

# Emissioni da veicoli a motore

## Aspetti legislativi

di Jan Kašpar

Le automobili fanno parte della nostra vita, la rendono comoda ma spesso ci rendiamo conto anche delle difficoltà che derivano da un loro uso intensivo, specie in città. Tra i molti problemi, ve ne sono anche di notevoli dovuti alle emissioni nocive derivanti dai gas di scarico, come abbiamo sperimentato in molte città nell'inverno scorso. In questo articolo vengono discussi gli aspetti legislativi relativi alle emissioni da fonti mobili, con particolare attenzione alla vigente legislazione europea, ed il loro impatto sulla qualità dell'atmosfera.

Prima di discutere l'evoluzione della legislazione relativa alle emissioni da veicoli è importante illustrare l'effettivo impatto di tali emissioni. In generale gli inquinanti atmosferici vengono raggruppati in alcune classi: CO, NO<sub>x</sub>, Voc (composti organici volatili ed eventualmente Nmvoc: Voc escluso il metano), SO<sub>x</sub> ed il particolato (PM<sub>10</sub>). Si stima che in Europa, nel 1998, le emissioni di Nmvoc (42%) e NO<sub>x</sub> (44%) abbiano contribuito per la maggior parte alla formazione dell'ozono nella troposfera, mentre tali percentuali si riducono a 14% e 1%, rispettivamente per metano e CO. Si noti che il trasporto su strada ha contribuito per il 49% del totale delle emissioni [1]. L'andamento delle emissioni di CO nei 15 stati dell'Unione Europea e la loro origine sono illustrati in funzione del tempo nelle Figure 1 e 2, rispettivamente.

Anche se non rappresentati per brevità, NO<sub>x</sub> e Nmvoc presentano andamenti qualitativamente simili. È importante notare, innanzitutto, l'andamento positivo, dal punto di vista ambientale, del totale delle emissioni (descrescenti) a partire dagli inizi degli anni Novanta, un periodo in cui in molti paesi dell'Ue gli aspetti di protezione dell'ambiente hanno assunto un rilevante peso politico-sociale. Qual è l'incidenza dei trasporti su tale andamento positivo? Per quanto riguarda le emissioni di CO e Nmvoc si nota che, a fronte di un decremento complessivo, rispettivamente di 37% e 24% delle emissioni, quelle dovute ai trasporti sono diminuite del 40% e 31%, indicando che l'implementazione del controllo delle emissioni dei veicoli da trasporto ha avuto un forte impatto sulle emissioni. Va tenuto presente, infatti, che nello stesso periodo si è avuto un incremento medio del 2,8% dei km/passeggero percorsi per anno, passando da 3,5x10<sup>9</sup> a 5,4x10<sup>9</sup> km/passeggero. Tenendo presente quindi le percorrenze, si può stimare che le emissioni medie

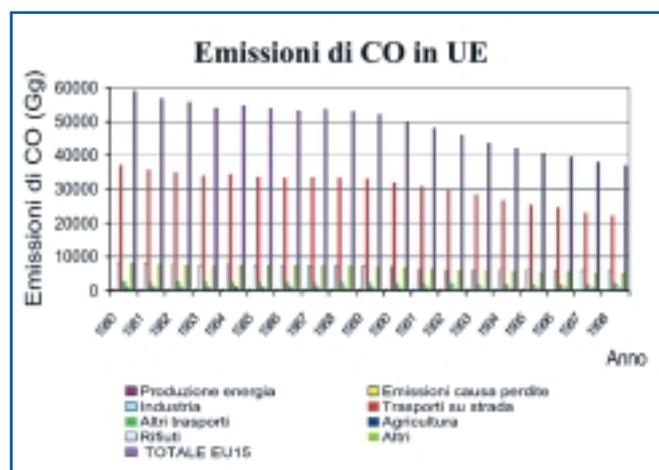


Figura 1 - Emissioni in atmosfera di CO nel periodo 1980-1998 (Fonte: Agenzia Europea per l'Ambiente, <http://www.eea.eu.int>)

(indipendenti dal tipo di veicolo) sono diminuite del 61% e 55% rispettivamente per CO e Nmvoc. È da rilevare il fatto che tale miglioramento viene calcolato su tutto il parco veicoli, laddove in molti paesi la vita media di un veicolo è piuttosto elevata. Nel 1998, il 58% degli autoveicoli europei era equipaggiata con la marmitta catalitica, tuttavia, mentre il grado di penetrazione di autoveicoli catalizzati era piuttosto elevato in paesi come Germania, Austria o Olanda (>80%), in Italia era del 49%, ma la situazione era ancora più difficile in paesi come Spagna e Portogallo con percentuali inferiori a 30%. Nel caso delle emissioni di NO<sub>x</sub> la situazione è meno positiva in quanto, a fronte di una diminuzione generalizzata del 21% delle emissioni, il settore dei trasporti su strada ha subito una diminuzione solo del 12%. Chiaramente, l'abbattimento delle emissioni di NO<sub>x</sub> permane un problema serio, in particolare nei motori diesel [2]. Tuttavia, anche in questo caso si è avuto un miglioramento dell'efficienza del controllo delle emissioni, che risulta del 43%, tenendo il conto delle percorrenze. Analizziamo quindi quali sono gli aspetti legislativi che hanno portato a tali risultati.

### Passato, presente e futuro nella legislazione sulle emissioni da autoveicoli

Il problema delle limitazioni delle emissioni nocive da autoveicoli è di lunga data se si considera quello che probabilmente è l'atto legislativo più antico sull'argomento: la legge tedesca del 3 febbraio 1910 che stabiliva che "gli autoveicoli devono essere costruiti in modo da essere sicuri e costruiti in modo da non generare disturbo al pubblico dovuto a fumo o odori" [3] (K.E. Ditsch, 1987, "Abgasuntersuchungen von in Verkehr befindlichen Fahrzeugen, Gegenwart und Zukunft, Bundesrepublik Deutschland", VDI Berichte, No. 639, pp. 75-85). Passarono più di sessant'anni prima che fosse stato introdotto

J. Kašpar, Dipartimento di Scienze Chimiche - Università di Trieste - 34127 Trieste. [kaspar@univ.trieste.it](mailto:kaspar@univ.trieste.it)

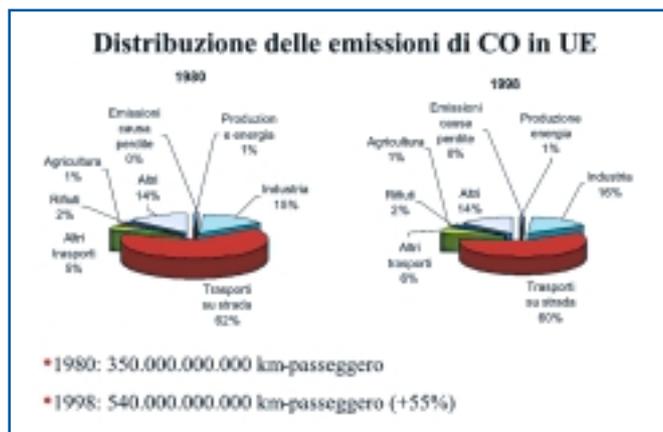


Figura 2 - Origine delle emissioni in atmosfera di CO negli anni 1980 e 1998 (Fonte: Agenzia Europea per l'Ambiente, <http://www.eea.eu.int>)

negli Stati Uniti, nel 1966, il cosiddetto "Clean Air Act", la legge fondamentale Usa che regola le emissioni inquinanti in aria, e che, ovviamente, è stata successivamente ammendata (1968, 1970, 1971 ecc.), man mano che la tecnologia del controllo delle emissioni progrediva. In generale, l'aspetto legislativo e l'aspetto tecnologico (la metodologia di abbattimento delle emissioni) sono strettamente correlate nel senso che la "driving force" per l'introduzione dell'innovazione nelle marmitte catalitiche è stata per lungo tempo, almeno in Usa, il legislatore. La Figura 3 illustra qualitativamente il progressivo restringimento delle emissioni per automobili leggere con motore a benzina in Usa ed in Europa. Negli anni Sessanta/primi anni Settanta un autoveicolo con emissioni non controllate emetteva all'incirca 40-60 g di CO/km percorso. Per apprezzare adeguatamente il significato della quantità emessa, basti considerare che la concentrazione limite di CO in aria è di 10 mg/m<sup>3</sup>. Con un calcolo semplice, ci si rende conto che, se immaginiamo che tale autoveicolo lasci una "scia" di aria inquinata con una sezione di 1 m<sup>2</sup> dietro a sé, allora tale "scia" risulterebbe 4-6 volte più lunga rispetto all'effettivo percorso dell'automobile! È chiaro che all'aumentare dell'utilizzo degli autoveicoli si è reso necessario implementare le norme per il controllo delle emissioni. Un elenco delle principali direttive europee relative a problemi connessi con limitazioni all'inquinamento prodotto da veicoli è riportato in Tabella 1.

## Legislazione europea: un approccio integrato

Come descritto nei successivi paragrafi, a partire dal 1994, con la direttiva 1994/12/EC e quindi 1998/69/EC, l'Ue ha adottato un approccio integrato al problema delle emissioni da trasporti che considera diversi aspetti: adeguamento delle modalità dei cicli di prova, verifica del veicolo in uso, qualità del carburante, fino ad istituire gruppi di lavoro integrati al fine di studiare e proporre nuove soluzioni per il miglioramento e l'adeguamento della legislazione sulle emissioni al progresso tecnologico (vedasi Auto-oil program I e II: <http://europa.eu.int/comm/environment/autooil/index.htm>).

### Cicli di misura delle emissioni

L'iter legislativo per definire i limiti delle emissioni da veicoli è un processo complesso che riveste diversi aspetti integrati tra di loro. Innanzitutto, è necessario definire il ciclo di prova che

**Tabella 1 - Direttive comunitarie relative al problema delle emissioni da veicoli**

Direttiva	Argomento
1970/220/EC	Direttiva Ue di base sulle emissioni da veicoli, successivamente emendata varie volte emendata da direttive emendata da 1991/441/EC e 1994/12/EC
1988/77/EC	Direttiva Ue di base sulle emissioni di autoveicoli commerciali pesanti
1998/69/EC	Limiti di emissioni per autoveicoli classi M e N (fasi Euro 3 e 4 in vigore da 2001 e 2006, classe M, e 2002 e 2007, classe N)
1999/96/EC	Limiti di emissioni per veicoli pesanti (autocarri) (fasi Euro 3, 4 e 5 in vigore da 2001, 2006 e 2009)
1997/24/EC	Limiti di emissioni per motocicli (Euro 1 e Euro 2 in vigore da 1999 e 2002)
1998/70/EC	Qualità dei carburanti: benzina e diesel (S<50 ppm, cfr. anche <a href="http://www.europa.eu.int/comm/environment/sulphur/index.htm">http://www.europa.eu.int/comm/environment/sulphur/index.htm</a> per "sulphur-free gasoline")
1999/96/EC	Direttive (Euro 3 e Euro 4) per le emissioni di veicoli commerciali pesanti (HVD: heavy duty vehicles)/applicazioni di nuovi cicli di misura (Esc/Elr ed Etc)
1999/102/EC	Specificazioni e raccomandazioni su Obd (diagnostica a bordo)
2000/30/EC	Criteri di revisione periodica per autoveicoli (controllo gas scarico: CO<0,5% al minimo, <0,3% a 2.000 giri/min.)
2001/27/CE	Indicazioni relative alle omologazione e test di prova di veicoli con motore a gas, indicazioni sulle modalità di test per veicoli pesanti

### Definizione delle classi dei veicoli:

M: veicoli a motore per passeggeri con non più di 8 passeggeri oltre al guidatore, con massa crescente (M1<2,5 ton, 2,5 ton<M2<5 ton, M3>5 ton);  
N: veicoli commerciali a motore per trasporto di beni con massa crescente (N1<3,5 ton, 3,5 ton<N2<12 ton, N3>12 ton)

descrive l'utilizzo tipico del veicolo e, pertanto, in base alla classificazione del veicolo, vengono utilizzati cicli di prova diversi. Non solo, anche gli stessi cicli di prova hanno subito modifiche, spesso di grande impatto sulla tecnologia di abbattimento. Il ciclo europeo di prova per autoveicoli per passeggeri, denominato Ece-Eudc e costituito da un ciclo urbano di 1.013 km che viene percorso quattro volte e da un ciclo extraurbano di 6.995 km, è illustrato in Figura 4. Esso presenta delle velocità di punta di 50 e 120 km/h rispettivamente nella parte urbana ed extraurbana, mentre le velocità medie sono rispettivamente di 18,7 e 62,6 km/h. La velocità media su tutto il ciclo è di 32,5 km/h. Senza entrare nei dettagli specifici, è interessante notare che il ciclo FTP75, utilizzato in Usa, presenta una velocità media comparabile (34,3 km/h), tuttavia la velocità massima è significativamente più bassa (91,2 km/h). Ciò è in linea con i limiti di velocità applicati sulle autostrade americane, più bassi rispetto a quelli europei. La conseguenza di tale fatto è che le sollecitazioni termiche che il catalizzatore subisce durante la guida su autostrada, con motore operante a regimi elevati, sono più alte in un ciclo/utilizzo del veicolo in Europa rispetto a quello in Usa. Per quanto riguarda i motocicli, il ciclo adottato in Europa è

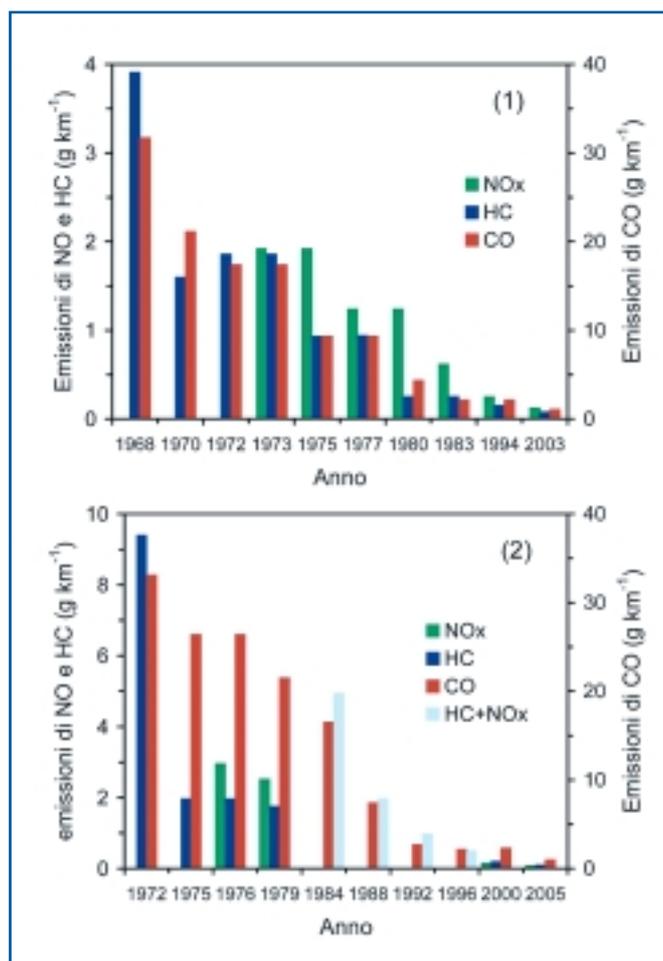


Figura 3 - Evoluzione temporale dei limiti alle emissioni da autoveicoli leggeri con motore a benzina in Usa (1) ed in Europa (2) negli anni 1972-2005

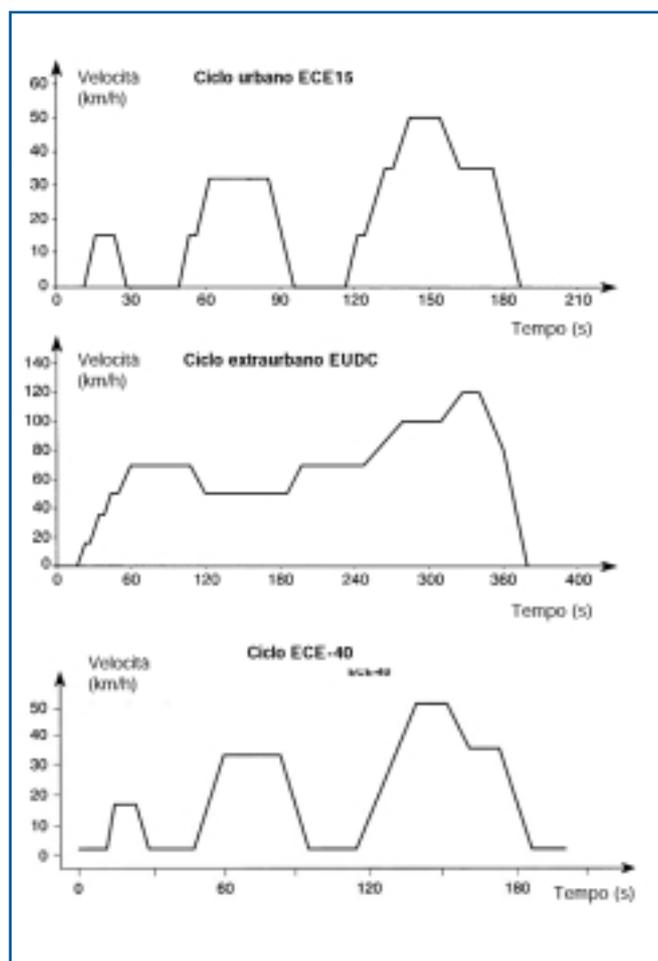


Figura 4 - Cicli europei di prova di emissioni per autoveicoli leggeri (Ece-Eudc) e motocicli (Ece-40) (adattato da [4])

raffigurato in Figura 4 e viene percorso per quattro volte; essendo la velocità massima di solo 50 km/h, tale ciclo è essenzialmente rappresentativo dell'utilizzo urbano del motociclo, ma viene trascurato quello extraurbano.

Una variazione molto importante al ciclo Ece-Eudc è stata l'inclusione della partenza a freddo. In Europa, prima della fase Euro 3, s'iniziava la misura delle emissioni solamente dopo 40 s dal momento di accensione del motore, che veniva lasciato girare al minimo per tale periodo. Dal 2000/2001 la fase di accensione, ovvero la partenza a "freddo" (25 °C), è inclusa nel ciclo di misura. Quanto sia rilevante questa modifica ai fini della funzionalità di una marmitta catalitica è illustrato in Figura 5. In un tipico ciclo di prova, le emissioni di idrocarburi dal motore superano i limiti di legge (futuri, più restrittivi) entro poche decine di secondi. Ne consegue che la marmitta deve entrare in funzione - superare la temperatura di "light-off" (50% di conversione) - entro 10-20 s dall'accensione del motore. Una marmitta, situata sotto scocca, raggiunge tipicamente la temperatura d'esercizio in 90-120 s. Per ottemperare ai limiti riportati in Figura 5, è necessario montare una marmitta secondaria sul collettore di scarico (close coupled catalyst) che però espone il catalizzatore a temperature che possono raggiungere 1.000-1.100 °C in un veicolo con motore convenzionale a benzina. La necessità di sviluppare nuovi materiali ad elevatissima stabilità termica è stata una conseguenza immediata di tale, ap-

parentemente piccola, modifica al ciclo di prova. L'impatto sulle emissioni totali della partenza a freddo, e quindi anche della temperatura dell'ambiente è un altro aspetto considerato dal legislatore ed inserito nella direttiva 1998/69/EC che ha definito un test a *freddo* con partenza a -7 °C applicabile solo alla parte urbana del ciclo Ece-Eudc a partire dal 1/1/2002. Per tale ciclo i limiti di emissioni vengono elevati rispetto al ciclo ordinario con veicolo a 25 °C: CO da 2,3 a 15 g/km e HC da 0,2 a 1,8 g/km per veicoli di classe M1 (cfr. nota Tabella 2). Abbassare la temperatura del veicolo di circa 30 °C significa decuplicare le emissioni in fase di partenza! È questo chiaramente uno dei punti cruciali che richiederà soluzioni e miglioramenti tecnologici, quali ad esempio pre-riscaldamento del catalizzatore e/o abbassamento significativo della temperatura di "light-off" del catalizzatore.

Per quanto riguarda le procedure di misura e certificazione delle emissioni da veicoli commerciali pesanti, bisogna innanzitutto osservare che il test (Elr: European load response test) viene eseguito sul banco motori, applicando alternativamente condizioni di motore al minimo e condizioni di carico del 10, 25, 50, 75 e 100% a velocità corrispondenti sia alla massima coppia del motore sia alla massima potenza. Le emissioni in ogni fase operativa del ciclo vengono quindi sommate utilizzando opportuni coefficienti di correzione [4]. A partire dalla direttiva 1999/96/EC il ciclo di misura viene modificato: il ciclo

Elr viene combinato con uno nuovo stazionario (Esc: European steady state cycle) e viene aggiunto un nuovo ciclo transiente (Etc: European transient cycle). Ambedue i cicli (Esc/Elr ed Etc) verranno impiegati obbligatoriamente per l'omologazione a partire dalla fase Euro 4 (2005), mentre i veicoli con motore alimentato a gas saranno sottoposti solo al ciclo Etc. In tale direttiva viene anche menzionato il divieto specifico di utilizzo di dispositivi di manipolazione in grado di modificare le emissioni del motore in fase del ciclo di misura rispetto a quelle in condizioni reali di utilizzo.

### Durata ed efficienza della marmitta (Obd: on-board diagnostics)

L'efficienza nel tempo della marmitta è un altro aspetto cruciale per un efficace abbattimento delle emissioni. Purtroppo, si deve notare che, rispetto agli Usa, la legislazione europea in questo campo è stata latitante per molti anni. Solamente a partire dalla norma Euro 3 è stata introdotta l'obbligatorietà di omologare le emissioni degli autoveicoli dopo un rodaggio pari a 80.000 km o un utilizzo di 5 anni. Questo limite è stato fissato a 100.000 km o 5 anni per la fase Euro 4. In realtà, questo non significa necessariamente che il veicolo deve percorrere il chilometraggio indicato in quanto l'omologazione può essere eseguita anche su un veicolo nuovo, utilizzando dei parametri prestabiliti per calcolare le emissioni del catalizzatore invecchiato, che tengono conto della sua disattivazione con l'uso. La stessa Ue con la direttiva 2000/30/EC ha anche stabilito le modalità della revisione periodica degli autoveicoli e i criteri per testare l'efficienza della marmitta catalitica:  $CO < 0,5\%$  con motore al minimo e  $CO < 0,3\%$  con motore al di sopra dei 2.000 giri/min. Inoltre, durante la revisione, viene verificato che valore del rapporto  $\lambda$  sia entro limiti prestabiliti ( $\lambda = \pm 1,003$ ). Il rapporto  $\lambda$  (equivalence ratio) è il rapporto tra le concentrazioni degli ossidanti e dei riducenti presenti nel gas di scarico ed è pari a 1 in condizioni stechiometriche. In queste condizioni l'efficienza della rimozione contemporanea di CO, HC che  $NO_x$  su un catalizzatore a tre-vie è massima. Mentre è importante il fatto che, per la prima volta (in Europa), sono stati fissati dei

parametri di durata della marmitta catalitica, bisogna osservare che i criteri di verifica periodica dell'efficienza della marmitta sono piuttosto blandi. Se assumiamo una velocità spaziale dei gas di scarico  $G_{hsv} = 30.000 \text{ h}^{-1}$ , che rappresenta il limite più basso delle tipiche velocità spaziali nel sistema di scarico, si può calcolare che per una concentrazione di  $CO = 0,3\%$ , verrebbero emessi circa 3,5 g di CO su un percorso pari a quello del ciclo Ece-Eudc. Tale valore supera i valori 2,3 e 1 g di CO /km che sono previsti rispettivamente nella fase 3 e 4 per un veicolo passeggeri (classe M). È da notare che viene previsto anche un meccanismo di monitoraggio biennale dei difetti riscontrati durante le revisioni. Purtroppo risultano generici e non ben specificati nella legislazione i meccanismi di monitoraggio e gli obblighi di intervento in caso di difetti sistematici al sistema di scarico in un certo modello di veicolo. Il confronto con la legislazione in vigore negli Usa e, ancor più con la direttiva Tier 2 (pubblicata il 10/2/2000 sul Federal Register [6] e in vigore a partire dal 2004), gioca a sfavore della legislazione europea. Negli Usa l'attuale durata richiesta e certificata del sistema di abbattimento delle emissioni è di 100.000 miglia (160.000 km) che verrà elevata a 120.000 miglia a partire dal 2004, con possibilità da parte del costruttore di estendere la durata a 150.000 miglia, creando così dei crediti di emissioni utili per la certificazione della propria produzione (vedi sotto). Inoltre, è prevista l'obbligatorietà della sostituzione del sistema di controllo delle emissioni da parte del costruttore, qualora una certa percentuale, a seconda del numero di chilometri percorsi (50.000 o 75.000 miglia), non superi il test di controllo. È evidente che in Usa, a fronte di un utilizzo corretto dell'autoveicolo, il fallimento sistematico del test di prova viene considerato responsabilità del costruttore, anche se sono passati diversi anni dall'immatricolazione dell'autoveicolo ed esso non è considerato più in garanzia "ordinaria".

Solo la certezza del mantenimento delle caratteristiche dell'efficienza del sistema di abbattimento durante l'uso quotidiano del veicolo porta a quei benefici globali in termini di diminuzione di emissioni che i vari legislatori si sono posti. Questa considerazione ha portato alla definizione del concetto della co-

**Tabella 2 - Limiti Euro 3 (2000/2001)- Euro 4 (2005/2006) alle emissioni di alcune tipologie di autoveicoli e limiti Euro 1 (1999) e Euro 2 (2002) per motocicli e ciclomotori**

Categoria veicolo	Fase	Ciclo misura	Emissioni				
			CO	HC	$NO_x$	PM	HC+ $NO_x$
Autovetture passeggeri a benzina	Euro 3	Ece+Eudc	2,3	0,2	0,15		
	Euro 4	Ece+Eudc	1	0,1	0,08		
Autovetture passeggeri diesel	Euro 3	Ece+Eudc	0,64	-	0,50	0,05	0,56
	Euro 4	Ece+Eudc	0,50	-	0,25	0,025	0,30
Veicoli commerciali leggeri a benzina (1.701-2.150 kg)	Euro 3	Ece+Eudc	5,2		0,2		
	Euro 4	Ece+Eudc	2,3		0,1		
Veicoli commerciali leggeri diesel (1.701-2.150 kg)	Euro 3	Ece+Eudc	1	0,3	0,8	0,11	
	Euro 4	Ece+Eudc	0,7	0,2	0,4	0,06	0,5
Ciclomotori (<50 cm <sup>3</sup> )	Euro 1	Ece 47	6				3
	Euro 2	Ece 47	1				1,2
Motocicli (>50 cm <sup>3</sup> ) 2 tempi	Euro 1	Ece 40	8	4	0,1		
Motocicli (>50 cm <sup>3</sup> ) 4 tempi	Euro 1	Ece 40	13	3	0,3		
Motocicli (proposta)	Euro 2	Ece-40/cold start	5,5	1,2	0,3		

Fonti: Direttiva 98/69/EC del 13-10-1998, recepita in Italia con DM 21/12/1999, decorrenza dal 1.1.2001 e 1.1.2006 per tutti i veicoli, anticipata di un anno per veicoli nuovi; Direttiva 96/160/EC, decorre dal 17.6.199 per moto e ciclomotori e dal 17.6.2002 per la fase II dei ciclomotori, limiti proposti da Auto-oil program

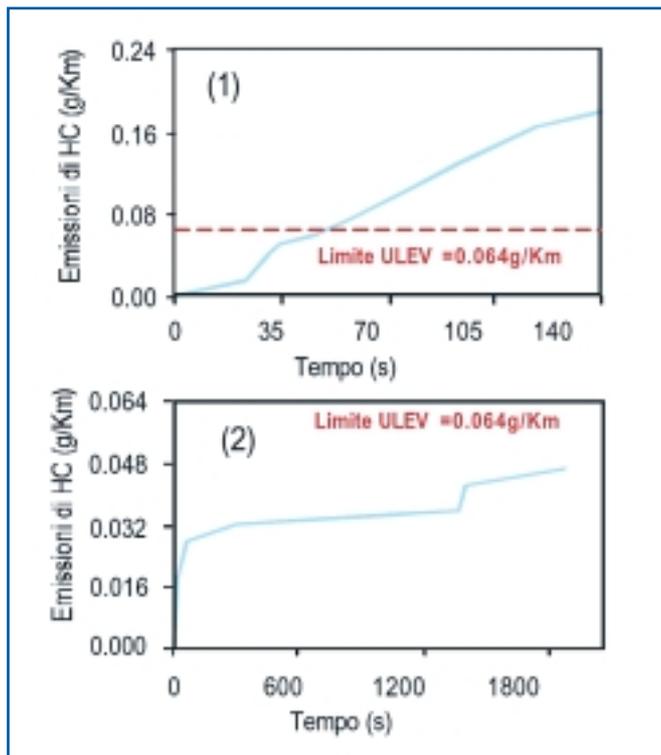


Figura 5 - Emissioni cumulative di HC misurate (1) in uscita ad un motore a benzina e (2) dopo la marmitta montata sul collettore di scarico (close coupled catalyst) (Ulev: ultra low emission vehicle) (adattato da [5])

siddetta diagnostica a bordo (Obd). La richiesta generale al sistema di monitoraggio è quella di segnalare il malfunzionamento del sistema di abbattimento di emissioni e, inoltre, di memorizzare, in modo indelebile, il tempo ed il numero di chilometri percorsi a partire dalla segnalazione del guasto. Un veicolo circolante, non conforme alla certificazione sulle emissioni, presenta un pericolo per la salute pubblica e pertanto, in futuro, tale comportamento potrà essere sanzionato. A partire dalla fase Euro 3 è stata introdotta anche in Europa l'obbligatorietà di montare i dispositivi Obd su veicoli con motore a benzina. Per quanto riguarda la tecnologia attuale, basata sui catalizzatori a tre vie, il principio di funzionamento dell'Obd si basa sulla correlazione empirica tra la cosiddetta Osc (oxygen storage capacity) e l'attività del catalizzatore (Figura 6). Solo in presenza di un efficiente controllo del rapporto aria/combustibile (A/F) si ottengono le prestazioni ottimali del catalizzatore. Il sistema Obd è quindi complesso (Figura 6) e comprende, oltre alla centralina elettronica di controllo, gli iniettori di benzina, i flussimetri di aria, e anche due sonde di ossigeno ( $\lambda$ ) che, monitorando la costanza del rapporto aria/combustibile in uscita della marmitta, relativamente a quello in entrata, di fatto verificano costantemente l'efficienza del catalizzatore a tre vie. Tale sistema di monitoraggio ovviamente è applicabile solamente a motori con marmitte a tre vie. Un aspetto non trascurabile è, in effetti, la necessità di sviluppare nuovi e più efficaci sistemi di monitoraggio dell'efficienza di abbattimento di emissioni nel caso di motori ad alta efficienza energetica come motori a combustione magra e motori diesel [7]. Per quest'ultimo l'obbligo del montaggio di Obd decorre dal 1/1/2003 per veicoli di nuova progettazione e dal 1/1/2004 per tutti gli altri (veicoli categoria M1, peso <2.500 kg).

Attuali limiti di legge alle emissioni in Europa: una lettura critica

Per quanto riguarda i valori dei limiti previsti dalla legislazione in vigore bisogna innanzitutto osservare che i limiti vengono fissati in base alla tipologia del veicolo secondo i seguenti criteri:

- *veicoli commerciali pesanti*: massa di inquinante prodotto/unità di energia sviluppata (g/kWh);
- *veicoli leggeri (commerciali, passeggeri, motocicli)*: massa di inquinante prodotta/distanza percorsa (g/km).

Ad eccezione delle unità di misura, la stessa tipologia di limiti viene applicata anche in Usa. I valori di legge (fissati dalle normative in atto) relativi ai veicoli leggeri sono riassunti in Tabella 2 mentre la Tabella 3 riporta quelli relativi ai veicoli commerciali pesanti.

### Veicoli commerciali pesanti

Per quanto riguarda questi ultimi, la normativa riportata nella direttiva 1999/96/EC presenta certamente diversi aspetti innovativi per la legislazione europea avvicinandola a quella vigente in Usa. Innanzitutto sono stati introdotti nuovi cicli di misura, che sono centrati su velocità corrispondenti a carichi del motore vicini al 50% e 70%, ovvero ai regimi più utilizzati durante l'uso reale del veicolo. Inoltre, delle quattro velocità utilizzate durante il ciclo ELR, una viene scelta dall'autorità di controllo in modo da rendere difficile la programmazione di strategie di controllo atte a minimizzare le emissioni, specificatamente in fase di test. È nota la vicenda delle otto case automobilistiche negli Usa che sono state condannate a pesanti multe per avere adottato strategie di questo tipo, con il risultato che, durante l'uso effettivo del veicolo in autostrada, le emissioni superavano quelle permesse anche di 8 volte. La ragione di tali accorgimenti è legata al fatto che vi è una relazione inversa tra le emissioni di  $\text{NO}_x$  e il consumo di carburante. Pertanto, mappando opportunamente il sistema di controllo del motore, è possibile diminuire i consumi, specie su autostrada, a scapito delle emissioni di  $\text{NO}_x$ . Per quanto riguarda invece i valori assoluti, è difficile confrontare i valori prescritti in Usa e in Europa a causa della diversità dei cicli di misura. Tuttavia, è da notare che la normativa Euro 3 ha portato ad una diminuzione di circa 30% delle emissioni, rispetto a valori precedenti, che verranno ulteriormente abbassate (Tabella 3). Il reale problema della legislazione europea è da imputare anche in questo caso alla mancanza di severi criteri di durata del sistema di controllo delle emissioni, problema reso ancora più acuto in questo ti-

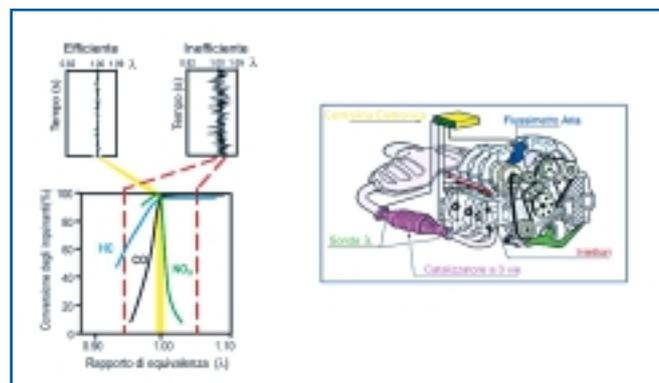


Figura 6 - (1) L'impatto dell'efficienza del controllo del rapporto aria/combustibile (A/F) sulla conversione di CO, HC,  $\text{NO}_x$  e (2) schema di un motore con dispositivo Obd

**Tabella 3 - Limiti Euro 3 (2000), Euro 4 (2005) e Euro 5 (2008) alle emissioni di veicoli commerciali pesanti**

Fase (anno)	Valori limite ciclo Esc/Elr e (ciclo Etc)			
	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO <sub>x</sub> (g/kWh)	PM (g/kWh)
Euro 3 (2000)	2,1 (5,45)	0,66 (0,78/1,6) <sup>a</sup>	5,0 (5,0)	0,10 (0,16)
Euro 4 (2005)	1,5 (4,0)	0,46 (0,55/1,1) <sup>a</sup>	2,0 (3,5)	0,02 (0,03)
Euro 5 (2008) <sup>b</sup>	1,5 (4,0)	0,46 (0,55/1,1) <sup>a</sup>	2,0 (2,0)	0,02 (0,03)

<sup>a</sup> Valori per NMHC/CH<sub>4</sub> rispettivamente.

<sup>b</sup> È prevista la possibilità di rivedere i valori per la fase Euro 5

po di veicoli, dati gli standard particolarmente elevati di vita e percorrenza media.

### Veicoli leggeri

Il confronto della legislazione europea e Usa, relativamente agli autoveicoli leggeri, rivela invece una profonda differenza in termini di impostazione del problema. Infatti, con la direttiva Tier 2 è stato sostanzialmente introdotto nella legislazione Usa un concetto nuovo: *l'autoveicolo rappresenta un potenziale pericolo per la salute pubblica a causa delle sue emissioni nocive; pertanto, non ha significato differenziare le varie categorie degli autoveicoli ai fini dei limiti sulle emissioni.*

Di conseguenza, tutti i tipi di veicoli leggeri dovranno uniformarsi agli stessi valori limite. Non vi sono quindi né distinzioni tra motori diesel o a benzina, né quelli basati sul peso dell'autoveicolo. Poiché risulta più difficile adeguare alle norme veicoli più pesanti con maggiore consumo di carburante, viene data la possibilità ai produttori di adeguare gradualmente i propri veicoli alle nuove norme, utilizzando una serie di classi di emissioni di certificazione del prodotto in modo che il valore medio delle emissioni di tutti i veicoli prodotti dal singolo produttore rientri in quanto stabilito dalla legislazione.

La legislazione europea, come si evince dai dati riportati in Tabella 2, prevede di mantenere la distinzione tra le varie classi di veicoli leggeri, variando la severità del limite anche in base al tipo di motore (diesel, benzina, gas, Gpl). Un giudizio sui due approcci deve essere necessariamente personale e deve tenere conto di vari fattori politico-sociali oltre a quelli tecnologici ed ambientali che stanno alla base di tali decisioni. Innanzitutto, dal punto di vista etico, certamente l'approccio adottato in Usa è corretto, ma i risvolti politico-economici sono decisamente diversi nelle due aree.

L'utilizzo di veicoli leggeri a motore diesel è piuttosto limitato in Usa rispetto all'Europa dove la quota delle automobili diesel è superiore al 35%. Inoltre, l'Europa si è impegnata sul fronte delle limitazioni alle emissioni di CO<sub>2</sub> e pertanto ha concordato con l'associazione europea di produttori di veicoli di immettere sul mercato veicoli a basso consumo di carburante/alta efficienza energetica (CO<sub>2</sub> prodotta <140 g/km entro 2008, e target di 120 g/km entro 2010). I veicoli ad alta efficienza energetica, sia diesel sia a benzina, operano in condizioni di λ>1 e pertanto hanno forti problemi di adeguamento alle normative sulle emissioni di NO<sub>x</sub>, essendo la tecnologia di abbattimento di NO<sub>x</sub> in condizioni ossidanti tuttora in fase di sviluppo [2]. L'indirizzo politico della Ue in questa direzione è anche confermato dall'ultima proposta che, se approvata, potrebbe il contenuto di zolfo nei carburanti al di sotto di 10 ppm, rispetto al valore ora previsto di 50 ppm.

Anche se non discusso specificatamente in questo articolo, la

definizione del contenuto dei composti solforati presenti nei carburanti fa parte di quell'approccio integrato al problema delle emissioni, inaugurato con la direttiva 1994/12/EC. Misure svolte da Epa hanno dimostrato che aumentando il contenuto di zolfo nel carburante da 30 a 330 ppm, le emissioni di NMHC e NO<sub>x</sub> mediamente crescono del 149% e 47% [6]. Inoltre, la tecnolo-

gia in sviluppo per l'eliminazione di NO<sub>x</sub> da motori diesel e quelli a combustione magra è particolarmente sensibile all'avvelenamento da zolfo, ragione che ha portato alla proposta di utilizzare il carburante "sulphur-free" in Ue.

Se da una parte le scelte politiche adottate dall'Ue potrebbero in qualche modo giustificare le distinzioni nelle emissioni tra le varie categorie dei veicoli, i modesti requisiti di durata delle marmitte catalitiche richieste dalle normative europee sembrano essere indicative di un atteggiamento diverso tra Usa e Ue: laddove Epa propone continuamente dei target ai produttori di autoveicoli in fatto di emissioni\*, l'Ue, apparentemente, segue lo sviluppo tecnologico senza forzare l'industria verso una ricerca di sistemi di abbattimento avanzati e più efficienti. In definitiva, l'analisi dei fattori legislativi indica chiaramente una situazione in continuo sviluppo che richiede sistemi sempre più efficienti.

Tuttavia, a fronte di una tecnologia fortemente sviluppata, quale quella dei catalizzatori a tre vie, sono necessari nuovi e sostanziali miglioramenti nel campo dei catalizzatori per veicoli ad alta efficienza energetica in modo da portare i sistemi in fase di sviluppo ad un'efficacia almeno pari a quella dei catalizzatori a tre-vie.

### Bibliografia

- [1] Emissions of Air Pollutants, European Environment Agency, 20-8-2001, 1-23.
- [2] G. Centi *et al.*, *Chimica e Industria*, 2000, **82**, 631.
- [3] P. Degobert, *Automobiles and Pollution*, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale (PA, Usa), 1995.
- [4] J.C. Guibet, E. Faure-Birchem, *Fuels and Engines. Technology. Energy. Environment*, Editions Technip, Paris, 1999, 386.
- [5] R.M. Heck, R.J. Farrauto, *Cattech*, 1997, **2**, 117.
- [6] Environmental Protection Agency, *Control of Air Pollution from New Motor Vehicles: Tier 2 Vehicle Emissions Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements; Final rule - 40 cfr. Parts 80, 85 and 86*, Federal Register, 2000, **65**, 6697.
- [7] M. Sideris, *Methods for Monitoring and Diagnosing the Efficiency of Catalytic Converters. A Patent Oriented Survey*, *Stud. Surf. Sci. Catal.*, **115**, Elsevier Science B.V., Amsterdam, 1997.

\*Si noti che di fronte alle argomentazioni dei produttori sulla difficoltà di adeguare alle norme Tier 2 i veicoli Suv (sport utility vehicle) date le elevate cilindrata e il peso di tali veicoli, l'Epa ha risposto dimostrando sperimentalmente che adottando tecnologie avanzate di abbattimento tali veicoli possono rientrare nei limiti [6].