

**SEMINARIO ANPA**

***FATTORI DI EMISSIONE DA TRAFFICO:  
DATI SPERIMENTALI IN ITALIA***

**L'ATTIVITA' SPERIMENTALE DELLA STAZIONE  
SPERIMENTALE PER I COMBUSTIBILI PER LA VALUTAZIONE  
DELLE EMISSIONI GENERATE DAGLI AUTOVEICOLI**

**Francesco Avella**  
*Stazione Sperimentale per i Combustibili*  
*San Donato Milanese*

**Roma, 6 luglio 2000**

## **L'ATTIVITA' SPERIMENTALE DELLA STAZIONE SPERIMENTALE PER I COMBUSTIBILI PER LA VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI GENERATE DAGLI AUTOVEICOLI**

### **1. Attività della SSC nel settore ambiente e trasporti**

La Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC) opera nel settore Ambiente e nel settore Trasporti da alcuni decenni principalmente in due campi di attività:

- qualità dell'aria e rilievo delle immissioni con laboratorio mobile
- emissione da sistemi di combustione (impianti di combustione per uso industriale e domestico, motori C.I. impiegati negli autoveicoli e in impianti fissi)

In particolare, nel settore Trasporti, gli interessi hanno riguardato e riguardano tuttora:

- il comportamento dei combustibili tradizionali e alternativi nei motori, con particolare considerazione alle emissioni inquinanti prodotte dalla combustione
- l'impatto ambientale dell'autoveicolo con riferimento alla valutazione dell'influenza delle condizioni di traffico sulle emissioni
- l'applicazione e l'efficienza di dispositivi antinquinamento e l'efficacia di additivi miglioratori di combustione

La maggior parte dei lavori sperimentali vengono effettuati su commissione da parte dell'Industria del settore petrolifero e del gas e da parte dell'Industria della componentistica e di altre aziende operanti nel settore automobilistico. Altre sperimentazioni sono state svolte nell'ambito di programmi di ricerca finalizzati (CNR, Convenzione 12 luglio tra MICA, U.P., Agip Petroli e Fiat Auto, Commissione Europea, ecc.) e su progetti interni.

Nell'ultimo decennio particolare attenzione è stata dedicata alla valutazione dell'influenza delle condizioni di traffico sulle emissioni degli autoveicoli. Uno dei primi lavori svolti in Italia, intorno alla metà degli anni '80, commissionato dall'Unione Petrolifera, era stato quello di valutare l'incidenza del traffico e dello stato di manutenzione degli autoveicoli a benzina sulle emissioni inquinanti [1].

Il criterio adottato dall'Istituto per valutare in modo più aderente alla realtà l'impatto del traffico automobilistico sull'ambiente è quello di determinare direttamente il contributo degli autoveicoli attraverso la stima dei fattori di emissione. Questi sono valutati in laboratorio simulando il comportamento dell'autoveicolo su strada.

Il modo più semplice per fare ciò è quello di sviluppare cicli di guida da riprodurre su un banco dinamometrico a rulli, che riproducano in modo statisticamente significative le condizioni medie di moto di un autoveicolo nelle normali situazioni di traffico.

Lo sviluppo di cicli di guida è stato effettuato di volta in volta attraverso l'analisi statistica dettagliata del moto di un autoveicolo campione in circolazione nel traffico. Questo richiede il rilievo continuo dello stato di moto dell'autoveicolo in marcia su strada. A tale scopo il Laboratorio è dotato di un tachimetro ottico a non contatto, associato a

un misuratore volumetrico computerizzato di consumo, in grado di trasferire su floppy disk, tramite un *data logger* dedicato, i parametri cinematici e di funzionamento dell'autoveicolo con una risoluzione massima di 1 s.

Con questo approccio, l'Istituto ha sviluppato nell'ambito del progetto AMES, coordinato dalla Snamprogetti, una serie di cicli di guida non convenzionali, denominati cicli TI (Traffico Intenso), TS (Traffico Scorrevole) e TV (Traffico Veloce), che rappresentano condizioni medie di circolazione nella periferia e nel centro storico di Milano [2]. I tre cicli sono messi a confronto col ciclo urbano standard ECE in Fig.1.

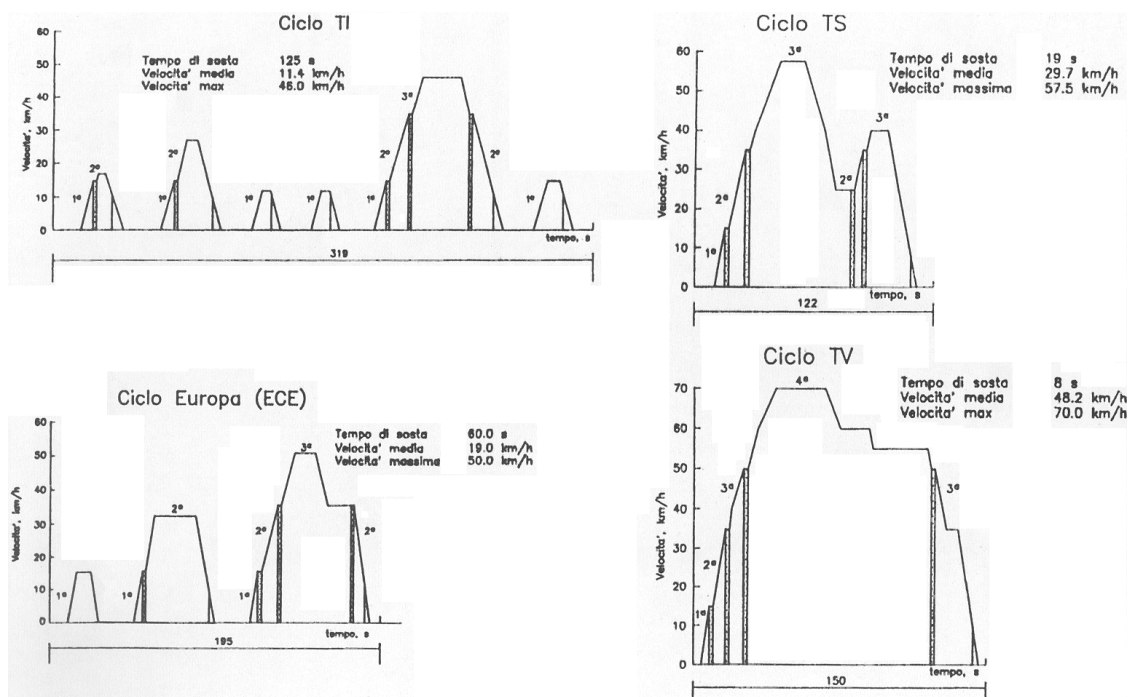


Fig. 1 – Cicli di guida rappresentativi di condizioni medie di marcia di un autoveicolo nel traffico della città di Milano

I cicli sono stati definiti attraverso l'analisi e la sintesi delle differenti fasi di moto del veicolo (accelerazione, velocità costante, decelerazione e sosta col motore al minimo) misurate attraverso la rilevazione dei parametri cinematici di una vettura campione strumentata, guidata su percorsi cittadini preselezionati, in diverse fasce orarie e giorni tipici della settimana.

Per lo sviluppo di cicli di guida con metodi statistici più idonei di quelli applicati nel passato, in grado di rappresentare in modo più realistico le condizioni di esercizio di un veicolo nel traffico, è stata iniziata già da alcuni anni una collaborazione con il Dipartimento di Sistemi di Trasporti e Movimentazione del Politecnico di Milano [3,4].

## 2. Struttura del Laboratorio Prove Autoveicoli

Per determinare gli inquinanti emessi dagli autoveicoli (a benzina, diesel, alimentati a gas) l'Istituto è dotato del Laboratorio Prove Autoveicoli, equipaggiato con apparecchiature in grado di effettuare prove di controllo delle emissioni secondo procedure

convenzionali (ECE, EPA, ecc.) e non. Nel corso degli anni le apparecchiature in dotazione al Laboratorio sono state in parte sostituite e incrementate con nuove strumentazioni, per venire incontro alle esigenze manifestate di volta in volta e per consentire di affrontare nuovi temi di ricerca nel campo di interesse attuale.

Nella struttura del Laboratorio Prove Autoveicoli, che è quella tipica di un laboratorio per lo svolgimento di prove per la misura delle emissioni degli autoveicoli, sono collocati i sistemi di campionamento e di analisi dei gas di scarico degli autoveicoli, riportati schematicamente in Fig. 2.

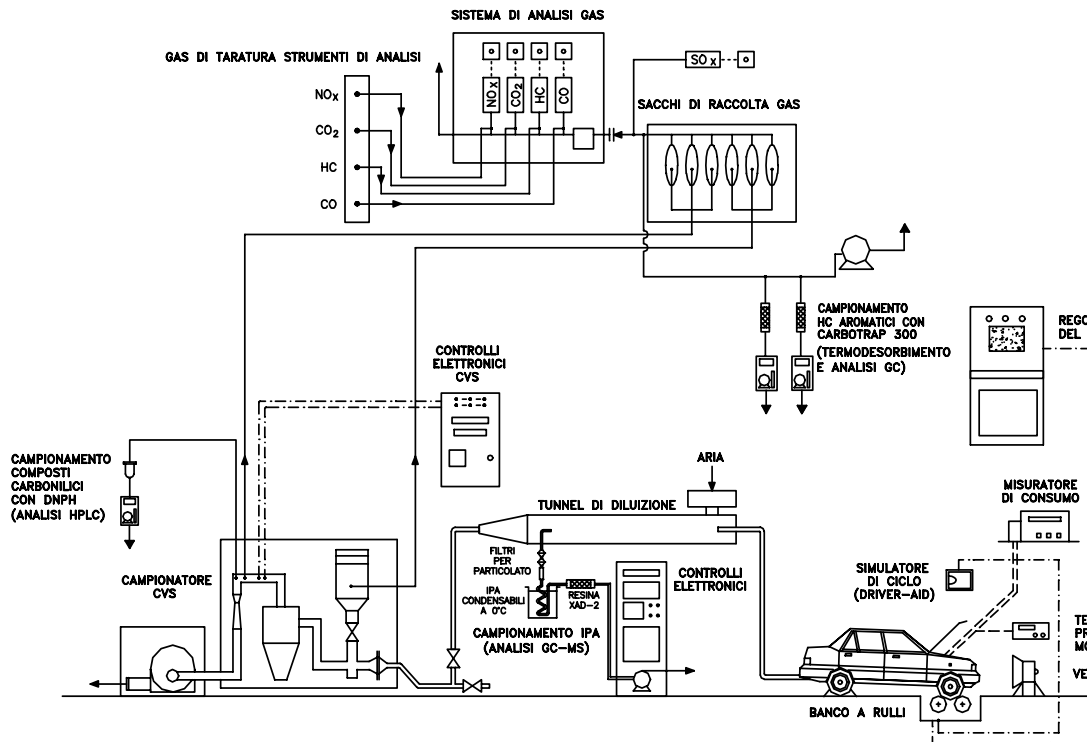


Fig. 2 – Schema generale del sistema di campionamento e di analisi delle emissioni nei gas di scarico di autoveicoli con motore ad accensione comandata e spontanea del Laboratorio Prove Autoveicoli della SSC

Le apparecchiature impiegate per la determinazione delle emissioni nei gas di scarico, tutte controllate da microprocessori dedicati, sono divise in quattro gruppi:

- apparecchiature di controllo del funzionamento dell'autoveicolo: banco a rulli e *driver aid*, impiegati rispettivamente per il controllo della dinamica del veicolo e per la riproduzione del ciclo di guida durante la prova
- apparecchiature di campionamento dei gas di scarico: campionatore a flusso costante (CVS) dei gas di scarico e tunnel di diluizione per la raccolta in modo isocinetico del particolato su filtri (il Laboratorio è dotato di apparecchiature separate per i veicoli diesel e per quelli con motore ad accensione comandata)
- apparecchiature per l'analisi degli inquinanti: analizzatori automatici normalizzati per le specie regolamentate (CO, THC, NO<sub>x</sub>) e per la CO<sub>2</sub>.
- campionatori specifici per il campionamento delle specie inquinanti non regolamentate (composti carbonilici, idrocarburi specifici, idrocarburi policiclici aromatici).

La separazione della linea di prelievo del sistema CVS dei gas di scarico emessi da veicoli a benzina da quella dei veicoli diesel consente di effettuare un campionamento e una caratterizzazione corretta del particolato. Infatti, vengono evitate eventuali interferenze dovute alla differente costituzione chimica del particolato emesso dai due tipi di motori; queste interferenze (effetto memoria) risultano inaccettabili, per es., quando si vogliono determinare con accuratezza i microinquinanti, quali aldeidi e IPA, presenti nelle fasi condensabili (particolato) dei gas di scarico.

Le tecniche di campionamento e di analisi delle specie inquinanti non soggette a regolamentazione (composti carbonilici, HC specifici e IPA) sono state messe a punto dalla SSC da oltre un decennio e sono state perfezionate nel corso del tempo, in funzione soprattutto degli sviluppi delle tecnologie impiegate nella strumentazione analitica. Questa attività è stata svolta in collaborazione con i laboratori di analisi e di controllo ambientale dell'Istituto. Esse risultano praticamente le stesse adottate da altri laboratori di ricerca e possono ormai considerarsi standardizzate.

I composti carbonilici (aldeidi e chetoni) vengono campionati dai gas di scarico diluiti in fiale contenente il reattivo (2,4-dinitrofenilidrazina - DNPH) e i corrispondenti fenilidrazoni prodotti vengono analizzati per cromatografia liquida ad elevata pressione (HPLC) dopo eluizione con acetonitrile.

Gli idrocarburi sono assorbiti su carbone attivo contenuto in fiale facendo fluire una quantità controllata di gas di scarico diluiti e vengono successivamente analizzati attraverso il loro desorbimento termico mediante gascromatografia ad alta risoluzione.

Per il campionamento degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) si impiega una catena costituita dai filtri di raccolta del particolato, nel quale sono presenti quelli a più alto peso molecolare (4-7 anelli), da una trappola refrigerante (0 °C) e da una resina adsorbente per trattenere le specie più leggere (2-3 anelli). Le fasi condensate nel particolato raccolto sui filtri e nelle trappole vengono trattate con solventi per estrarre gli IPA e gli estratti analizzati per gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS).

### **3. Presentazione di alcuni risultati sperimentali**

Di seguito sono presentati i risultati ottenuti in alcuni lavori svolti negli ultimi anni presso la Stazione Sperimentale per i Combustibili.

In Fig. 3 viene riportato il livello di emissione del benzene nei gas di scarico di un gruppo di autovetture a benzina, delle quali alcune catalizzate e altre prive di convertitore catalitico, misurato a due diversi chilometraggi, in funzione del tenore di idrocarburi aromatici e di benzene nel combustibile [5]. Se il contenuto di benzene nella benzina viene abbassato, si riduce l'emissione di questa specie tossica nei gas di scarico, ma l'emissione non si annulla anche se nel combustibile non è presente benzene [6]. Infatti, è stato dimostrato come questa specie si forma durante il processo di combustione nel motore, principalmente per dealchilazione degli idrocarburi aromatici presenti nella benzina.

La trasformazione degli idrocarburi che costituiscono la benzina durante la combustione nel motore è dimostrabile dal confronto tra la composizione dei gas di scarico e quella del combustibile [7].

In Fig. 4 si osserva come la percentuale delle olefine presenti nei gas di scarico, sostanze altamente reattive ad elevata potenzialità di formazione dell'ozono, risulta più elevata di quella rilevata nella benzina che alimentava l'autovettura di prova.

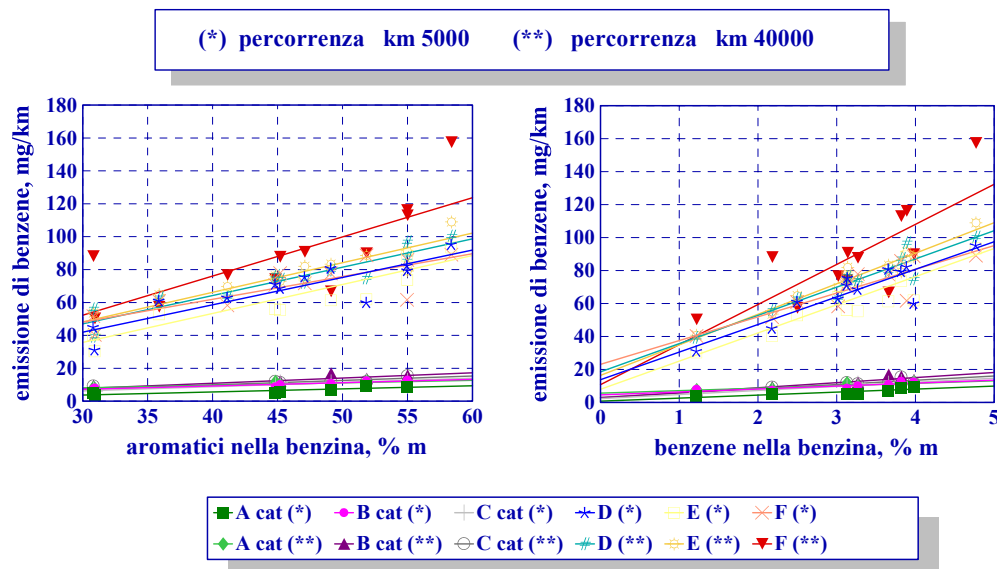


Fig. 3 - Effetto del contenuto di idrocarburi aromatici e del benzene nella benzina sull'emissione di benzene nei gas di scarico [5]

Le olefine si formano principalmente per deidrogenazione delle paraffine della benzina durante la combustione. L'effetto risulta praticamente indipendente dalla velocità media raggiunta dalla vettura di prova (confronto dei risultati ottenuti col ciclo urbano ECE e col ciclo Traffico Veloce TV sviluppato nel progetto AMES) e dal tipo di benzina impiegato (a composizione prevalentemente paraffinica o aromatica).

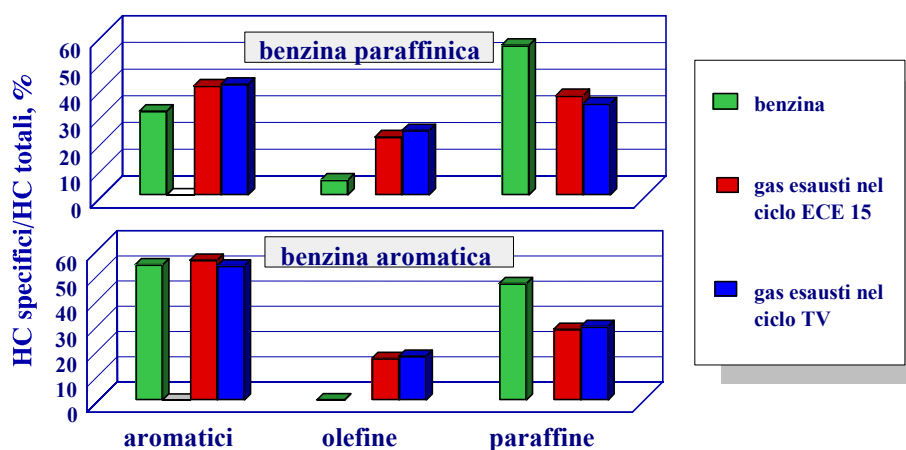


Fig. 4 - Distribuzione delle classi di idrocarburi nella benzina e nei gas di scarico [7]

La presenza di composti ossigenati nella benzina determina una riduzione sensibile dell'emissione dell'ossido di carbonio e un aumento dell'emissione della formaldeide. Nella Fig. 5 sono confrontati i risultati di prove svolte su autovetture non catalizzate e altre prive di catalizzatore, alimentate una volta con benzine costituite da soli idrocarburi e un'altra con benzine contenenti MTBE (etere metil $terz$ butilico) [5]. L'effetto risulta evidente anche con le autovetture catalizzate, sebbene in modo minore di quello riscontrato con le auto senza catalizzatore.

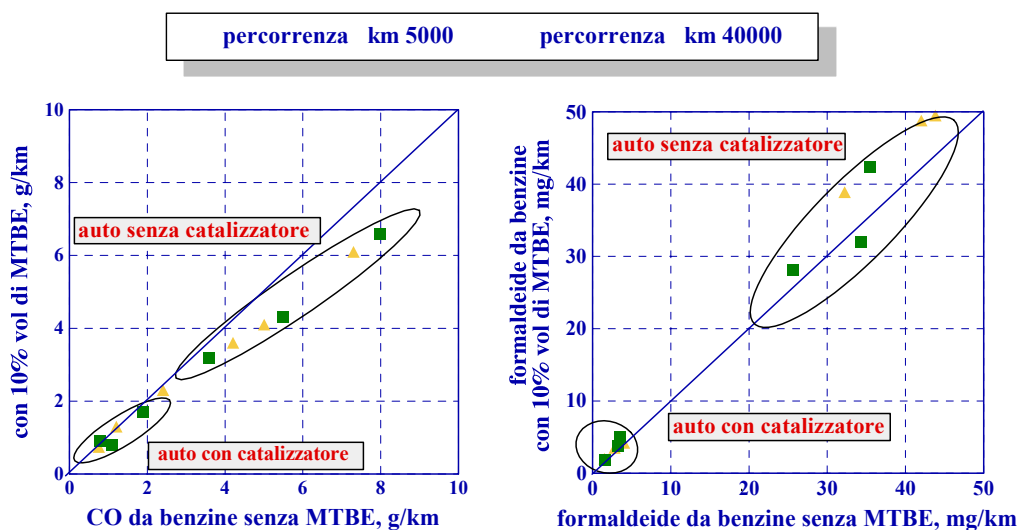


Fig. 5 - Effetto della presenza di composti ossigenati nella benzina sull'emissione di ossido di carbonio e di formaldeide nei gas di scarico [5]

Nelle Fig. 6 e 7 sono confrontati i livelli di emissione delle tre specie inquinanti regolamentate e di altre tre specie tossiche (1,2-butadiene, benzene e formaldeide) di due autovetture, di cui una priva di catalizzatore, determinati in funzione delle condizioni di traffico, simulato in laboratorio con i tre cicli di guida sviluppati nell'ambito del progetto AMES [7]. Nei diagrammi sono riportate anche le misure ottenute col ciclo di guida urbano standard europeo (ECE), le cui caratteristiche (velocità media e massima, tempi di sosta, ecc.) lo collocano per severità di guida tra il ciclo TI (Traffico Intenso) e il ciclo TS (Traffico Scorrevole).

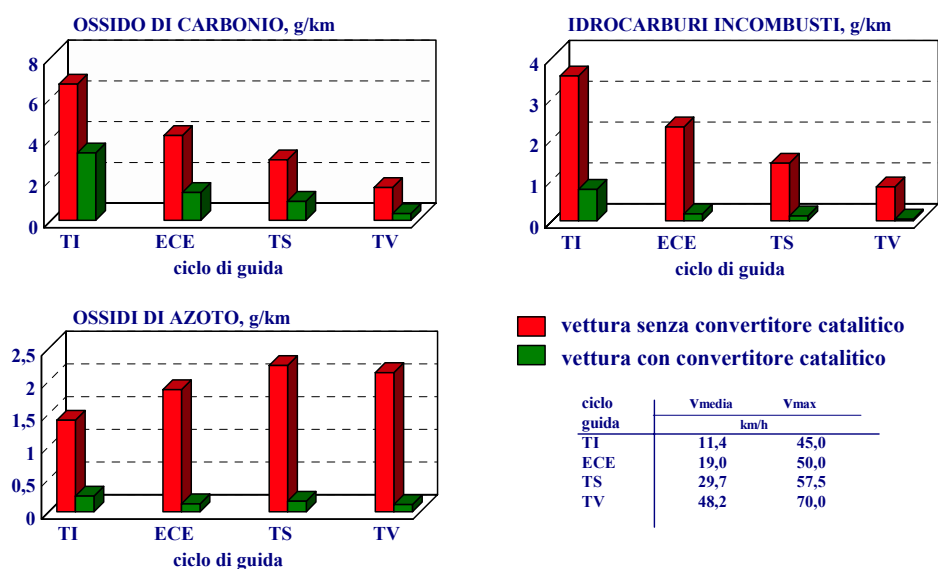


Fig. 6 - Variazione del livello di emissione degli inquinanti regolamentati emessi da autovetture a benzina in funzione delle condizioni di guida [7]

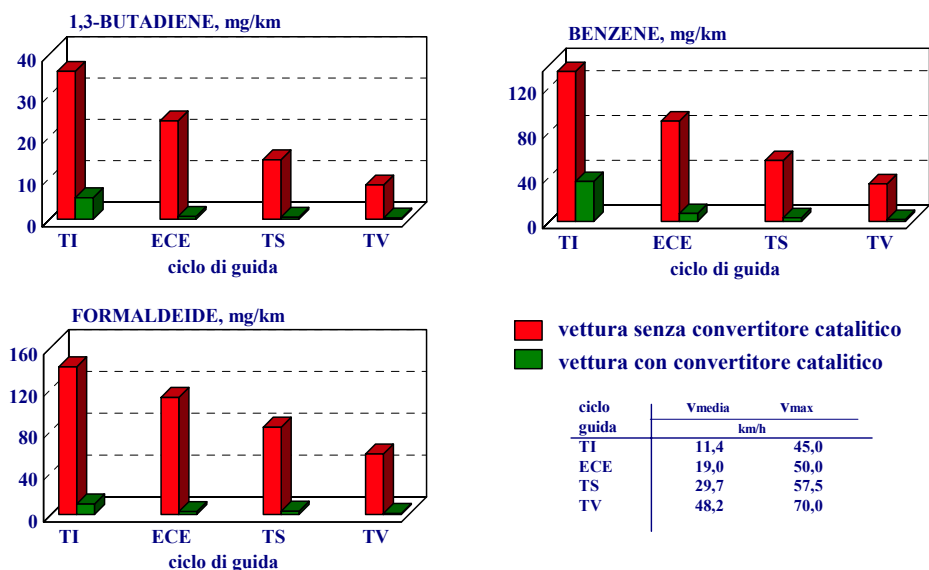


Fig. 7 - Variazione del livello di emissione di alcune specie inquinanti non regolamentate emesse da autovetture a benzina in funzione delle condizioni di guida [7]

L'esame dei diagrammi indica che l'emissione dell'ossido di carbonio e degli idrocarburi totali tende a diminuire sensibilmente quando la velocità media dell'autovettura (ossia quella del ciclo di guida) aumenta. L'effetto comunque è minore se la vettura è dotata di convertitore catalitico. Viceversa, l'emissione degli ossidi di azoto tende a aumentare solo per l'autovettura priva di catalizzatore, mentre per quella dotata del convertitore si osserva un lieve decremento. Questo effetto può essere interpretato considerando che l'efficienza del convertitore tende ad aumentare per effetto dell'incremento della temperatura dei gas di scarico che avviene quando la vettura viaggia a velocità elevata.

L'andamento del livello di emissione dei tre microinquinanti considerati nella sperimentazione, tra i più importanti dal punto di vista ambientale e della salute dell'uomo, si presenta analogo a quello degli idrocarburi totali.

La Fig. 8 riporta i risultati di un'indagine sperimentale svolta su due autovetture campione, una catalizzata e l'altra priva di convertitore catalitico, alimentate con due benzine commerciali senza piombo, di cui una prettamente a composizione paraffinica e l'altra aromatica [7]. In essa si evidenzia come il valore percentuale di benzene rispetto agli idrocarburi totali emessi nei gas di scarico risulta indipendente dal ciclo di guida adottato, ossia dalla velocità media della vettura, soltanto per quella non catalizzata. L'arricchimento in benzene negli idrocarburi incombusti, osservato nei gas di scarico dell'autovettura catalizzata, specialmente quando era alimentata con la benzina a composizione prevalentemente aromatica, dipende invece dal ciclo di guida impiegato, vale a dire dalle condizioni di marcia (durata delle fasi di accelerazione, sosta e velocità costante) della vettura sul percorso considerato. L'effetto può spiegarsi con la resistenza all'ossidazione del benzene sul catalizzatore che è maggiore di quella delle altre specie.

Nella stessa figura il valore percentuale della frazione aromatica rispetto gli idrocarburi totali emessi nei gas di scarico risulta praticamente indipendente sia dalla velocità media della vettura che dalla presenza o meno del convertitore catalitico su di essa.



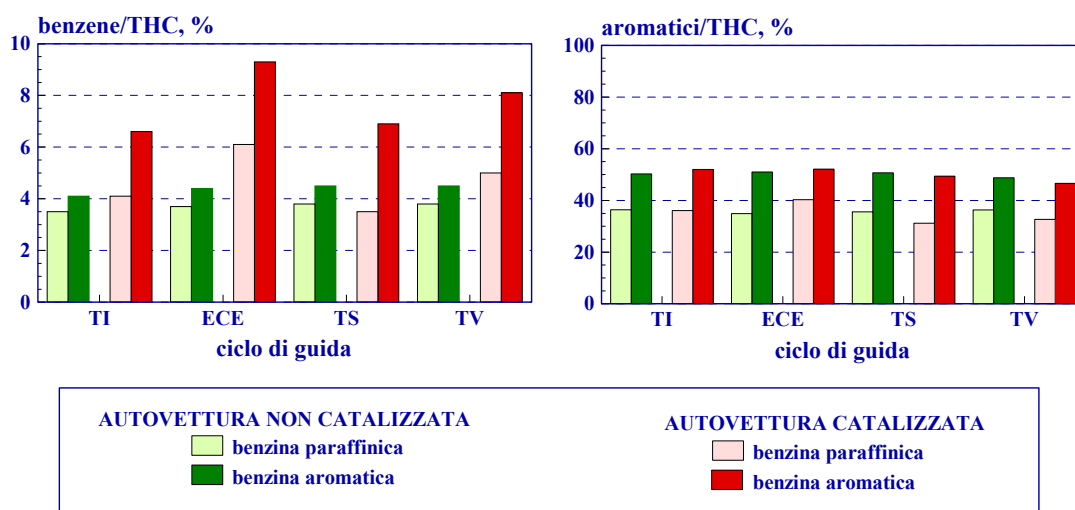


Fig. 8 – Effetto delle condizioni di guida (ciclo di guida) di autovetture a benzina sul rapporto benzene/THC e idrocarburi aromatici/THC [7]

Infine, la Fig. 9 riporta il livello di emissione delle due specie regolamentate (CO, THC), del benzene e della formaldeide rilevato nei gas di scarico di due ciclomotori privi di catalizzatore, provati sia impiegando il ciclo di guida normalizzato ECE R47 (velocità massima del ciclo pari a 45 km/h) che funzionando a velocità costante.

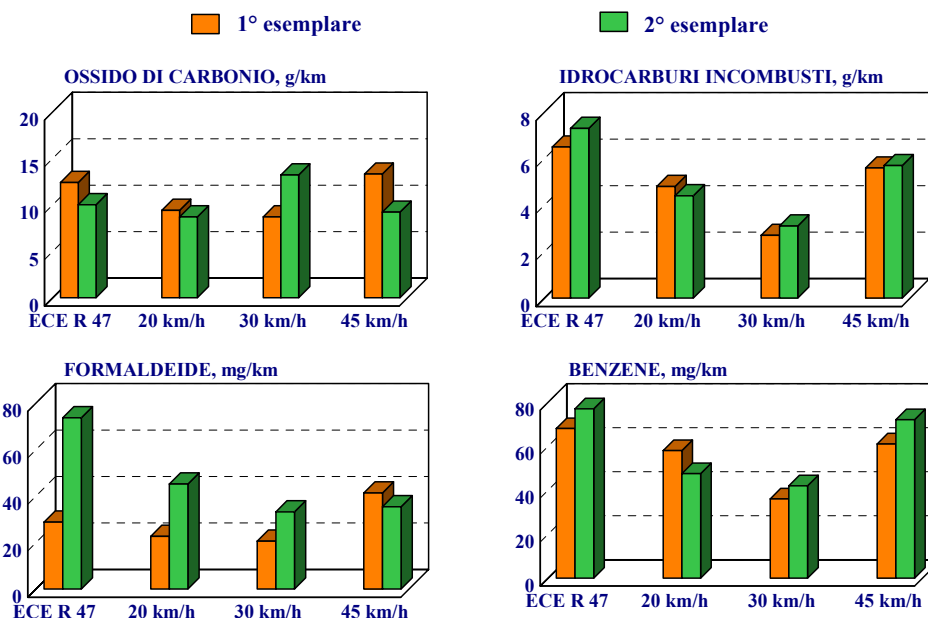


Fig. 9 – Effetto della velocità di un ciclomotore sull'emissione di alcuni inquinanti emessi nei gas di scarico

I valori elevati di tutte le emissioni, misurate sul ciclo standard, derivano dalla forte accelerazione a cui è sottoposto il ciclomotore durante la prova, nella quale il motore sviluppa la massima potenza. La sensibile differenza di livello di emissione degli idro-

carburi, della formaldeide e del benzene riscontrata nelle tre condizioni di marcia a velocità costante dipende essenzialmente dal grado di arricchimento della miscela preformata nel carburatore e dall'efficienza di lavaggio del cilindro del motore, variabile col regime di rotazione del motore.

#### 4. Conclusioni

La determinazione dei fattori di emissione degli autoveicoli riveste molta importanza nella valutazione dell'impatto del traffico sull'ambiente. La grande variabilità degli autoveicoli in circolazione, per modello, motorizzazione, alimentazione e anzianità, rende la definizione dei fattori un compito estremamente difficile e delicato. La disponibilità di dati relativi al parco autoveicoli circolante nel nostro paese è tuttora scarsa e ciò richiede la programmazione di indagini sperimentali mirate.

In questo contesto la Stazione Sperimentale per i Combustibili, che vanta una lunga esperienza nella valutazione dell'impiego corretto dei combustibili, tradizionali e innovativi, nei motori e degli effetti causati sull'ambiente, ritiene importante il consolidamento di una collaborazione tra Enti pubblici e Società private, con l'obiettivo di creare una banca dati dei fattori di emissione degli autoveicoli. Questa risulta necessaria per migliorare le conoscenze sul contributo del traffico dato all'inquinamento dell'aria sul territorio nazionale e per confrontare la nostra realtà con quella degli altri paesi europei. L'obiettivo finale è quello di definire strategie comuni per la salvaguardia dell'ambiente e della salute umana.

#### Bibliografia

- [1] F. Avella - *Stato di manutenzione, traffico urbano ed emissioni inquinanti di vetture a benzina* - Riv. Comb., **43** (1989), p. 283-315
- [2] F. Avella - *Analisi del traffico nella città di Milano e definizione di cicli di guida* - Rapporto di prova SSC N. B20565 (1991)
- [3] F. Avella - *Rilievi cinematici di un'autovettura guidata nel traffico della città di Milano* - Rapporto di prova SSC N. 98005211 (1998)
- [4] Modellizzazione della rete e del traffico dell'area milanese (1999) - rapporto riservato
- [5] Convenzione 12 luglio tra Ministero dell'Industria, Ministero dell'Ambiente, Ministero della Sanità, Unione Petrolifera, Agip Petroli, Fiat Auto - risultati non pubblicati (1993)
- [6] F. Avella, A. Casalini, A. Rolla - *Tenore di benzene nelle benzine e sua influenza sulle emissioni degli autoveicoli* - Riv. Comb., **49** (1995), p. 2-13
- [7] F. Avella, A. Casalini, A. Mascherpa, A. Rolla, G. Tiella - *Valutazione degli inquinanti, regolamentati e non, nei gas di scarico di autoveicoli a benzina* - Riv. Comb., **47** (1993), p. 301-318