazione delle emissioni (cd. Defeat device) vietati dalla vigente normativa (del tipo di quelli presenti sui veicoli del gruppo VW);
2. La individuazione dei livelli di emissione tipici dell’uso *reale* dei veicoli confrontato con i livelli emissivi degli stessi veicoli in condizioni standard di test di omologazione (anche nel caso di non presenza di defeat device ma di strategie di controllo delle emissioni, consentite dalla vigente normativa e finalizzate alla protezione e alla durabilità del motore).

Per quanto attiene specificamente ai veicoli del Gruppo VW sono state effettuate, in via preliminare e nei primi mesi dell’anno 2016, prove in laboratorio e su pista con connotati più di carattere scientifico vero e proprio che puramente investigativo/funzionale. Tanto in ragione sia del fatto che la presenza di dispositivi di manipolazione vietati era già stata formalmente ammessa dai responsabili del Gruppo, sia in ragione delle indagini in corso da parte della Procura della Repubblica di Verona con relativo conseguente sequestro di un campione più numeroso di veicoli da testare, sia in laboratorio che su pista, prima e dopo gli interventi di richiamo e ripristino “a norma”; interventi di richiamo in corso di approvazione da parte delle autorità di omologazione tedesche e, ad oggi, ben lungi dall’essere completati ed integralmente disponibili.

Pertanto, fatto salvo che è indubbio che i veicoli del Gruppo VW siano dotati di dispositivi di manipolazione delle emissioni non consentiti dalla vigente normativa, ogni riferimento, anche quantitativo, presente nel seguito del presente report e riferito ai suddetti veicoli è da intendersi come “*strutturalmente incompleto e provvisorio*”; tanto anche in ragione della evidente necessità di non confliggere con i necessari requisiti di riservatezza connessi con le indagini in corso da parte della Procura di Verona.

2. Veicoli

La selezione dei veicoli è stata operata dal MIT secondo il criterio della rappresentatività statistica sull'intero universo del parco circolante di veicoli diesel euro 5b.

Sono stati quindi selezionati 25 modelli di autovetture Diesel rappresentative di oltre il 70% del parco circolante nazionale (diesel euro 5b). Le vetture (nuove) sono state messe a disposizione per le verifiche in corso da parte dei costruttori tramite la propria rete di concessionari in Italia.

Le configurazioni tipiche degli impianti di after-treatment installati in Europa su vetture Diesel Euro 5 prevedono un sistema composto da Catalizzatore ossidante (OC) + Trappola per il Particolato (DPF). Si evidenzia come il limite Euro 5 per i NOx di 180 mg/km su ciclo NEDC non abbia richiesto l'obbligo di installare un sistema after-treatment per il loro controllo (LNT e/o SCR).

Allo stato sono concluse le prove per 15 veicoli e, per ulteriori 3 veicoli, le prove sono tuttora in corso (cfr. Tab. A). Altri 8 veicoli, tutti facenti capo a marchi del Gruppo VW, sono stati sottoposti a sequestro da parte della Procura di Verona e saranno sottoposti a prova appena nella disponibilità del MIT.

8 veicoli sono stati provati presso la Sala Prova Emissioni E3 dell'Istituto Motori del CNR, 3 veicoli sono in corso di prova presso la stessa Sala Prova E3 dell'IM-CNR e 7 presso i laboratori FCA di Torino per conto del CPA Torino.

Tutte le prove sono state condotte in presenza di Tecnici del MIT e di responsabili individuati dalle case costruttrici dei veicoli di volta in volta soggetti a prova.

3. Protocollo di prova

Il protocollo di prova è stato definito al fine di poter riuscire a discriminare comportamenti emissivi anomali di autovetture Diesel rispondenti agli standard emissivi europei Euro 5; i cicli individuati per il test delle vetture sono in linea con quelli previsti dal protocollo di prova definito dal Centro di ricerca JRC della Commissione UE.

Fino a quando non entrerà in vigore la procedura RDE (definita dal Regolamento EU 427/2016 e con integrazione 646 del 20/04/2016 [3]), le emissioni degli inquinanti vengono verificate in omologazione tramite la procedura di Tipo I, come prevista dalla direttiva EU 715/2007.

E' utile precisare che TUTTI i veicoli sottoposti a prova secondo l'originaria procedura di omologazione (dir. EU 715/2007 – NEDC Cold Lab) hanno fatto registrare livelli di emissione compatibili con i dati di omologazione e quindi "in regola" con l'allora vigente normativa di riferimento.

Il protocollo prevede una prima serie di test con la vettura installata sul banco a rulli ed una successiva serie di test con la vettura guidata su pista.

Per ogni vettura è stata preparata una scheda con le principali caratteristiche (riportate nelle Tabelle da B1-2 a B11).

Ogni vettura viene strumentata (sia per le prove in laboratorio che su pista) con:

- ✓ Sensore NOx/O₂ (Continental, UniNOx);
- ✓ Interfaccia tramite EOBD con centralina per acquisizione di otto (8) parametri motoristici (Texa, IDC4);

- ✓ Scheda per acquisizione segnale velocità (direttamente da CAN bus tramite una CAN Bus Speed Interface, Raceologic) per il Driver-aid installato a bordo, da usare per le prove su pista (National Instruments, LabVIEW RIO Evaluation Kit).

Il driver-aid utilizzabile a bordo per prove on-road è stato sviluppato appositamente in IM-CNR per questa attività sperimentale.

3.1 Prove sul banco a rulli

Per ogni vettura si è effettuata la seguente tempistica di prova:

1° Giorno.

Installazione della vettura sul banco a rulli;
Settaggio del banco;
Effettuazione coast-down con parametri di frenatura ed Inerzia equivalente forniti dal costruttore;
Riempimento serbatoio con circa $\frac{3}{4}$ di gasolio commerciale;
Gonfiaggio pneumatici a pressione indicata dal costruttore;
Collegamento centralina per diagnosi vettura;
Controllo eventuale necessità di rigenerazione DPF;
Installazione sensore NO_x/O₂ sulla linea di scarico;
Collegamento dello scarico della vettura al tunnel di diluizione per effettuazione ciclo NEDC secondo direttiva EU 715/2007.

*Effettuazione di 3 cicli EUDC di condizionamento;
Messa in carica della batteria.
Condizionamento del veicolo per almeno 8 ore a $20 \leq T \leq 30^\circ\text{C}$.*

2° Giorno.

CICLO NEDC A FREDDO ($T=20 \div 30^\circ\text{C}$);
CICLO NEDC A CALDO ($T_{olio} > 80^\circ\text{C}$);
CICLO ARTEMIS URBAN;
PROVE A VELOCITA' COSTANTE (da 10 a 130 km/h a step di 10 km/h).

*Effettuazione di 3 cicli EUDC di condizionamento;
Messa in carica della batteria.
Condizionamento del veicolo per almeno 8 ore a $20 \leq T \leq 30^\circ\text{C}$.*

3° Giorno.

CICLO NEDC REVERSE (prima fase EUDC e poi UDC) A FREDDO ($T=20 \div 30^\circ\text{C}$);
CICLO NEDC A CALDO ($T_{olio} > 80^\circ\text{C}$).

*Effettuazione di 3 cicli EUDC di condizionamento;
Messa in carica della batteria.
Condizionamento del veicolo per almeno 8 ore a $20 \leq T \leq 30^\circ\text{C}$.*

4° Giorno

CICLO NEDC A FREDDO (T=20÷30°C).

Controllo eventuale necessità di rigenerazione DPF.

Lo stesso combustibile (un gasolio commerciale) è stato utilizzato per tutte le prove in laboratorio e su pista con tutti i veicoli.

Durante l'effettuazione dei cicli di prova sul banco a rulli il cofano e le portiere della vettura sono stati mantenuti chiusi.

L'impianto di condizionamento e le luci notturne sono stati sempre spenti.

Si riportano in Figura 1 i profili dei singoli cicli di guida realizzati.

Per ogni prova è stato redatto un report di prova con i valori degli inquinanti espressi per singola fase del ciclo e sul ciclo combinato in g/km (o mg/km, o #/km).

Per ogni prova è stato redatto un file contenente i valori istantanei (ad 1 Hz) della velocità reale, degli inquinanti gassosi CO, HC, NO_x, CO₂ (espressi in g/s e misurati nella corrente diluita), dei parametri motoristici acquisiti tramite tool di diagnosi, del numero di particelle (in #/s) misurate.

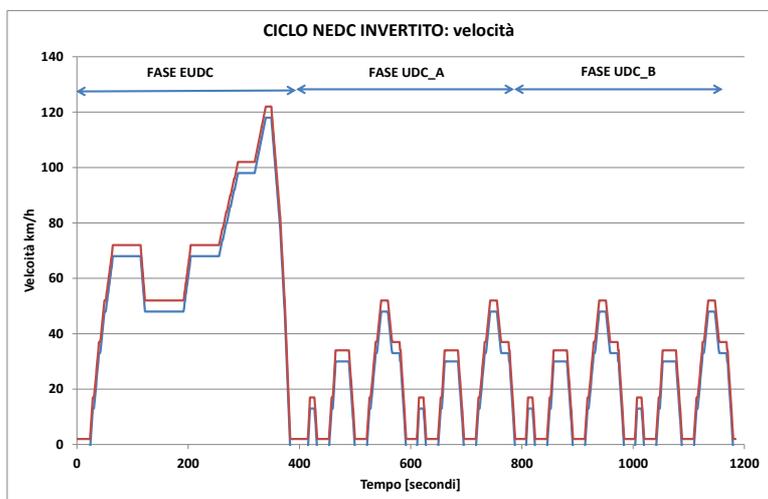
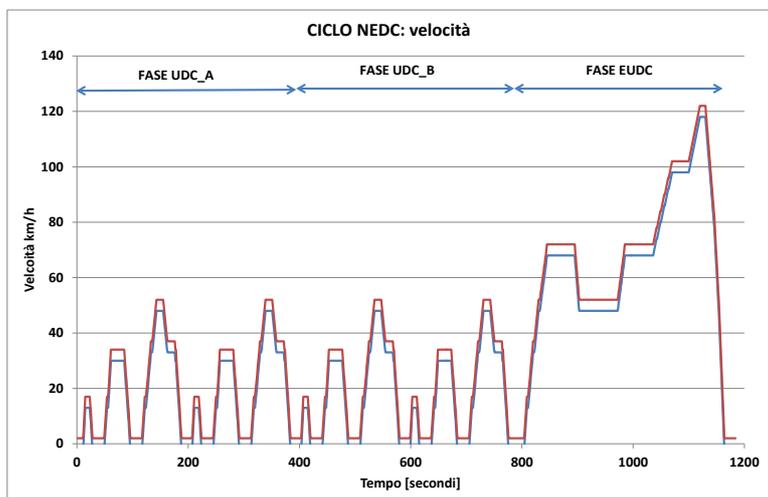
Sono stati elaborati i dati acquisiti con il sensore NO_x installato sullo scarico del veicolo e confrontati con i valori di NO_x acquisiti secondo procedura di normativa (da lettura dei sacchi). La lettura del sensore NO_x è stata verificata in laboratorio conducendo test comparativi sullo scarico dei veicoli, sia a velocità costante che durante cicli NEDC, con un analizzatore a chemiluminescenza.

Gli 8 parametri motoristici acquisiti via EOBD non sono stati gli stessi per tutti i veicoli (per disponibilità diverse da ECU) ma in genere si sono riusciti ad acquisire ad 1 Hz: velocità del veicolo (km/h), numero di giri del motore (rpm), temperatura dell'aria aspirata (°C), temperatura del combustibile (°C), temperatura del fluido di raffreddamento (°C), valore della valvola EGR (%), portata d'aria aspirata (in kg/h o mg/ciclo). Si riporta in Tabella C l'elenco dei parametri acquisiti da centralina per ogni veicolo provato in IM-CNR (sia nelle prove in laboratorio che su pista).

Il segnale di velocità da utilizzare per il driver-aid a bordo è stato verificato per ogni veicolo con prove dedicate, a velocità costante, sul banco a rulli.

Le prove in laboratorio, in particolare il secondo ed il terzo giorno della tempistica descritta a pagina 5, sono state effettuate in presenza di rappresentanti delle case costruttrici (sia italiani che della casa madre) e di funzionari del MIT.

3.2 Cicli di guida



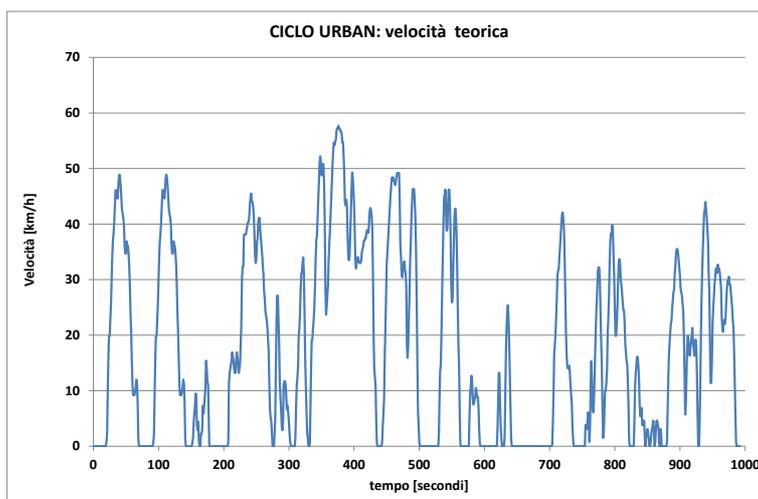


Figura 1: Cicli di guida effettuati (NEDC a freddo/caldo, NEDC invertito, Urban)

In Figura 1 sono riportati i profili dei singoli cicli di guida realizzati:

- CICLO NEDC, ciclo per l'omologazione europea, diviso in 3 fasi (UDC_A, UDC_B, EUDC). La fase UDC_A rappresenta i primi due moduli urbani di durata 390 secondi e 2 km di percorrenza (con velocità media 18.5 km/h), la fase UDC_B i successivi due moduli urbani di durata sempre 390 secondi e 2 km di percorrenza, la fase EUDC rappresenta la fase extra-urbana di durata 400 secondi e 7 km circa di percorrenza (con velocità media 63.2 km/h). Il ciclo NEDC è stato effettuato con partenza a freddo (Cold NEDC) e con partenza a caldo (Warm NEDC), cioè partendo con temperatura dell'olio superiore agli 80°C.
- CICLO NEDC Invertito (Reverse). Questo è il ciclo NEDC modificato, realizzato guidando prima la fase extra-urbana (EUDC) e poi quelle urbane (EUDC, UDC_A, UDC_B). Il ciclo NEDC Invertito è stato effettuato con partenza a freddo (Cold Reverse NEDC) e solo in qualche limitato caso anche con partenza a caldo (Warm Reverse NEDC), cioè con la temperatura dell'olio superiore agli 80°C.
- Ciclo Urban. Ciclo reale sviluppato nell'ambito del progetto EU Artemis. Durata 921 secondi (+72 s di preconditionamento), 4.5 km di percorrenza e 17.5 km/h di velocità media. E' un ciclo effettuato a caldo dopo l'esecuzione di uno o più cicli NEDC. Presenta un'accelerazione media positiva di 0.53 m/s² contro i 0.35 m/s² della parte urbana del ciclo NEDC.

3.3 Valutazioni medie complessive su tutti i veicoli testati in laboratorio.

Si riportano nelle Figure 2-6 i valori medi per CO₂, CO, HC, PN e NO_x ottenuti con le 8 vetture provate in Istituto Motori sul banco a rulli con i diversi cicli di guida previsti dal protocollo.

I valori medi riportati nelle figure hanno un'elevata variabilità poiché sono stati calcolati da misure eseguite su differenti veicoli (8) con differenti inerzie e cilindrata.

Il ciclo complessivo NEDC a freddo (cold) è caratterizzato da maggiori emissioni di CO₂ rispetto al NEDC a caldo (warm) ed al NEDC cold invertito (reverse) (Figura 2). La partenza a freddo porta un sovraconsumo rispetto al NEDC warm di circa il 9%.

Il ciclo NEDC cold reverse presenta un valore medio di CO₂ confrontabile con quello del ciclo convenzionale NEDC cold.

Dall'analisi di tutti i cicli di guida le emissioni maggiori di CO₂ sono state misurate sul ciclo reale URBAN: 180 g/km contro i 150 g/km della fase urbana regimata (UDC_B) ed i 125 g/km del ciclo globale NEDC.

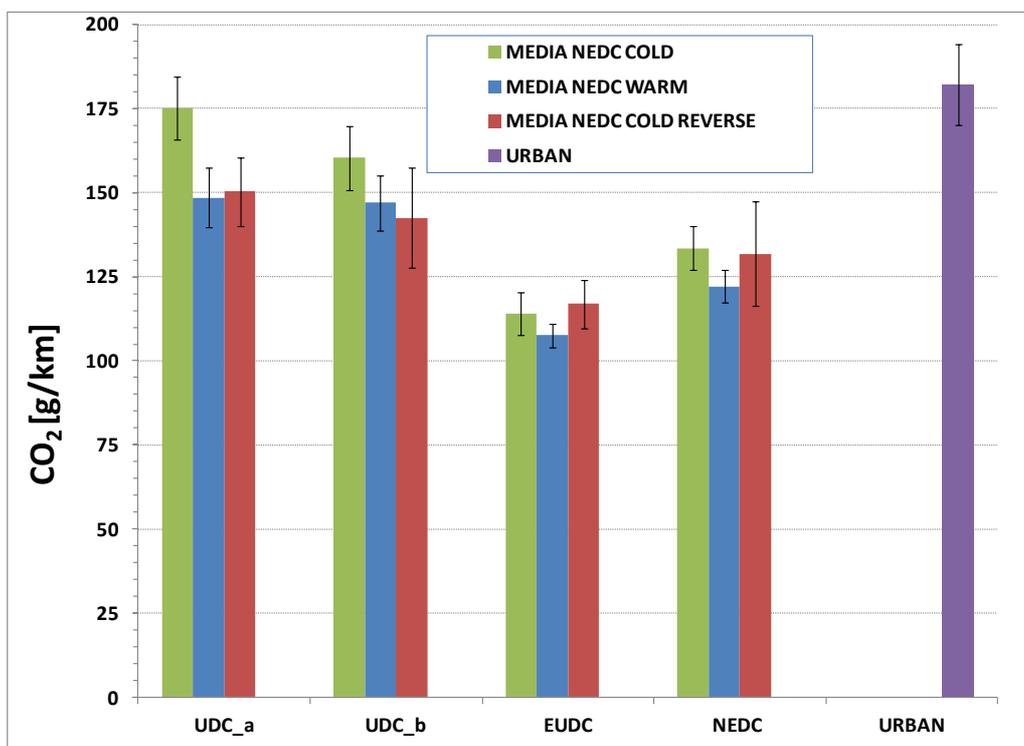


Figura 2: Valori medi di CO₂ ottenuti nelle prove in Istituto Motori (ciclo NEDC a freddo e a caldo, NEDC invertito a freddo, Urban)

Dalle Figure 3 e 4 si nota come le maggiori emissioni di CO e THC si abbiano durante le fasi del ciclo NEDC con partenza a freddo (UDC_A). Durante questa fase avviene l'attivazione del catalizzatore ossidante che riesce ad abbattere CO per oltre il 90% e gli idrocarburi incombusti per oltre il 70%. Tutti i veicoli presentano sul ciclo NEDC cold emissioni di CO molto più basse del limite Euro 5 per veicoli Diesel (pari a 0.5 g/km).

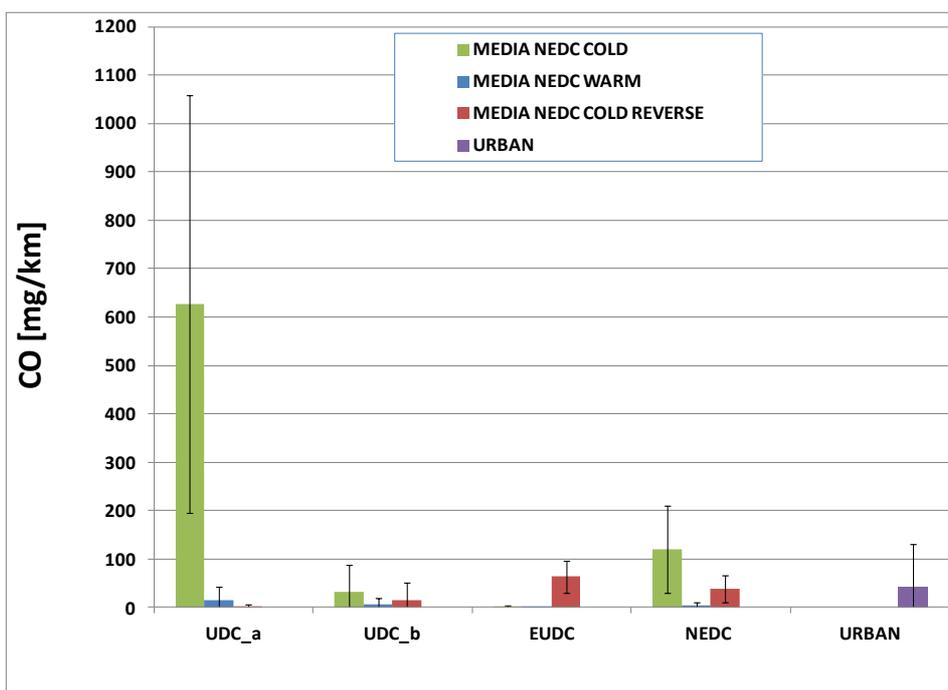


Figura 3: Valori medi di CO ottenuti nelle prove in Istituto Motori (ciclo NEDC a freddo e a caldo, NEDC invertito a freddo, Urban)

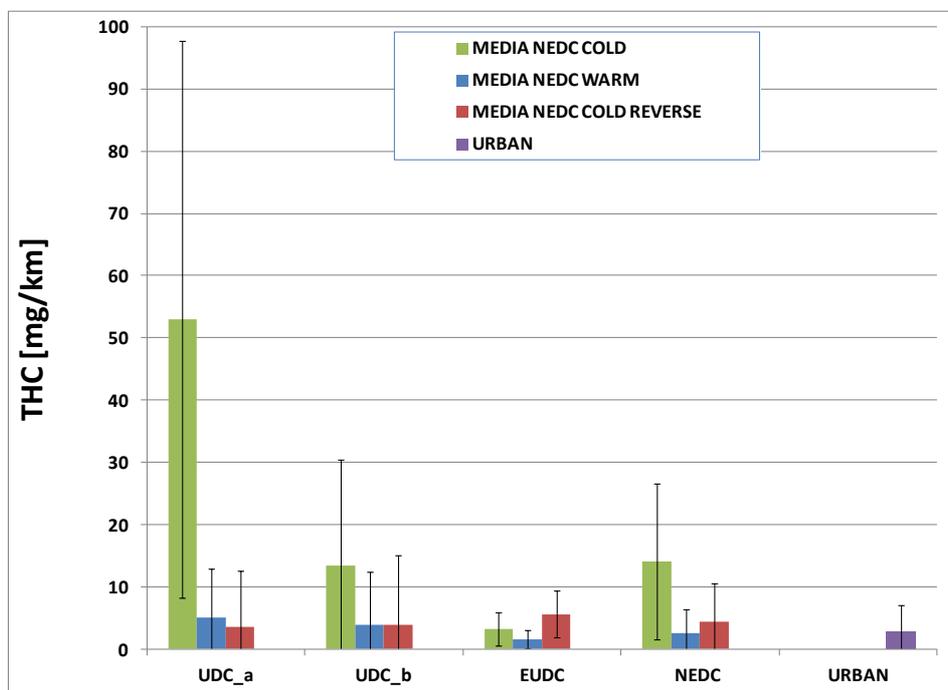


Figura 4: Valori medi di THC ottenuti nelle prove in Istituto Motori (ciclo NEDC a freddo e a caldo, NEDC invertito a freddo, Urban)

Dalla Figura 5, appare evidente che il numero di particelle (PN) risulta sempre inferiore al limite di omologazione pari a $6 \cdot 10^{11}$ #/km. Bisogna precisare, però, che le misure effettuate in IM-CNR non sono pienamente conformi alle prescrizione del Regolamento UNECE n.83.

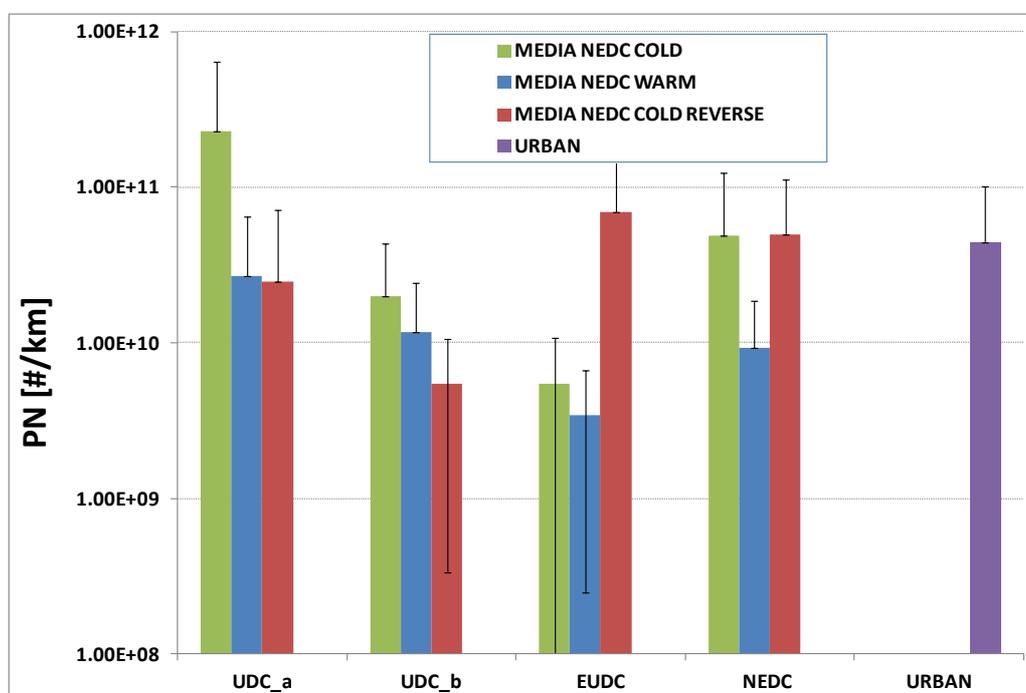


Figura 5: Valori medi di PN ottenuti nelle prove in Istituto Motori (ciclo NEDC a freddo e a caldo, NEDC invertito a freddo, Urban)

E' possibile osservare che tra le tre varianti del ciclo NEDC sperimentate in laboratorio, le maggiori emissioni di NOx sono state misurate sul NEDC warm (Figura 6). Esse risultano maggiori di quelle relative allo stesso ciclo con partenza a freddo ed al ciclo invertito. In sostanza, l'incremento delle emissioni di NOx è dovuto all'aumento delle temperature di funzionamento del motore. Questo aspetto può essere, altresì, evidenziato dal confronto tra il ciclo NEDC cold ed il ciclo NEDC cold invertito. In particolare, osservando le emissioni misurate nella fase urbana UDC_b si evidenzia che nel caso in cui questa sia successiva alla fase EUDC ed UDC_a (NEDC cold invertito) le emissioni di NOx risultano essere quasi il doppio rispetto a quelle registrate nello stesso modulo effettuato solamente dopo l'UDC_a (NEDC cold).

Il ciclo reale URBAN è caratterizzato dalle emissioni più alte di NOx per tutti i veicoli testati in Istituto Motori: 485 mg/km. In tal caso, alle temperature regimate del motore si aggiunge l'utilizzo parziale dell'EGR nelle condizioni di elevato carico imposte dal ciclo stesso. Si ricorda, infatti, che il ciclo URBAN – utilizzato esclusivamente a fini scientifici di confronto e privo di alcuna valenza sotto il profilo normativo di accettabilità del profilo emissivo di ciascun veicolo – è caratterizzato da elevate accelerazioni e dunque da notevoli richieste di carico non paragonabili con quelle relative al ciclo NEDC.

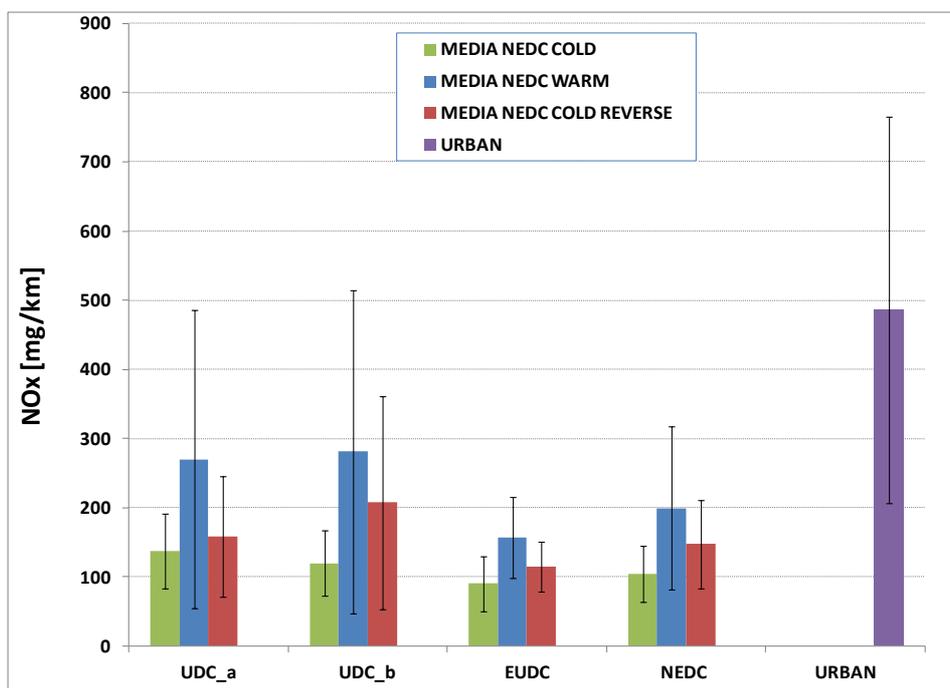


Figura 6: Valori medi di NOx ottenuti nelle prove in Istituto Motori (ciclo NEDC a freddo e a caldo, NEDC invertito a freddo, Urban)

La Figura 7 riporta in dettaglio le emissioni di NOx valutate sul ciclo NEDC cold e NEDC warm per tutti i veicoli analizzati dall'IM-CNR e presso FCA. La linea tratteggiata mostra il limite Euro 5 di 180 mg/km mentre le linee continue indicano il valore medio di tutte le autovetture su ciascuno dei due cicli.

Questo grafico conferma quanto già evidenziato. Le condizioni termiche del motore giocano un ruolo determinante nella produzione di NOx nei motori diesel, infatti si passa da 120 mg/km come valore medio per i NOx emessi durante il ciclo NEDC con partenza a freddo a 325 mg/km emessi di media durante il ciclo NEDC in condizioni warm: ciò evidenzia un rapporto medio di circa 2.7 tra emissioni del ciclo a caldo rispetto quello a freddo nelle prove condotte sul banco a rulli.

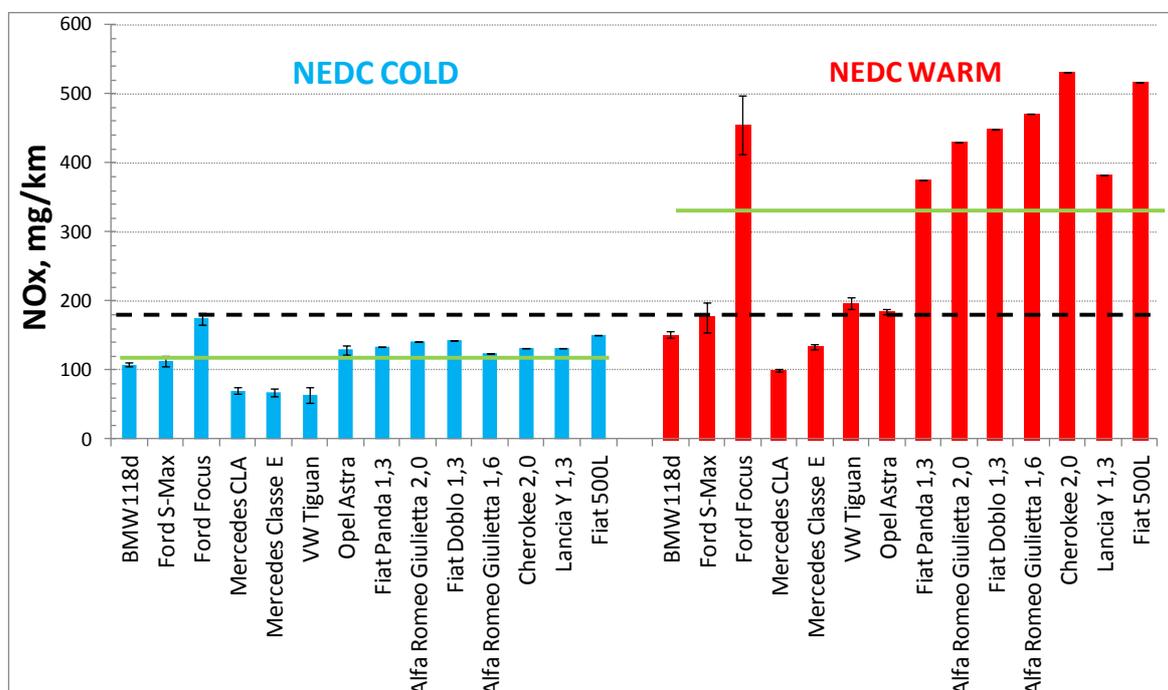


Figura 7: Valori medi di NOx sul ciclo NEDC cold e NEDC warm in laboratorio

Gli incrementi misurati per ciascun veicolo sul ciclo NEDC warm e NEDC invertito sono riportati in Tabella 1. Il ciclo NEDC invertito è stato eseguito su 4 dei sette veicoli testati presso FCA.

Il rapporto tra le emissioni di NOx misurate durante il NEDC warm ed il NEDC cold varia tra 1.4 a 4.1.

Si evidenziano quindi due tipologie di comportamenti:

- Veicoli con differenze basse tra emissioni di NOx nel ciclo a caldo rispetto a quello a freddo (rapporti minori di 1.5, evidenziati in verdino nella Tabella 1) ed anche differenze basse tra emissioni di NOx nel ciclo NEDC reverse rispetto a quello a freddo (rapporti minori di 1.3, evidenziati in verdino nella Tabella 1). Manifestano questo comportamento la BMW 118d, la Mercedes CLA 200 e l'Opel Astra.
- Veicoli con differenze più elevate tra emissioni di NOx nel ciclo a caldo rispetto a quello a freddo (rapporti maggiori di 2.5, evidenziati in rosa nella Tabella 1) ed anche differenze tra emissioni di NOx nel ciclo NEDC reverse rispetto a quello a freddo maggiori di 2.0, (evidenziati in rosa nella Tabella 1). Manifestano questo comportamento le vetture del gruppo FCA, la Ford Focus e la VW Tiguan.

La Ford S-Max e la Mercedes E220 mostrano un comportamento intermedio.

Rapporto delle emissioni di NOx		
	NEDC warm/NEDC cold	NEDC reverse/NEDC cold
BMW118d	1.4	1.0
Ford S-Max	1.6	1.4
Ford Focus	2.6	1.5
Mercedes CLA	1.4	1.2
Mercedes Classe E	2.0	1.3
VW Tiguan	3.1	2.5
Opel Astra	1.4	1.3
Fiat Panda 1,3	2.8	1.8
Alfa Romeo Giulietta 2,0	3.0	2.4
Fiat Doblo 1,3	3.1	1.8
Alfa Romeo Giulietta 1,6	3.8	
Cherokee 2,0	4.1	
Lancia Y 1,3	2.9	
Fiat 500L	3.4	1.9

Tabella 1: Rapporto tra emissioni di NOx in ciclo NEDC a caldo rispetto al NEDC a freddo e tra ciclo NEDC reverse e ciclo NEDC a freddo in laboratorio

Nel seguito verranno riportati i valori medi di NOx ottenuti dai vari veicoli durante le prove sul banco a rulli nei cicli NEDC cold, NEDC warm, NEDC cold reverse e Urban.

In Figura 8 sono riportate i diagrammi relativi alla BMW 118d (sulla sinistra) ed alla Opel Astra (a destra). Osserviamo andamenti simili tra le due vetture con valori al di sotto del limite Euro 5b, oltre che nel ciclo di omologazione, anche nei cicli NEDC warm e NEDC cold reverse. Nel ciclo Urban le vetture emettono tra 350-450 mg/km di NOx. Anche la Mercedes CLA, la Ford S-Max e la Mercedes E220 mostrano lo stesso comportamento (Figure 9 e 10).

Delle differenze più elevate nelle emissioni di NOx sono riscontrabili sul ciclo NEDC warm con la VW Tiguan e la Ford Focus (Figura 11) che emettono più di 180 mg/km. La Focus sul ciclo Urban ha mostrato emissioni di circa 1100 mg/km di NOx.

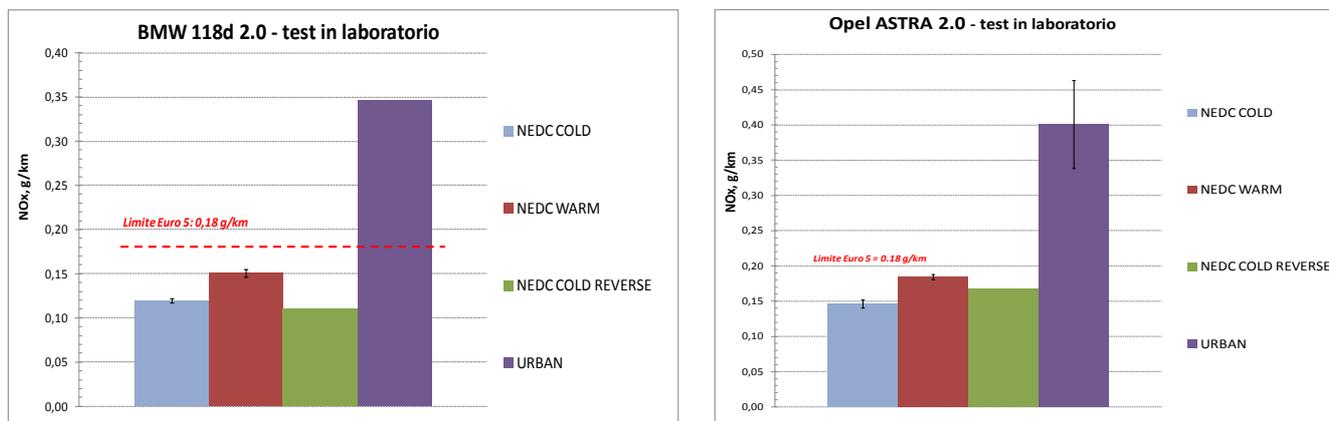


Figura 8: Valori medi di NOx sui diversi cicli ottenuti con BMW 118 e Opel Astra

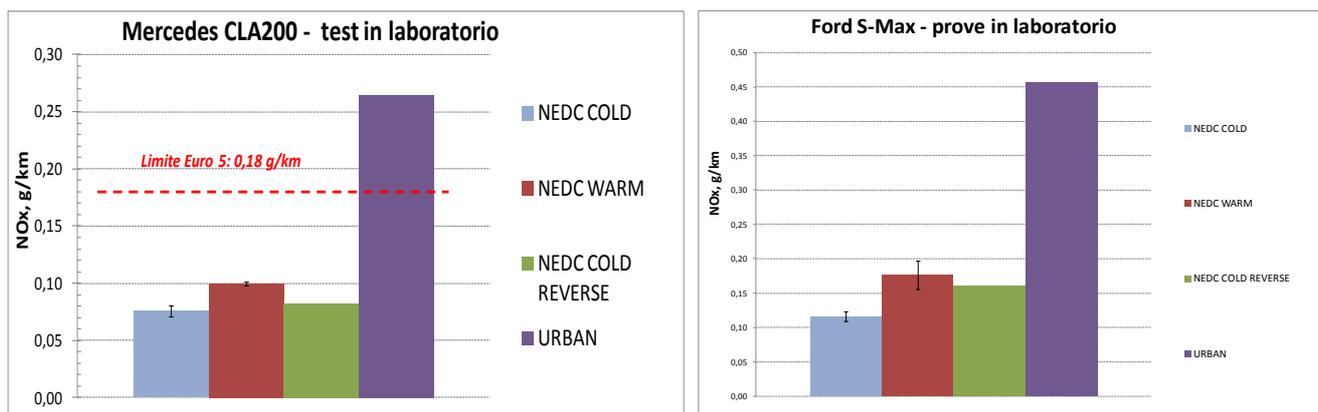


Figura 9: Valori medi di NOx sui diversi cicli ottenuti con Mercedes CLA e Ford S-Max

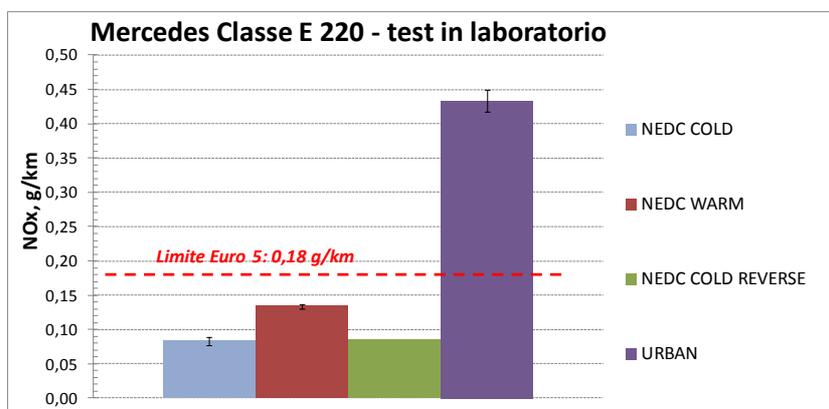


Figura 10: Valori medi di NOx sui diversi cicli ottenuti con Mercedes E220

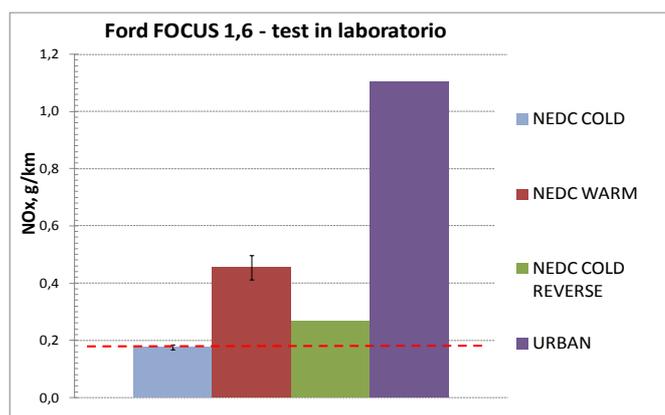
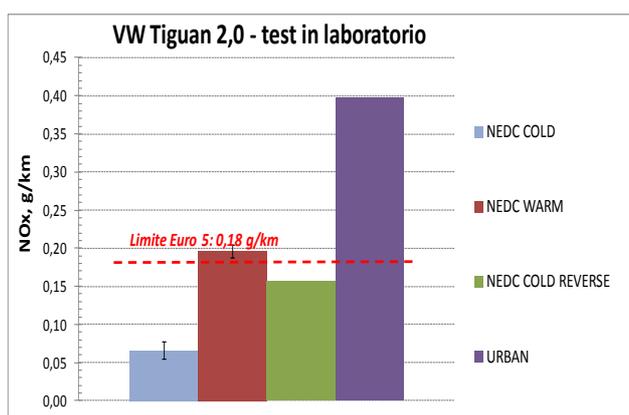


Figura 11: Valori medi di NOx sui diversi cicli ottenuti con VW Tiguan e Ford Focus

Tutte le vetture FCA provate mostrano elevati livelli di NOx nel ciclo NEDC condotto a caldo, tra 350 e 520 mg/km (Figura 7). Nelle Figure da 12 a 15 sono riportati i valori misurati (dai sacchi) nei vari cicli effettuati (NEDC cold, NEDC hot, NEDC cold reverse ed anche per qualche veicolo NEDC hot reverse) e nelle loro fasi (una fase urbana denominata UDC, quella extra-urbana EUDC e sul ciclo combinato NEDC) per la Fiat Panda, la Giulietta Alfa Romeo, la 500L ed il Doblò.

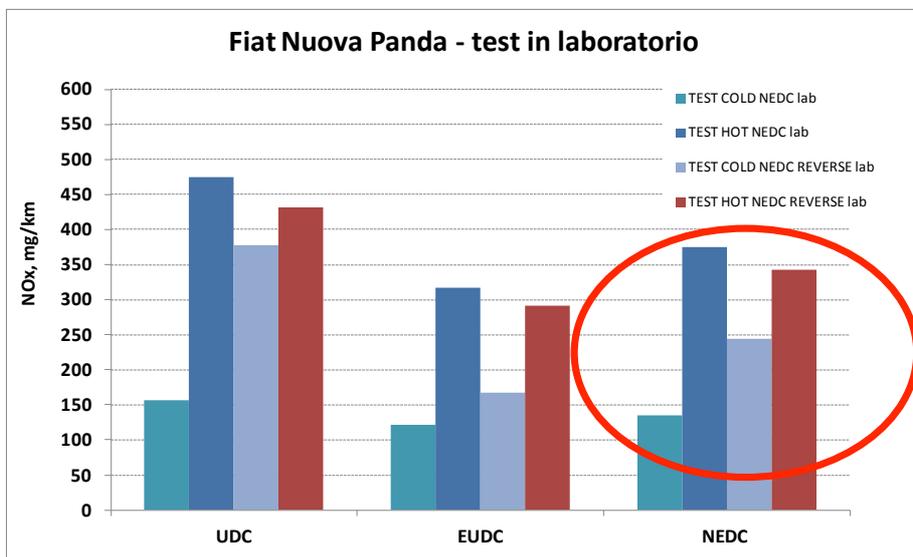


Figura 12: Valori medi di NOx sui diversi cicli e le loro fasi ottenuti con Fiat Panda

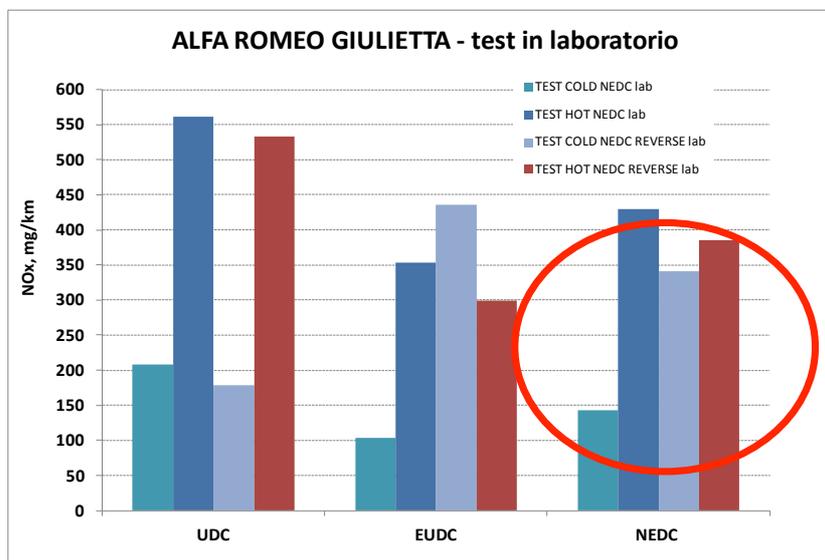


Figura 13: Valori medi di NOx sui diversi cicli e le loro fasi ottenuti con AR Giulietta

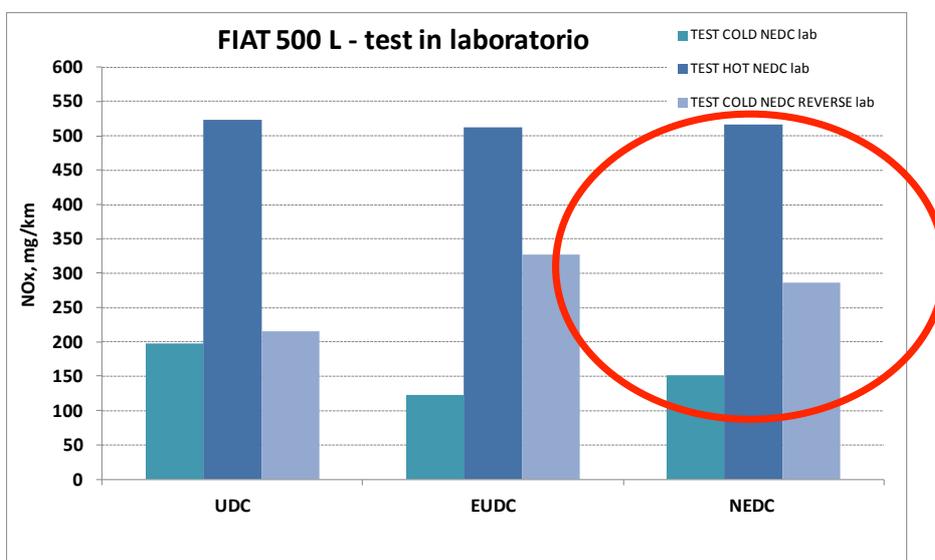


Figura 14: Valori medi di NOx sui diversi cicli e le loro fasi ottenuti con Fiat 500L

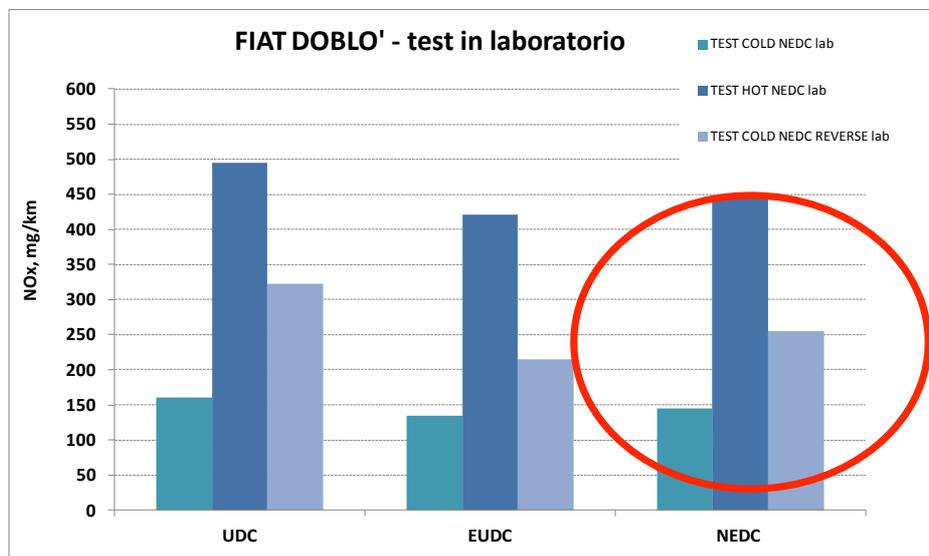


Figura 15: Valori medi di NOx sui diversi cicli e le loro fasi ottenuti con Fiat Doblò

3.4 Prove su pista

Si è deciso, al fine di limitare il più possibile la possibilità che il peso della strumentazione di test potesse “disturbare e distorcere” i risultati, di usare per le prove su pista una strumentazione per misurare gli NOx in configurazione leggera (non PEMs standard), utilizzando:

- ✓ Sensore NOx/O₂ (Continental, UniNOx);
- ✓ Interfaccia tramite EOBD con centralina per acquisizione otto (8) parametri motoristici ad 1 Hz (Texa, IDC4);
- ✓ Scheda per acquisizione segnale velocità (direttamente da CAN bus tramite una CAN Bus Speed Interface, Raceologic) per il Driver-aid installato a bordo, da usare per le prove su pista, (National Instruments, LabVIEW RIO Evaluation Kit);
- ✓ GPS (Garmin, Montana 600) per acquisire le coordinate della locazione della sperimentazione e poter ricavare il valore della velocità istantanea del veicolo;
- ✓ Video camera per riprendere le immagini dei test su pista;
- ✓ Batteria 12V 230 Ah;
- ✓ Inverter 12V/220 V da 1200W;
- ✓ Due PC, uno per l’acquisizione dei parametri da centralina ed un altro da usare per la visualizzazione del profilo di velocità da seguire (driver-aid).

Questa strumentazione ha un peso complessivo di circa 35 kg.

Per ogni vettura si è effettuata la seguente tempistica di prova su pista:

1° Giorno.

Controllo eventuale necessità di rigenerazione DPF;
Verifica del livello di gasolio a circa ½ del serbatoio.
Installazione sensore NOx/O₂ sulla linea di scarico;
Messa in carica della batteria.
Allestimento della vettura;
Vettura lasciata in sosta sulla pista.

2° Giorno.

CICLO NEDC A FREDDO (T=non programmabile): le due fasi UDC_A, UDC_B e la fase EUDC fino alla fine del secondo tratto a 70 km/h cioè al secondo 1030, con una percorrenza di circa 4 km (per un totale di circa 8 km);
CICLO NEDC A CALDO (Tolio>80°C): le due fasi UDC_A, UDC_B e la fase EUDC fino alla fine del secondo tratto a 70 km/h cioè al secondo 1030, con una percorrenza di circa 4 km (per un totale di circa 8 km);
PROVE A VELOCITA' COSTANTE (da 10 a 70 km/h a step di 10 km/h)

Lo stesso combustibile è stato utilizzato per ogni vettura sia nelle prove di laboratorio che su pista.

Le prove su pista sono state effettuate da parte dell'Istituto Motori sui veicoli già testati sul banco a rulli, trasportandoli sulla pista N. 20 del CENTRO POLIFUNZIONALE DI SPERIMENTAZIONE (CEPOLISPE) dell'Esercito a Montelibretti (Roma).

Le prove effettuate sui veicoli FCA per conto del CPA di Torino sono state effettuate sulla pista Balocco di FCA a Torino utilizzando una strumentazione PEMs convenzionale.

Grazie all'uso di questa pista è stato possibile superare alcune problematiche legate all'uso di piste quali:

- la possibilità di avere la pista in esclusiva e quindi la possibilità di fermarsi per effettuare le soste previste dal ciclo NEDC;
- la possibilità di poter lasciare il veicolo parcheggiato su pista la sera per poter effettuare la mattina i cicli con partenza a freddo (anche se non a temperature prestabilite).

La lunghezza del rettilineo della pista del Cepolispe di circa 1.6 km e la curvatura degli anelli terminali non ha consentito la possibilità di effettuare la parte extra-urbana del ciclo NEDC fino a 120 km/h ma ci si è limitati ai 70 km/h. Quindi il ciclo NEDC realizzato (denominato NEDC 70) ha una durata di 1030 secondi contro i 1180 s del ciclo eseguito sul banco a rulli ed una distanza totale percorsa di circa 8 km contro gli 11 km del ciclo NEDC di omologazione.

Le prove su pista eseguite da CNR-IM, in particolare il secondo giorno della tempistica descritta a pagina 19, sono state effettuate in presenza di rappresentanti delle case costruttrici (sia italiani che della casa madre) e di funzionari del MIT

Nelle pagine successive sono riportati dei confronti dei risultati ottenuti nelle prove in laboratorio con quelle su pista per alcuni dei veicoli.

Per le prove effettuate da IM-CNR sono stati confrontati i valori medi degli NOX misurati con il sensore NOX durante i cicli condotti su pista, NEDC COLD 70 (poichè limitato a 70 km/h come max velocità) e NEDC WARM 70 (poichè limitato a 70 km/h come max velocità), con i corrispondenti valori (misurati sempre con lo stesso sensore NOX) durante le prove in laboratorio sul banco a rulli, considerando i dati dei cicli NEDC di laboratorio corrispondenti al NEDC COLD 70 e NEDC WARM 70 (cioè non considerando nella fase extra-urbana le emissioni istantanee degli ultimi 3 km quando la velocità superiore i 70 km/h).

In particolare sono riportati i risultati ottenuti sulle vetture provate da IM-CNR nel seguente ordine:

- ✓ **BMW 118d 2.0**
- ✓ **Opel Astra 2.0**
- ✓ **Mercedes CLA200**
- ✓ **Ford S-Max**
- ✓ **Mercedes Classe E 220**
- ✓ **VW Tiguan**
- ✓ **Ford Focus 1.6**

Il sensore NOx è stato utilizzato sempre sia nelle prove in laboratorio che su pista.

E' stata verificata la risposta di questo sensore confrontando i valori misurati contemporaneamente con un analizzatore a chemiluminescenza (Horiba Mexa 7200) con sonda di campionamento posta in prossimità del sensore.

In condizioni stazionarie la differenza dei valori misurati dal sensore rispetto a quelli misurati con il detector a chemiluminescenza è risultata nell'ordine del $\pm 5.0\%$ mentre durante un ciclo NEDC del $\pm 9.0\%$. Questi scostamenti sono in linea con quanto verificato dal TNO [4].

Per le vetture testate dal CPA di Torino sono stati confrontati i valori medi degli NOX misurati con sistema PEMs convenzionale durante i cicli condotti su pista, NEDC COLD 70 (poichè limitato a 70 km/h come max velocità) e NEDC WARM 70 (poichè limitato a 70 km/h come max velocità), con i valori misurati (dai sacchi) durante le prove in laboratorio sul banco a rulli, considerando i dati dell'intero ciclo NEDC. Questi risultati sono riportati nel seguente ordine:

- ✓ **FIAT Nuova Panda 1.3L sde**
- ✓ **ALFA ROMEO GIULIETTA 2.0 Multijet**
- ✓ **FIAT 500 L 1.6 Multijet**
- ✓ **FIAT Doblò**

Prima di passare ad un'analisi dei dati ottenuti per ogni veicolo vengono rappresentati i risultati delle prove su pista nel loro insieme.

La Figura 16 riporta in dettaglio le emissioni di NOx ottenute durante i test su pista e valutate sul ciclo NEDC cold 70 e NEDC warm 70 per tutti i veicoli analizzati dall'IM-CNR e da FCA. La linea tratteggiata mostra il limite Euro 5 di 180 mg/km mentre le linee continue indicano il valore medio di tutte le autovetture su ciascuno dei due cicli.

Anche su pista in media i cicli guidati in condizioni di partenza termicamente regimate conducono a maggiori emissioni di NOx. Si passa da 175 mg/km come valore medio per i NOx emessi durante il ciclo NEDC cold 70 a 280 mg/km emessi di media durante il ciclo NEDC warm 70: ciò evidenzia un rapporto medio di circa 1.6 tra emissioni del ciclo a caldo rispetto quello a freddo nelle prove condotte su pista.

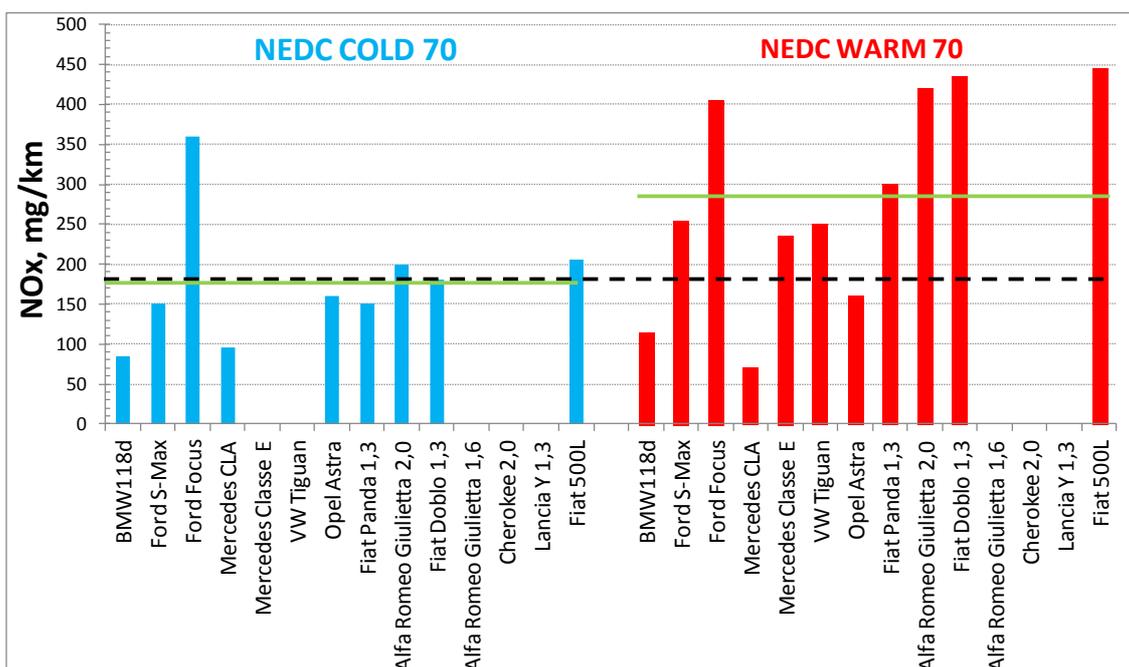


Figura 16: Valori medi di NOx sul ciclo NEDC cold 70 e NEDC warm 70 su pista

Bisogna evidenziare come però questi valori medi derivino da dei comportamenti molto diversi: le vetture FCA raddoppiano le emissioni durante il ciclo warm mentre le altre vetture mostrano incrementi più contenuti.

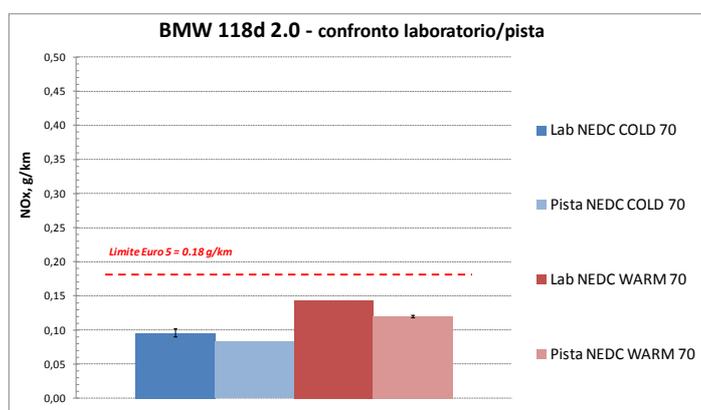
I cicli su pista sono ben riprodotti dai drivers (meno di 5 errori sul ciclo NEDC 70). L'analisi dei parametri motoristici mostra una buona riproducibilità in termini di numero di giri, portata d'aria, posizione pedale dell'acceleratore e portata combustibile delle prove su pista rispetto a quelle di laboratorio. Sono i parametri ambientali a divergere talvolta (T e umidità ambiente) ed è diversa l'azione di raffreddamento sul motore dovuta al moto su pista del veicolo o al ventilatore posizionato in laboratorio di fronte alla vettura. Il parametro più variabile tra prove in laboratorio e su pista è risultata essere la temperatura dell'aria di aspirazione che può influenzare notevolmente il funzionamento dell'EGR per il controllo degli NOx.

Veicolo: **BMW 118d 2.0**

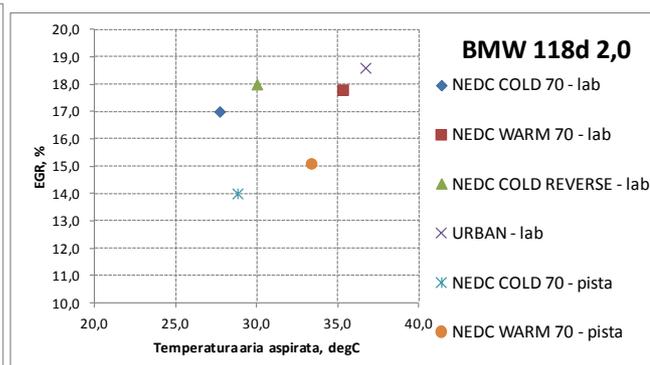
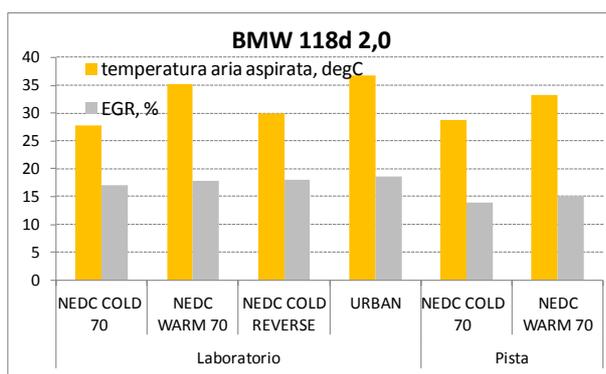
La BMW118d mostra lo stesso comportamento in laboratorio e su pista: emissioni a caldo del 30-40% più elevate rispetto a quelle a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti minori di 1, tranne che per il ciclo Urban (dove è circa 2).

Non si evidenzia una correlazione tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 25 e 37°C) ed il tasso di EGR (espresso come % di apertura della valvola EGR) utilizzato. Il valore medio di EGR% nelle prove su pista sembra più basso di quello utilizzato nelle prove in laboratorio.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REV	URBAN	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF	0,67	0,84	0,61	1,92	0,46	0,67

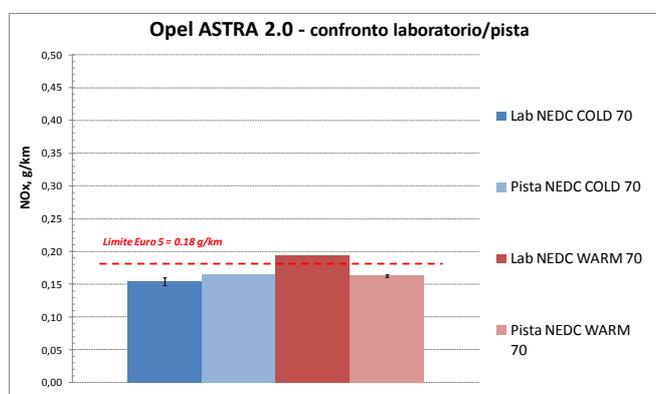


Veicolo: OPEL ASTRA 2.0

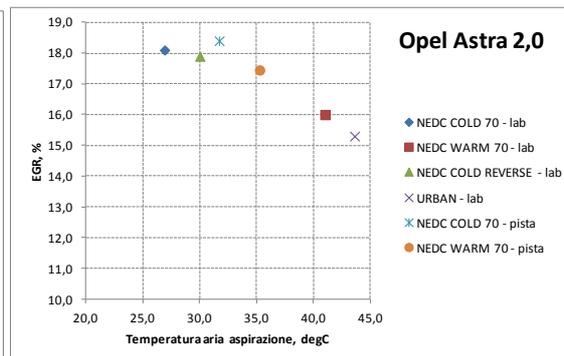
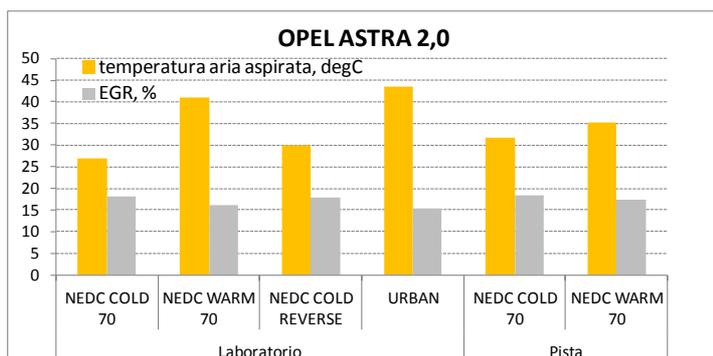
L'Opel Astra mostra lo stesso comportamento in laboratorio e su pista sul ciclo con partenza a freddo, mentre nel ciclo a caldo emette più NOx nella prova di laboratorio.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti minori di 1 o prossimi ad 1, tranne che per il ciclo Urban (dove è circa 2,2).

Su questa vettura si evidenzia una correlazione tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 25 e 45°C) ed il tasso di EGR (espresso come % di apertura della valvola EGR) utilizzato: all'aumentare della temperatura dell'aria aspirata viene utilizzata una percentuale di apertura valvola EGR minore. La prova a caldo in laboratorio presenta una temperatura media dell'aria aspirata di 6°C più bassa di quella misurata nella analoga prova su pista: ciò potrebbe spiegare il valore di NOx più alto misurato.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REV	URBAN	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF	0,81	1,03	0,93	2,23	0,92	0,90

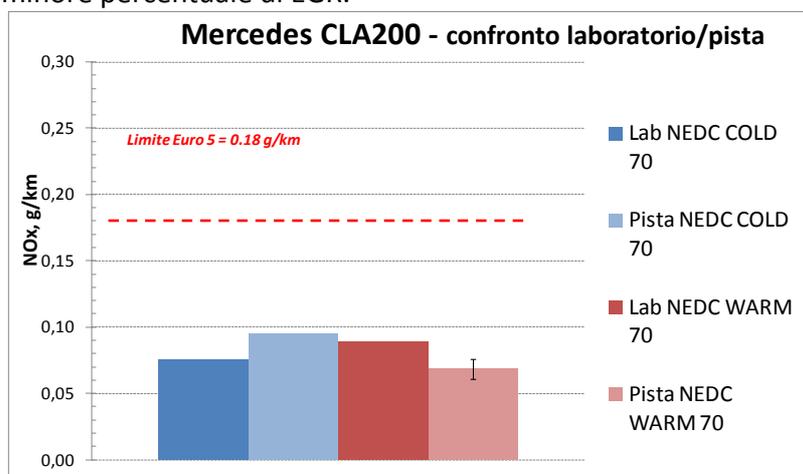


Veicolo: Mercedes CLA200

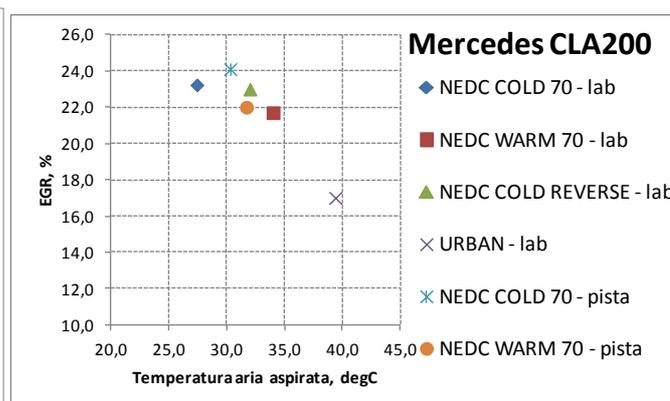
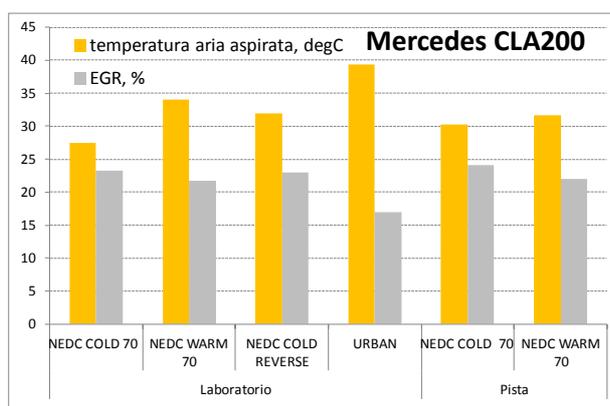
La Mercedes CLA emette basse quantità di NOx sia nelle prove in laboratorio che su pista con un diverso comportamento tra prove con partenza a freddo e a caldo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti minori di 1, tranne che per il ciclo Urban (dove è circa 1,5).

Su questa vettura si evidenzia una correlazione tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 25 e 40°C) ed il tasso di EGR (espresso come % di apertura della valvola EGR) utilizzato: all'aumentare della temperatura dell'aria aspirata viene utilizzata una percentuale di apertura valvola EGR minore. Il ciclo Urban è quello con la minore percentuale di EGR.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	URBAN	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF	0,42	0,55	0,45	1,47	0,53	0,38

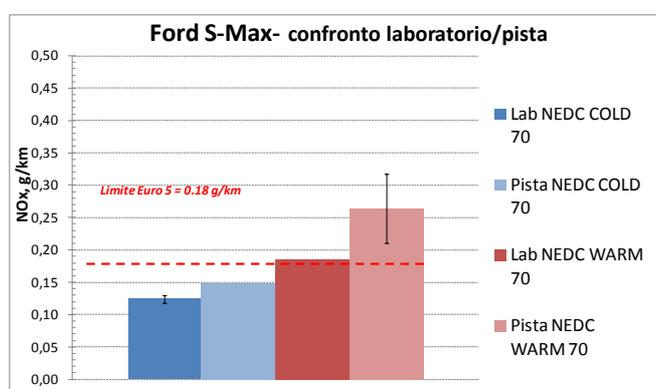


Veicolo: Ford S-Max

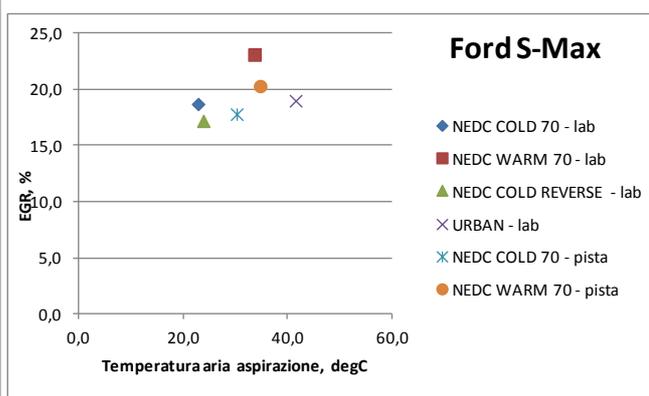
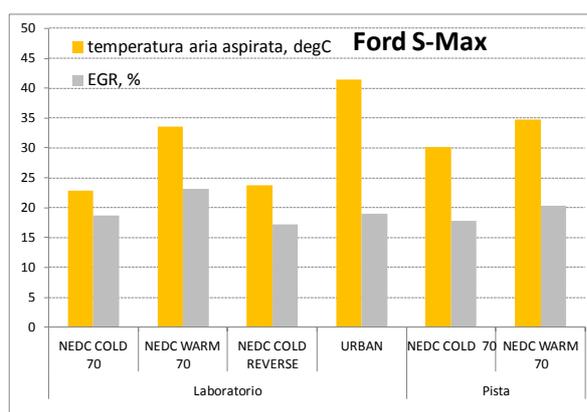
La Ford S-Max mostra lo stesso comportamento in laboratorio e su pista: emissioni a caldo del 50% più elevate rispetto a quelle a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti minori di 1, tranne che per il ciclo a caldo su pista (CF=1,5) e per il ciclo Urban (dove è circa 2,5).

Su questa vettura si evidenzia un particolare trend tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 25 e 45°C) ed il tasso di EGR (espresso come % di apertura della valvola EGR) utilizzato: sembrerebbe che all'aumentare della temperatura dell'aria aspirata venga utilizzata una percentuale di apertura valvola EGR maggiore. Questo rimane un aspetto da approfondire anche analizzando altri parametri motoristici disponibili.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	URBAN	NEDC COLD	NEDC WARM
CF	0,65	0,98	0,89	2,53	0,82	1,47

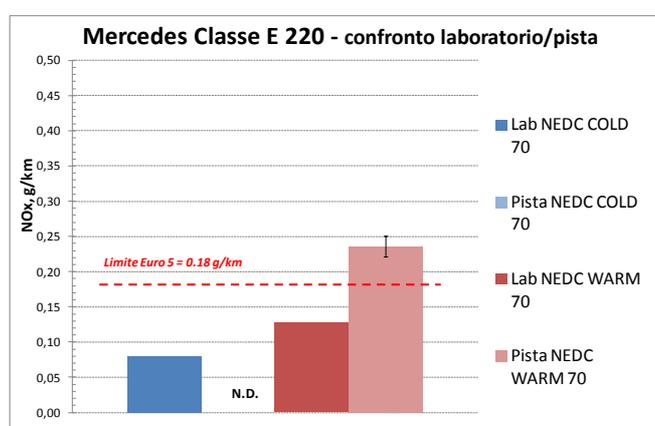


Veicolo: Mercedes Classe E 220

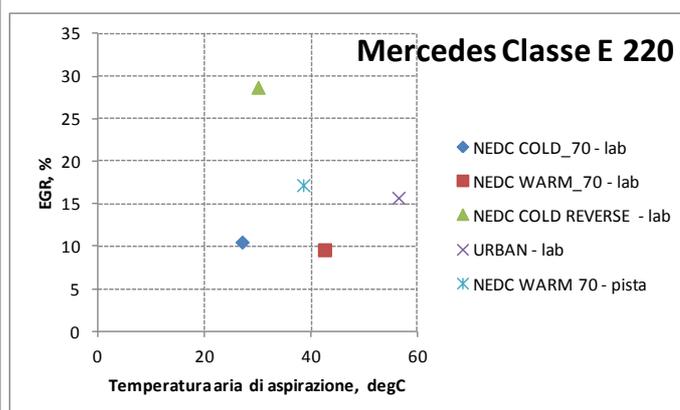
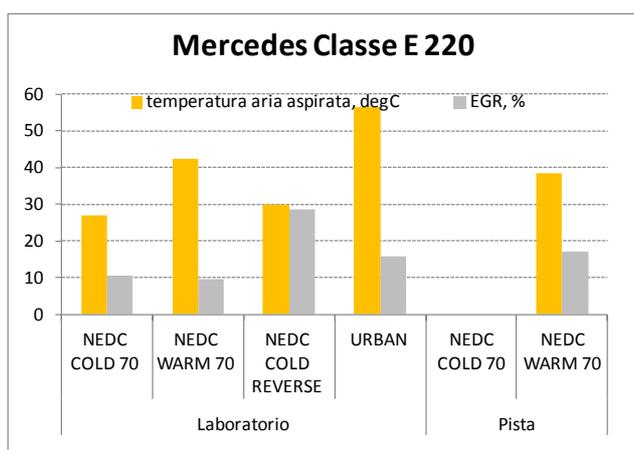
La Mercedes E 220 mostra su pista delle emissioni a caldo molto più elevate rispetto a quelle a misurate in laboratorio.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti minori di 1, tranne che per il ciclo a caldo su pista (CF=1,3) e per il ciclo Urban (dove è circa 2,4).

Non si evidenzia una correlazione tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 25 e 60°C) ed il tasso di EGR (espresso come % di apertura della valvola EGR) utilizzato. Il valore medio di EGR% nelle prove NEDC 70 in laboratorio sembra più basso di quello utilizzato nelle stesse prove su pista.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	URBAN	NEDC COLD	NEDC WARM
CF	0,46	0,74	0,47	2,41	n.d.	1,31

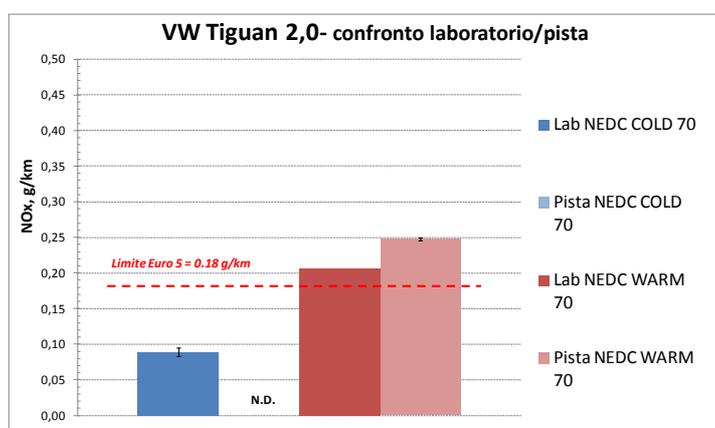


Veicolo: Volkswagen Tiguan 2,0

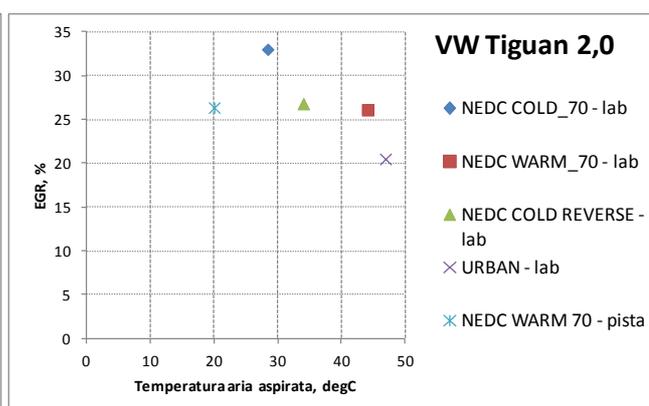
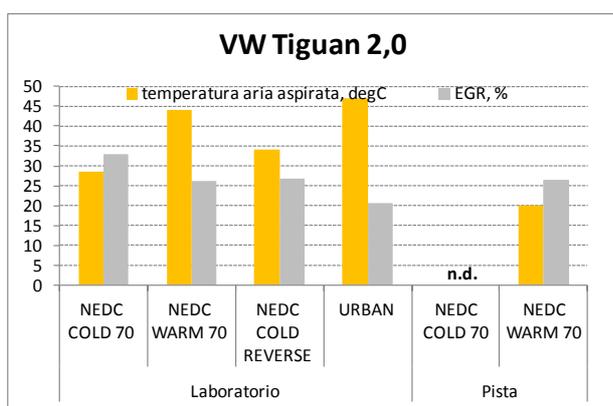
La VW Tiguan mostra su pista delle emissioni a caldo poco più elevate rispetto a quelle a misurate in laboratorio. Come già visto precedentemente le emissioni a caldo ottenute in laboratorio sono circa il doppio di quelle emesse con partenza a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano minori di 1 o vicino ad 1, tranne che per il ciclo a caldo su pista (CF=1,4) e per il ciclo Urban (dove è circa 2,2).

Su questa vettura si evidenzia una correlazione tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 20 e 50°C) ed il tasso di EGR utilizzato: all'aumentare della temperatura dell'aria aspirata viene utilizzata una percentuale di apertura valvola EGR minore. Il ciclo Urban è quello con la minore percentuale di EGR.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	URBAN	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF	0,37	1,09	0,87	2,21	n.d.	1,38

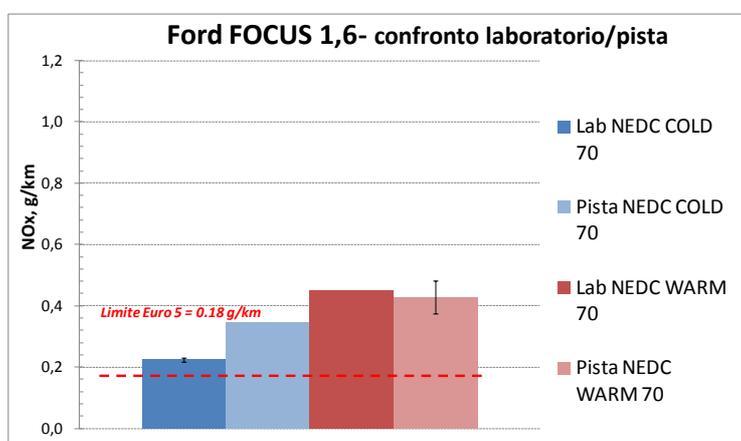


Veicolo: Ford FOCUS 1.6

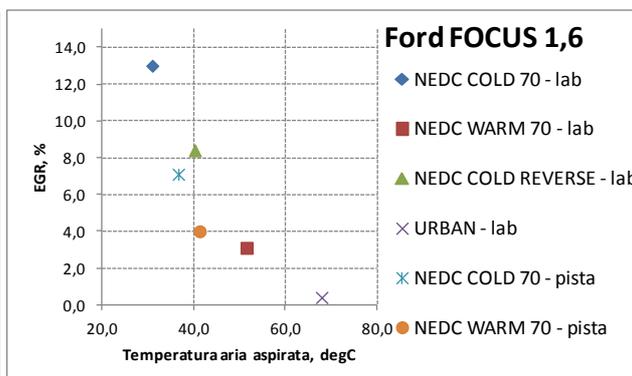
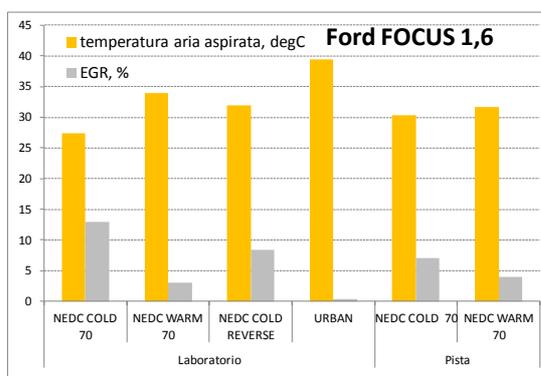
La Ford Focus mostra su pista delle emissioni a caldo confrontabili a quelle a misurate in laboratorio. Come già visto precedentemente le emissioni a caldo ottenute in laboratorio sono circa il doppio di quelle emesse con partenza a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti maggiori di 1 (prossimo ad 1 è solo il ciclo NEDC cold in laboratorio) e per il ciclo Urban arriva addirittura a 6.

Su questa vettura si evidenzia una correlazione tra la variazione della temperatura dell'aria di aspirazione (tra 30 e 70°C) ed il tasso di EGR utilizzato: all'aumentare della temperatura dell'aria aspirata viene utilizzata una percentuale di apertura valvola EGR fortemente ridotta. Durante il ciclo Urban il valore medio della % di EGR è prossimo allo zero e risulta molto basso anche durante i cicli a caldo (sia in laboratorio che su pista).



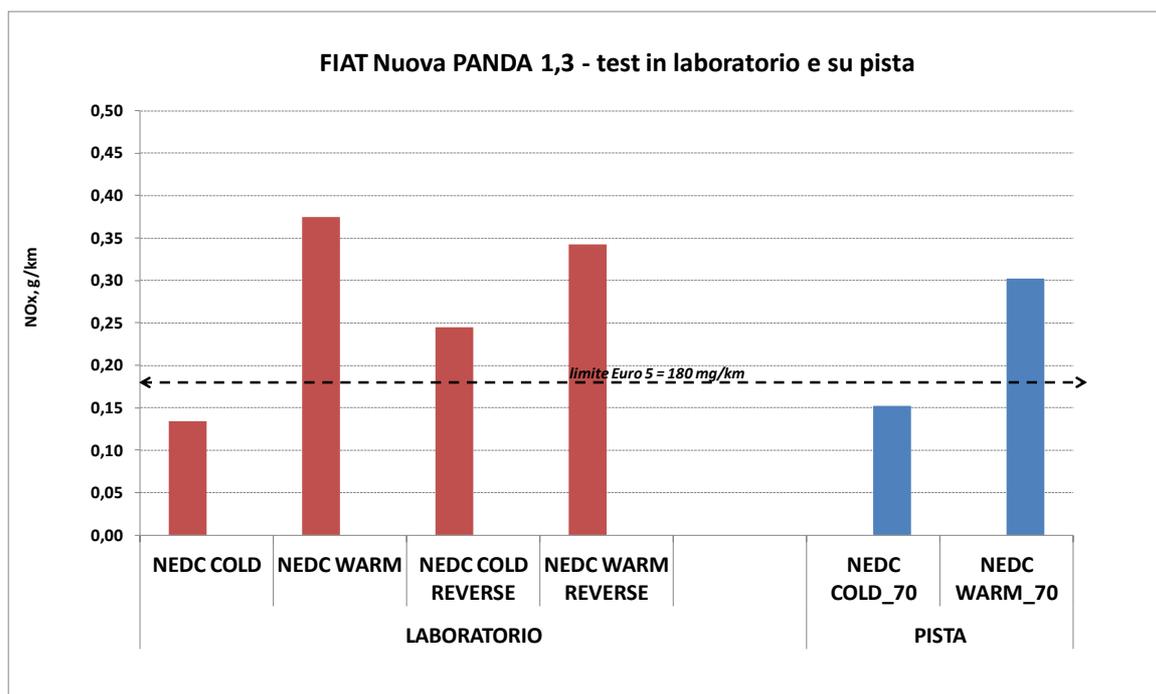
	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	URBAN	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF	0,98	2,53	1,48	6,13	1,93	2,38



Veicolo: FIAT Nuova PANDA 1,3L sde

La Fiat Panda mostra emissioni a freddo e a caldo confrontabili tra pista e laboratorio anche se in questo caso i cicli non sono gli stessi nella fase extra-urbana (fino a 120 km/h in laboratorio e fino a 70 km/h su pista). Come già evidenziato precedentemente le emissioni a caldo ottenute sia in laboratorio che su pista sono circa il doppio di quelle emesse con partenza a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti maggiori di 1 tranne i NEDC cold.

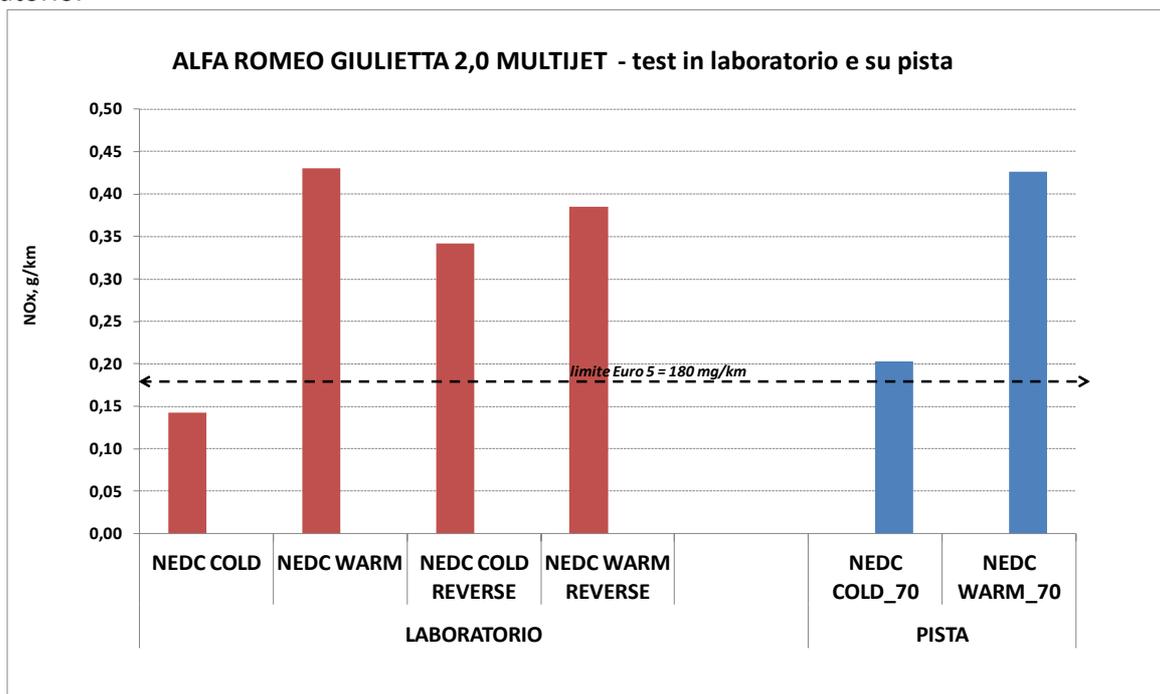


	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	NEDC WARM REVERSE	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF Panda 1.3	0,75	2,08	1,36	1,91	0,85	1,68

Veicolo: **ALFA ROMEO GIULIETTA 2,0 MULTIJET**

La Alfa Romeo Giulietta mostra emissioni a freddo e a caldo confrontabili tra pista e laboratorio anche se in questo caso i cicli non sono gli stessi nella fase extra-urbana (fino a 120 km/h in laboratorio e fino a 70 km/h su pista). Anche per questa vettura le emissioni a caldo ottenute sia in laboratorio che su pista sono circa il doppio di quelle emesse con partenza a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti maggiori di 1 tranne il NEDC cold eseguito in laboratorio.

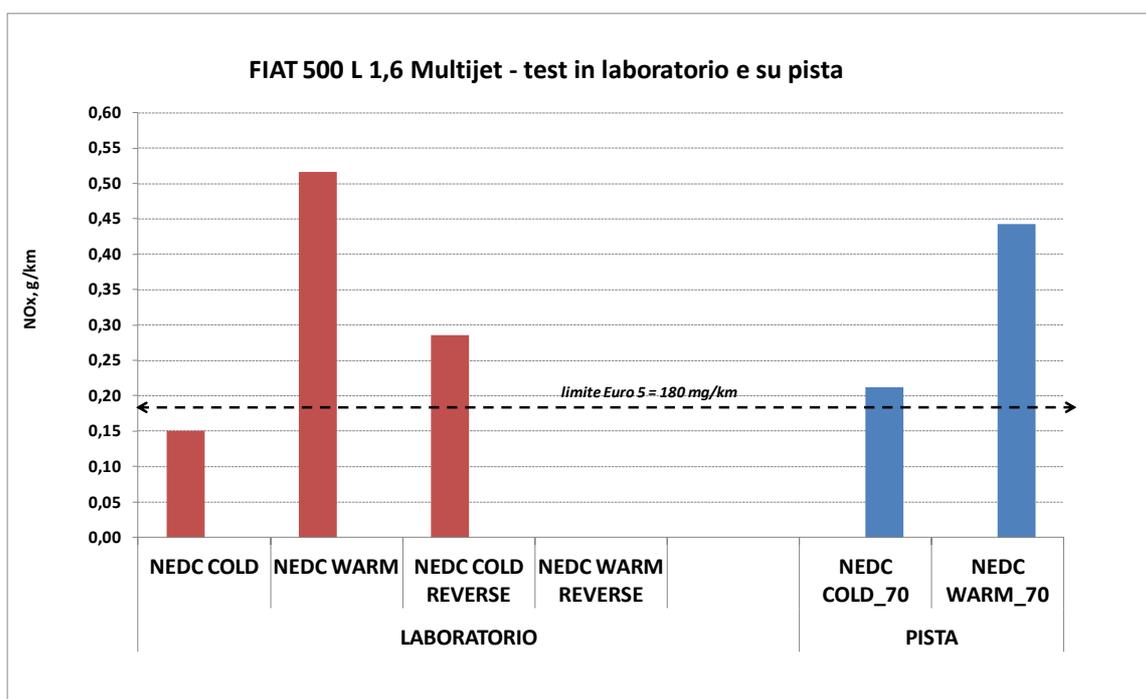


	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	NEDC WARM REVERSE	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF Alfa Romeo Giulietta 2.0 Mjet	0,79	2,39	1,90	2,14	1,13	2,37

Veicolo: FIAT 500 L 1,6 Multijet

La Fiat 500L mostra emissioni a freddo e a caldo abbastanza confrontabili tra pista e laboratorio anche se in questo caso i cicli non sono gli stessi nella fase extra-urbana (fino a 120 km/h in laboratorio e fino a 70 km/h su pista). Anche per questa vettura le emissioni a caldo ottenute sia in laboratorio che su pista sono circa il doppio di quelle emesse con partenza a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano tutti maggiori di 1 tranne il NEDC cold eseguito in laboratorio.

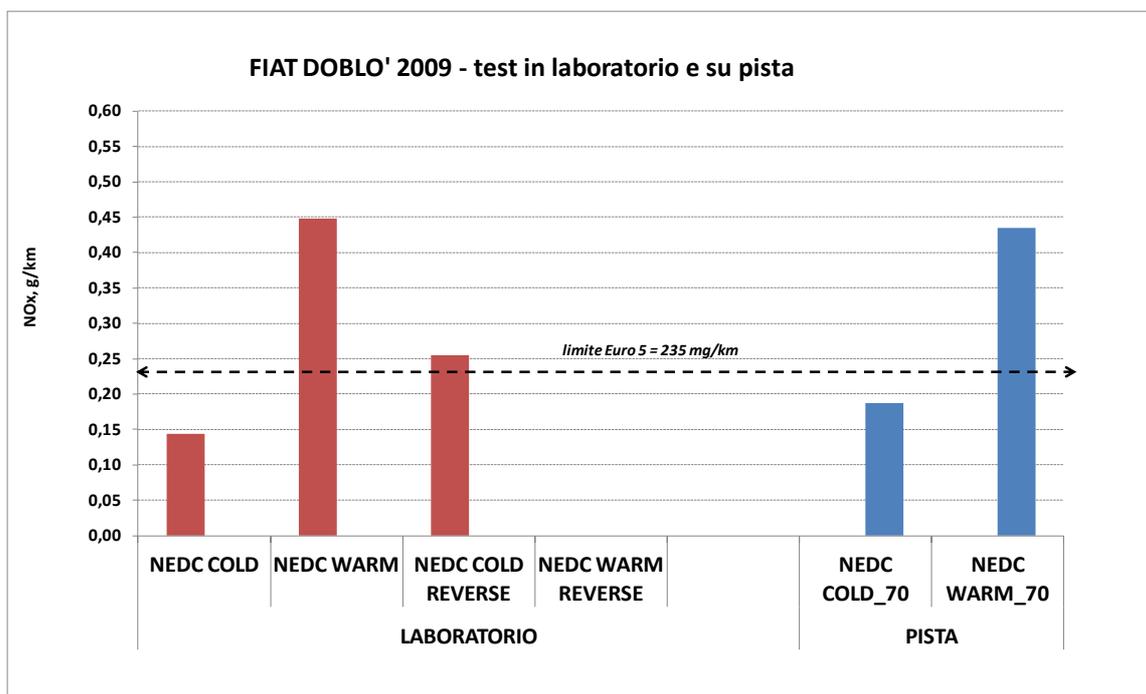


	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	NEDC WARM REVERSE	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF FIAT 500 L 1,6 Multijet	0,84	2,87	1,59	-	1,18	2,46

Veicolo: FIAT DOBLO'

Il Fiat Doblò, che è un veicolo commerciale con limite Euro 5 per i NOx di 235 mg/km, mostra emissioni a freddo e a caldo abbastanza confrontabili tra pista e laboratorio anche se in questo caso i cicli non sono gli stessi nella fase extra-urbana (fino a 120 km/h in laboratorio e fino a 70 km/h su pista). Anche per questa vettura le emissioni a caldo ottenute sia in laboratorio che su pista sono circa il doppio di quelle emesse con partenza a freddo.

I coefficienti di conformità (CF) riportati in tabella risultano minori di 1 o prossimi ad 1 quelli eseguiti in condizioni a freddo e pari a circa a 2 se condotti in condizioni warm.



	Laboratorio				Pista	
	NEDC COLD	NEDC WARM	NEDC COLD REVERSE	NEDC WARM REVERSE	NEDC COLD_70	NEDC WARM_70
CF FIAT DOBLO' 2009	0,61	1,91	1,08	-	0,80	1,85

4. Conclusioni

Il protocollo sviluppato ed adottato al fine di verificare il comportamento emissivo di veicoli Diesel Euro 5 prevede l'esecuzione di cicli di guida di omologazione standard (in condizioni di partenza a freddo e a caldo) e modificati (ciclo reverse) e reali (Urban) con il veicolo installato sul banco a rulli.

Al fine poi di valutare una eventuale differenza di comportamento della gestione motore tra prove effettuate sul banco a rulli e prove su strada, anche al fine di intercettare possibili dispositivi vietati di manipolazione del comportamento emissivo, i veicoli sono stati strumentati e alcuni dei test eseguiti sul banco a rulli sono stati ripetuti su pista.

In particolare, la ripetizione del ciclo di prova di omologazione (NEDC Cold) su pista e i conseguenti risultati paragonati con quelli ottenuti in laboratorio in condizioni simili, si è rivelato uno dei test più significativi per verificare la presenza o meno sul veicolo di dispositivi (vietati) in condizione di "abbassare il livello emissivo" soltanto nel corso delle prove di omologazione (circostanza che si realizza, secondo le ammissioni dei responsabili, nel caso dei veicoli del Gruppo VW).

Il primo risultato è che i cicli su pista sono ben riprodotti dai drivers (meno di 5 errori sul ciclo NEDC 70, cioè fino al secondo tratto della fase extra-urbana EUDC con velocità massima di 70 km/h e quindi senza raggiungere i 120 km/h).

L'analisi dei parametri motoristici mostra una buona riproducibilità in termini di numero di giri, portata d'aria, posizione pedale dell'acceleratore e portata combustibile delle prove su pista rispetto a quelle di laboratorio, a parità di ciclo di guida.

Sono i parametri ambientali a divergere talvolta (T e umidità ambiente) ed è diversa l'azione di raffreddamento sul motore dovuta al moto su pista del veicolo piuttosto che al ventilatore posizionato in laboratorio di fronte alla vettura.

Il parametro più variabile tra prove in laboratorio e su pista è risultata essere la temperatura dell'aria di aspirazione che può influenzare notevolmente il funzionamento dell'EGR per il controllo degli NOx. Molte volte la temperatura dell'aria di aspirazione in laboratorio è risultata più elevata di quella misurata su pista, specialmente quando si effettuano più cicli consecutivamente.

Il secondo aspetto da evidenziare è che mediamente (per i veicoli sui quali il dispositivo di manipolazione non è presente) il comportamento del veicolo in termini di emissioni di NOx durante le prove di laboratorio viene rispettato su pista. Un veicolo con basse emissioni di NOx durante un ciclo a freddo in laboratorio rimane un veicolo basso emissivo se guidato ovviamente in condizioni simili (carico simile, assenza di salite/discese etc.) su strada.

La strumentazione utilizzata ha dato i risultati attesi: facilità di installazione, scarsi consumi energetici, basso contributo al peso del veicolo (circa 35 kg), e buona rispondenza con strumentazione convenzionale da laboratorio. Può essere utilizzata per uno screening sulle emissioni di NOx senza dovere installare una strumentazione standard PEMS; è stato fondamentale, però, acquisire una serie di parametri motoristici per poter effettuare confronti, correlazioni e valutazioni rispetto ai valori emissivi misurati.

Sono state evidenziate due tipologie di comportamento per quanto concerne le emissioni di NOx:

1. Veicoli che nei cicli con partenza a caldo ($T_{\text{olio}} > 80^{\circ}\text{C}$) mostrano emissioni di NOx molto più alte (2-4 volte) di quelle rilasciate nello stesso ciclo con partenza a freddo. Probabilmente in condizioni di

partenza a freddo (previste dall'attuale ciclo di omologazione NEDC) viene utilizzata una differente calibrazione motore. Il comportamento rimane lo stesso sia sul banco sia su pista.

2. Veicoli particolarmente sensibili alle condizioni di temperatura dell'aria di aspirazione. Nel corso di questa sperimentazione, in particolare condotta su pista nella stagione estiva, si sono osservati alcuni comportamenti alto emissivi per $T > 30^{\circ}\text{C}$. Non si è riusciti invece a condurre test con $T < 18^{\circ}\text{C}$.

Tutti i veicoli provati sul ciclo di guida reale Urban molto dinamico, caratterizzato da elevate accelerazioni e dunque notevoli richieste di carico, hanno mostrato elevate emissioni di NOX. Infatti durante questo ciclo, alle temperature regimate del motore si aggiunge l'utilizzo parziale dell'EGR nelle condizioni di elevato carico imposte dal ciclo stesso.

Roma, 27 luglio 2016

Veicolo	Cilindrata [cc]	Potenza [kW]	Inerzia equivalente [kg]	S&S	Odometro (Km)	Trasmissione	Lab
VW Tiguan (2 veicoli)	1968	81	1700	SI	50	Manuale	IM-CNR
BMW 118d	1996	105	1470	SI	100	Automatica	IM-CNR
Ford Focus	1596	70	1360	NO	1800	Manuale M6	IM-CNR
Ford S-Max	1999	120	1700	NO	1800	Manuale M6	IM-CNR
Mercedes CLA 200 CDI	1796	100	1470	SI	1300	Automatica	IM-CNR
Mercedes E 220CDI	2143	125	1810	SI	1400	Automatica	IM-CNR
Opel Astra	2000	118	1470	NO	5500	Manuale M6	IM-CNR
<i>Renault Laguna</i>	1461	81	1360	NO	3992	Manuale M6	<i>IM-CNR</i>
<i>Renault Clio</i>	1461	55	1130	NO	3247	Manuale M5	<i>IM-CNR</i>
<i>Dacia Sandero</i>	1461	66	1130	NO	1200	Manuale M5	<i>IM-CNR</i>
Panda 1.3 SDE	1248	55	1130	SI	33132	Manuale M5	FCA
Giulietta 2.0 Mjet	1956	110	1360	SI	25070	Manuale M6	FCA
Doblo 1.3 SDE	1248	66	1360	NO	11195	Manuale M5	FCA
Giulietta 1.6 Mjet	1598	77	1360	SI	27000	Manuale M6	FCA
Cherokee 2.0 MT 4x2	1956	103	1810	SI	16500	Manuale M6	FCA
Lancia Y 1.3 SDE	1248	70	1130	SI	18500	Manuale M5	FCA
500L 1.6 Mjet S&S	1598	77	1470	SI	34522	Manuale M6	FCA

Tabella A: Elenco veicoli Euro 5 provati (ed in corso di prova: corsivo)



SCHEDA DEL VEICOLO MIT- 01 e 02		
	Data ricevimento veicolo in IM-CNR	23/11/2015
	Codice Identificativo Interno IM-CNR	MIT-01 e MIT-02
	Costruttore del veicolo	Volkswagen
	Categoria del veicolo	M1
	Modello del veicolo (nome commerciale)	Tiguan
	Tipo/Variante/Versione	
	VIN (Vehicle Identification Number)	WVGZZZ5NZFW614662
	Codice motore	CFFD
	Chilometraggio alla consegna [km]	45
	Cilindrata [cc]	1468
	Max potenza [kW]	81
	Massima coppia [Nm]	280
	Massima velocità [km/h]	175
	Tipo di trasmissione	Manuale
	Tipo di trazione	Anteriore
	Start&Stop	SI
	Sistema after-treatment	BLOCCO DOC+cDPF
	Sistema EGR	SI
	Massa di riferimento [kg]	1511
	Standard emissivo	Euro 5b
	Inerzia equivalente [kg]	1470
	Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]	F0= 7.4, F1=0.0502N/(km/h), F2= 329 N/(km/h)^2
	Ciclo di omologazione	NEDC
	Valore di omologazione CO [g/km]	
	Valore di omologazione NOx [g/km]	
	Valore di omologazione HC+NOx [g/km]	
	Valore di omologazione PM [mg/km]	
	Valore di omologazione PN [# /km]	
	Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC[g/km]	
	Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC[g/km]	

Tabella B1/2: Scheda con le caratteristiche dei veicoli VW Tiguan



SCHEDA DEL VEICOLO MIT-03		
Data ricevimento veicolo in IM-CNR		22/03/2016
Codice Identificativo Interno IM-CNR		MIT-03
Costruttore del veicolo		BMW
Categoria del veicolo		M1/ Station vagon
Modello del veicolo (nome commerciale)		1 serie - 118d
Tipo/Variante/Versione		1K4/1C11/5A250000
VIN (Vehicle Identification Number)		
Codice motore		N47D20C
Chilometraggio alla consegna [km]		97
Cilindrata [cc]		1995
Max potenza [kW]		105 a 4000 rpm
Massima velocità [km/h]		212
Tipo di trasmissione		Automatica
Tipo di trazione		Posteriore
Start&Stop		SI
Sistema after-treatment		BLOCCO DOC+cDPF
Sistema EGR		SI fino al max 50%
Massa di riferimento [kg]		
Standard emissivo		Euro 5b
Inerzia equivalente [kg]		
Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]		
Ciclo di omologazione		NEDC
Valore di omologazione CO [g/km]		
Valore di omologazione NOx [g/km]		
Valore di omologazione HC+NOx [g/km]		
Valore di omologazione PM [mg/km]		
Valore di omologazione PN [# /km]		
Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC [g/km]		
Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC [g/km]		

Tabella B3: Scheda con le caratteristiche del veicolo BMW 118d



SCHEDA DEL VEICOLO MIT-04		
Data ricevimento veicolo in IM-CNR		31/03/2016
Codice Identificativo Interno IM-CNR		MIT-04
Costruttore del veicolo		Ford
Categoria del veicolo		M1/ BERLINA
Modello del veicolo (nome commerciale)		Focus
Tipo/Variante/Versione		DYB/T3DA15/5DAAMC
VIN (Vehicle Identification Number)		
Codice motore		T3DA
Chilometraggio alla consegna [km]		1800
Cilindrata [cc]		1596
Max potenza [kW]		70 a 3600 rpm
Massima velocità [km/h]		180
Tipo di trasmissione		Manuale
Tipo di trazione		Anteriore
Start&Stop		NO
Sistema after-treatment		BLOCCO DOC+cDPF
Sistema EGR		SI
Massa di riferimento [kg]		1360
Standard emissivo		Euro 5b
Inerzia equivalente [kg]		1360
Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]		33/0.8094/0.0297
Ciclo di omologazione		NEDC
Valore di omologazione CO [g/km]		0.189
Valore di omologazione NOx [g/km]		0.1653
Valore di omologazione HC+NOx [g/km]		0.1848
Valore di omologazione PM [mg/km]		0.55
Valore di omologazione PN [# /km]		3.090e+11
Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC [g/km]		150/98/117
Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC [g/km]		5.7/3.7/4.5

Tabella B4: Scheda con le caratteristiche del veicolo Ford Focus



SCHEDA DEL VEICOLO MIT-05		
Data ricevimento veicolo in IM-CNR		31/03/2016
Codice Identificativo Interno IM-CNR		MIT-05
Costruttore del veicolo		Ford
Categoria del veicolo		M1
Modello del veicolo (nome commerciale)		S-Max
Tipo/Variante/Versione		WA6/TXWA1S/7HEAQQ
VIN (Vehicle Identification Number)		
Codice motore		TXWA
Chilometraggio alla consegna [km]		1800
Cilindrata [cc]		1999
Max potenza [kW]		120 a 3750 rpm
Massima velocità [km/h]		194
Tipo di trasmissione		Manuale
Tipo di trazione		Anteriore
Start&Stop		NO
Sistema after-treatment		BLOCCO DOC+cDPF
Sistema EGR		SI
Massa di riferimento [kg]		1700
Standard emissivo		Euro 5b
Inerzia equivalente [kg]		1700
Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]		102.49/1.3922/0.0267
Ciclo di omologazione		NEDC
Valore di omologazione CO [g/km]		0.3565
Valore di omologazione NOx [g/km]		0.1722
Valore di omologazione HC+NOx [g/km]		0.2273
Valore di omologazione PM [mg/km]		0.15
Valore di omologazione PN [# /km]		3.090e+11
Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC [g/km]		170/122/139
Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC [g/km]		6.5/4.7/5.3

Tabella B5: Scheda con le caratteristiche del veicolo Ford S-Max

SCHEDA DEL VEICOLO MIT-06		
	Data ricevimento veicolo in IM-CNR	02/05/2016
	Codice Identificativo Interno IM-CNR	MIT-06
	Costruttore del veicolo	Mercedes
	Categoria del veicolo	M1
	Modello del veicolo (nome commerciale)	CLA 200 CDI
	Tipo/Variante/Versione	245G/2308M2/MZAAB543
	VIN (Vehicle Identification Number)	WDD1173011N119033
	Codice motore	651901
	Chilometraggio alla consegna [km]	1296
	Cilindrata [cc]	1796
	Max potenza [kW]	100 a 4400 rpm
	Massima velocità [km/h]	220
	Tipo di trasmissione	Automatica
	Tipo di trazione	Posteriore
	Start&Stop	SI
	Sistema after-treatment	BLOCCO DOC+cDPF
	Sistema EGR	SI
	Massa di riferimento [kg]	1530
	Standard emissivo	Euro 5b
	Inerzia equivalente [kg]	1470
	Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]	F0=113 N, F1=0N/(km/h), F2=0,034 N/(km/h) ²
	Ciclo di omologazione	NEDC
	Valore di omologazione CO [g/km]	0.226
	Valore di omologazione NOx [g/km]	0.159
	Valore di omologazione HC+NOx [g/km]	0.178
	Valore di omologazione PM [mg/km]	0.45
	Valore di omologazione PN [# /km]	1,580E+09
	Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC[g/km]	137,0/111,0/118,0
	Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC[g/km]	5,2/4,2/4,5

Tabella B6: Scheda con le caratteristiche del veicolo Mercedes CLA200



SCHEDA DEL VEICOLO MIT-07	
Data ricevimento veicolo in IM-CNR	02/05/2016
Codice Identificativo Interno IM-CNR	MIT-07
Costruttore del veicolo	Mercedes
Categoria del veicolo	M1
Modello del veicolo (nome commerciale)	Classe E 220 CDI
Tipo/Variante/Versione	212K/J2S2M0/NZ CB501
VIN (Vehicle Identification Number)	WDD2122021A808470
Codice motore	651924
Chilometraggio alla consegna [km]	1420
Cilindrata [cc]	2143
Max potenza [kW]	125 a 4200 rpm
Massima velocità [km/h]	216
Tipo di trasmissione	Automatica
Tipo di trazione	Posteriore
Start&Stop	SI
Sistema after-treatment	BLOCCO DOC+cDPF
Sistema EGR	SI
Massa di riferimento [kg]	1820
Standard emissivo	Euro 5b
Inerzia equivalente [kg]	1810
Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]	107N/1,68N/(km/h)/0,0253N/(km/h)^2
Ciclo di omologazione	NEDC
Valore di omologazione CO [g/km]	0.935
Valore di omologazione NOx [g/km]	0.148
Valore di omologazione HC+NOx [g/km]	0.160
Valore di omologazione PM [mg/km]	0.23
Valore di omologazione PN [# /km]	2,420E+10
Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC[g/km]	169,0/124,0/141,0
Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC[g/km]	6,4/4,7/5,4

Tabella B7: Scheda con le caratteristiche del veicolo Mercedes E220



SCHEDA DEL VEICOLO MIT-08	
Data ricevimento veicolo in IM-CNR	30/05/2016
Codice Identificativo Interno IM-CNR	MIT-08
Costruttore del veicolo	Opel
Categoria del veicolo	M1
Modello del veicolo (nome commerciale)	Astra
Tipo/Variante/Versione	SEDAN
VIN (Vehicle Identification Number)	W0LPE6ENXFG151062
Codice motore	A20DTH
Chilometraggio alla consegna [km]	5500
Cilindrata [cc]	1956
Max potenza [kW]	118 a 4000 rpm
Massima velocità [km/h]	209
Tipo di trasmissione	Manuale
Tipo di trazione	Anteriore
Start&Stop	NO
Sistema after-treatment	BLOCCO DOC+cDPF
Sistema EGR	SI
Massa di riferimento [kg]	
Standard emissivo	Euro 5b
Inerzia equivalente [kg]	1470
Parametri stradali da simulare [N, N/(km/h), N/(km/h)^2]	F0= 78,9 N, F1=0,383N/(km/h), F2= 0,03297 N/(km/h)^2
Ciclo di omologazione	NEDC
Valore di omologazione CO [g/km]	0.353
Valore di omologazione NOx [g/km]	0.120
Valore di omologazione HC+NOx [g/km]	0.153
Valore di omologazione PM [mg/km]	0.18
Valore di omologazione PN [# /km]	1,210E+09
Valore di omologazione CO₂ UDC/EUDC/NEDC[g/km]	157,0/105,0/124,0
Valore di omologazione consumi UDC/EUDC/NEDC[g/km]	5,9/4,0/4,7

Tabella B8: Scheda con le caratteristiche del veicolo Opel Astra



VW Tiguan	BMW 118d	Ford Focus	Ford Smax	Mercedes CLA	Mercedes E	Opel Astra	Dacia Sandero	Renault Clio	Renault Laguna
Consumo di carburante [l/h]	Flusso massa d'aria effettiva [mg/ciclo]	Coppia del motore calcolata [Nm]	Coppia del motore calcolata [Nm]	Attuatore del ricircolo dei gas di scarico [%]	Attuatore del ricircolo dei gas di scarico [%]	posizione pedale acceleratore [%]	Coppia motrice [N/m]	Coppia motrice [N/m]	Portata d'aria calcolata [kg/h]
Posizione della valvola a farfalla assoluta [%]	Regime motore [rpm]	EGR comandato [%]	EGR comandato [%]	Massa aria [mg/ciclo]	Massa aria [mg/ciclo]	pressione di combustione massima nel cilindro 4 [bar]	portata linea di scarico [g/s]	Portata d'aria calcolata [kg/h]	portata linea di scarico [g/s]
Regime motore [rpm]	Segnale attuatore EGR per funzionamento ad alta pressione [%]	Flusso massa aria [g/s]	Flusso aria misurato dal sensore MAF [g/s]	Quantità iniettata [mg/ciclo]	Quantità iniettata [mg/ciclo]	pressione differenziale FAP [mbar]	Posizione EGR [%]	Posizione EGR [%]	potenziometro EGR [V]
Temperatura aria aspirata [°C]	Segnale attuatore EGR per funzionamento a bassa pressione [%]	Numero di giri motore [rpm]	Giro Motore al Minuto [rpm]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	posizione pedale acceleratore [%]	Portata d'aria nominale [mg/ciclo]	Regime Motore [rpm]
Temperatura dell'olio motore [°C]	Temperatura dell'aria aspirata [°C]	Pressione differenziale gas di scarico [mbar]	Posizione pedale acceleratore D [%]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	posizione pedale acceleratore [%]	Temperatura acqua [°C]	Temperatura carburante [°C]
Valore effettivo massa d'aria [g/s]	Temperatura del carburante [°C]	Temperatura aria aspirata 2 [°C]	Temperatura dell'aria aspirata [°C]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	posizione pedale acceleratore [%]	Temperatura a monte catalizzatore [°C]	Temperatura liquido di raffreddamento motore [°C]
Valore effettivo valvola di ricircolo gas di scarico [%]	Temperatura del liquido di raffreddamento [°C]	Temperatura refrigerante motore [°C]	Temperatura refrigerante motore [°C]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	regime motore [rpm]	posizione pedale acceleratore [%]	Temperatura a monte del parzializzatore di aspirazione [°C]	Temperatura aria aspirata [°C]
velocità del veicolo [km/h]	Temperatura gas di scarico a monte del catalizzatore [°C]	Velocità veicolo - Alta risoluzione [mg/l/h]	Velocità veicolo - Alta risoluzione [km/h]	Velocità veicolo [km/h]	Velocità veicolo [km/h]	velocità veicolo [km/h]	velocità veicolo [km/h]	velocità veicolo [km/h]	velocità veicolo [km/h]

Tabella C: Parametri acquisiti da centralina per ogni veicolo provato in IM-CNR
(Dacia e Renault in corso di prova)



5. Riferimenti bibliografici

1. <http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/vw-nov-2015-11-02.pdf>
2. Report CAFEE (2014) “*In-use Emission Testing of Light-Duty Diesel Vehicles in the United States*”.
3. Regolamento della Commissione europea 2016/427 del 10/03/2016. Official Journal of the European Union L. 82 31/03/2016.
4. Gerrit Kadijk, Pim van Mensch, Jordy Spreen (2015). *Detailed investigations and real-world emission performance of Euro 6 diesel passenger cars*. TNO Report 2015 R10702.
5. UK Department for Transport (2016). *Vehicle Emissions Testing Programme*. CM 9259, London April 2016. Web ISBN 9781474131308.
6. Royal S. (2016). *Resultats des controles des emissions de polluants atmospheriques et de CO₂ mesurés les 52 premiers vehicules*. Dossier de presse, Ministre de l’environnement, Republique Francaise (in French).
7. BMVI (2016). Bericht der Untersuchungskommission. Volkswagen. Bundesministerium fuer Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin, Germany (in German).
8. Leonidas Ntziachristos, Giannis Papadimitriou, Norbert Ligterink, Stefan Hausberger (2016). *Implications of diesel emissions control failures to emission factors and road transport NOx evolution*. Atmospheric Environment 141 (2016) 542-551.
9. Jibing Jiang , Dinggen Li (2016). *Theoretical analysis and experimental confirmation of exhaust temperature control for diesel vehicle NOx emissions reduction*. Applied Energy 174 (2016) 232–244.
10. EPA (2016). Volkswagen Light Duty Diesel Vehicle Violations for Model Years 2009-2016. US Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/vw> (accessed July 2016).



*TEST REPORT: Valutazioni emissioni e consumi (Euro 5)
Regolamento (EC) N° 692/2008*

TEST REQUIREMENTS

PROVA DI TIPO 1 (Emissioni allo scarico dopo una partenza a freddo)

Equipaggiamento laboratorio Emissioni Istituto Motori CNR

Sala Emissioni E3	Costruttore	Tipo
Banco a rulli	Schenk	Monorullo 62" - freno a c.c.
CVS	NOVA-MMB Messtechnik	PDP
Blower		Velocità variabile
Analizzatore di gas	Horiba	Mexa 7200H
Campionatore PM	TCR Tecora	Bravo M Plus
Analizzatore PN	TSI	CPC

Metodo per settare il carico:

Annex 4, Appendice 3	Simulazione del carico stradale tramite coast- down		S	