

***EXPERT PANEL EMISSIONI DA TRASPORTO SU STRADA
RIUNIONE STRAORDINARIA***

Firenze, 7 febbraio 2006

***LE NUOVE TECNOLOGIE PER LA RIDUZIONE
DELLE EMISSIONI INQUINANTI DEGLI
AUTOVEICOLI***

FRANCESCO AVELLA



Stazione Sperimentale per i Combustibili

PROBLEMATICHE ATTUALI NELLA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DEGLI AUTOVEICOLI

- Il principale obiettivo che il costruttore si propone per porre sul mercato autoveicoli conformi agli standard Euro 4 (dal 2006) ed Euro 5 (dal 2008) riguarda la riduzione degli NO_x emessi dai motori a benzina G-DI *lean-burn* e del particolato e degli NO_x emessi dai motori diesel
- Particolarmente difficile sarà la riduzione contemporanea delle emissioni di queste due specie inquinanti dei motori diesel perché ostacolata dalla ben nota relazione di *trade-off* NO_x - PM
- Un altro ambizioso obiettivo riguarda il contenimento dei consumi di combustibile al fine di limitare l'emissione dell'anidride carbonica, in ottemperanza al Protocollo di Kyoto, al valore auspicato di 140 g/km entro il 2008 e 120 g/km entro il 2012
- Entrambi questi obiettivi non possono essere raggiunti soltanto attraverso l'applicazione delle nuove tecnologie motoristiche, ma occorre ricorrere anche all'introduzione di dispositivi catalitici di post-trattamento dei gas di scarico, sensibili alla qualità dei combustibili (*World-Wide Fuel Charter*)

STRATEGIE PER RIDURRE LE EMISSIONI INQUINANTI

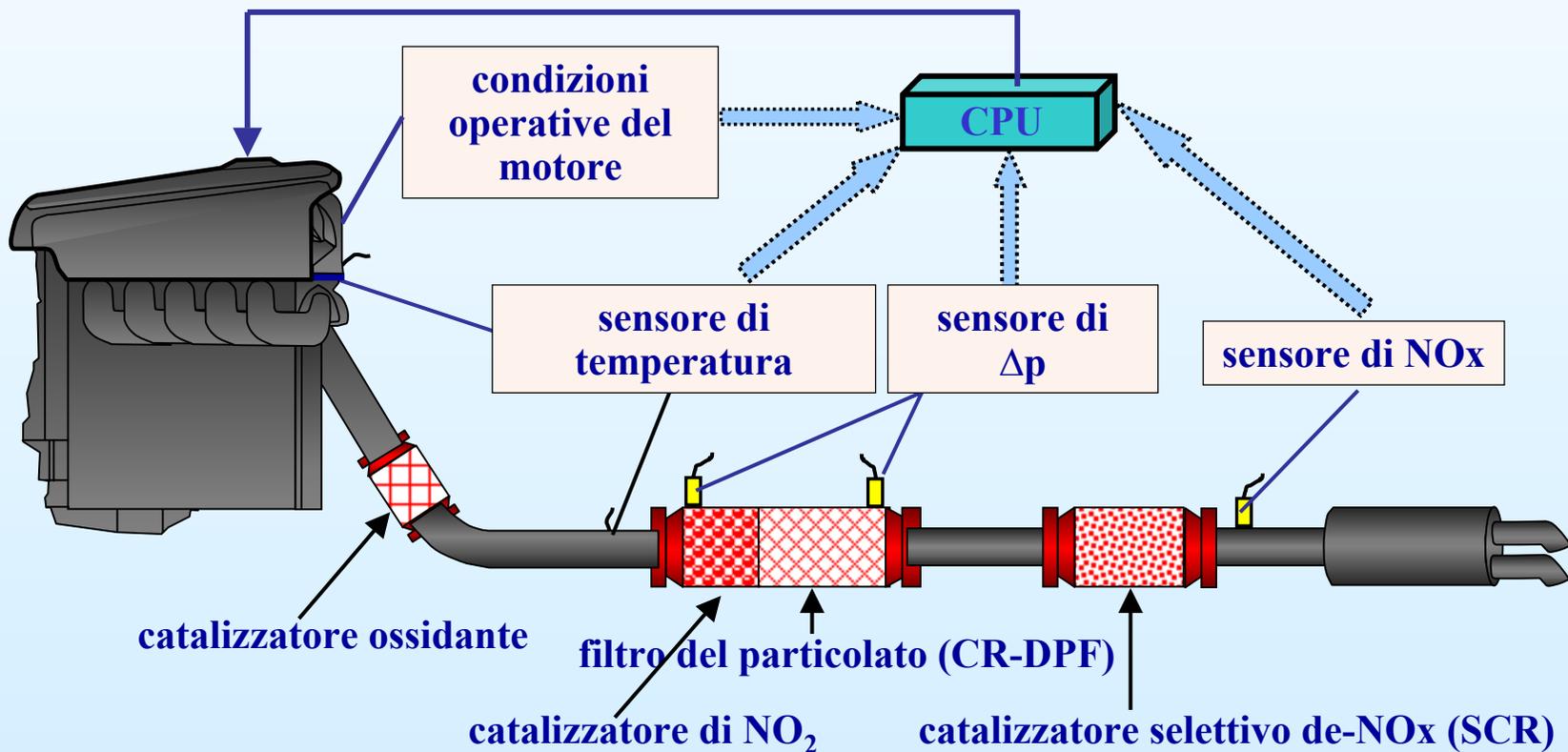
Riduzione delle emissioni
attraverso il
**perfezionamento del
propulsore**

- *nuovo disegno della camera di combustione (motori ID e lean-burn)*
- *impiego di sistemi di iniezione a elevata pressione (common rail, pompa iniettore)*
- *elettronica per il controllo di: EGR, fasatura di accensione e di iniezione, fasatura valvole*

Applicazione di
**dispositivi di post-
trattamento dei gas di
scarico**

- *catalizzatori TWC di nuova generazione per auto a benzina e a gas*
- *catalizzatori ossidanti per motori diesel*
- *catalizzatori de-NOx → SCR e NSC*
- *filtri per particolato → C-DPF e CR-DPF*

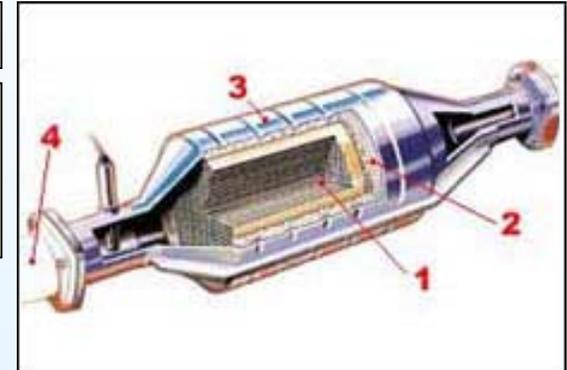
SCHEMA DI UN CONDOTTO DI SCARICO AVANZATO PER MOTORE DIESEL A BASSO IMPATTO AMBIENTALE



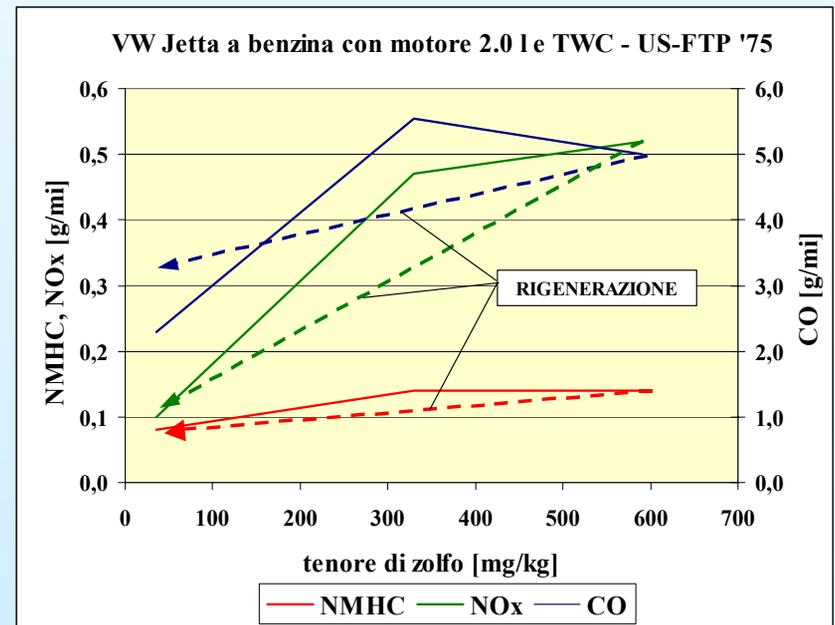
CONVERTITORE CATALITICO TRIFUNZIONALE (Three-Way Catalyst - TWC)

Metalli attivi: Pt / Pd / Rh

1. monolito a nido d'ape
2. isolante termico
3. involucro
4. collettore ingresso gas



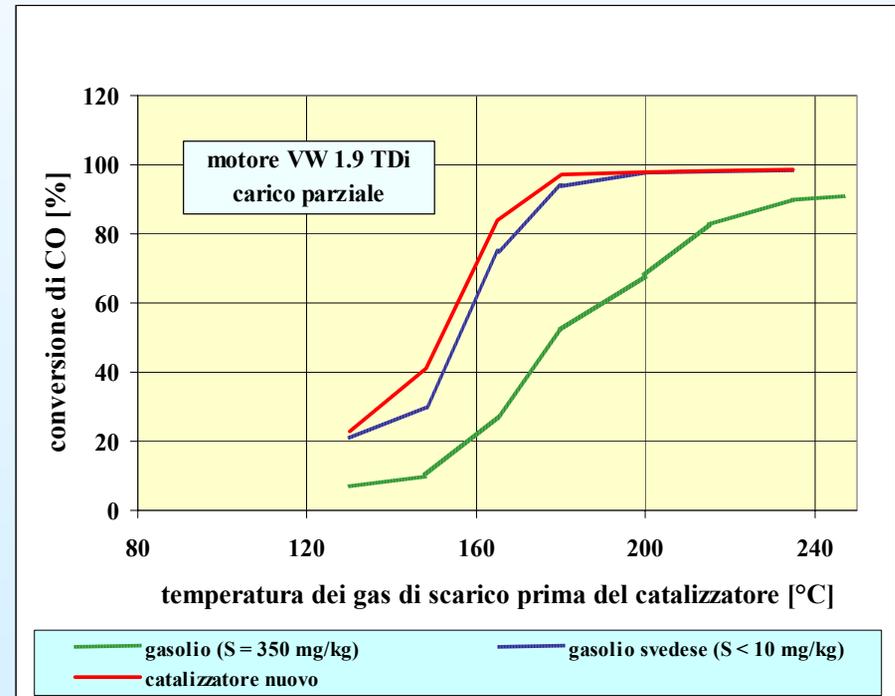
- Nei sistemi più avanzati il Pd sostituisce il Pt per aumentare la stabilità termica e permettere di avvicinare il TWC al collettore di scarico del motore per ridurre il tempo (temperatura) di *light-off*
- A differenza del Pt, il Pd è più sensibile all'avvelenamento da parte dello zolfo nella benzina
- Il processo di avvelenamento (accumulo di solfati) è solo parzialmente reversibile: il recupero di efficienza non è mai completo con benzina ULS



CATALIZZATORE OSSIDANTE PER MOTORI DIESEL (Oxy Cat)

- Struttura a nido d'ape simile a quella del TWC
- In grado di ridurre con elevata efficienza soltanto le emissioni di CO e di HC e, in parte, del particolato (SOF)
- Particolarmente sensibile alla presenza di zolfo nel gasolio: si riduce col tempo l'efficienza di conversione
- Recupero di funzionalità mai completo, anche dopo lungo esercizio dell'autoveicolo con gasolio ULS

Metalli attivi: Pt / Pd



TRAPPOLA PER GLI OSSIDI DI AZOTO (NO_x Storage Catalyst - NSC)

1/2

- Dispositivo ceramico a nido d'ape molto efficace nel cui *wash-coat* è presente BaO per “intrappolare” gli NO_x.
- Idoneo per i motori G-DI *lean-burn* e i propulsori diesel leggeri

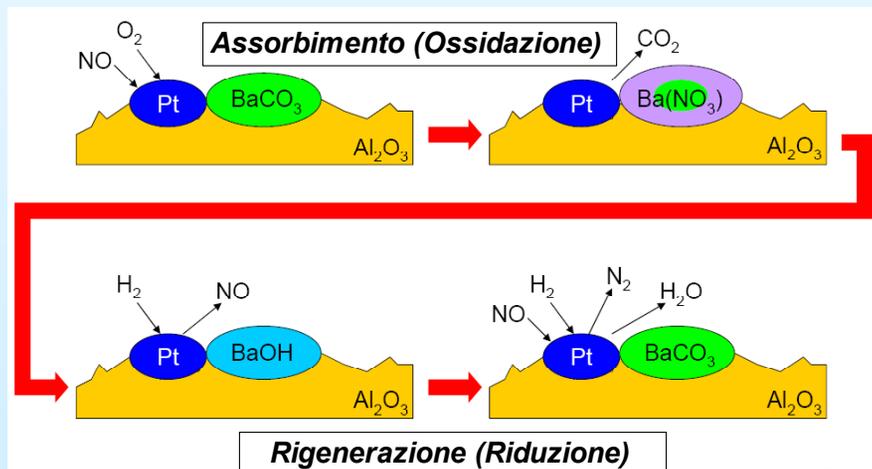
Metalli attivi: Pt / Pd - BaO

Processo di “assorbimento”

- ossidazione dell'NO a NO₂
- formazione di Ba(NO₃)₂

Processo di “rigenerazione”

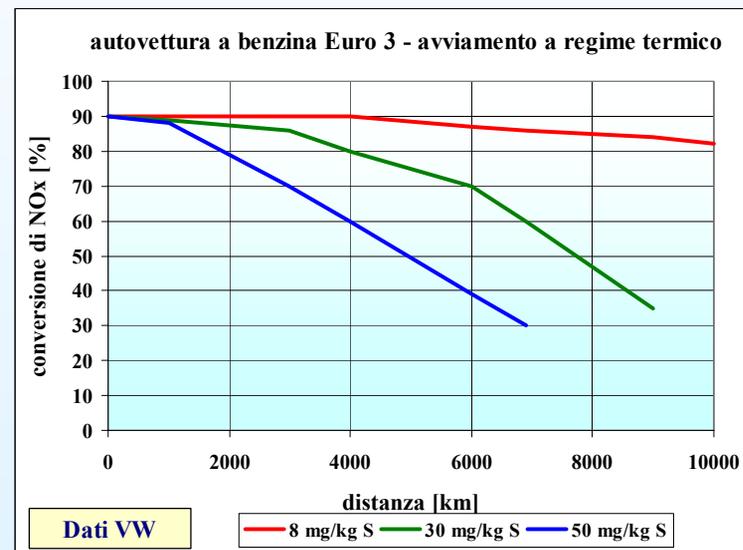
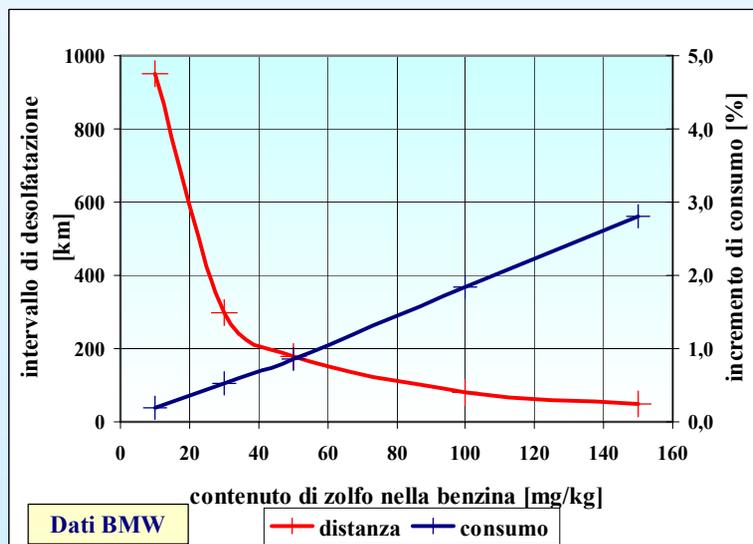
- innalzamento della temperatura dei gas di scarico attraverso l'arricchimento momentaneo (pochi secondi) della miscela combustibile /aria
- decomposizione del Ba(NO₃)₂ in N₂ e BaO/BaCO₃



TRAPPOLA PER GLI OSSIDI DI AZOTO (NOx Storage Catalyst - NSC)

2/2

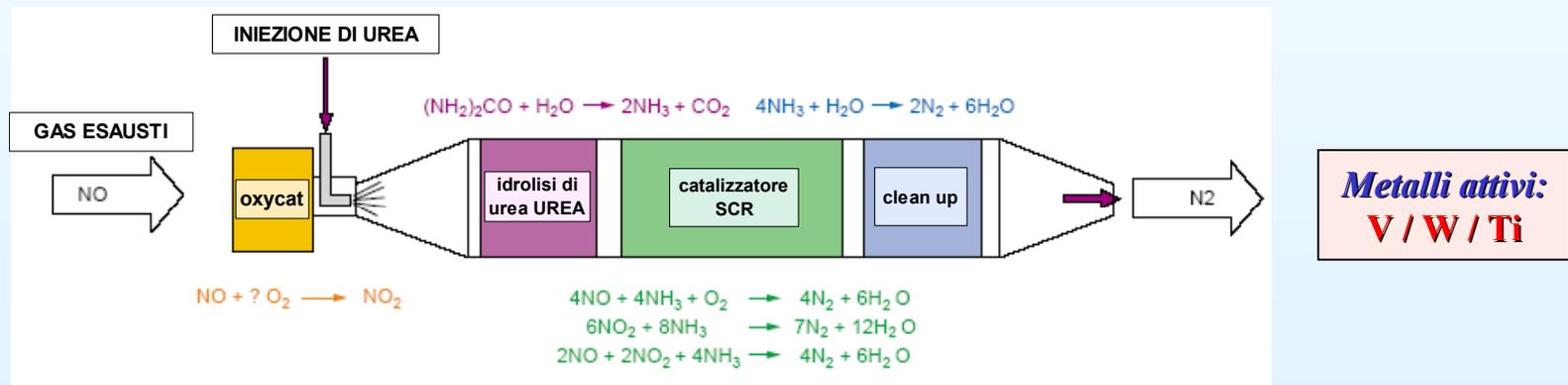
- Fortemente sensibile all'avvelenamento da zolfo presente nei combustibili: formazione di BaSO_4 , sostanza più stabile del $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, è competitiva con quella del nitrato
- Perdita di efficienza molto rapida



- Accumulo di BaSO_4 : maggiore frequenza di rigenerazione della trappola e durata del processo più elevata
- Effetto: incremento del consumo di combustibile e dell'emissione della CO_2

CATALIZZATORE SELETTIVO DI RIDUZIONE DEGLI NO_x (Selective Catalyst Reduction System - SCR)

- Principio di funzionamento basato sulle proprietà riducenti dell'ammoniaca (generata da urea in soluzione acquosa) per formare azoto e acqua

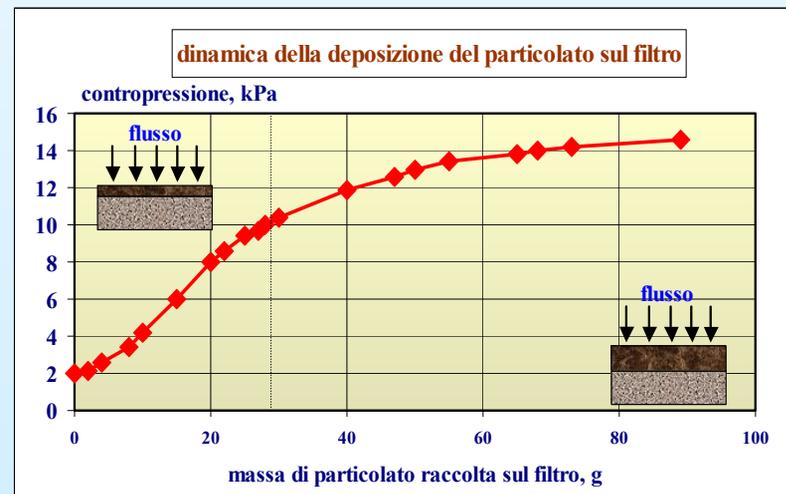
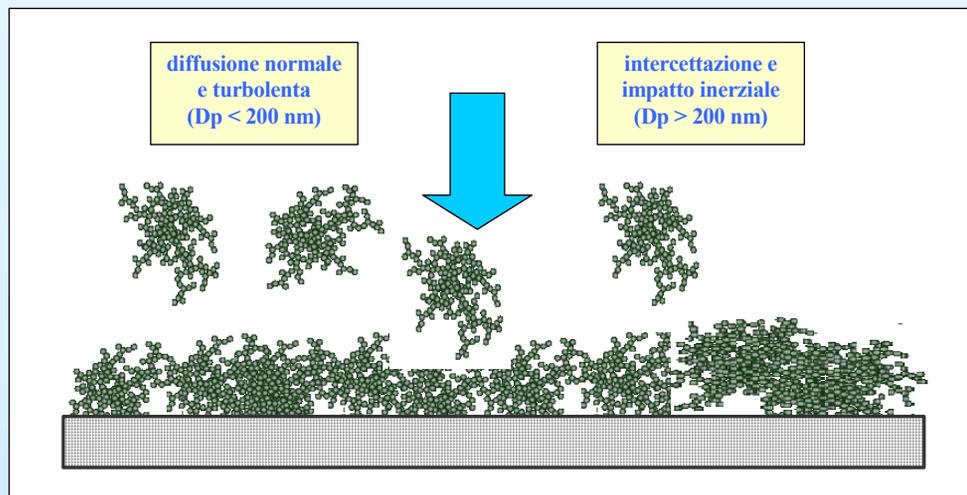
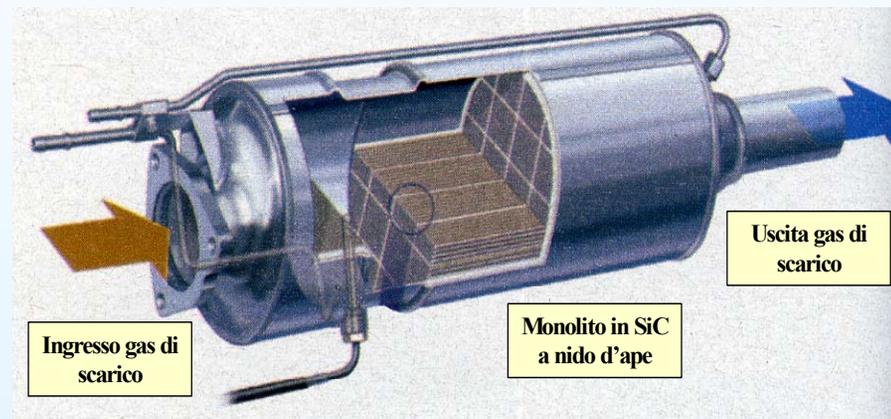


- Sistema costruttivamente complesso: tre sezioni catalitiche per idrolisi, riduzione SCR e sorveglianza per controllo di emissione in atmosfera di ammoniaca non reagita
- Iniezione della soluzione controllata tramite OBD e sensore di NO_x
- Bassa sensibilità allo zolfo nel gasolio: deattivazione (reversibile) causata dalla formazione di bisolfato di ammonio

FILTRO CATALITICO PER IL PARTICOLATO (Catalytic Diesel Particulate Filter - C-DPF)

1/2

Costituito da un monolito a nido d'ape di SiC, in cui le celle sono chiuse in modo alternativo da un lato per potere filtrare in continuo i gas di scarico trattengono il particolato



PROCESSO DI RIGENERAZIONE DEL FILTRO (Catalytic Diesel Particulate Filter - C-DPF)

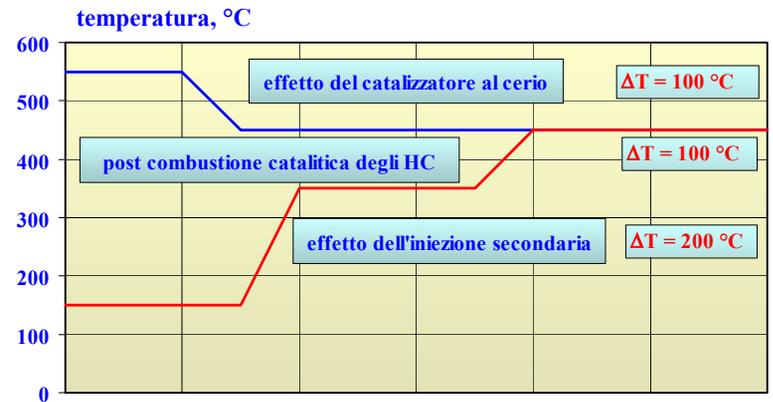
2/2

Processo di "rigenerazione"

- innalzamento della temperatura dei gas di scarico a valori $> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ attraverso l'arricchimento momentaneo (pochi secondi) della miscela combustibile /aria
- l'arricchimento della miscela è realizzato attraverso la gestione pilotata elettronicamente di alcuni organi del motore che intervengono sul processo di combustione: *attuazione di iniezioni multiple, regolazioni di fasatura di iniezione, flusso d'aria aspirata, sovralimentazione*

- alcuni sistemi impiegano anche un catalizzatore a base di cerio disperso nel combustibile (*fuel-born catalyst*) per favorire la combustione della coltre di fuliggine

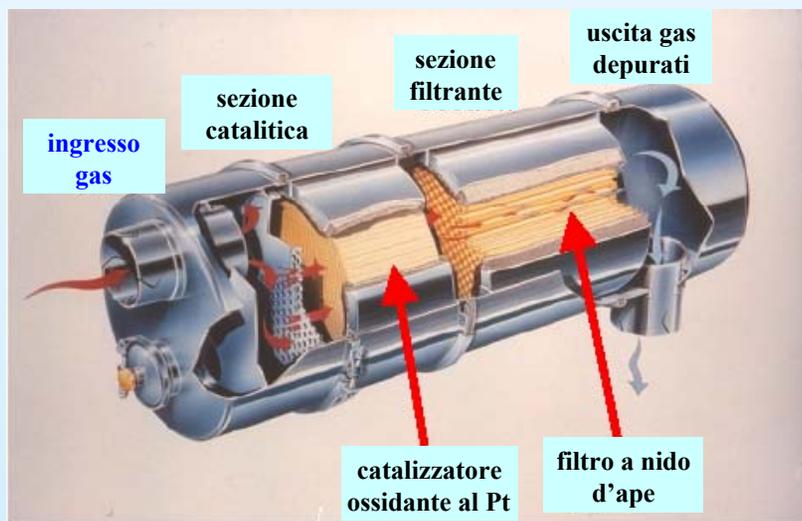
principio di rigenerazione del CDPF (FAP)



TRAPPOLA A RIGENERAZIONE CONTINUA (Continuous Regenerating Diesel Particulate Filter - CR-DPF)

- Dispositivo filtrante, noto anche come CRT[®], in grado di ossidare in continuo il particolato trattenuto sulla sua superficie impiegando come comburente NO₂ in sostituzione dell'O₂

- NO₂ generato dall'ossidazione di una parte di NO presente nei gas di scarico, mediante un catalizzatore ossidante a base di Pt posto prima del filtro



CRT[®] (Johnson Matthey)

meccanismo di funzionamento

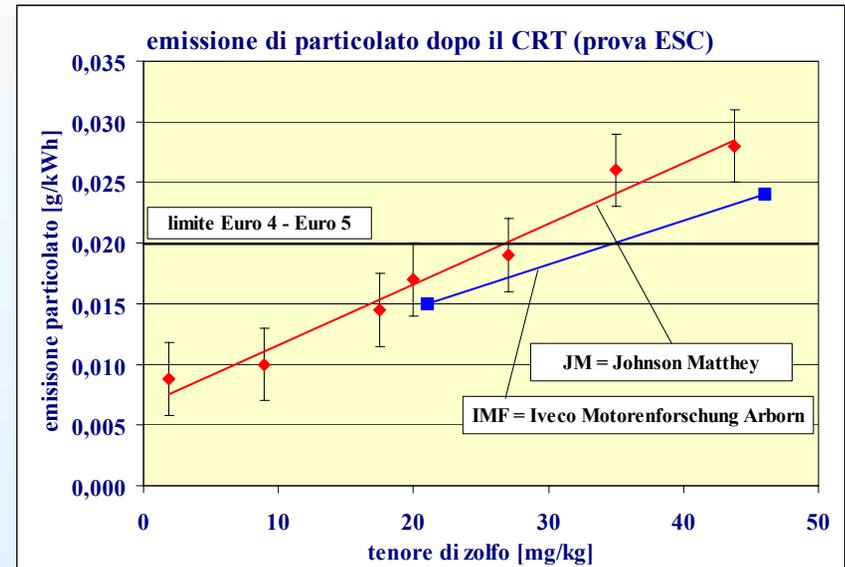


- Sistema applicabile anche come retrofit per autoveicoli diesel pesanti (bus, veicoli commerciali)

CAUSE DI PERDITA DI EFFICIENZA DEI FILTRI

Deterioramento nel tempo (accumulo chilometraggio) del DPF causato da:

- **zolfo nel combustibile: porta a una perdita di efficienza di rigenerazione determinata dalla reazione competitiva dell'ossidazione dell' SO_2 a SO_3 rispetto a quella dell' NO a NO_2 con incremento del consumo**
- **accumulo progressivo di ceneri che tendono a intasare i pori del filtro e ad aumentare la contropressione allo scarico del motore**



Origine delle ceneri

- **zolfo nel combustibile**
- **additivi a base metallica nel lubrificante**
- **materiali metallici da usura**
- **materiali minerali dispersi nell'aria di combustione aspirata dal motore**

ESPERIENZE SULL'APPLICAZIONE PRATICA DEI FILTRI

1/2

Progetti sperimentali dimostrativi su autoveicoli diesel pesanti

- **Programma MTA 2000/2001 in New York City**

[SAE technical paper 2001-01-0511, SAE 2002-01-0430]

25 autobus urbani dello stesso modello in servizio a New York City

- **Programma CARB 2000/2001 in Sud California**

[SAE technical paper 2001-01-0512]

32 autoveicoli di varia tipologia (bus, scuola bus, autocarri, furgoni)

- **Tutti gli autoveicoli erano equipaggiati con CRT™ (retrofit) e alimentati con gasolio ULS ($S < 30$ mg/kg)**
- **Eseguito il controllo in esercizio dei parametri di funzionamento del CRT e delle emissioni a intervalli regolari con differenti cicli di guida reali di alcuni autoveicoli campione**

Progetti sperimentali dimostrativi nazionali

- **Programma di prove (EniTecnologie – ATM Milano)**

[Forum Mobilità e Territorio, Milano, 19 febbraio 2003]

Prove su uno dei 30 autobus Euro 2 di ATM equipaggiati con CRT™ in servizio a Milano e alimentati con gasolio ULS (S < 10 mg/kg)

Controllo delle emissioni impiegando il ciclo di guida reale ATM 61

- **Prove su autovettura Peugeot FAP (QuattroRuote - SSC)**

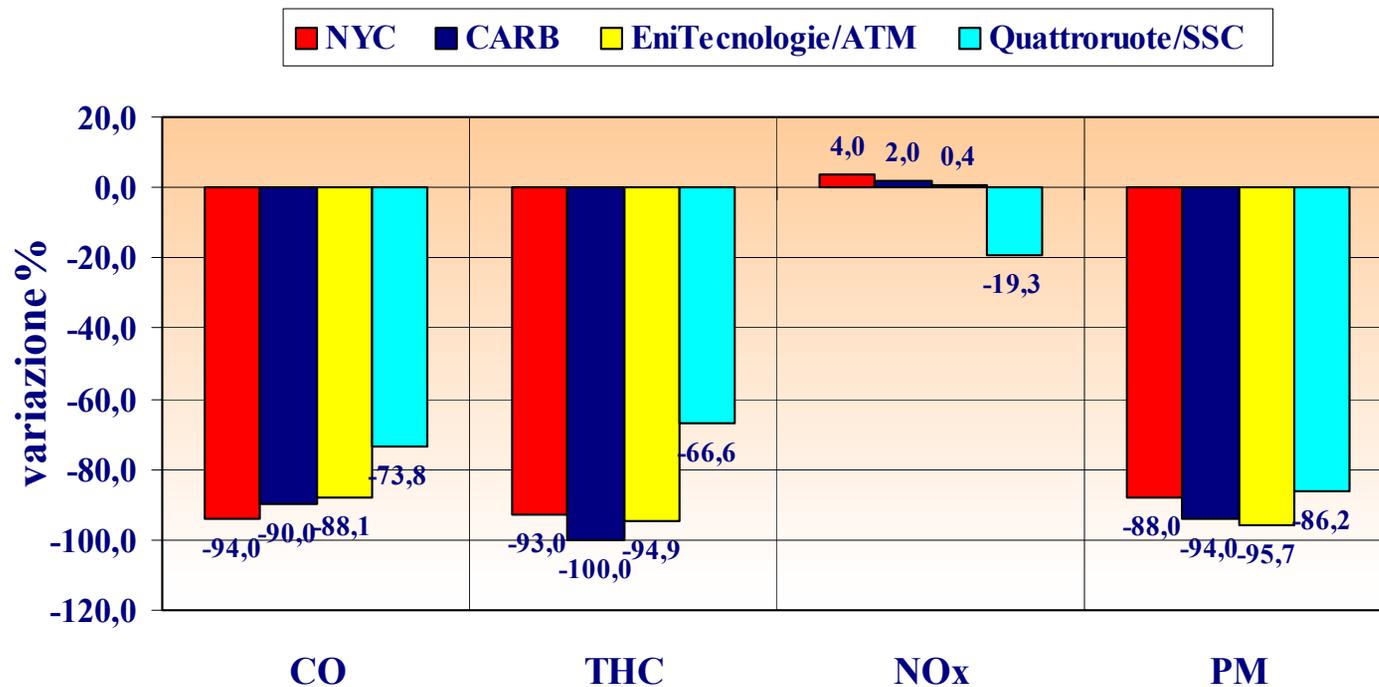
[La Rivista dei Combustibili, 56, 4-5, 2002]

Peugeot 307 FAP a confronto con un'autovettura diesel convenzionale Euro 3, entrambe alimentate con gasolio convenzionale e con gasolio ULS

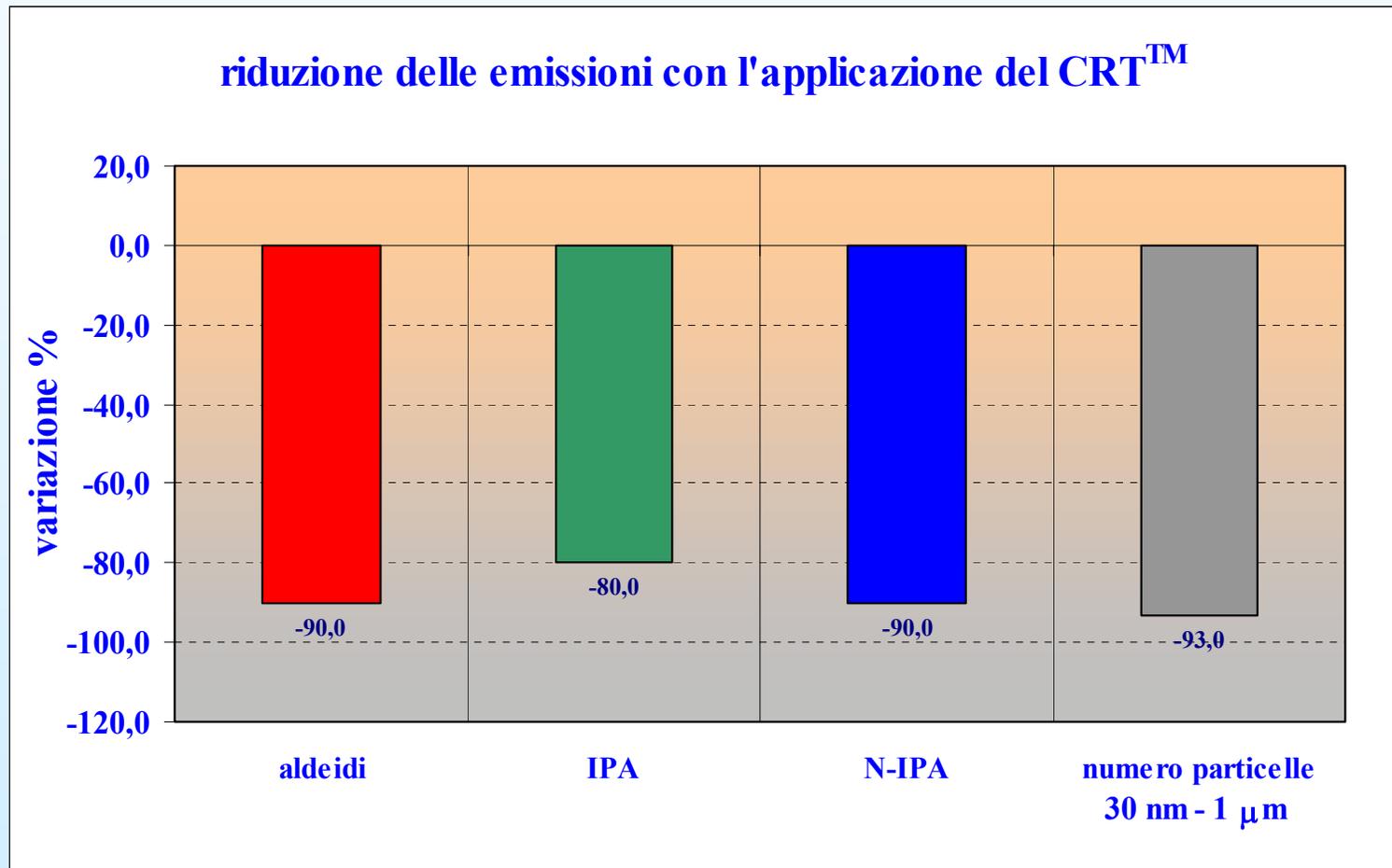
Controllo delle emissioni con il ciclo di guida standard europeo (NEDC)

EFFETTO DEL FILTRO ANTIPARTICOLATO SULLE EMISSIONI INQUINANTI

riduzione delle emissioni con l'applicazione del CRT® e del FAP



ULTERIORI RISULTATI DEL PROGRAMMA DI NEW YORK CITY

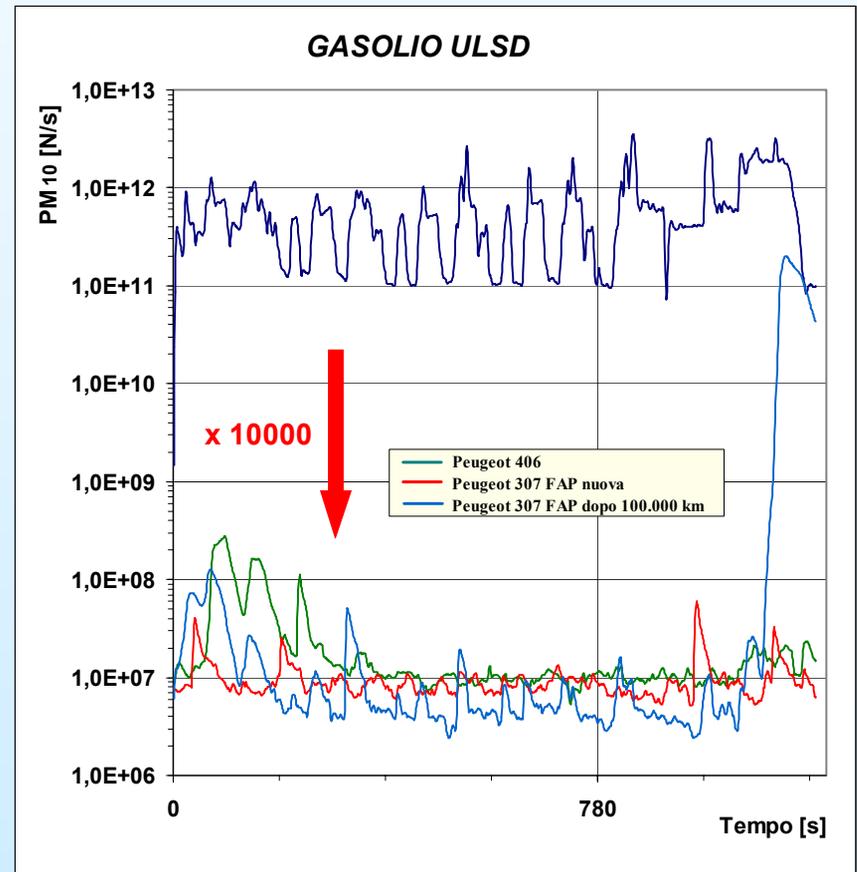
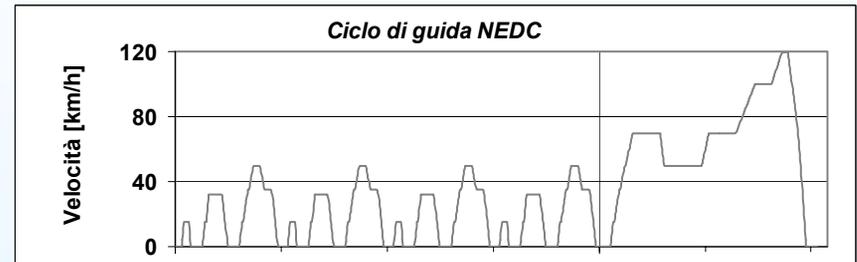


EFFETTO DEL FAP SULL'EMISSIONE DEL PM₁₀

EFFETTO SULL'EMISSIONE DI PARTICOLATO FINE (< 10 μm)

DETERMINATO DALLA APPLICAZIONE DI UN FILTRO CDPF (FAP) SUL CONDOTTO DI SCARICO DI UNA AUTOVETTURA DIESEL DI NUOVA GENERAZIONE

MISURE DI EMISSIONE ISTANTANEA DEL NUMERO DI PARTICELLE ESEGUITE ALLA STAZIONE SPERIMENTALE PER I COMBUSTIBILI (SSC) PER CONTO DELLA RIVISTA "QUATTORRUOTE" SU UNA AUTOVETTURA PEUGEOT 307 FAP NUOVA E DOPO 100.000 KM PERCORSI SU STRADA, A CONFRONTO CON QUELLE DI UNA AUTOVETTURA PEUGEOT 406 CONVENZIONALE



DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE DEL PM₁₀

PROVE QUATTORRUOTE / SSC

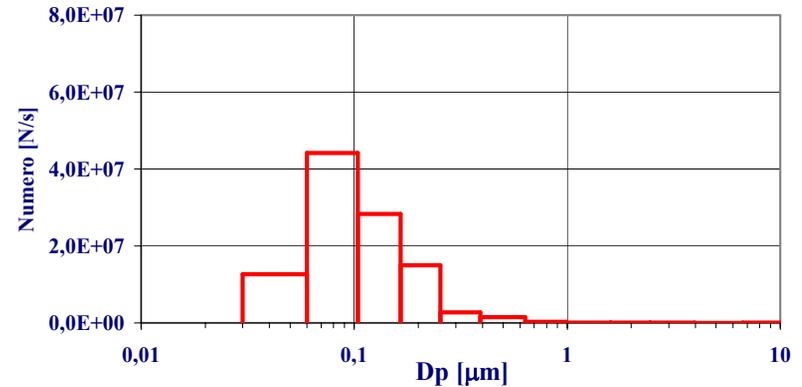
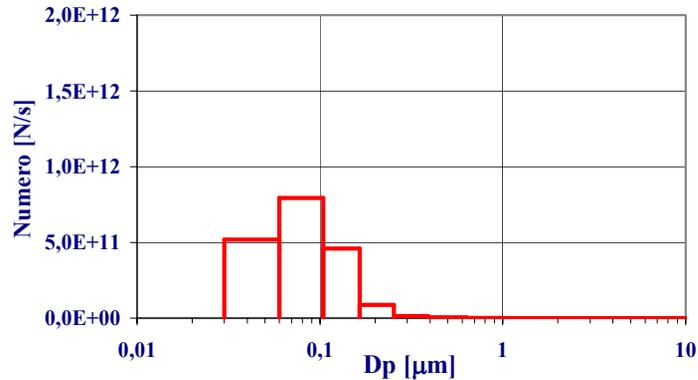
1/2

Distribuzione dimensionale del particolato in numero - gasolio ULS

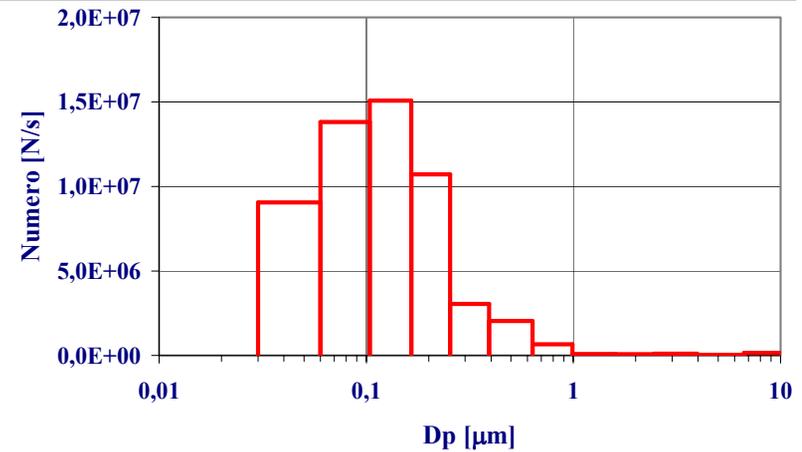
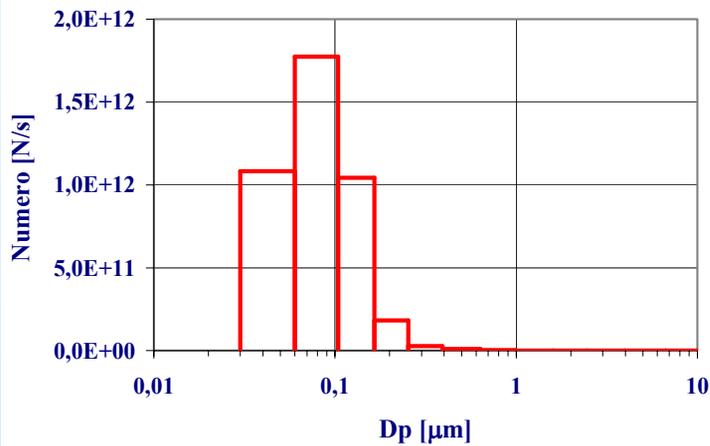
PEUGEOT 406

PEUGEOT 307 FAP

ciclo di guida urbano



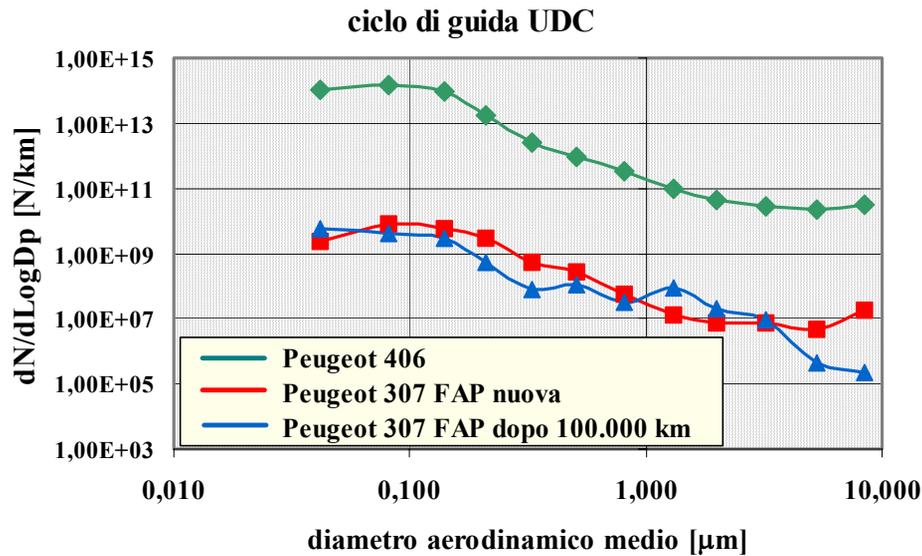
ciclo di guida extraurbano



DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE DEL PM₁₀

PROVE QUATTORRUOTE / SSC

2/2



Dopo 100.000 km percorsi è stata osservata una perdita di efficienza del filtro antiparticolato in tutta la gamma dimensionale delle particelle soltanto nel ciclo extraurbano

**SI PUÓ GENERALIZZARE
QUESTO RISULTATO?**

