

## Caratterizzazione delle emissioni di un'autovettura Diesel di serie dotata di una trappola per il particolato <sup>(°)</sup>

### Emissions characterization of a serial Diesel passenger car equipped with a particulate trap

F. Avella<sup>(\*)</sup>, D. Faedo

Stazione sperimentale per i Combustibili, V.le De Gasperi 3, 20097 San Donato Milanese; <sup>(\*)</sup> tel. +39 02 51604249; fax +39 02 514286; e-mail: avella@ssc.it

#### RIASSUNTO:

*L'impiego di trappole per particolato sta assumendo un ruolo determinante nel settore automobilistico, in quanto consente di ridurre efficacemente l'emissione del particolato nei gas di scarico a valori estremamente bassi, al di sotto del limite Euro 4.*

*Una nuova strategia per la rigenerazione del filtro, basata sul controllo della temperatura di combustione della fuliggine mediante la regolazione del sistema di iniezione multipla e l'impiego di un additivo nel combustibile, è stato applicato su due modelli recenti di autovetture Peugeot.*

*Prove di laboratorio sono state effettuate con il ciclo NEDC su due autovetture Diesel, una Peugeot 307 FAP e il modello convenzionale Peugeot 406, per caratterizzare l'emissione del particolato.*

*Il confronto dei risultati ha mostrato una drastica riduzione (circa sette volte) dell'emissione in massa del particolato, quando si impiega il sistema FAP, ma la riduzione sarebbe ancora maggiore se si considera il "rumore di fondo" del tunnel di diluizione.*

*Viceversa, le misure eseguite con l'ELPI hanno indicato una riduzione di circa 10.000 volte dell'emissione in numero di particelle.*

PAROLE CHIAVE: motore Diesel, particolato, trappola

#### SUMMARY:

*The use of diesel particulate traps is becoming a new practice for automotive applications. It allows to reduce the emission of particulate matter in exhaust gases at extremely low level, below the Euro 4 standard.*

*A new strategy for diesel filter regeneration, based on the control of the combustion temperature of soot by multiple injection tuning and by a fuel additive, has recently applied on two new Peugeot car models.*

*Emission tests using the NEDC cycle were performed on a Peugeot 307 FAP and on a conventional Peugeot 406 model cars in order to characterise the particulate emission.*

*The comparison of the results has shown a drastic reduction (about seven times) of the particulate mass emission when utilising the FAP system, but the reduction should be higher considering the dilution tunnel background*

*On the contrary, ELPI measurements show a 10,000 times reduction in number particles emission.*

KEYWORDS: Diesel engine, particulate matter, Diesel particle trap

<sup>(°)</sup> Lavoro dedicato al professor Alberto Girelli per il suo 80° compleanno.

## 1. Introduzione

La principale fonte di emissione di particolato nell'ambiente urbano è ormai accertato derivare dal traffico degli autoveicoli, in particolare modo di quelli Diesel [1].

L'emissione del particolato, soprattutto quello fine, le cui particelle sono caratterizzate da dimensioni medie inferiori a  $1 \mu\text{m}$ , è causa del degrado della qualità dell'aria e influisce fortemente sulla salute dell'uomo. La notevole penetrazione nei tratti profondi dell'apparato respiratorio delle particelle fini emesse dai veicoli Diesel, che contengono sostanze complesse quali gli idrocarburi policiclici aromatici e i loro nitroderivati, fa sì che il particolato fine sia considerato dal punto di vista tossicologico un fattore molto importante [2; 3].

Il controllo delle emissioni inquinanti degli autoveicoli, effettuato attraverso l'imposizione di limiti, è diventato più stringente con le ultime direttive europee 98/69/CE (autoveicoli leggeri) e 99/96/CE (motori *Heavy Duty*) per gli autoveicoli e i motori omologati nel 2000 (Euro 3) e, soprattutto, per quelli che lo saranno a partire dal 2005 (Euro 4).

Per soddisfare questi standard, i costruttori hanno la possibilità di perfezionare ulteriormente i sistemi di controllo dei parametri operativi del motore [4] e del sistema di alimentazione [5] e di adottare sull'autoveicolo appropriati dispositivi di post-trattamento dei gas di scarico [6; 7] per ridurre simultaneamente l'emissione degli inquinanti principali, ossia degli ossidi di azoto e del particolato.

La difficoltà di soddisfare entrambi gli standard di tali specie inquinanti, determinata dal ben noto rapporto di *trade-off* esistente tra esse, richiederà in futuro l'impiego di dispositivi di post-trattamento specifici, quali filtri autorigeneranti e catalizzatori de- $\text{NO}_x$ .

I filtri o trappole per la riduzione del particolato rappresentano attualmente un sistema tecnologicamente alquanto maturo. Il lungo iter dello sviluppo di tali sistemi, testimoniato dalle numerose pubblicazioni esistenti sul tema [8-12], ha ormai consentito di avere disponibili dispositivi filtranti altamente efficaci da applicarsi nella produzione in serie di alcuni modelli di autovetture europee dell'ultima generazione.

Il presente lavoro ha preso in considerazione alcuni aspetti relativi alla caratterizzazione del particolato emesso da un'autovettura dotata di una trappola per il particolato (Peugeot 307

FAP), posto a confronto con quello emesso da un'autovettura convenzionale di modello meno recente (Peugeot 406).

## 2. Tecnologie filtranti per la riduzione del particolato

Molti espedienti, come il controllo della combustione e l'ottimizzazione della camera di combustione, che hanno portato allo sviluppo dei propulsori HDi, l'adozione di sistemi di iniezione a elevata pressione e l'impiego di catalizzatori ossidanti sul condotto di scarico, applicati nei moderni motori, hanno determinato una riduzione significativa dell'emissione del particolato, quantificabile anche nel 60%, rispetto ai propulsori di tecnologia IDI convenzionale. In alcuni casi, però, queste misure non consentono di rispettare i limiti di emissione proposti per il prossimo futuro.

Le trappole per il particolato costituiscono attualmente la strategia più efficace per abbattere in modo significativo l'emissione di questa specie inquinante.

In più di vent'anni sono state sviluppate molte tecnologie filtranti. I sistemi più semplici consistono in trappole monolitiche in cordierite, carburo di silicio e altri materiali ceramici di varia forma (candela, schiuma, fibra) applicati sul condotto di scarico del veicolo in sostituzione del silenziatore, appena dopo il convertitore catalitico ossidante. Tutti questi sistemi determinano col tempo un incremento della contropressione allo scarico per l'accumulo progressivo del particolato sulla superficie filtrante. La rigenerazione del filtro ha rappresentato il maggior ostacolo allo sviluppo di sistemi autorigeneranti. La rigenerazione richiede la combustione periodica, per via termica o per via catalitica, della coltre di nerofumo depositata sulla trappola, quando la contropressione ha raggiunto un livello non accettabile per il regolare funzionamento dell'autoveicolo.

Uno dei sistemi più accreditati attualmente è quello adottato dalla Peugeot-Citroën (PSA) [13] nella produzione in serie di due recenti modelli di autovettura, la Peugeot 607 e la Peugeot 307 FAP, il cui schema è riportato nella Figura 1.

Il dispositivo, denominato FAP (*Filtre à Particules*), è costituito da un filtro con flusso a parete in carburo di silicio, posizionato appena dopo un convertitore catalitico ossidante sul condotto di scarico.

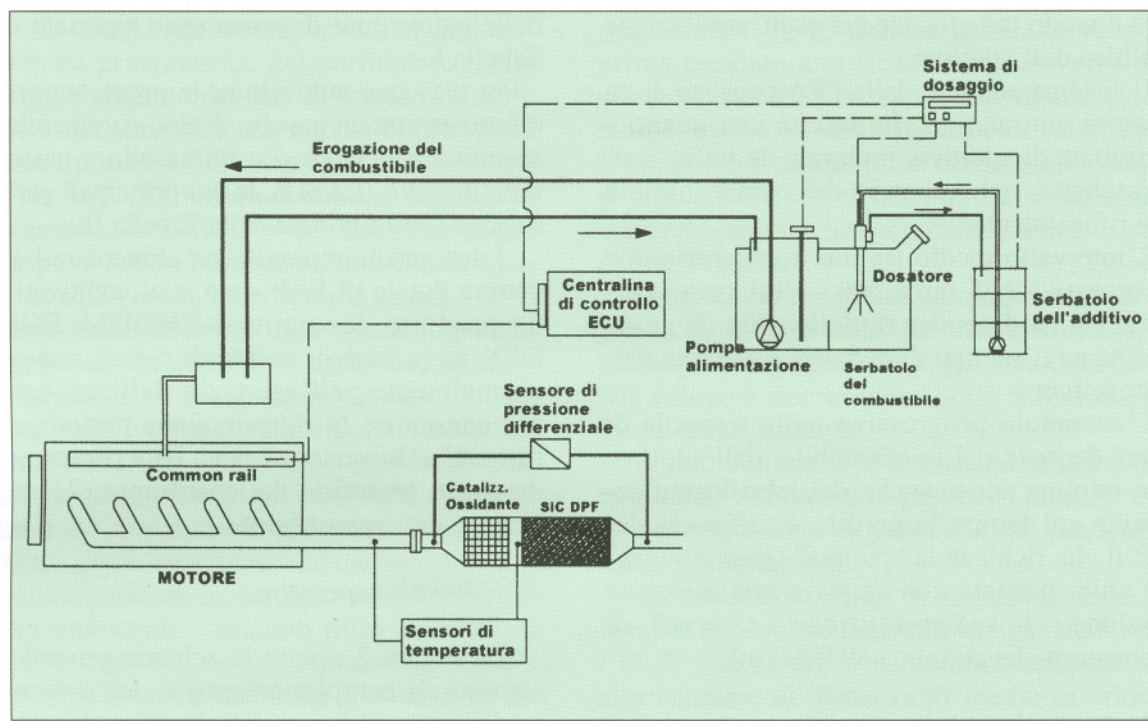


Figura 1 – Schema del sistema di riduzione del particolato (FAP) sviluppato da PSA.

A esso è associata una centralina di controllo (ECU) per la gestione del sistema di iniezione che, grazie alla flessibilità del *common rail*, consente di effettuare iniezioni multiple a intervalli di tempo e dosaggio di combustibile programmabili in funzione delle condizioni operative del motore.

Il controllo sulla rigenerazione viene eseguito attraverso il rilievo in continuo della contropressione allo scarico con opportuni sensori, il cui segnale viene elaborato dalla centralina elettronica per stabilire il momento opportuno in cui deve essere attivata la rigenerazione del filtro.

La rigenerazione avviene innalzando la temperatura dei gas di scarico attraverso una terza iniezione di combustibile nei cilindri, successiva all'iniezione pilota, che controlla l'inizio della combustione, e a quella principale. In queste circostanze il ciclo termodinamico del motore viene parzialmente modificato. La centralina elettronica ECU determinerà l'ammontare minimo di gasolio da iniettare in camera di combustione per raggiungere una temperatura dei gas di scarico sufficiente a innescare la reazione di autocombustione della coltre di fuliggine accumulata sul filtro e a evitare variazioni di comportamento del veicolo sensibili al conducente durante la guida. Infatti, per mantenere inalterate le prestazioni dell'auto-

vettura durante la rigenerazione, l'ammontare di combustibile nella seconda iniezione viene diminuito, mentre quello delle terza iniezione è calcolato in funzione delle condizioni di carico e di velocità. In questa fase il controllo prevede anche la regolazione della portata dei gas di scarico al turbocompressore.

Un ulteriore contributo all'aumento di temperatura deriva anche dall'ossidazione degli idrocarburi incombusti sul catalizzatore ossidante, di cui i gas di scarico sono particolarmente ricchi durante la fase di rigenerazione, specialmente in condizioni di basso carico/velocità.

La temperatura raggiunta dai gas di scarico è circa 450 °C, un centinaio di gradi in meno della temperatura di autoaccensione della coltre carboniosa, il cui valore, come accertato con l'analisi TGA del particolato diesel, si aggira intorno a 550 – 600 °C.

Il salto termico necessario per raggiungere la temperatura minima di autoaccensione è compensato dalla presenza di un additivo al cerio nel combustibile.

È noto, infatti, come alcune sostanze con proprietà ossidanti, quali i composti del cerio, determinino un abbassamento della temperatura di autocombustione del particolato anche di un centinaio di gradi. La dispersione di piccole quantità di queste sostanze nel combustibile ri-

sulta il modo più efficace per esplicitare l'azione catalitica dell'additivo.

Il sistema adottato dalla PSA consiste di un dosatore automatico che inietta una quantità controllata di additivo, prelevata da un'apposita vaschetta, nel serbatoio del combustibile a ogni rifornimento.

L'intervallo medio tra una rigenerazione e la successiva è di circa 500 – 700 km di percorrenza, in dipendenza dello stile di guida dell'utente e del tipo di percorso effettuato dall'autovettura.

L'accumulo progressivo nella trappola di ceneri derivate dal combustibile, dall'additivo e, in minima parte, anche dal lubrificante determina col tempo la perdita di efficacia del FAP, il che richiede la "pulizia" (*back flowing*) dell'unità filtrante con acqua e aria a elevata pressione o la sua sostituzione a intervalli di percorrenza elevati (circa 80.000 km).

### 3. Parte sperimentale

#### 3.1. Autovetture e combustibili di prova

Le prove di emissione sono state effettuate su due autovetture Peugeot di modello differente, di cui una dotata di filtro per la riduzione dell'emissione di particolato (FAP) adottato dalla casa costruttrice nella produzione di serie di quel modello. Le principali caratteristiche

delle autovetture di prova sono riportate nella Tabella I.

Per ciascuna autovettura le prove sono state effettuate con un gasolio di tipo commerciale a specifica EN 590 e con un gasolio a basso tenore di zolfo (ULSD), le cui principali caratteristiche sono riportate nella Tabella II.

I due gasoli impiegati per alimentare l'autovettura dotata di FAP sono stati additivati con un prodotto denominato RHODIA EOLYS DPX 42 (a base di ossido di cerio), impiegato normalmente nell'esercizio dell'autovettura per consentire la rigenerazione periodica del filtro. L'additivazione è stata fatta rispettando il dosaggio prescritto dal costruttore (21 mg di Ce/litro di combustibile).

#### 3.2. Modalità operative

La Figura 2 riporta lo schema generale del sistema di campionamento e del sistema di analisi delle emissioni inquinanti nello scarico, impiegati per l'esecuzione delle prove.

Le prove sono state effettuate in marcia simulata su un banco a rulli, impiegando il nuovo ciclo di guida standard europeo NEDC, costituito da quattro cicli elementari urbani consecutivi seguiti dal ciclo extraurbano (EUDC). Il campionamento dei gas di scarico è stato effettuato mediante un campionatore CVS e relativo tunnel di diluizione per la raccolta del parti-

TABELLA I  
Caratteristiche delle autovetture di prova

Modello	PEUGEOT 406	PEUGEOT 307 FAP
Direttiva europea di riferimento	94/12/CE (EURO 2)	98/69/CE (EURO 3)
Chilometraggio	21.900 km	12.500 km
Motore	4 cilindri in linea	4 cilindri in linea
Cilindrata	2088 cc	1997 cc
Sistema di alimentazione	iniezione convenzionale	iniezione <i>common rail</i>
Alimentazione	gasolio	gasolio + additivo (Ce)
Sistema di riduzione delle emissioni	catalizzatore ossidante	catalizzatore ossidante + FAP

TABELLA II  
Alcune caratteristiche dei combustibili di prova

Caratteristica	u.m.	Gasolio commerciale EN 590	Gasolio ULSD
Contenuto di zolfo	mg/kg	268	14
Densità @ 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	841,0	821,4
T 95	°C	361,8	303,9

colato in condizione isocinetiche. Per la determinazione gravimetrica del particolato totale (TPM) un'aliquota dei gas di scarico diluiti è stata filtrata attraverso una coppia di filtri posti in serie tra loro. I filtri impiegati erano di tipo PallFlex T60A20 in fibra di vetro in borosilicato rivestita con TFE ( $\varnothing = 47$  mm). Sia prima che dopo la prova, i filtri sono stati condizionati per circa 24 ore in laboratorio e pesati.

Per la determinazione delle specie inquinanti regolamentate (ossido di carbonio, idrocarburi incombusti e ossidi azoto) è stata adottata la procedura convenzionale riportata nella direttiva 91/441/CE: analisi al termine della prova dei gas di scarico diluiti raccolti in sacchi di tedlar e determinazione della concentrazione integrata degli idrocarburi incombusti nei gas di scarico prelevati in continuo durante la prova con una sonda e relativo filtro riscaldati a  $190$  °C.

Per la determinazione della distribuzione dimensionale del particolato è stato impiegato un impattore elettrostatico a bassa pressione (ELPI), prelevando un'ulteriore aliquota dai gas di scarico diluiti dal tunnel di diluizione.

Lo strumento misura in tempo reale la distribuzione delle dimensioni e la concentrazione del particolato nell'intervallo di diametri ae-

rodinamici  $0,03-10$   $\mu\text{m}$ . Le particelle vengono prima caricate elettricamente attraverso una scarica a corona, e in seguito classificate (in dimensioni) nell'impattore a bassa pressione. L'impattore è costituito da dodici stadi connessi ciascuno ad un elettrometro che registra la corrente elettrica lasciata dalle particelle cariche nell'impatto.

Ogni stadio è definito da un diametro di taglio, che corrisponde alla dimensione delle particelle raccolte con un'efficienza del 50%, il cui valore è decrescente nella direzione del flusso delle particelle.

Il valore di corrente di ciascun canale è proporzionale al numero di particelle raccolte e alla concentrazione di particelle nel particolare *range* di dimensioni.

La somma dei valori di emissione delle frazioni di particolato registrati in ogni stadio dell'ELPI può essere considerata corrispondente alla frazione di dimensioni medie inferiori a  $10$   $\mu\text{m}$ , nota comunemente come  $\text{PM}_{10}$ .

Il flusso di gas attraverso gli stadi dell'ELPI è assicurato sul valore di  $10$  l/min da una pompa di aspirazione dedicata, direttamente connessa con l'impattore.

La specie regolamentate gassose e il particolato totale sono stati determinati separata-

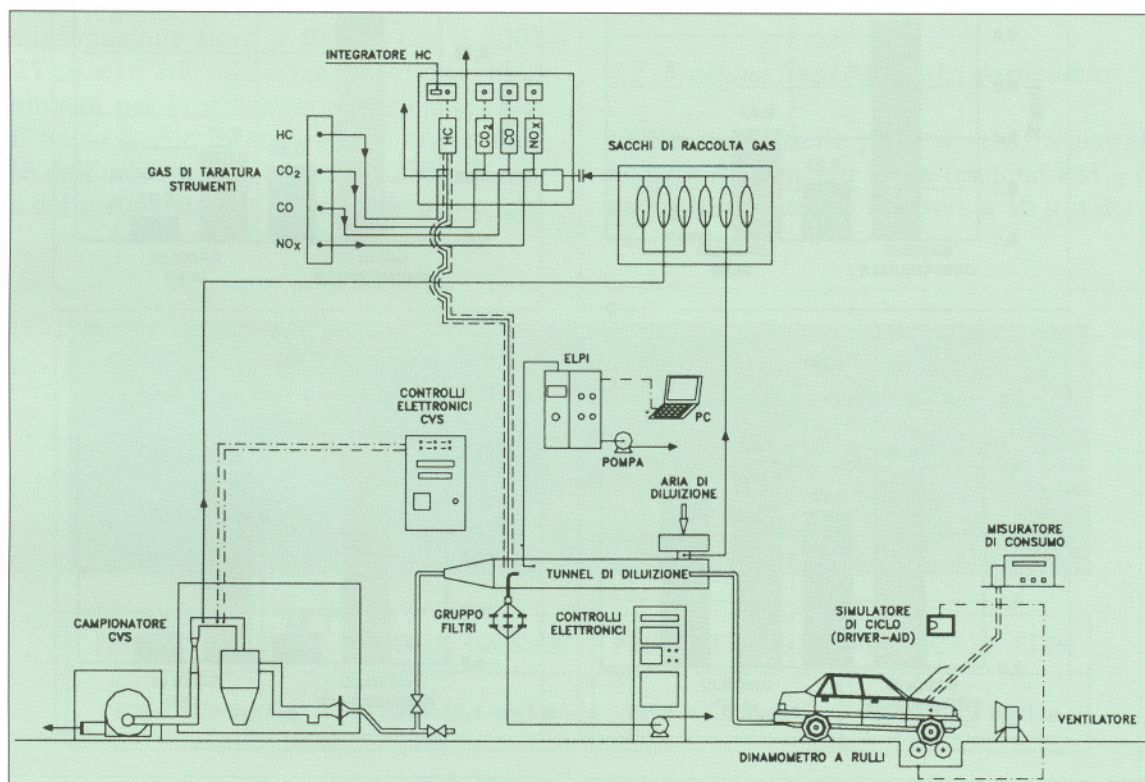


Figura 2 - Schema generale del sistema di campionamento e di analisi delle emissioni.

mente nel ciclo urbano e nel ciclo extraurbano in cui si divide il ciclo di guida standard.

### 3.3. Strumentazione impiegata

- Banco dinamometrico a rulli BOSCH con sistema API di simulazione elettronica computerizzata della frenatura e dell'inerzia.
- Driver-aid Elettroprogetti 305-21.
- Sistema di campionamento CVS/CFV Contec/Beckman 325V.
- Sistema di analisi SIGNAL mod. MaxSys 961 GD, costituito da unità di prelievo e di preconditionamento del campione di gas e da analizzatori Signal NDIR mod. 7100 M e mod. 7000 FM GFC rispettivamente per l'ossido di carbonio e l'anidride carbonica, analizzatore HFID mod. 3000 HM per gli idrocarburi incombusti, analizzatore a chemiluminescenza mod. 4000 VM per gli ossidi di azoto.

- Campionatore CGM 309 costituito da un tunnel di diluizione, da un gruppo di filtri e da un campionatore a flusso controllato tramite microprocessore.
- Bilancia elettronica Mettler mod. MT5 per la determinazione del particolato.
- Impattore elettrostatico ELPI (Dekati).

## 4. Risultati e discussione

Le prove con la Peugeot 307 FAP sono state svolte poco dopo una rigenerazione del filtro, allo scopo di evitare che questo processo avesse potuto alterare le misure di emissione rispetto alle condizioni normali di esercizio della vettura durante lo svolgimento delle prove.

### 4.1. Emissioni regolamentate

Il livello di emissione delle specie regolamentate è risultato inferiore ai corrispondenti li-

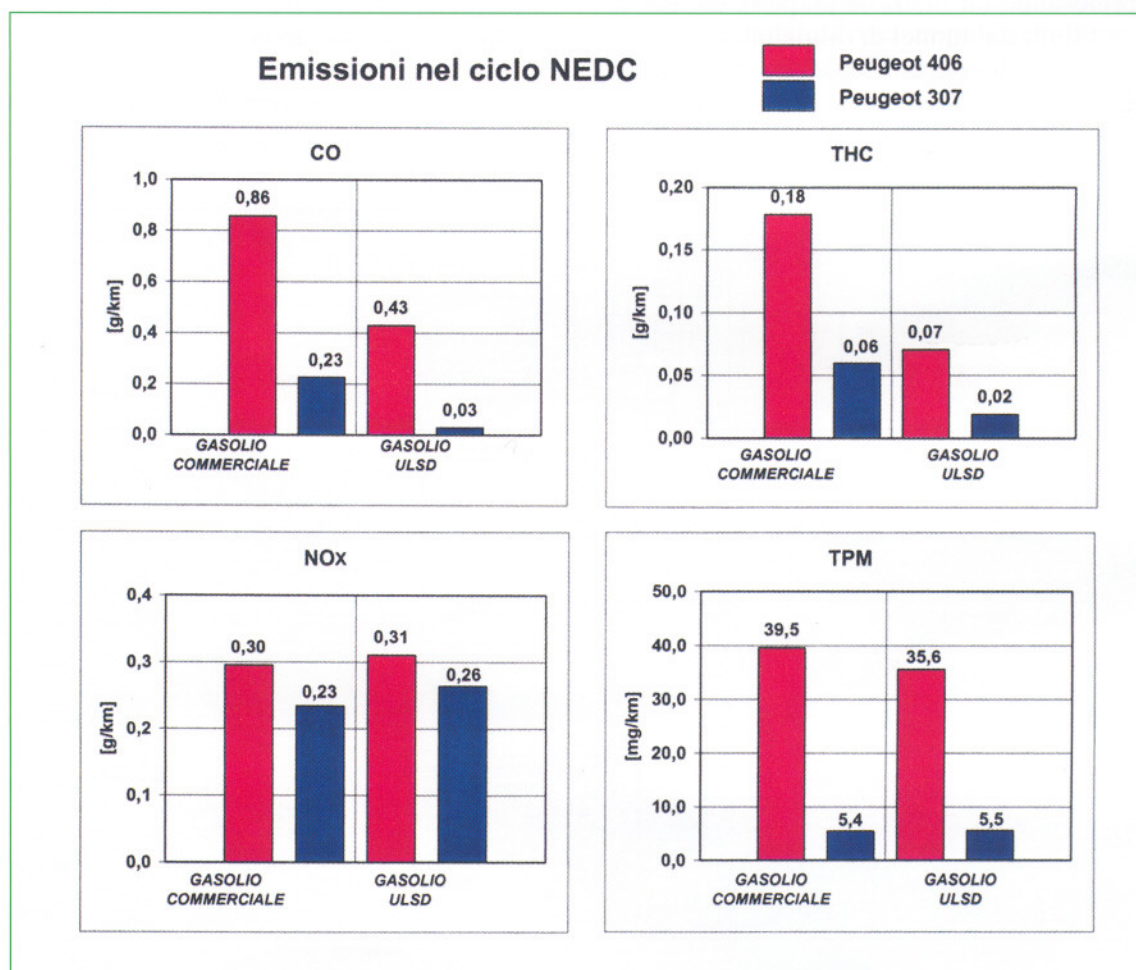


Figura 3 - Livello delle emissioni misurate per le due autovetture con i due tipi di combustibili nella prova NEDC (media dei valori di due prove).

miti di omologazione delle due autovetture provate: Euro 2 (Dir. 94/12/CE) per la Peugeot 406 e Euro 3 (98/69/CE) per la Peugeot 307 FAP.

La vettura dotata di FAP ha emesso in media circa quattro volte in meno di ossido di carbonio e circa tre volte in meno di idrocarburi incombusti della vettura con motore convenzionale, mentre il livello di emissione degli ossidi di azoto è risultato paragonabile (Fig. 3).

L'impiego del gasolio a basso tenore di zolfo (ULSD) in sostituzione di quello commerciale ha determinato una significativa riduzione dell'emissione dell'ossido di carbonio e degli idrocarburi incombusti per entrambe le autovetture. Tale riduzione è dipesa principalmente dalle temperature di distillazione di coda del gasolio ULSD, più basse rispetto a quelle del gasolio a specifica EN 590. La T95, cioè la temperatura alla quale distilla il 95% del combustibile ULSD, era circa 60 °C inferiore a quella del gasolio commerciale (Tabella II). La maggiore riduzione delle stesse emissioni osservata con la Peugeot 307 era dovuta probabilmente anche alla presenza dell'additivo a base di cerio nei combustibili di prova.

L'autovettura dotata di filtro per il particolato ha dimostrato avere con entrambi i gasoli un livello di emissione di questa specie inquinante in termini assoluti estremamente basso, pari a circa 0,005 g/km, circa 5 volte meno del limite di omologazione Euro 4 fissato per il 2005 (0,025 g/km) e 7-8 volte meno rispetto ai valori determinati per la vettura convenzionale (Fig. 3). Il basso livello di emissione è confermato anche dall'osservazione visiva dei filtri di raccolta del particolato al termine delle prove, che

all'apparenza risultavano pressoché bianchi (Fig. 4).

A livelli di emissione così bassi si è posto il problema di verificare quale potesse essere stata l'influenza del "fondo" del tunnel di diluizione dal quale sono prelevati i campioni di gas di scarico diluito per la determinazione gravimetrica del particolato. Per determinare il livello di "bianco" del sistema di campionamento dei gas di scarico sono state eseguite misure gravimetriche ripetute del particolato sospeso nell'aria prelevata dal tunnel di diluizione.

Esse hanno dato come risultato valori di particolato sospeso valutabili in media intorno a 1 mg/km (massa di particolato campionata in continuo per un tempo equivalente a quello di durata del ciclo di guida NEDC, rapportata alla lunghezza del percorso del ciclo di guida standard), dello stesso ordine di grandezza del particolato emesso dall'autovettura dotata di FAP.

Ciò lascia presupporre che la tecnica di misura gravimetrica convenzionale, basata sul prelievo isocinetico dei gas di scarico diluiti, non consente una determinazione accurata del particolato, quando il livello di emissione di questa specie nei gas di scarico di un autoveicolo di prova, diluiti col sistema CVS, è prossimo al rumore di fondo delle apparecchiature di campionamento.

#### 4.2. Frazione fine ( $PM_{10}$ ) del particolato

Nel corso delle prove è stato registrato il numero di particelle della frazione  $PM_{10}$  (diametro aerodinamico inferiore a 10  $\mu m$  del par-

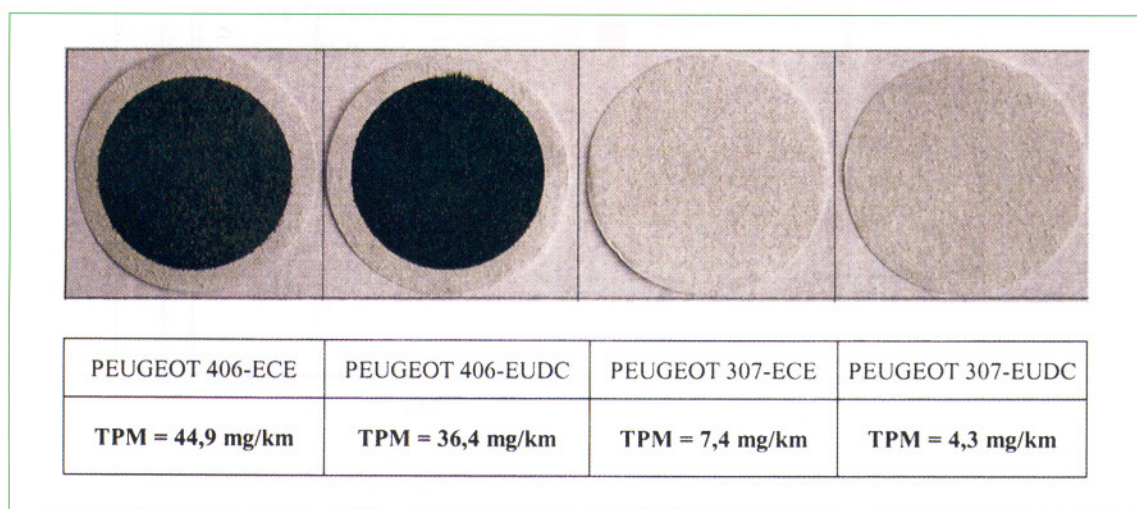


Figura 4 – Campioni di particolato totale (in massa) raccolti sui filtri nelle due fasi del ciclo di guida NEDC.

ticolato) emesse in continuo dall'autovettura durante il ciclo. L'emissione istantanea (mg/s) è stata determinata istante per istante come somma dei valori del numero di particelle "contate" in ciascuno dei dodici stadi in cui si divide l'impattore ELPI.

Con la Peugeot 406 la massima emissione di  $PM_{10}$  è stata osservata nelle fasi di accelerazione del ciclo di guida. Il livello di emissione si è ridotto a valori più bassi nella marcia a velocità costante e nelle fasi di regime minimo (Fig. 5).

Non è stata rilevata alcuna differenza significativa di emissione tra la fase iniziale del ciclo di guida (primi due sottocicli), durante la quale era in atto il transitorio termico del mo-

tore, e la fase finale quando il motore aveva raggiunto il regime termico.

Analogamente, nessuna variazione significativa è stata osservata quando la vettura era alimentata col gasolio ULSD in sostituzione del gasolio convenzionale (Fig. 5).

Con la Peugeot 307 FAP il livello di emissione del  $PM_{10}$  nel ciclo è risultato circa  $10^4$  volte inferiore a quello registrato per la vettura priva di trappola. Il valore medio di emissione lungo il ciclo di prova era prossimo al livello rilevato nell'aria prelevata dal tunnel di diluizione nelle prove di "bianco" (Fig. 6). I picchi di emissione più netti, osservabili nel tracciato, sono attribuibili alle condizioni operative dell'autovettura sia nella fase iniziale del ciclo di

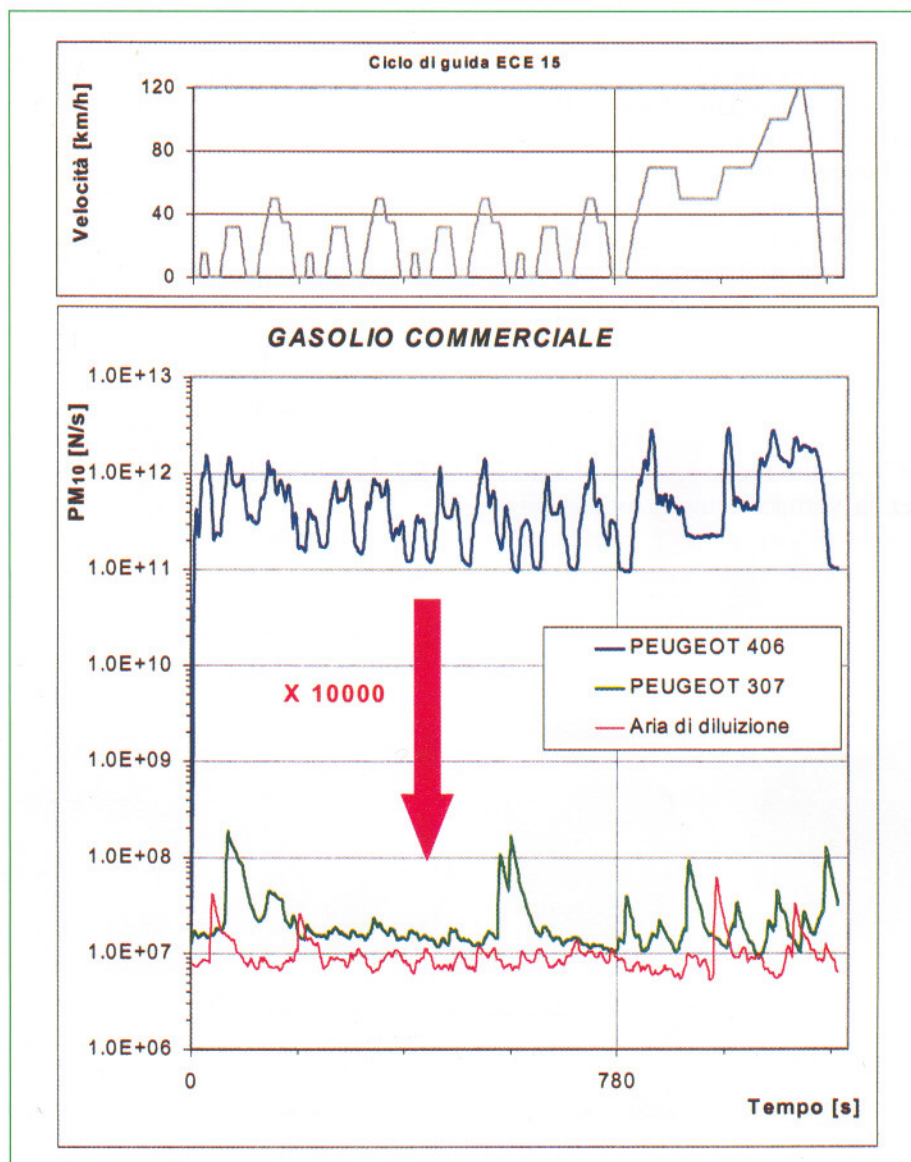


Figura 5 - Andamento del livello di emissione della frazione  $< 10 \mu m$  del particolato ( $PM_{10}$ ) nel corso della prova NEDC con il gasolio commerciale.



guida (partenza con motore freddo) che in quella finale della prova (forti accelerazioni nel ciclo EUDC). I restanti picchi potrebbero essere correlati col casuale distacco di particelle dal tunnel di diluizione. Questa ipotesi è supportata dall'osservazione di analoghi di picchi di emissione presenti nei tracciati registrati nelle prove di "bianco".

Nessuna variazione del livello di emissione di particelle è stata osservata sostituendo il gasolio commerciale con quello a basso tenore di zolfo per entrambe le autovetture (Fig. 5 e Fig. 6).

L'analisi dimensionale del particolato emesso dalle due autovetture provate con entrambi i due combustibili ha messo in evidenza che la distribuzione dei diametri aerodinamici delle

particelle presenta un andamento tipico a campana (Fig. 7 e 8). In quasi tutti i casi il picco di emissione è stato osservato in corrispondenza del 2° stadio dell'ELPI, a cui corrisponde un diametro aerodinamico medio ( $D_{pm}$ ) pari a 80 nm circa, per cui la maggior parte delle particelle campionate si possono classificare in modo "nucleazione", mentre la quasi totalità delle particelle emesse ha dimensioni medie inferiori a 1  $\mu m$  (modo "accumulazione").

L'emissione del numero di particelle nel ciclo extraurbano è circa il doppio di quella registrata nel ciclo urbano per la Peugeot 406 e circa 1,5 volte superiore per la Peugeot 307 FAP.

In linea generale, la sostituzione del gasolio commerciale con il combustibile ULSD non ha

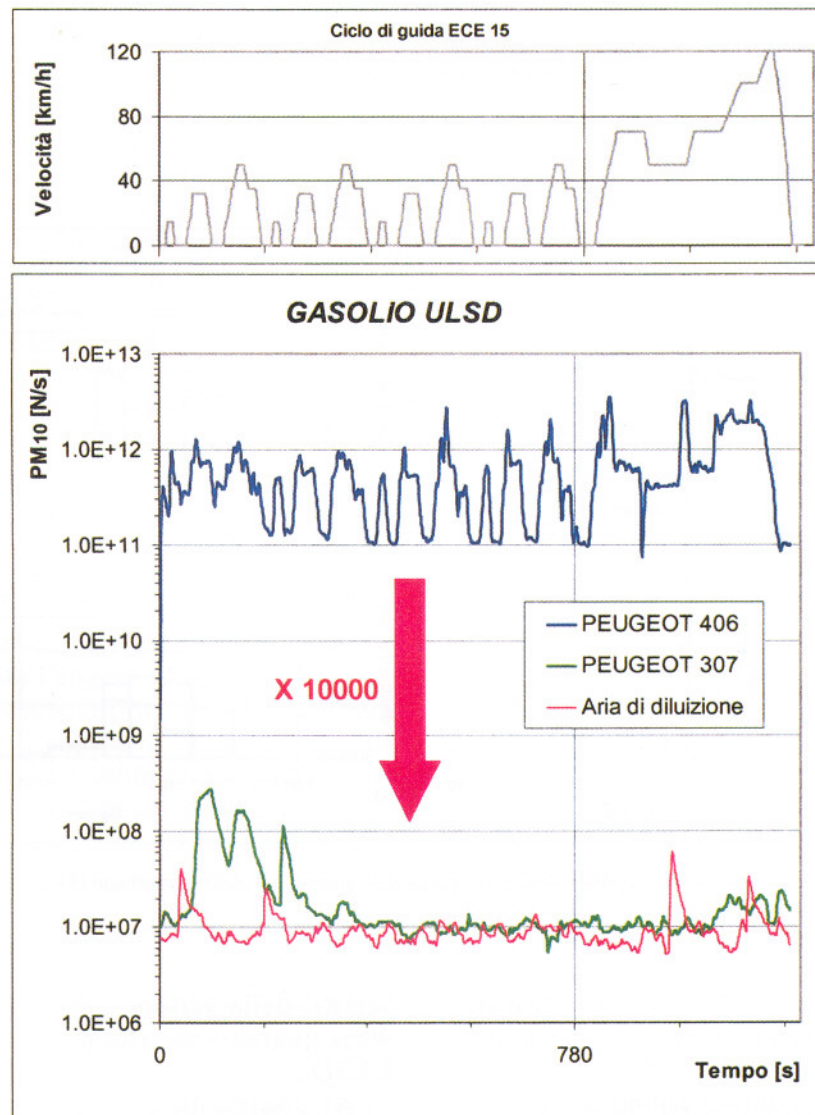


Figura 6 - Andamento del livello di emissione della frazione  $< 10 \mu m$  del particolato ( $PM_{10}$ ) nel corso della prova NEDC con il gasolio ULSD.

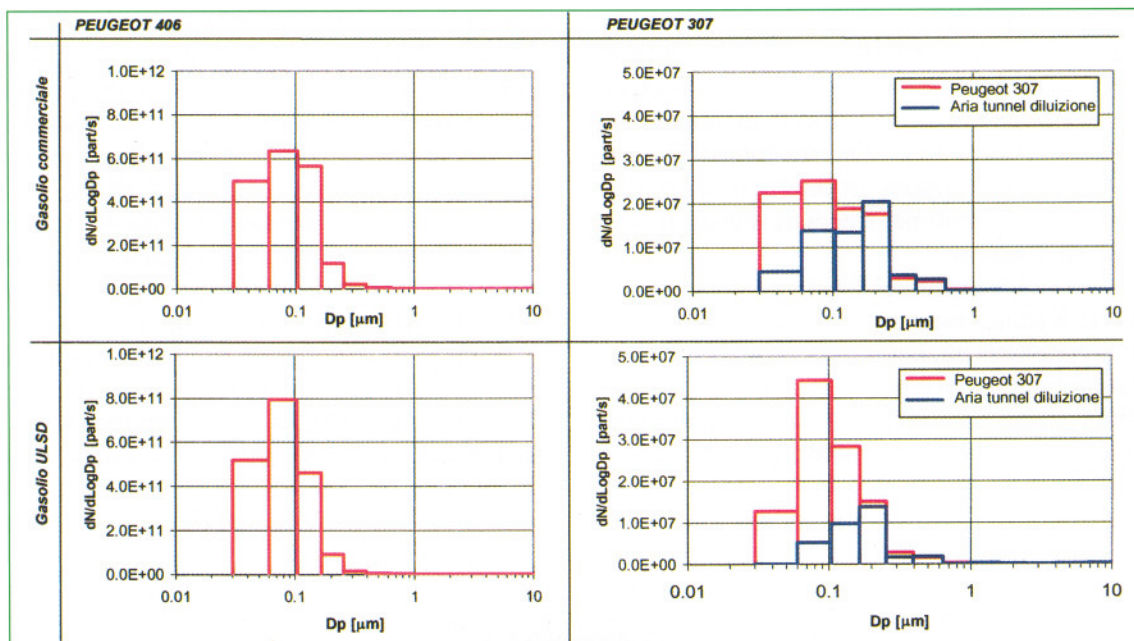


Figura 7 - Distribuzione dimensionale del particolato emesso nel ciclo urbano (ECE 15).

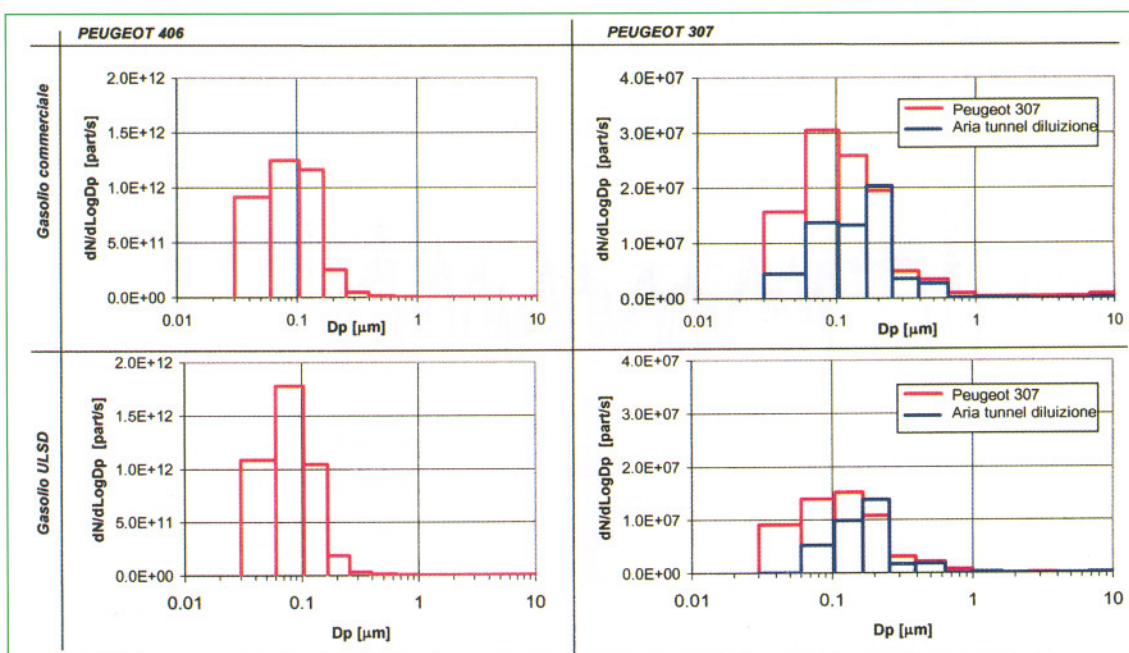


Figura 8 - Distribuzione dimensionale del particolato emesso nel ciclo extraurbano (EUDC).

determinato variazioni sensibili nella distribuzione dimensionale delle particelle con entrambe le autovetture provate.

I pochi dati disponibili hanno indicato un incremento dell'emissione di particelle più fini ( $D_{pm} = 80$  nm circa) e una riduzione di quelle più grosse ( $D_{pm} = 130$  nm circa) nello

scarico della vettura convenzionale (Peugeot 406) quando era alimentata con il gasolio ULSD.

Al contrario, con la Peugeot 307 FAP sembrerebbe che ci sia stato un incremento di emissione delle particelle di dimensioni maggiori, quando la vettura era alimentata col ga-

solio a basso tenore di zolfo. L'incertezza delle misure, in questo caso, era elevata perché la concentrazione del particolato nei gas di scarico era risultata molto bassa (il livello di emissione di  $PM_{10}$  era  $10^4$  volte inferiore a quello della vettura Diesel convenzionale), paragonabile a quella rilevata nell'aria prelevata dal tunnel di diluizione.

## 5. Conclusioni

L'obiettivo dello studio era in primo luogo quello di confrontare il livello di emissione del particolato di una vettura Diesel dotata di dispositivo FAP in termini di massa, numero e distribuzione dimensionale, con quello di una vettura Diesel di tipo convenzionale.

Le osservazioni sperimentali hanno consentito di concludere che:

- l'autovettura equipaggiata con il FAP ha dimostrato avere un livello di emissione del particolato estremamente basso, sia in termini di massa (5 volte inferiore al limite Euro 4) che di numero di particelle (paragonabile all'aria del tunnel di diluizione);
- l'analisi dimensionale ha mostrato come il FAP sia in grado di trattenere anche la frazione più fine del particolato;
- la misura gravimetrica convenzionale dell'emissione del particolato totale è soggetta a un elevato grado di incertezza quando il livello di questo inquinante nei gas di scarico è estremamente basso.

La riduzione dell'emissione di ossido di carbonio, idrocarburi incombusti e particolato totale (in massa), per quest'ultimo limitatamente alla sola Peugeot 406, osservata con l'impiego del combustibile ULSD, era determinata dai valori più bassi del contenuto di zolfo, della densità e delle temperature finali di distillazione di questo combustibile rispetto al gasolio commerciale a specifica EN 590.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la rivista QuattroRuote per l'autorizzazione concessa alla pubblicazione dei risultati del lavoro svolto.

Ringraziamenti sono estesi anche al dott. Jean-Claude Momique di PSA Peugeot-Citroën (Francia) per lo scambio di informazioni inerenti al dispositivo FAP.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] F. AVELLA, Caratterizzazione e controllo del particolato diesel, Stazione sperimentale per i Combustibili (2000).
- [2] *The Health Effects of  $PM_{2,5}$  (Including Ultrafine Particles)*, Concawe Report N. 99/60 (1999).
- [3] R. CHRISTENSEN, M.B. HANSEN, J. SCHRAMM, M.L. BINDERUP, V. JORGENSEN, *Mutagenic Activity of the Soluble Organic Fraction of Exhaust Gas Particulate from a Direct Injection Diesel Engine*, SAE Technical Paper N. 961977.
- [4] G. F. CAHILL, G. BELOT, *New Engine and Aftertreatment Technologies: the PSA Peugeot-Citroën Point of View - 14<sup>th</sup> European Automotive Symposium*, Nizza, 20-21 settembre 2001.
- [5] H. PERSIKO, E. SHER, *Evaluation of Various Strategies for Continuous Regeneration of Particulate Filters*, SAE Technical Paper N. 2001-01-1945.
- [6] *Potential of Exhaust After Treatment and Engine Technologies To Meet Future Emissions Limits*, Concawe Report N. 99/62 (1999)
- [7] C. LARSEN, *An Optimization Study of the Control of  $NO_x$  and Particulate Emissions from Diesel Engines*, SAE Technical Paper N. 960473.
- [8] M. KHAIR, J. LEMAIRE, S. FISCHER, *Integration of Exhaust Gas Recirculation, Selective Catalytic Reduction, Diesel Particulate Filters, and Fuel-Borne Catalyst for  $NO_x/PM$  Reduction*, SAE Technical Paper N. 2000-01-1933.
- [9] T.D. LAYMAC et al., *The Measurement and Sampling of Controlled Regeneration Emissions from a Diesel Wall Flow Particulate Trap*, SAE Technical Paper N. 910606.
- [10] F. PISCHINGER, G. LEPPERHOFF, G. HÜTHWOHL, U. PFEIFER, K. EGGER, *Modular Trap and Regeneration System for Buses, Trucks and Other Applications*, SAE Technical Paper N. 900325.
- [11] G. ZIKORIDSE, A. VELJI, E. HEIDRICH, T. SEGUELONG, W. NASCHKE, F.W. KAISER, *Particulate Trap Technology for Light Duty Vehicles with a New Regeneration Strategy*, SAE Technical Paper N. 2000-01-1924.
- [12] P. RICHARDS, M.W. VINCENT, S.L. COOK, *Emissions Characteristics of Diesel Vehi-*

*cles Equipped with Particulate Filters and Using Fuel Additive for Regeneration*, SAE Technical Paper N. 2000-01-1925.  
[13] O. SALVAT, P. MAREZ, G. BELOT, *Passenger*

*Car Serial Application of a Particulate Filter System on a Common Rail Direct Injection Diesel Engine*, SAE Technical Paper N. 2000-01-0473.

---