



*Stazione Sperimentale per i Combustibili  
San Donato Milanese*

# **IL BIOETANOLO COME COMBUSTIBILE PER L'AUTOTRAZIONE**

***Comportamento nei motori e  
influenza sulle emissioni inquinanti***

***Francesco Avella***

**Rapporto tecnico SSC N. 200904183**

Giugno 2009

Ricerca bibliografica svolta nell'ambito del Progetto sperimentale  
"Impiego di miscele etanolo/benzina: effetto sulle emissioni inquinanti"  
finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico (2008)

## ***PREFAZIONE***

Il presente documento è una ricerca bibliografica preparata come fase propedeutica nell'ambito del Progetto sperimentale "*Impiego di miscele etanolo/benzina: effetto sulle emissioni inquinanti*", approvato e finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico nel 2008.

Lo scopo della ricerca documentale è stato quello di raccogliere le informazioni disponibili nella letteratura tecnica recente per creare un quadro sintetico, ma esauriente, dell'impiego dell'etanolo prodotto dalle biomasse come combustibile per i motori degli autoveicoli.

L'indagine bibliografica è stata condotta consultando documenti e pubblicazioni monografiche riguardanti aspetti di carattere generale e risultati di lavori sperimentali svolti essenzialmente in ambito europeo, senza però trascurare quelli eseguiti in altre aree geografiche (USA, Giappone) nelle quali le tematiche possono avere un riscontro differente.

Gli argomenti trattati nella monografia riguardano le problematiche inerenti all'uso del bioetanolo in miscela con la benzina e col gasolio, focalizzando l'attenzione agli effetti determinati sulle prestazioni del propulsore connessi con le proprietà dell'etanolo, notevolmente differenti da quelle degli idrocarburi, e sulle emissioni inquinanti.

Sono stati tralasciati gli aspetti produttivi, economici e sociali inerenti l'uso esteso del bioetanolo quale combustibile di grande interesse strategico per alimentare il parco circolante in sostituzione dei combustibili tradizionali di origine petrolifera.

***FRANCESCO AVELLA***

## INDICE

---

1. Introduzione	p. 3
2. Comportamento prestazionale nei motori	p. 5
2.1 Volatilità delle miscele etanolo / benzina	p. 6
2.2 Proprietà indetonanti delle miscele etanolo / benzina	p. 11
2.3 Caratteristiche energetiche	p. 11
2.4 Caratteristiche igroscopiche	p. 11
2.5 Compatibilità dei materiali con l'etanolo	p. 12
2.6 Ottimizzazione del propulsore (autoveicoli FFV)	p. 13
3. Requisiti dell'etanolo per autotrazione	p. 13
3.1 Contenuto di etanolo	p. 16
3.2 Contenuto di metanolo	p. 16
3.3 Contenuto di acqua	p. 16
3.4 Contenuto di cloro inorganico	p. 17
3.5 Contenuto di rame	p. 17
3.6 Densità	p. 17
3.7 Acidità	p. 17
4. Emulsioni etanolo / gasolio	p. 17
5. Effetto sulle emissioni inquinanti	p. 18
5.1 Emissioni da combustione	p. 19
5.2 Interazione col catalizzatore	p. 25
5.3 Emissione degli autoveicoli diesel	p. 25
5.4 Emissioni evaporative	p. 25
6. Conclusioni	p. 26
Bibliografia	p. 28
Glossario	p. 31

# **IL BIOETANOLO**

## **COME COMBUSTIBILE PER**

### **L'AUTOTRAZIONE**

#### **Comportamento nei motori e influenza sulle emissioni inquinanti**

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

### **1. Introduzione**

L'utilizzo dell'etanolo come combustibile per motori a combustione interna non è certo un concetto nuovo, se consideriamo che i primi motori termici erano adattati per essere alimentati con alcool puro (metanolo o etanolo).

Il recente interesse per questo combustibile rientra nelle strategie da mettere in atto in modo immediato per ridurre l'impatto dei trasporti sull'emissione dei gas serra nell'atmosfera, oltre che per ridurre la dipendenza dalle fonti energetiche fossili.

L'etanolo è probabilmente il combustibile alternativo per autotrazione più utilizzato al mondo. Il maggiore utilizzatore mondiale di etanolo è il Brasile dove, grazie al Programma Pro-Alcool attuato a partire dagli anni '80, già nei primi anni 2000 circa il 20% delle autovetture erano alimentate con etanolo al 100% (E100) e le rimanenti erano ottimizzate per essere alimentate con miscele al 20 – 24% (E20 - E24) [1]. Attualmente oltre quaranta modelli differenti di autovetture vendute in Brasile sono funzionanti con miscele di benzina contenenti il 24% di etanolo in volume e costituiscono circa l'80% del parco circolante [2, 3].

In Europa l'obbligo a impiegare l'etanolo come componente della benzina e il biodiesel in miscela col gasolio è stato regolamentato di recente. Attualmente il biodiesel si presenta più competitivo dell'etanolo, ma già in molti stati membri (Svezia, Germania, Francia) sono state prese iniziative da alcuni anni per sviluppare nel proprio territorio un mercato per le miscele alcool/benzina.

Sebbene l'etanolo possa essere prodotto per sintesi chimica (idrolisi dell'etilene), il metodo principale è quello della fermentazione dello zucchero (glucosio) contenuto nei cereali o nella barbabietola da zucchero, mediante la reazione:



In Europa l'etanolo ottenuto per fermentazione, denominato "bioetanolo", viene prodotto essenzialmente dalla barbabietola da zucchero e dal frumento. I principali paesi produttori sono: Spagna, Polonia, Francia, Svezia e Repubblica Ceca. Se si confronta la produzione di bioetanolo con quella di biodiesel

nella UE, si osserva come il mercato dominante sia ancora quello del biodiesel, a differenza di quello che si verifica nel resto del mondo [4]. Infatti, la maggior parte della produzione mondiale di bioetanolo si colloca nei paesi del Nord America (USA e Canada) e in Brasile (figura 1).

### PRODUZIONE MONDIALE DI BIOETANOLO

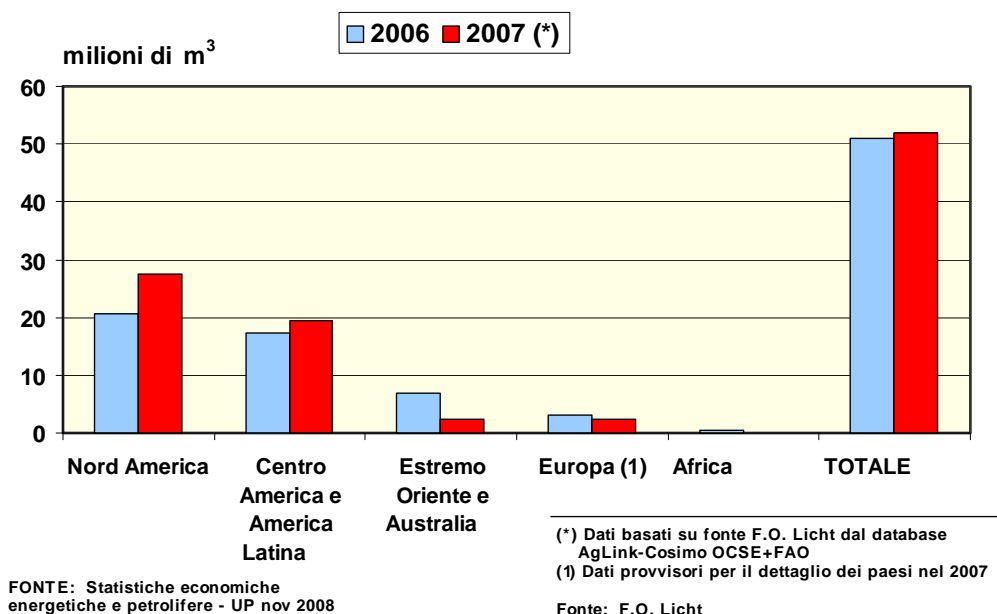


Fig. 1 – Distribuzione mondiale di bioetanolo prodotto nel 2006 e nel 2007 (dati in milioni di litri)

Il bioetanolo, così come definito dalla Direttiva 2003/30/CE [5] emessa per incentivare i paesi membri dell'Unione all'impiego dei biocombustibili nel settore trasporti, è "l'etanolo ricavato dalla biomassa e/o dalla parte biodegradabile dei rifiuti destinato a essere usato come biocarburante". L'etanolo originato dalle biomasse (bio-etanolo) è impiegabile in miscela con la benzina per alimentare i motori ad accensione comandata oppure sottoforma di etere etil-terz-butilico (ETBE). Le caratteristiche dell'ETBE sono più simili a quelle dei combustibili di origine petrolifera e, pertanto, benzine addizionate con questo etere tendono a influenzare meno il comportamento del motore.

Data la grande varietà di risorse da cui si può produrre il bioetanolo, questo deve essere soggetto a una norma per assicurarne la qualità richiesta per l'uso autotrazione sul mercato europeo. Il problema è maggiormente sentito se il fabbisogno dovesse superare le attuali capacità produttive, per cui si rende necessaria l'importazione di alcool dai paesi extracomunitari.

L'industria automobilistica europea richiede che l'etanolo da impiegare in miscela con la benzina come "oxygen extender" sia anidro per evitare che la presenza dell'acqua determini la separazione di fase etanolo/benzina. Pertanto, al processo di distillazione che segue la fermentazione si associa quello della disidratazione [6]. L'etanolo così prodotto viene normalmente denaturato con sostanze specifiche ed eventualmente additivato con additivi anticorrosione.

Il bioetanolo può essere utilizzato nei motori a combustione interna in differenti modi:

- **anidro** per essere miscelato con la benzina dal 5% all'85% in volume. Miscele con concentrazione di etanolo fino al 5% in volume possono essere utilizzate senza apportare modifiche al motore (completa intercambiabilità), mentre percentuali maggiori possono richiederne specifici adattamenti
- **idrato** (95% in volume), utilizzato come sostituto integrale della benzina in autoveicoli con motore opportunamente adattato
- sotto forma di **etere (ETBE)** da miscelare nella benzina
- in **emulsione** o in soluzione stabile con gasolio a concentrazioni intorno al 15% in volume.

## 2. Comportamento prestazionale nei motori

L'etanolo è un composto organico le cui principali proprietà sono riportate in tabella 2 a confronto con quelle della benzina [1].

Sebbene l'alcool idrato sia relativamente diffuso in Brasile, risulta poco interessante in Europa per alimentare la flotta di autoveicoli in circolazione sul suo territorio, per la quale si presta meglio, in termini di intercambiabilità con i combustibili convenzionali e di compatibilità, l'alcool anidro in miscela con la benzina o in emulsione col gasolio.

L'etanolo possiede proprietà interessanti per essere usato per alimentare i motori ad accensione comandata come, per esempio, l'elevato potere indetonante, ma anche caratteristiche poco accettabili, come l'elevato calore latente di vaporizzazione.

Tabella 2

Confronto tra la proprietà del bioetanolo e della benzina

Caratteristica	u.m.	ETANOLO	BENZINA
Formula molecolare		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	-
Massa molecolare	g/mol	46,07	102,5
Densità	kg/m <sup>3</sup>	794	735-760
Temperatura di ebollizione /intervallo di distillazione	°C	78,4	30-190
Calore latente di vaporizzazione	kJ/kg	854	289
PCI in massa	kJ/kg	26800	42690
PCI volumetrico	kJ/l	21285	32020
Rapporto stechiometrico	-	8,95	14,7
Numero di ottano Research		120	95
Numero di ottano Motor		99	85

La concentrazione massima di etanolo consentita attualmente dalla norma EN 228 [7] nella benzina distribuita sul mercato europeo è pari a 5% in volume (E5). A questo livello di concentrazione la miscela è ritenuta intercambiabile integralmente col combustibile convenzionale. A differenza di alcuni paesi europei (Svezia, Germania e Francia), attualmente in Italia non sono ancora prodotte e poste in commercio benzine contenenti etanolo.

La nuova direttiva “Combustibili” 2009/30/CE [8], recentemente emanata, prevede invece un limite massimo del 10% in volume di etanolo. Per questo motivo la norma di qualità della benzina è attualmente in corso di revisione, anche per tenere conto dell’impatto sulla volatilità della miscela e degli eventuali problemi di compatibilità con i materiali dei motori. La direttiva prescrive inoltre che, almeno fino al 2013, venga commercializzata in Europa anche una benzina con contenuto massimo di etanolo del 5% in volume, per assicurare la protezione degli autoveicoli in circolazione non compatibili.

Diversamente, negli USA viene distribuita già da tempo una miscela E10 (10% in volume etanolo, 90% benzina), mentre in Svezia viene distribuita una miscela costituita da 85% in volume di etanolo in benzina (E85) impiegabile in autoveicoli “autoadattanti” di modello recente (*Flexible Fuel Vehicles* = FFV), già prodotti da alcuni Costruttori [9].

Gli effetti determinati dalla miscelazione della benzina col bioetanolo sono stati evidenziati in numerosi lavori sperimentali su motori e autoveicoli di modello recente, convenzionali o adattati per tenere conto delle diverse proprietà del combustibile [10 – 12]. Essi sono sintetizzati nella tabella 3.

Di seguito sono esaminati gli aspetti più importanti che riguardano l’impiego delle miscele bioetanolo/benzina nei motori ad accensione comandata [9, 13].

### **2.1 Volatilità delle miscele etanolo / benzina**

Sebbene l’etanolo presenti un peso molecolare inferiore alla maggior parte degli idrocarburi che costituiscono la benzina, il forte legame intermolecolare a idrogeno rende questa sostanza liquida a temperatura ambiente. Queste interazioni sono molto più deboli in presenza di molecole di idrocarburi, cosicché la tensione di vapore dell’alcool puro è più bassa di quella della miscela. Inoltre, l’interazione tra le molecole dell’alcool e quelle degli idrocarburi risulta inferiore a quella dei due componenti puri. In altri termini la presenza di etanolo nella benzina ne incrementa in modo sensibile la volatilità, specialmente nell’intervallo di concentrazione tra 1% e 5% in volume. Con solo il 2% in volume di etanolo, la tensione di vapore della miscela sale di 6-8 kPa rispetto alla benzina.

In definitiva il problema della volatilità delle miscele benzina/etanolo deriva dalla facilità dell’alcool di formare azeotropi basso bollenti con molti idrocarburi. Nella tabella 4 sono riportati gli azeotropi che l’etanolo forma con alcuni degli idrocarburi tipici delle benzina.

Già con concentrazioni comprese tra 2% e 3% in volume in benzina, le frazioni che distillano fino a 80 °C passano da 34% a 54% circa della carica. L’etanolo puro ha una volatilità relativamente più bassa (punto di ebollizione = 78,4 °C) se paragonata a quella della benzina, il cui punto iniziale di distillazione è intorno a 30 °C.

Tabella 3

Effetti determinati dall'aggiunta di etanolo nella benzina sulle proprietà della miscela risultante

PROPRIETA'	EFFETTI OSSERVATI
Volatilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento della volatilità della miscela specialmente se la concentrazione è relativamente bassa (1 - 10 % in volume)</li> <li>• Incremento delle emissioni evaporative</li> </ul>
Proprietà indetonanti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del numero di ottano (N.O.) sensibile con la concentrazione</li> <li>• L'effetto è più marcato per il N.O. Research che per il N.O. Motor</li> </ul>
Caratteristiche energetiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento del consumo di combustibile</li> <li>• L'elevato calore latente di evaporazione dell'etanolo consente un miglioramento dell'efficienza del propulsore per un maggiore riempimento dei cilindri del motore</li> </ul>
Caratteristiche igroscopiche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibile separazione di fase durante lo stoccaggio e il trasporto della miscela bioetanolo / benzina</li> <li>• Potenziali effetti di corrosione delle parti metalliche a contatto col combustibile</li> </ul>
Compatibilità con i materiali	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenziale deterioramento di elementi del motore costruiti con materiali polimerici per azione solvente e/o ossidante</li> <li>• Problemi di corrosione di elementi metallici a contatto con la miscela</li> </ul>

Tabella 4

Azeotropi delle miscele di etanolo con alcuni tipici idrocarburi della benzina

IDROCARBURO	T <sub>eboll</sub> dell'idrocarburo (°C)	T <sub>eboll</sub> dell'azeotropo idrocarburo-etanolo (°C)	composizione dell'azeotropo (% m dell'etanolo)
n-pentano	36	34	5
n-esano	69	59	21
benzene	80	68	32
cicloesano	81	65	29,2
toluene	111	77	68
n-ottano	126	77	88

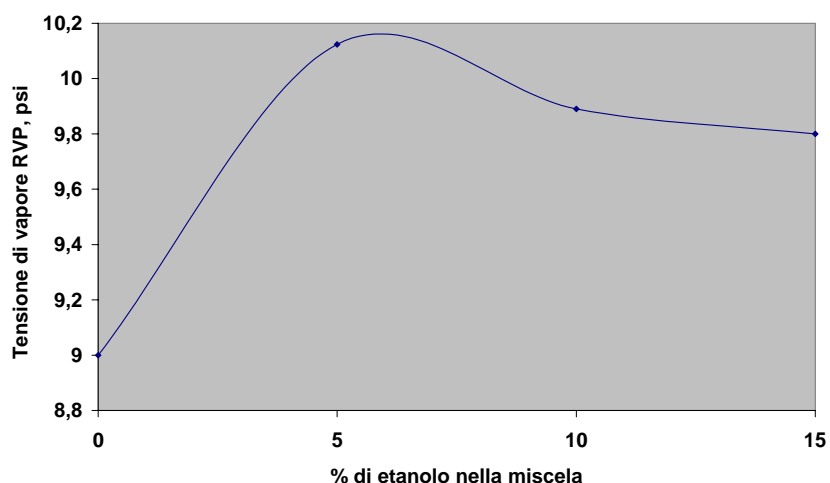


Fig 3 – Effetto della concentrazione di etanolo nella benzina sulla tensione di vapore

L'effetto dell'alcool sulla tensione di vapore delle miscele etanolo/benzina nell'intervallo di concentrazione 0 - 10% in volume è messo in evidenza nella figura 3 [13]. La posizione del picco di tensione di vapore dipende dalle caratteristiche di volatilità della benzina. Nel caso specifico dell'esempio in figura una percentuale di etanolo del 5,75% in una benzina di classe A (norma EN 228) determina un incremento della tensione di vapore superiore al limite imposto dalla direttiva europea 2009/30/CE per il periodo estivo (60 kPa).

Per essere conforme alle prescrizioni della direttiva, la composizione di base della benzina deve essere modificata, per esempio riducendo il contenuto in butano.

La nuova direttiva "Combustibili" prevede, comunque, una deroga al limite di volatilità estivo in funzione del contenuto di bioetanolo nella miscela. Tale deroga deve essere richiesta alla Commissione Europea che valuta se concederla o meno.

L'incremento di volatilità delle miscele incide sulla guidabilità (*driveability*) dell'autoveicolo e sulle emissioni evaporative (tabella 5).

E' noto, infatti, che una benzina non sufficientemente volatile può causare una cattiva avviabilità del motore a temperature ambientali molto basse, come quelle tipiche della stagione invernale, e contribuire più rapidamente alla formazione di depositi sulle parti a contatto col combustibile (iniettori, candele di accensione, camera di combustione). D'altra parte se la volatilità è elevata, allora il combustibile tende a vaporizzare rapidamente, specialmente nella stagione estiva, anche nei condotti di adduzione agli iniettori, riducendone il flusso e provocando, nelle condizioni più critiche, la formazione di "tappi" di vapore (*vapor-lock*). Il risultato è una perdita di potenza del motore, un eccessivo consumo di combustibile e un forte incremento delle perdite evaporative.

Un complesso ed esauriente programma sperimentale, svolto dal CONCAWE [14] con alcune autovetture in condizioni climatiche differenti (caldo e freddo a -10 °C), alimentate con miscele di etanolo in benzine di differente composizione, ha indicato che la *performance* dell'autovettura dipende

Tabella 5

Effetti della volatilità delle miscele alcool/benzina sul comportamento dell'autoveicolo

<b>Volatilità troppo bassa</b>	<b>Volatilità troppo elevata</b>
Avviamento a freddo del motore irregolare	Elevate emissioni evaporative
Scarsa guidabilità in clima freddo	Problemi nella guidabilità in climi caldi ( <i>vapor-lock</i> )
distribuzione Irregolare del combustibile nel motore	Incremento del consumo di combustibile
Incremento della formazione di depositi sugli iniettori e di altri elementi a contatto col combustibile	

dall'incremento della volatilità del combustibile piuttosto che dalla presenza dell'alcool nella benzina.

Per tale motivo è necessario che le basi idrocarburiche (BOB = *Blendstock before Oxygenate Blending*), destinate alla produzione delle miscele etanolo/benzina, possiedano caratteristiche di volatilità differenti da quelle della benzina convenzionale, in modo da assicurare il rispetto dei limiti di volatilità prescritta dalla norma EN 228.

Anche le caratteristiche di distillazione cambiano in modo significativo. L'aggiunta di etanolo nella benzina ne deforma la curva di distillazione (figura 4) per effetto dell'incremento di volatilità della frazione basso bollente della

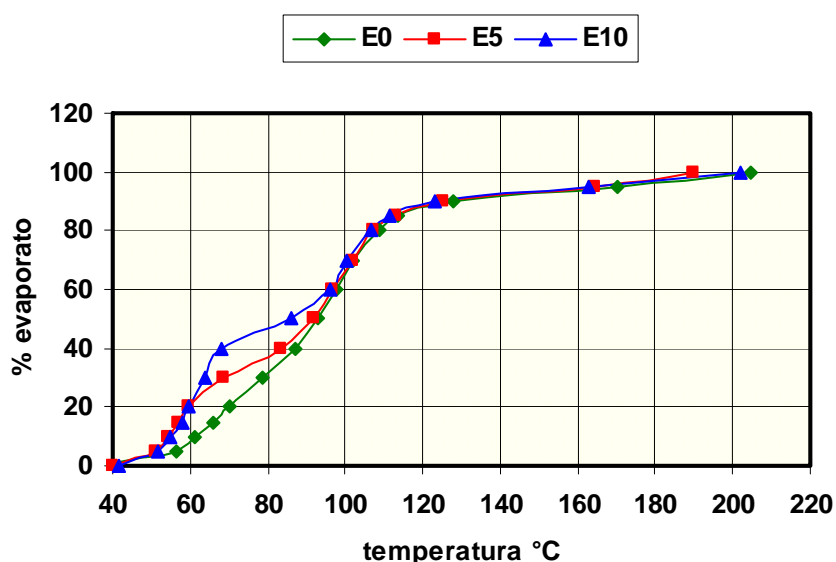


Fig 4 – Effetto sulla curva di distillazione determinato dalla miscelazione della benzina con l'etanolo a due livelli di concentrazione (5% e 10% in volume)

miscela. L'evaporato a 70 °C (E70) aumenta di circa 8% quando l'alcool è aggiunto alla benzina nei termini del 5% in volume e di 18% circa quando la concentrazione sale al 10% in volume. In taluni casi può eccedere l'intervallo min-max permesso dalla specifica della benzina (EN 228).

Problemi legati al cambiamento della volatilità delle miscele benzina/etanolo possono verificarsi durante il rifornimento dell'autovettura, quando si mescola nel serbatoio la benzina convenzionale, costituita da soli idrocarburi e contenente o meno eteri (MTBE, ETBE, ecc.), con la miscela etanolo/benzina che possiede all'incirca la stessa volatilità: in tal caso la tensione di vapore della miscela risultante può aumentare anche al di sopra del limite di specifica della benzina.

Il bioetanolo puro non si presta ad essere impiegato come combustibile in sostituzione della benzina a causa della sua bassa volatilità. La sua temperatura di ebollizione, pari a 78,4 °C, infatti, è superiore a quella del punto iniziale di ebollizione della benzina, il cui valore si trova normalmente intorno a 30 – 35 °C. Inoltre, poiché il bioetanolo puro è costituito essenzialmente da un solo componente, la sua curva di distillazione si presenta piatta (figura 5), ben diversa da quella tipica delle benzina. In tali condizioni i problemi di avviabilità a freddo del motore sono inevitabili.

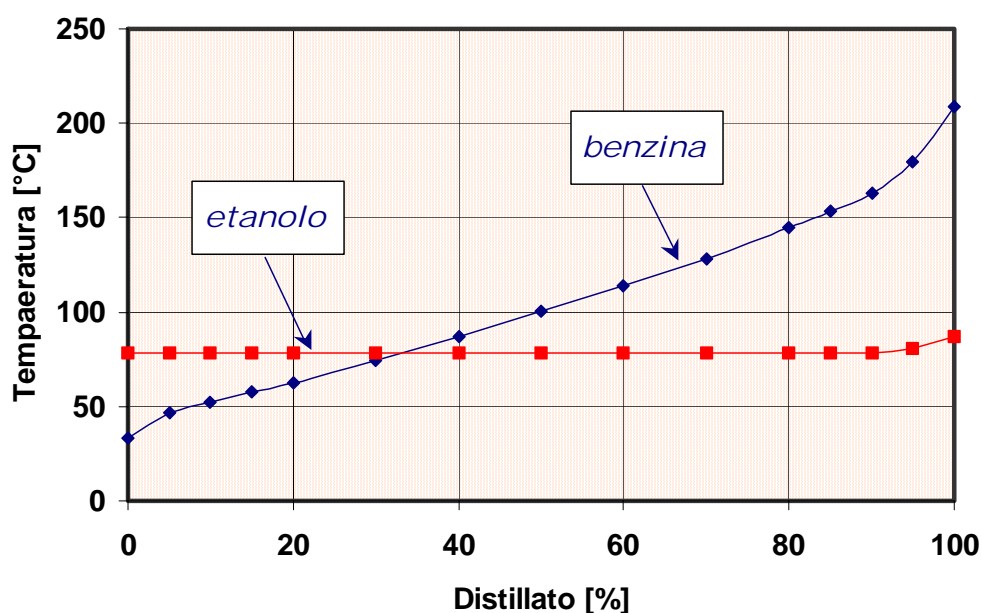


Fig 5 – Curve tipiche di distillazione della benzina e dell'etanolo puro

La miscelazione del bioetanolo col 15% in volume di benzina (E85) consente di evitare l'insorgere dei problemi segnalati. La miscela E85 è impiegabile soltanto per alimentare i motori degli autoveicoli FFV, caratterizzati da un elevato rapporto di compressione e da una gestione più flessibile della regolazione dell'alimentazione, che garantisce una maggiore potenza erogata.

## **2.2 Caratteristiche indetonanti delle miscele etanolo / benzina**

Il numero di ottano dell'etanolo è, al pari degli eteri (MTBE, ETBE, TAME), superiore a quello della benzina convenzionale. Quindi l'aggiunta di etanolo nella benzina determina un incremento del valore di questo parametro.

L'effetto risulta più marcato per il numero di ottano determinato col metodo Research che per il numero di ottano determinato col metodo Motor. Sotto condizioni di elevato carico del motore (velocità elevata dell'autoveicolo, forte pendenza stradale) il numero di ottano Motor è il migliore indicatore della caratteristiche di indetonanza del combustibile. I benefici che si ottengono dall'incremento della qualità ottanica del combustibile per effetto della miscelazione della benzina con l'etanolo sono ad appannaggio degli autoveicoli di modello recente, il cui motore è dotato di sensore del *knock*. La centralina elettronica del motore di questi autoveicoli, infatti, regola la fasatura di accensione in dipendenza della qualità ottanica del combustibile consentendo di ottimizzare le prestazioni del propulsore (incremento della potenza erogata, riduzione del consumo di combustibile, minori emissioni inquinanti).

## **2.3 Caratteristiche energetiche**

L'etanolo è caratterizzato da un contenuto energetico pari a circa due terzi di quello della benzina. Di conseguenza, anche quello delle miscele benzina/bioetanolo decresce tanto più quanto maggiormente cresce la sua concentrazione. Dal punto di vista teorico questo effetto comporta un incremento del consumo di combustibile. In pratica altri due effetti connessi con la presenza del bioetanolo nella benzina contrastano l'incremento di consumo energetico dell'autoveicolo.

Il primo è legato al più elevato rapporto idrogeno/carbonio delle molecole di etanolo rispetto a quelle degli idrocarburi della benzina. Questo determina una maggiore produzione di gas nel motore durante la combustione col risultato di un maggiore incremento della pressione media nei cilindri e, quindi, di un maggior lavoro utile durante la fase di espansione del ciclo termodinamico. Il secondo è determinato dall'elevato calore latente di vaporizzazione dell'etanolo (circa tre volte quello della benzina), che causa un raffreddamento della carica di aria nei cilindri durante l'evaporazione della quantità di combustibile iniettato. In tale condizione una maggiore carica di aria viene a riempire i cilindri del motore con la conseguenza di un maggiore incremento di potenza erogata. Infine, anche la velocità di combustione dell'etanolo, che è più elevata di quella degli idrocarburi, contribuisce a migliorare il rendimento del propulsore.

Gli effetti combinati di questi fattori in un motore ottimizzato per funzionare con miscele benzina/etanolo può determinare, in definitiva, un incremento di efficienza del propulsore.

## **2.4 Caratteristiche igroscopiche**

Un altro aspetto importante connesso con l'impiego di etanolo in miscela con la benzina riguarda il forte assorbimento di acqua dall'ambiente durante il trasporto, in caso di distribuzione non regolare tra la raffineria e le stazioni di

servizio, e nello stoccaggio non corretto sia nelle cisterne delle aree di servizio e dei depositi che nel serbatoio dell'autoveicolo. A differenza della benzina non ossigenata, l'assorbimento di acqua delle miscele bioetanolo/benzina può essere relativamente elevato senza determinare separazione di fase, data la grande affinità dell'alcool con questa sostanza. La concentrazione massima può variare da 0,3% a 0,5% in volume in dipendenza della temperatura, della concentrazione di idrocarburi aromatici e del contenuto di etanolo. Se la contaminazione con acqua è eccessiva si determina la separazione di fase con la formazione di uno strato di idrocarburi impoverito di alcool che sovrasta quello di una miscela acquosa di bioetanolo stratificata sul fondo della cisterna o del serbatoio, perché caratterizzata da una densità più elevata.

Poiché normalmente il prelievo del combustibile per alimentare il motore avviene dal fondo del serbatoio, la presenza dello strato acquoso stratificato sul fondo provoca il cattivo funzionamento del propulsore fino al suo arresto.

### **2.5 Compatibilità dei materiali con l'etanolo**

Un ulteriore aspetto importante connesso con la presenza di bioetanolo nelle miscele alcool/benzina è la compatibilità con i materiali metallici e polimerici con cui sono realizzate le parti di un normale propulsore, anche di nuova generazione. L'azione della degradazione dei materiali è connessa con la presenza di ossigeno nella molecola dell'alcool e con la tendenza dell'etanolo stesso a ossidarsi facilmente in acido acetico.

Il meccanismo inerente al rapido invecchiamento di alcuni materiali polimerici e di alcuni elastomeri consiste nell'attacco acido e nella permeazione dell'alcool attraverso il materiale con cui sono costruite tubazioni, guarnizioni e altri componenti. I materiali non metallici soggetti a degradazione in presenza di alcool includono la gomma naturale, il poliuretano, il PVC, le poliammidi, il metilmetacrilato e alcune resine termoindurenti. L'effetto si manifesta con la tendenza al rigonfiamento delle parti a contatto col combustibile e con i suoi vapori, ed è tanto più evidente quanto più elevata è la concentrazione di etanolo nella benzina. Miscele con concentrazioni fino al 5% in volume non causano alcun inconveniente quando impiegate nei modelli di autoveicoli convenzionali attuali e meno recenti. Se la concentrazione è più elevata l'inconveniente non si manifesta se gli elementi a contatto con il combustibile sono costruiti con fluoroelastomeri.

La corrosione degli elementi metallici (acciaio, alluminio, leghe di rame, zinco e piombo) a contatto con l'etanolo viene enfatizzata dall'ossidazione dell'alcool ad acido acetico. Gli effetti si manifestano più rapidamente se l'alcool etilico non è anidro.

Anche se i componenti del motore non subiscono rotture per effetto del contatto prolungato con miscele a concentrazione elevata di alcool nella benzina, è possibile che composti insolubili generati dalla degradazione dei materiali passino nel combustibile causando intasamento nel filtro relativo.

Una esauriente investigazione sulla compatibilità dei materiali metallici e polimerici a contatto con l'etanolo e le sue miscele con la benzina è stata condotta recentemente in Giappone [12].

## **2.6 Ottimizzazione del propulsore (autoveicoli FFV)**

Sulla base delle osservazioni illustrate nei paragrafi precedenti, risulta evidente che le miscele etanolo/benzina a elevata concentrazione di alcool non si prestano per essere impiegate nei modelli anche recenti di autoveicoli con motore convenzionale.

Viceversa gli autoveicoli FFV possono essere alimentati indifferentemente con solo benzina e con qualsiasi miscela di etanolo/benzina fino all'85% in volume senza la perdita di prestazioni del propulsore e senza la manifestazione degli inconvenienti citati. Essi hanno bisogno, quindi, di un unico serbatoio per il combustibile.

Le principali differenze con gli autoveicoli convenzionali consistono nell'uso di materiali metallici e polimerici chimicamente resistenti per costruire le parti meccaniche a contatto col combustibile, quali acciaio inossidabile, bronzo, neoprene, polipropilene, teflon, gomma nitrile e fluoroelastomeri, e nella flessibilità della centralina elettronica di controllo della combustione. Questa è in grado di controllare la dosatura e la fasatura dell'iniezione di combustibile nel motore in funzione della composizione di quello utilizzato al momento, attraverso un altro sensore, quello di "composizione", che ne rileva la sua conducibilità elettrica. Il valore di questo parametro, infatti, è proporzionale alla concentrazione di alcool nella miscela etanolo/benzina. Anche gli iniettori sono speciali, perché in grado di erogare quantità molto variabili di combustibile in funzione non solo dalle prestazioni richieste, ma anche del tipo di combustibile iniettato.

L'aumento del consumo di carburante degli autoveicoli FFV alimentati con E85, valutato mediamente pari a circa il 30% in più rispetto alla benzina, è dovuto al minore contenuto energetico dell'etanolo rispetto al combustibile convenzionale. In compenso l'autoveicolo FFV è caratterizzato da una potenza erogata alle ruote maggiore rispetto all'alimentazione con benzina (circa il 7% in più) e da una maggiore efficienza di combustione. Questi effetti derivano dalle maggiori dimensioni dell'apparato di alimentazione (pompa di iniezione, iniettori) dell'autoveicolo FFV rispetto a quello di un autoveicolo convenzionale [15].

In Svezia circolano attualmente più di 100.000 autoveicoli FFV. Una lista completa dei modelli FFV disponibili sul mercato si può trovare al seguente indirizzo web: <http://www.e85fuel.com/>.

## **3. Requisiti dell'etanolo per autotrazione**

In linea di principio un autoveicolo opportunamente adattato può essere alimentato con miscele etanolo/benzina di qualsiasi concentrazione. Nella pratica è stato scelto convenzionalmente in Europa di adottare combustibili costituiti da miscele a bassa concentrazione di etanolo (5 – 10% volume) e a concentrazione elevata (75 – 85% volume).

Pur essendo il bioetanolo costituito essenzialmente da un'unica sostanza chimica, a differenza dei combustibili di origine petrolifera e del biodiesel, è necessario che possieda caratteristiche tali da non determinare problemi nella preparazione, nello stoccaggio e nell'impiego della miscela con benzina.

Il problema è stato sollevato già da diversi anni dalle varie Associazioni mondiali di Costruttori di motori e autoveicoli, basandosi sui risultati di investigazioni sperimentali e su evidenze “ in campo”. Le richieste e le motivazioni che impongono il rispetto di determinati requisiti di qualità del prodotto destinato all'autotrazione sono state riportate in dettaglio nel documento “*Ethanol Guidelines*”, recentemente preparato dal *Worldwide Fuel Charter Committee* [16].

Attualmente quasi tutte le organizzazioni mondiali di normazione hanno definito una o più norme di qualità del bioetanolo da destinare al mercato dei combustibili sul proprio territorio (tabella 5). Lo scopo è quello di stabilire i requisiti minimi di qualità dell'alcool da impiegare per la preparazione di miscele bioetanolo/benzina opportunamente adeguate per soddisfare il buon comportamento della maggior parte degli autoveicoli con le quali vengono alimentati.

Negli USA sono state definite la norma ASTM D4806 [17] per l'etanolo da impiegare nella preparazione di miscele a basso contenuto di alcool e la norma ASTM D5798 [18] per le miscele etanolo/benzina al 75% in volume (E75) e 85% in volume (E85) di alcool per alimentare gli autoveicoli FFV.

In Brasile il forte impulso dato dalle azioni governative, prima col Progetto Pro-Alcool e poi con la legislazione contro le emissioni inquinanti (PROCON-VE), all'impiego del bioetanolo nei trasporti ha necessariamente richiesto la definizione di specifiche tecniche da parte del *National Petroleum Agency* (ANP) sia per il combustibile idrato che per quello anidro [19].

In Asia la diffusione del bioetanolo quale combustibile per autoveicoli si è manifestata in modo elevato negli ultimi anni in alcuni paesi quali il Giappone, l'India e la Thailandia. Anche in questi paesi sono stati definiti standard di qualità del bioetanolo destinato all'autotrazione.

In Europa già da qualche anno alcuni stati membri (Finlandia, Francia, Spagna, Svezia e Polonia) hanno incentivato l'uso di bioetanolo nel proprio mercato interno, ma soltanto Svezia e Polonia hanno sviluppato norme di qualità del biocombustibile. Successivamente, per attuare le disposizioni della nuova direttiva 2009/30/CE (recepita con D.L. 128 – 2009), che obbliga l'impiego dei biocombustibili in miscela con i combustibili di origine fossile, è stato necessario prendere in considerazione la preparazione di una norma comune di riferimento dei requisiti minimi di qualità del bioetanolo da destinare all'uso energetico nei motori. La nuova direttiva, infatti, fissa una concentrazione massima del 10% in volume di etanolo in benzina (E10) a partire dal 2013.

La necessità di definire i requisiti minimi di qualità del bioetanolo per uso autotrazione è stata trattata in sede CEN TC19, con la costituzione di una Task Force specifica che ha portato alla preparazione della norma tecnica di riferimento EN 15376-2008 [20] già prima dell'emanazione della direttiva “Combustibili”. La norma stabilisce i valori limite di undici parametri chimico-fisici del bioetanolo anidro per la miscelazione fino al 5% in volume nella benzina (E5). Questa ha richiesto la definizione di metodi di prova, alcuni dei quali sono soggetti ancora a ulteriori revisioni e modifiche. Tuttavia, a seguito della pubblicazione della direttiva 2009/30/CE, la norma appena varata è attualmente in corso di revisione al CEN per tenere conto dell'incremento di concentrazione nella benzina prescritto (10% in volume).

Tabella 5  
Limiti alle principali proprietà del bioetanolo anidro destinato  
alla miscelazione con la benzina

Proprietà	livello	UE (EN 15376)		USA (ASTM D4806)		Svezia (Sekab)	
		limite	metodo	limite	metodo	limite	metodo
Etanolo [% m]	min	98,7	EC/2870/2000	92,1	D 5501	99,8	AMSE 1112
Metanolo [% m]	max	1,0	EC/2870/2000	0,5 (*)	D 381	20 (^)	AMSE 1135
Alcoli superiori C3-C5 [% m]	max	2,0	EC/2870/2000	-	-	-	-
Acqua [% m]	max	0,300	EN 15489	1,0 (*)	E 203	0,3 (*)	SS-ISO 760
Cloro inorganico [mg/l]	max	20	EN 15484	32	D 512	-	-
Rame [mg/kg]	max	0,100	EN 15488	0,100	D 1688	-	-
Densità [g/ml]	max	-	-	-	-	0,790	SS-ISO 758
Aldeidi [% m]	max	-	-	-	-	0,0025	AMSE 1118
Acidità [% m] (°)	max	0,007	EN 15491	0,007	D 1613	0,0025	AMSE 1114
Sost. non volatili [mg/100ml]	max	10	EC/2870/2000	5,0	D 381	-	-

(°) ac.acetico equivalente (\*) % vol (^) mg/l

Proprietà	livello	Polonia (PN-A-79521)		Ucraina		Brasile (ANP)	
		limite	metodo	limite	metodo	limite	metodo
Etanolo [% v]	min	99,6	-	99,3	-	99,6	D 5501
Metanolo [% v]	max	0,2	-	-	-	-	-
Alcoli superiori C3-C5 [% m]	max	-	-	12 (^)	-	-	-
Acqua [% m]	max	0,4	-	0,2 (*)	-	0,7	E 203
Cloro inorganico [mg/l]	max	32	-	-	-	-	-
Rame [mg/kg]	max	0,1	-	-	-	0,07	NBR 10893
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	max	-	-	791,0	-	791,5	D4052
Aldeidi [mg/l]	max	200	-	-	-	-	-
Acidità [mg/l] (°)	max	30	-	20	-	30	D 1613
Sost. non volatili [mg/100ml]	max	-	-	5,0	-	-	-

(°) ac.acetico equivalente (\*) % vol (^) mg/l

Proprietà	livello	India (IS 15464-04)		Tailandia	
		limite	metodo	limite	metodo
Etanolo [% v]	min	99,5	B	99,5	B.S. 507
Metanolo [% v]	max	300 (^)	J	100 (*)	GC
Alcoli superiori C3-C5 [% m]		-	-	-	-
Acqua [% v]	max	-	-	-	-
Cloro inorganico [mg/l]	max	-	-	-	-
Rame [mg/kg]	max	0,1	G	-	-
Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	max	796,1	A	-	-
Aldeidi [mg/l]	max	60	F	10 (*)	GC
Acidità [mg/l] (°)	max	30	D	20	GC
Sost. non volatili [mg/kg]	max	50	E	10	USP

(°) ac.acetico equivalente (\*) mg/kg (^) mg/l

Vengono esaminati di seguito i principali parametri che sono soggetti a regolamentazione.

### **3.1 Contenuto di etanolo**

Specificare il contenuto minimo di etanolo è essenziale per minimizzare la presenza di altri componenti che possono provocare effetti negativi sulla *performance* e sulle emissioni dell'autoveicolo. Uno di questi riguarda la possibile alterazione della volatilità della miscela, specialmente se in uso in aree geografiche particolarmente fredde. Un altro aspetto riguarda la possibile non corretta regolazione del rapporto aria/combustibile per avere condizioni ottimali di funzionamento dell'autoveicolo.

In alcuni paesi viene richiesta la denaturazione del bioetanolo destinato alla miscelazione con la benzina per alimentare i motori prima di essere posto in commercio. In tal caso vengono regolamentati anche il tipo e la concentrazione massima ammessa del denaturante.

### **3.2 Contenuto di metanolo**

Il metanolo è un alcool tossico presente in piccole quantità nel bioetanolo anidro prodotto industrialmente. Dal punto di vista tecnico la presenza di metanolo nel bioetanolo in concentrazioni superiori al 2,5% in volume causa una minore tolleranza all'acqua e un incremento della volatilità della miscela alcool/benzina. Inoltre, la presenza di metanolo può indurre la tendenza verso una maggiore azione corrosiva delle miscele etanolo/benzina sui componenti metallici e un effetto solvente maggiore delle parti costruite con elastomeri del sistema di alimentazione dell'autoveicolo.

### **3.3 Contenuto di acqua**

Il contenuto di acqua nell'alcool è un parametro importante poiché l'etanolo è igroscopico. La quantità di acqua presente nel bioetanolo deve essere necessariamente mantenuta bassa per evitare il rischio di avere la separazione di fase tra gli idrocarburi che costituiscono la benzina e la fase acquosa. Tale fenomeno si verifica per l'elevata solubilità dell'etanolo nell'acqua ed è sensibile con la concentrazione di etanolo nella benzina: quanto più elevata è la concentrazione di bioetanolo nella benzina, tanto maggiore è la tolleranza all'acqua. Anche la temperatura influenza il fenomeno. A basse temperature ambiente anche piccole quantità di acqua presenti nell'alcool favoriscono la separazione di fase. La fase acquosa si arricchisce di alcool e della componente aromatica della benzina solubile nell'alcool, a discapito della fase idrocarburica sovrastante che se ne impoverisce [9]. La presenza di acqua libera nel circuito di alimentazione dell'autoveicolo può portare a malfunzionamenti del motore.

L'arricchimento di acqua determinato dalle proprietà igroscopiche dell'etanolo assume un ruolo importante durante la distribuzione e lo stoccaggio del combustibile dal luogo di produzione al punto vendita, specialmente in ambienti localmente molto umidi. In alcuni paesi, infatti, si preferisce miscelare la benzina con l'etanolo al punto ultimo della catena di distribuzione, ossia presso i depositi locali, prima di essere portata al distributore stradale.

La presenza di acqua separata può promuovere anche la corrosione metallica e la crescita microbiologica.

### **3.4 Contenuto di cloro inorganico**

La presenza di cloro inorganico nel bioetanolo deriva dalla materia base per produrre l'alcool e dall'uso di acido cloridrico nel processo di produzione. Quantità relativamente elevate di ioni di questo elemento (cloruri) nel bioetanolo possono determinare problemi di corrosione degli elementi metallici con cui sono a contatto, specialmente in presenza di acqua.

### **3.5 Contenuto di rame**

Il rame può essere presente come contaminante del bioetanolo introdotto incidentalmente nel processo produttivo. Esso esercita una forte azione catalitica che promuove l'ossidazione a bassa temperatura degli idrocarburi per formare gomme in quantità eccessiva.

### **3.6 Densità**

La densità non è un parametro strettamente necessario, specialmente per un prodotto non denaturato molto puro e quasi esente da acqua, ma è un indice della qualità del bioetanolo. Non tutti i paesi, infatti, richiedono un limite a questo parametro.

### **3.7 Acidità**

Quantità anche piccole di acidi organici (soprattutto acido acetico) in presenza di acqua nel bioetanolo possono determinare fenomeni di corrosione significativi di componenti costruiti con materiali metallici.

In alcuni paesi il limite sull'acidità è riportato sia nella specifica del bioetanolo che in quella della benzina che prevede l'impiego dell'alcool come componente di sostituzione.

Limiti ai valori di altri parametri, quali il contenuto di denaturanti, il contenuto di gomme, il pH, la conducibilità elettrica, il contenuto di fosforo e di zolfo, il tenore di contaminanti solidi, il contenuto di aldeidi e di alcoli superiori, sono previsti nelle norme tecniche adottate soltanto in alcuni stati.

## **4. Emulsioni etanolo / gasolio**

Le numerose sperimentazioni svolte tra la fine degli anni '70 e i primi anni '80 in molti laboratori del mondo hanno dimostrato che è possibile utilizzare l'etanolo in miscela anche con il gasolio per alimentare i motori diesel. I risultati hanno messo in evidenza che, in linea di principio e con le dovute precauzioni, il modo più idoneo è quello di utilizzare l'etanolo in emulsione stabilizzata per alimentare motori *heavy-duty* non modificati [9].

Infatti l'etanolo non è miscibile col gasolio minerale, poiché a temperatura inferiore a 10 °C i due componenti tendono a separarsi. Per ottenere un combustibile omogeneo è necessario emulsionare l'etanolo idrato con l'uso di additivi emulsionanti e stabilizzanti fino a una concentrazione massima del 15%

in volume. D'altra parte è possibile rendere solubile l'alcool nel gasolio in modo stabile tramite l'aggiunta alla miscela etanolo/gasolio di cosolventi od opportuni additivi pro-cetano (E-diesel). La composizione chimica del gasolio influenza la solubilità dell'etanolo. Questa, infatti, aumenta con l'aumentare del contenuto di idrocarburi aromatici nel gasolio [21].

L'aggiunta di etanolo nel gasolio ne modifica le proprietà prestazionali. Gli effetti osservati sono di seguito riportati.

- 1) **Viscosità e lubricity:** entrambe le proprietà, fondamentali per una corretta lubrificazione del sistema di alimentazione dei motori diesel, diminuiscono di valore con l'aggiunta di etanolo al gasolio. La viscosità influenza anche l'atomizzazione del getto di combustibile in camera di combustione e, quindi, è possibile un invecchiamento precoce degli iniettori e della pompa di iniezione.
- 2) **Compatibilità con i materiali:** i problemi di corrosione delle parti metalliche e di resistenza chimica dei materiali polimerici che si manifestano per la presenza del bioetanolo nel gasolio sono gli stessi osservati per le autovettura a benzina.
- 3) **Contenuto energetico:** diminuisce in modo proporzionale alla concentrazione di alcool nella miscela o nell'emulsione: il tasso di diminuzione è valutato pari a circa 2% per ogni 5% in volume di etanolo aggiunto.
- 4) **Numero di cetano:** diminuisce sensibilmente con l'aggiunta di etanolo. Con concentrazioni di etanolo intorno al 15 % in volume è stata stimata una diminuzione compresa tra 5 e 15 punti di numero di cetano. Questa perdita di qualità cetanica richiede l'impiego di elevate quantità di *cetane improver* (Etil-esilnitrito - EHN) per portare la miscela al valore di specifica del gasolio.

La diminuzione della potenza erogata del motore e l'aumento del consumo di combustibile osservati quando il propulsore è alimentato con miscele o emulsioni etanolo/gasolio, in sostituzione del combustibile diesel convenzionale, sono determinati dal minore contenuto energetico del combustibile. D'altra parte è stato osservato come il consumo specifico di energia (ossia i kJ spesi per unità di potenza erogata) risulta confrontabile, se non leggermente minore, a causa di una migliore efficienza del ciclo termodinamico del motore [21].

Uno dei problemi principali connessi con l'uso dell'E-diesel è quello relativo alla sicurezza nell'impiego delle miscele perché caratterizzate da un elevato grado di infiammabilità per la presenza dell'etanolo, notevolmente più volatile del gasolio [22].

## 5. Effetto sulle emissioni inquinanti

I dati sperimentali disponibili nella letteratura tecnica riguardano per la maggior parte gli effetti determinati sulle emissioni dall'impiego di miscele etanolo/benzina nei propulsori ad accensione comandata. Dati sperimentali sull'uso di miscele o emulsioni etanolo/gasolio sono alquanto limitati, dato lo

scarso interesse che rivestono questi combustibili nell'alimentazione dei propulsori diesel.

La maggior parte delle esperienze svolte per valutare le emissioni di autoveicoli alimentati con miscele etanolo/benzina sono state svolte alla fine degli anni '80 e negli anni '90. I risultati, quindi, riguardano autoveicoli tecnologicamente meno avanzati di quelli attualmente in circolazione. Poche esperienze sono state svolte su autoveicoli di modello più recente e quindi la disponibilità di risultati risulta alquanto limitata.

### **5.1 Emissioni da combustione**

Un'analisi comparata dei risultati delle sperimentazioni svolte in tempi più recenti mostra come, con l'uso di miscele benzina/etanolo in sostituzione della benzina, non esiste una posizione univoca riguardo agli effetti determinati sulle emissioni inquinanti regolamentate (NO<sub>x</sub>, CO e HC): talvolta i risultati sono positivi talvolta negativi o nulli. In generale, con le miscele a bassa concentrazione di etanolo è stata evidenziata una tendenza verso la diminuzione dell'emissione di ossido di carbonio, poiché l'etanolo agisce da composto ossigenato [23], e una tendenza verso l'incremento dell'emissione degli ossidi di azoto [12].

I risultati riportati in [9], relativi a una sperimentazione svolta su una Ford Taurus FFV, hanno indicato una riduzione di tutte le tre specie inquinanti regolamentate: ossidi di azoto (~ 6%), ossido di carbonio (~ 27%) e idrocarburi incombusti (~ 49%) rispetto a un analogo modello alimentato con benzina.

Nel documento [24] viene riferito sui risultati di una sperimentazione condotta dal NREL (USA) su esemplari di uno stesso modello di autovettura. Essi hanno indicato una tendenza verso la diminuzione delle emissioni di ossido di carbonio, ossidi di azoto e anidride carbonica quando le autovetture erano alimentate con E85 rispetto all'alimentazione con benzina.

Nella tabella 6 sono stati riportati i risultati raccolti nella letteratura tecnica recente riguardanti prove eseguite negli ultimi cinque anni presso alcuni laboratori europei e un laboratorio giapponese. I dati ottenuti nelle sperimentazioni europee si riferiscono ai valori di emissione sul ciclo di guida NEDC delle specie regolamentate di modelli di autovettura recenti (Euro 3 – Euro 4), alimentate con miscele di bioetanolo in benzina a diversi livelli di concentrazione, in dipendenza del programma sperimentale svolto. Soltanto in alcune sperimentazioni è stata misurata l'emissione delle due principali specie carboniliche (formaldeide e acetaldeide) e determinato il consumo di combustibile.

I dati raccolti sono stati esaminati ed elaborati per calcolare la variazione dell'emissione di una determinata specie inquinante quando la benzina convenzionale, presa come combustibile di riferimento, era sostituita con una miscela etanolo/benzina alla concentrazione stabilita nel programma sperimentale svolto. I risultati sono riportati in tabella 7 e, in forma grafica, nella figura 6.

I dati esaminati confermano che, nella maggior parte dei casi analizzati, si è manifestata la tendenza verso una diminuzione dell'emissione dell'ossido di carbonio quando nella benzina che alimentava il motore era contenuto bioetanolo. Per l'emissione degli idrocarburi incombusti i risultati sono contrastanti tra una sperimentazione e l'altra. C'è da osservare però, che le misure possa-

Tabella 6

Effetto del bioetanolo sul livello di emissione delle principali specie inquinanti e sul consumo di combustibile -- Dati di letteratura

N. doc.	AUTO-VEICOLO	CARATT. COSTR. MOTORE	STADIO OMOL.	TIPO PROVA	COMBU-STIBILE	CO	THC	NOx	Formaldeide	Acetaldeide	consumo	CO <sub>2</sub>	
						mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	l/100km	g/km	
[12]	A1	PFI - 1,0L - TWC	(?)	10-15 modi	E0	15,0	0,70	1,30	0,04	0,05	-	-	
					E5	8,0	0,80	1,50	0,06	0,01	-	-	
					E10	3,0	0,90	1,80	0,75	0,01	-	-	
	D1	PFI - 0,68L - TWC	(?)	10-15 modi	E0	170	10	17	0,76	0,20	-	-	
					E5	140	8	16	0,83	0,38	-	-	
					E10	140	9	17	1,05	0,65	-	-	
[24]	Saab 9-5 Vector Sport	4 cil - PFI - 2,3L - TWC	Euro 2	NEDC	E0	600	70	20	-	-	10,9	256	
					E17	800	100	20	-	-	10,9	236	
					E43	700	70	40	-	-	12,0	234	
	Volvo SV70	4 cil - PFI - 2,4L - TWC	Euro 3	NEDC	E0	100	50	20	-	-	9,9	234	
					E43	100	30	30	-	-	11,5	227	
	Opel Astra 5D	4 cil - PFI - 1,6L - TWC	Euro 3	NEDC	E0	300	40	40	-	-	6,6	155	
					E43	100	50	340	-	-	8,4	165	
	Peugeot 307 XS	4 cil - PFI - 2,0L - TWC	Euro 3	NEDC	E0	600	40	20	-	-	7,7	181	
					E43	700	40	130	-	-	9,3	182	
	[25]	Skoda Octavia RS 2,0TSFI	4 cil - 2,0L - TC DI - TWC	Euro 4	NEDC	E0	200	-	10	-	-	9,2	217
						E10	140	-	20	-	-	9,3	222
	[26]	F1	4 cil - 2,0L - TC - TWC	Euro 4	NEDC	E5	580	60	20	0,7	1,2	11	-
E85						1020	80	10	2,1	17,6	14	-	
F2		4 cil - 1,8L - NA - TWC	Euro 4	NEDC	E5	890	70	40	0,6	1,3	9	-	
					E85	230	50	30	1,6	10,3	11	-	

**LEGENDA:** cil = cilindri      L = litri      NA = aspirazione naturale  
 TC = turbocompresso      TWC = catalizzatore a tre vie  
 PFI = iniezione nel condotto aspirazione      DI = iniezione diretta

*Limiti Euro 2:*      CO = 2,2 g/km      HC + NOx = 0,5 g/km  
*Limiti Euro 3:*      CO = 2,3 g/km      HC = 0,20 g/km      NOx = 0,15 g/km  
*Limiti Euro 4:*      CO = 1,0 g/km      HC = 0,10 g/km      NOx = 0,08 g/km

Tabella 7

Variazione del livello di emissione degli inquinanti per effetto del bioetanolo aggiunto nella benzina -- Dati di letteratura

N. doc.	AUTO-VEICOLO	CARATT. COSTR. MOTORE	STADIO OMOL	TIPO PROVA	COMBU-STIBILE	CO	THC	NOx	Formald	Acetald	cons.	CO <sub>2</sub>
						%	%	%	%	%	%	%
[12]	A1	PFI - 1,0L - TWC	(?)	10-15 modi	E5 - E0	-46,7	14,3	15,4	50,0	-80,0	-	-
					E10 - E0	-80,0	28,6	38,5	1775	-80,0	-	-
	D1	PFI - 0,68L - TWC	(?)	10-15 modi	E5 - E0	-17,6	-20,0	-5,9	9,2	90,0	-	-
					E10 - E0	-17,6	-10,0	0,0	38,2	225,0	-	-
[24]	Saab 9-5 Vector Sport	4 cil - PFI - 2,3L- TWC	Euro 2	NEDC	E17 - E0	33,3	42,9	0,0	-	-	0,0	-7,7
					E43 - E0	16,7	0,0	100	-	-	10,1	-8,5
	Volvo SV70	4 cil - PFI - 2,4L- TWC	Euro 3	NEDC	E43 - E0	0,0	-40,0	50,0	-	-	16,2	-3,1
	Opel Astra	4 cil - PFI - 1,6L- TWC	Euro 3	NEDC	E43- E0	-66,7	25,0	750	-	-	27,3	6,1
	Peugeot 307	4 cil - PFI - 2,0L - TWC	Euro 3	NEDC	E43 - E0	16,7	0,0	550	-	-	20,8	0,5
[25]	Octavia RS 2,0	4 cil - 2,0L-TC DI-TWC	Euro 4	NEDC	E10 - E0	-30,0	-	100	-	-	1,1	2,3
[26]	F1	4 cil - 2,0L - TC - TWC	Euro 4	NEDC	E85 - E5	75,9	33,3	-50,0	200	1367	27,3	-
	F2	4 cil - 1,8L - NA - TWC	Euro 4	NEDC	E85 - E5	-74,2	-28,6	-25,0	167	692	22,2	-

**LEGENDA:** cil = cilindri                      L = litri                      NA = aspirazione naturale  
 TC = turbocompresso                      TWC = catalizzatore a tre vie  
 PFI = iniezione nel condotto aspirazione      DI = iniezione diretta

no essere affette da una variabilità elevata, non riportata nelle pubblicazioni, dato il bassissimo livello di emissione delle autovetture provate a confronto con i corrispondenti valori limite di riferimento (classe di omologazione) (tabella 6). D'altra parte un esame globale dei dati mette in evidenza che l'emissione di questi due inquinanti sembra più influenzata dal modello di autoveicolo provato, piuttosto che per la presenza di etanolo nella benzina, qualunque sia la concentrazione.

In quasi tutte le sperimentazioni è stato rilevato un incremento più o meno elevato dell'emissione di ossidi di azoto. Soltanto nelle prove svolte con la miscela E85 [27] si è manifestata una diminuzione di questa specie rispetto all'alimentazione con la benzina di riferimento (che peraltro conteneva il 5% di etanolo).

La sperimentazione riportata in [26] è stata eseguita con un'autovettura Skoda Octavia dotata di motore ID turbocompresso sia in condizioni di guida reali su percorso stradale impiegando un sistema OBM per la misura delle emissioni, che in laboratorio. L'autovettura è stata alimentata con una benzina commerciale di riferimento e con la stessa addizionata col 10% vol di etanolo (E10).

Il percorso di prova era costituito da tratte stradali della città di Vienna caratterizzate da differenti condizioni di traffico (traffico intenso con velocità media bassa e traffico autostradale urbano con velocità media alta).

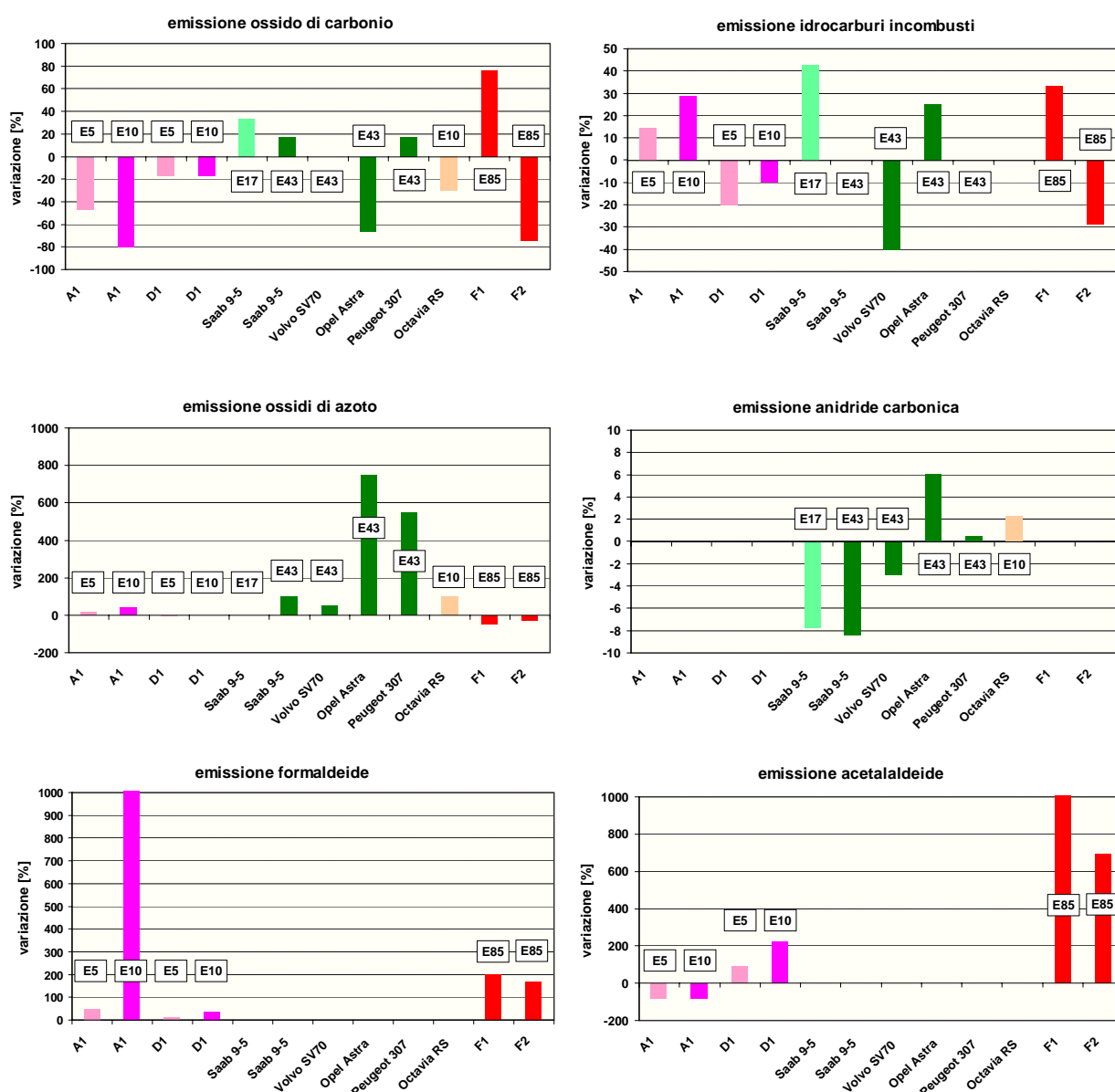


Fig 6 – Variazione del livello di emissione per effetto della miscelazione della benzina con etanolo

I risultati ottenuti hanno indicato una diminuzione sensibile (circa il 50%) dell'emissione degli ossidi di azoto quando la benzina convenzionale era stata sostituita con la miscela E10 e una riduzione dell'emissione dell'anidride carbonica dal 4% al 7%, in dipendenza delle condizioni di guida.

Il consumo di combustibile si è mantenuto mediamente più basso (circa il 3%) a tutte le velocità (figura 7).

Le prove di laboratorio, eseguite su ciclo di guida NEDC col motore a regime termico hanno in parte confermato i risultati ottenuti nelle prove stradali: riduzione sensibile dell'emissione dell'ossido di carbonio e degli ossidi di azoto. I risultati delle prove di laboratorio con avviamento a freddo del motore, ovviamente non sono confrontabili (tabella 6) con quelle delle prove di campo.

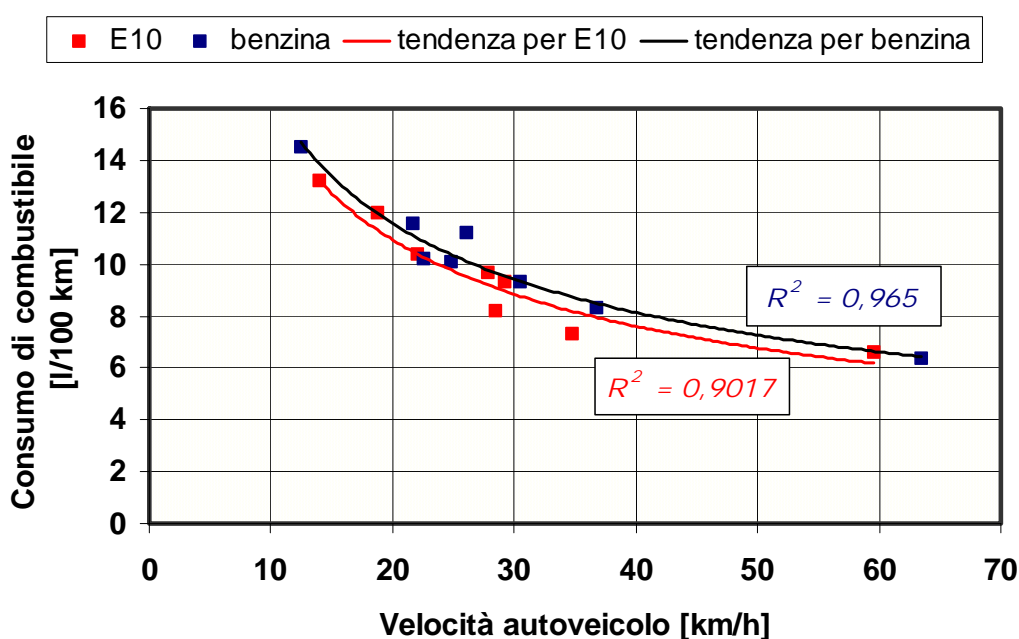


Fig 7 – Variazione del consumo di combustibile con la velocità dell'autovettura [26]

Nella sperimentazione riportata in [27] sono state provate tre autovetture Euro 4 di modello differente, di cui due FFV etanolo/benzina e una con sistema di alimentazione bi-fuel GNC/benzina, alimentate con una benzina euro-super svedese, contenente il 5 % vol di etanolo e una miscela E85 e con CBG (biogas compresso). Le prove sono state eseguite in laboratorio impiegando il ciclo di guida standard NEDC e i cicli di guida "reale" Artemis.

I risultati hanno indicato che non c'era un univoco comportamento delle autovetture a riguardo dell'emissione dell'ossido di carbonio e degli idrocarburi, probabilmente perché era differente la strategia individuale di messa a punto del motore. Gli AA ritengono, infatti, che occorre impiegare catalizzatori più efficienti quando l'autoveicolo è alimentato con la miscela E85.

La diminuzione dell'emissione degli ossidi di azoto osservata era in linea con quanto ritrovato in altre sperimentazioni, poiché la temperatura di combu-

stione dell'etanolo è più bassa di quella della benzina, attribuita all'elevato calore latente di vaporizzazione dell'etanolo.

L'impiego della miscela E85 ha determinato una diminuzione del consumo energetico, ma un incremento del consumo volumetrico di combustibile.

Nessun confronto è stato effettuato tra le misure di emissione con l'alimentazione costituita dalle miscele alcool/benzina e col biogas.

Gli effetti sulle emissioni non regolamentate sono stati valutati soltanto in poche sperimentazioni.

I pochi dati sperimentali disponibili nella letteratura tecnica sono in buon accordo nell'indicare un incremento dell'emissione delle aldeidi con la concentrazione di etanolo nella benzina e, parallelamente, una riduzione dell'emissione di benzene, toluene e 1,3-butadiene [27, 28].

Talvolta l'emissione della formaldeide è risultata più bassa, mentre è stato sempre osservato un forte incremento di quella dell'acetaldeide [27]. Quest'ultima specie, infatti, è uno dei composti primari che si formano nella combustione dell'etanolo. In altri termini si rileva una distribuzione diversa delle specie carboniliche tra le due alimentazioni, benzina e miscela etanolo/benzina: con la presenza di alcool nella benzina l'emissione dell'acetaldeide risulta, in rapporto con la formaldeide, generalmente più elevata [29].

Gli effetti determinati dall'interazione tra l'etanolo e gli idrocarburi olefinici, quali costituenti naturali della benzina, sono stati investigati in una ricerca svolta in Finlandia [30]. Alcuni modelli di autovettura dotati di TWC e iniezione *multi-point* (MPI) sono stati provati per valutare, oltre agli effetti provocati dalle olefine nella benzina, anche quelli determinati dall'etanolo (concentrazione = 10% vol) a confronto con gli eteri (MTBE e TAME), normalmente impiegati come costituenti della benzina eurosuper.

La sperimentazione non ha evidenziato alcuna variazione apprezzabile dell'emissione delle specie regolamentate con la sostituzione degli eteri con l'etanolo (la concentrazione di MTBE+TAME era inferiore al 10% volume, pari al 2% in massa di ossigeno contro il 3,5% di ossigeno della miscela E10).

La presenza di etanolo nella benzina ha determinato una diminuzione dell'emissione di 1,3-butadiene (~15% in meno) e di benzene (~20% in meno). E' stata riscontrata una diminuzione dell'emissione della formaldeide (~15% in meno), ma quella dell'acetaldeide è risultata notevolmente aumentata (~180% in più). La diminuzione dell'emissione della formaldeide per effetto della presenza di etanolo nella benzina in sostituzione degli eteri è determinata dal fatto che questi ultimi tendono a incrementare la formazione dell'aldeide più leggera nei gas di scarico.

La sperimentazione svedese ha indicato anche una tendenza verso la diminuzione dell'emissione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nella frazione solubile del particolato (SOF) quando la benzina era addizionata con l'alcool piuttosto che con gli eteri. La valutazione, comunque, è risultata difficile a causa della quantità limitata di campione raccolto nelle prove.

Soltanto la sperimentazione svedese [27] ha preso in considerazione l'effetto dell'aggiunta del bioetanolo nella benzina sull'emissione di particolato fine. La misura del numero di particelle emesse, eseguita con un CPC TSI 3010, ha indicato una diminuzione di queste quando le autovetture erano ali-

mentate con la miscela E85 nel ciclo NEDC, mentre l'effetto è risultato contrario nei cicli Artemis. Il livello misurato con entrambe le alimentazioni è dell'ordine di  $10^{10} - 10^{11}$  particelle/km. D'altra parte non è stato possibile verificare l'effetto sul particolato totale a causa del bassissimo livello di emissione di questa specie inquinante ( $< 1$  mg/km).

### **5.2 Interazione col catalizzatore**

Le miscele di etanolo sono compatibili con i tradizionali catalizzatori, anche se non si conoscono ancora bene gli effetti a lungo termine. Inoltre, va evidenziato come l'impiego di etanolo come *fuel extender* della benzina riduce il tenore di zolfo nella miscela favorendo una longevità maggiore delle nuove tecnologie di abbattimento catalitico delle emissioni inquinanti.

Per controllare l'eventuale maggiore emissione di ossido di carbonio e di idrocarburi incombusti nelle partenze a freddo, dovuta al ritardato raggiungimento della temperatura di *light-off* del catalizzatore (la temperatura alla quale si raggiunge il 50% di conversione degli inquinanti), per effetto della temperatura di combustione dell'etanolo più bassa di quella della benzina, alcuni recenti modelli di autovetture sono equipaggiati con un pre-catalizzatore. Questo dispositivo, posto molto prossimo al collettore di scarico del motore, è in grado di attivarsi prima di quello principale (normalmente di dimensioni maggiori e posto più distante dal collettore di scarico).

### **5.3 Emissione degli autoveicoli diesel**

Nel caso degli autoveicoli diesel, le sperimentazioni svolte hanno mostrato come l'effetto più evidente determinato dalla presenza di etanolo nel gasolio sia la riduzione dell'emissione del particolato, mentre per le altre emissioni regolamentate (CO, HC e NOx) gli effetti risultano meno chiari. Prove dimostrative, eseguite con un motore diesel HD, hanno indicato che la riduzione delle emissioni è proporzionata al tenore di alcool nel combustibile quando si utilizzano miscele etanolo/gasolio al posto del gasolio convenzionale [31, 32].

In Brasile sono state studiate le emissioni di alcuni autobus diesel alimentati con una miscela composta da 86% in volume di gasolio, 11% in volume di etanolo anidro e 3% dell'additivo stabilizzante AEP-102. I risultati hanno indicato una riduzione della fumosità e del consumo di combustibile [9].

Altre esperienze riferite nel documento [9] hanno mostrato come alcuni esemplari di una flotta di autobus Euro 2 circolante nella città di Stoccolma, alimentati con E-diesel (nome commerciale ETAMX.D), hanno emesso quantità nettamente inferiori di tutte le emissioni regolamentate. Le riduzioni osservate erano: ossidi di azoto ~44%, ossido di carbonio ~98%, idrocarburi incombusti ~91% e particolato ~73% rispetto ai corrispondenti valori ottenuti con l'alimentazione con gasolio [9].

### **5.4 Emissioni evaporative**

Scarsissima è la disponibilità nella letteratura tecnica di dati riguardanti le emissioni evaporative. I pochi dati sperimentali ottenuti nelle sperimentazioni svolte, inoltre, non risultano in accordo tra loro: in alcuni casi è stato riscontra-

to un aumento di questa emissione con benzine miscelate con bioetanolo, in altri nessuna variazione e, in altri ancora, perfino una diminuzione.

Un esauriente lavoro sperimentale svolto nel Centro Europeo Comune di Ricerche di Ispra (JRC) [33] aveva come obiettivo quello di valutare l'effetto delle miscele etanolo/benzina sulle emissioni evaporative. Il programma di prove è stato eseguito con sei autovetture con tecnologia Euro 3 ed Euro 4, alimentate con miscele E5 ed E10.

I risultati hanno confermato che la tensione di vapore del combustibile è il fattore principale che governa le emissioni evaporative. Un incremento sensibile di queste emissioni è stato osservato quando la tensione di vapore assume valori superiori (es. 75 kPa) al valore limite di specifica [7], mentre l'effetto si mitiga a valori compresi tra 60 e 70 kPa. Queste osservazioni, comunque, non sono connesse strettamente con il contenuto di bioetanolo nella benzina, ma sono dipese anche dal comportamento (grado di riempimento e spurgo) del *Carbon Canister* delle autovetture in prova. Dal programma svolto non è risultato chiaro quanto il carico del *Carbon Canister* fosse determinato dagli idrocarburi o dall'alcool, sostanza altamente polare. La speciazione delle emissioni evaporative ha indicato che esse sono costituite prevalentemente da idrocarburi alifatici leggeri (C4-C6) e da idrocarburi aromatici. Inoltre sono stati evidenziati bassi livelli di concentrazione di etanolo in esse.

## 6. Conclusioni

La documentazione consultata ha fornito un quadro esauriente sugli aspetti tecnici connessi con l'impiego dell'etanolo derivato da fonti rinnovabili (bioetanolo) da impiegare come "*fuel extender*" della benzina e del gasolio. Le miscele etanolo/benzina risultano attualmente molto più interessanti di quelle con gasolio, per le quali si prevede un uso alquanto limitato a flotte captive di autoveicoli.

Il documento preparato non ha preso in considerazione gli aspetti economici e quelli relativi alla produzione dell'alcool ai fini di un uso come combustibile per motori.

Le problematiche inerenti all'uso del bioetanolo hanno carattere essenzialmente prestazionale, data la forte diversità chimica di questa sostanza rispetto agli idrocarburi. Ciò nonostante l'esperienza pregressa, come quella conseguita in Brasile negli anni '80 e '90 col Progetto Pro-Alcool, e lo sviluppo di tecnologie motoristiche e di materiali resistenti all'azione aggressiva dell'etanolo hanno consentito di mettere già sul mercato autoveicoli autoadattanti (FFV) compatibili con combustibili contenenti etanolo, sia a basse concentrazioni che a elevate concentrazioni nella benzina.

I problemi evidenziati nel testo riguardano le caratteristiche comportamentali delle miscele etanolo / benzina, quali principalmente quelle connesse con la volatilità, controllata attraverso un'opportuna scelta della base idrocarburica (BOB) con cui miscelare l'etanolo e con le proprietà igroscopiche ed energetiche del combustibile finale. Al fine di assicurare un corretto comportamento delle miscele etanolo/benzina nei motori moderni con tecnologia avanzata è stato necessario, infatti, stabilire dei requisiti minimi di qualità del bioetanolo. Norme di qualità sono state sviluppate in quasi tutti i paesi industrializzati

(UE, USA e Canada) e in via di sviluppo (America Latina e Sud-est asiatico) per far fronte alla richiesta di un prodotto alcolico con un elevato grado di purezza necessario per evitare problemi di malfunzionamento dei motori.

A riguardo delle emissioni inquinanti generate dalla combustione delle miscele etanolo/benzina nei motori, le poche esperienze svolte negli ultimi anni con autoveicoli dotati di propulsori avanzati (Euro 3 ed Euro 4) hanno indicato generalmente una diminuzione delle specie regolamentate a fronte di un netto aumento dell'emissione dell'acetaldeide rispetto all'alimentazione con benzina convenzionale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Jeuland, X. Montagne, X. Gautrot - *Potentiality of Ethanol as a Fuel for Dedicated Engine* - Oil & Gas Science and Technology-Rev IFP, **59**, 6, 559-570 (2004)
- [2] Marina Mendez Tavares – *Brazilian Ethanol* – mmtecon.googlepages.com/ Guest Lecture (2009)
- [3] Katleen Kite-Powell – *Ethanol-Fueled Vehicles Make Their Way Around the World* – Biointernational Convention – Georgia World Congress Center – Atlanta (18-21 maggio 2009)
- [4] *Ethanol today* – documento tratto da Ethanol.org - Technical Connections (febbraio 2004) - <http://ethanol.org/technicalconnections.htm>
- [5] Direttiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2003 sulla promozione dell'uso dei biocarburanti e di altri carburanti rinnovabili nei trasporti
- [6] *Documento tratto dal sito:*  
[http://europa.eu.int/comm/energy/res/publications/doc/2004\\_brochure\\_biofuels\\_it.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/res/publications/doc/2004_brochure_biofuels_it.pdf)
- [7] Norma EN 228-08 - *Automotive fuels - Unleaded petrol - Requirements and test methods* (2008)
- [8] Direttiva 2009/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio che modifica la direttiva 98/70/CE per quanto riguarda le specifiche relative a benzina, combustibile diesel e gasolio nonché l'introduzione di un meccanismo inteso a controllare e a ridurre le emissioni di gas a effetto serra, modifica la direttiva 1999/32/CE del Consiglio per quanto concerne le specifiche relative al combustibile utilizzato dalle navi adibite alla navigazione interna e abroga la direttiva 93/12/CE
- [9] *Setting a Quality Standard for Fuel Ethanol*, DEH Ethanol Standard 18/2004 report, International Fuel Quality Center (2004)
- [10] K. Nakata, S. Utsumi, A. Ota, K. Kawatake, T. Kawai, T. Tsunooka – *The Effect of Ethanol Fuel on a Spark Ignition Engine* - SAE Technical Paper N. 2006-01-3380 (2006)
- [11] J.W.G. Turner, R.J. Pearson, B. Holland, R. Peck – *Alcohol-Based Fuels in High Performance Engines* - SAE Technical Paper N. 2007-01-0056 (2007)
- [12] S. Soma, K. Nagai, K. Morita, G. Sugiyama, T. Seko – *Investigation of Impact of the Ethanol Content on Exhaust Gases, Fuel Evaporative Emissions, High-Temperature Driveability, and Materials for Supply System Parts of Gasoline Vehicles* - SAE Technical Paper N. 2005-01-3710 (2005)
- [13] R. van den Broek, M. van Walwijk, P. Niermeijer, M. Tjmmensen - *Biofuels in the Dutch Market: a fact-finding study* – NOVEM Report N. 2GAVE 03.12 – (novembre 2003)

- [14] J.S. McArragher, T.J. Aarnink, R. Bazzani, J.G. Grand, K. Kuck, Y. Kwon, P.M. Matinez, N. Thompson, J. Porchet, G.F. Cahill, J.G. Grand, D. Leport, M. Lübbers, P.J. Zemroch – *Gasoline Volatility and Ethanol Effects on Hot and Cold Weather Driveability of Modern European Vehicles* – CONCAWE Report N. 3/04 (2004)
- [15] C. Hammel-Smith, J. Fang, M. Powders, J. Arabakken - *Issues Associated with the Use of Higher Ethanol Blends (E17-E24)* - NREL Report TP-510-32206 (ottobre 2002)
- [16] ACEA, Alliance, EMA, JAMA – *Ethanol Guidelines* – Worldwide Fuel Charter Committee (marzo 2009)
- [17] ASTM D4806 – *Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel* – ASTM International (2003)
- [18] ASTM D5798 – *Standard Specification for Fuel Ethanol (Ed75-Ed85) for Automotive Spark-Ignition Engines* – ASTM International (1999)
- [19] Brazilian National Petroleum Agency (ANP) – *Brazilian anhydrous & Hydrated ethanol specification* - (2002)
- [20] Norma EN 15376 – *Automotive Fuels – Ethanol as blending component for petrol – Requirements and test methods* – dicembre 2007
- [21] A.C. Hansen, Q. Zhang, P.W.L. Lyne – *Ethanol-diesel fuel blends - a review* – Bioresource Technology. **96**, (2005) 277-285
- [22] L.R. Waterland, S. Venkatesh, S. Unnasch – *Safety and Performance Assessment of Ethanol/Diesel Blends (E-Diesel)* – NREL/SR-540-34817 (settembre 2003)
- [23] *Compatibility of pure and blended biofuels with respect to engine performance, durability and emissions - A literature review* - TNO Automotive (dicembre 2004)
- [24] International Energy Agency – *Biofuels for Transport – An international Perspective* – (aprile 2004)
- [25] Kärllsson H.L. – *Emissions from Conventional Gasoline Vehicles Driven with Ethanol Blend Fuels for Swedish Road Administration (Vagverket)* – Report AVL MTC (maggio 2006)
- [26] D. Tòth, L. Cachón, E. Pucher, T. Raetzesch, D. Weissenberger – *Real World and Chassis Dynamometer Emission Measurement of a Turbocharged Gasoline Vehicle with Increased Bio Fuel Blend* – SAE Technical Paper N. 2008-01-1768 (2008)
- [27] H. Karlsson, J. Gåsste, P. Åsman – *Regulated and Non-regulated Emissions from Euro 4 Alternative Fuel Vehicles* – SAE Technical Paper N. 2008-01-1770 (2008)
- [28] K. Aubin, H. Smith – *Evaluation of Tailpipe Emissions and Cold Start Performance of E85 Vehicles from the 2000 Ethanol Challenge* – SAE Technical Paper N. 2001-01-0678 (2001)

- [29] R.A. Amaral, J.R. Sodré – *Aldehyde Emissions from an Ethanol-Fuelled Vehicle as Influenced by Engine Geometric Parameters* - SAE Technical Paper N. 2001-01-1998 (2001)
- [30] J. Pentikäinen, L. Rantanen, P. Aakko – *The Effect of Heavy Olefins and Ethanol on Gasoline Emissions* – SAE Technical Paper N. 2004-01-2003 (2004)
- [31] I. Ahmed – *Oxygenated Diesel: Emissions and Performance Characteristics of Ethanol-Diesel Blends in CI Engines* – SAE Technical Paper N. 2001-01-2475 (2001)
- [32] B-Q. He, J-X. Wang, X-G. Yan, X. Tian, H. Chen – *Study on Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engines Using Ethanol Blended Diesel Fuels* – SAE Technical Paper N. 2003-01-0762 (2003)
- [33] G. Martini – *Joint EUCAR/JRC/CONCAWE Study on: Effects of Gasoline Vapour Pressure and Ethanol Content on Evaporative Emissions from Modern Cars* – Report EUR 22713 EN (2007)

**GLOSSARIO**

ANP	National Petroleum Agency (Brasile)
BOB	Blendstock before Oxygenate Blending
CBG	Compressed Biogas
CEN	Comitato europeo di Normazione
CO	Ossido di carbonio
CPC	Condensation Particle Counter
EHN	Etil-esil nitrato
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor
ETBE	Etere etil- <i>terz.</i> butilico
EX	Miscela etanolo/benzina con concentrazione X di etanolo
FFV	Flex-Fuel Vehicle
GNC	Gas naturale compresso
HC	Idrocarburi incombusti
ID	Iniezione diretta
IPA	Idrocarburi Policiclici Aromatici
JRC	Joint Research Centre
MPI	Multi-point Injection
MTBE	Etere metil- <i>terz.</i> butilico
N.O.	Numero di ottano
NEDC	New European Driving Cycle
NREL	National Renewable Energy Laboratory (USA)
NA	Naturalmente aspirato
NOx	Ossidi di azoto
OBM	On-board measurement
PFI	Port Fuel Injection
SAE	Society of Automotive Engineers
SOF	Soluble Organic Fraction
TAME	Etere metil- <i>terz.</i> amilico
TC	Turbocompresso
TWC	Three-way Catalyst