

Evoluzione tecnologica dei motori in funzione ambientale

Ing. F. Cavallino
Direttore ZET (Zero Emission Target)
Consulente FPT (Fiat Powertrain Technologies)

Summary and Conclusions

In the next years Manufacturers will be committed both in emission and in fuel consumption reduction.

According Commission proposal, next step Euro 5, asks for:

- Gasoline: further reduction for HC and NOx
- Diesel: limited reduction for NOx, heavy reduction for PM

Based on cars offered on Italian market, and comparing gasoline cars fuel consumption with the one of other powertrains, the following situation is observed:

- Diesel 18 ÷ 23 % lower in CO₂, 25 ÷ 30 % lower in fuel consumption,
- CNG 20 ÷ 22 % lower in CO₂

Comparing Diesel fuel consumption with an ibrid gasoline configuration the situation is:

- Ibrid 27 % lower in CO₂, 20 % lower in fuel consumption in city driving

TNO proved that CNG overall emissions are the lowest and, probably Ibrid can achieve a similar level; this configuration was not tested.

Compared to gasoline and for Italian market, price increases for Diesel and CNG are comparable, the same for Ibrid is 2,5 ÷ 3 times higher.

Gasoline shows the highest emission control capability; the goal will be to achieve the same fuel economy reduction compared with Diesel.

CNG can profit of these improvements adding its own benefits.

Setting new emission Standards is therefore an important decisional step, having the goal to maintain capability of further fuel consumption reduction.

Finally attention must be paid in order to avoid a significant vehicle weight increase which, by definition, limits technological benefits.

Sommario

L'evoluzione tecnologica dei motori è certamente conseguenza delle richieste del Mercato e della necessità di ridurre l'inquinamento determinato dal traffico.

Come sempre il Mercato apprezza, secondo le fasce, prodotti economici, oppure prestazionali, oppure "alla moda".

Le Normative determinano le necessità di ridurre i limiti delle emissioni per salvaguardare l'Ambiente.

In definitiva i Costruttori debbono coniugare l'impegno di continuare a ridurre i consumi con limiti di emissioni ormai "prossimi a zero".

E' una sfida importante da gestire con la necessità di mantenere i margini di guadagno, che ogni Costruttore vorrebbe ottimali.

Questa ultima considerazione orienta l'attenzione dei Costruttori verso le versioni prestazionali od alla moda che, raramente, sono quelle che presentano consumi ridotti.

1. Come sarà la vettura del domani ?

Fino a quando, nei precedenti Convegni, veniva affrontato il problema della riduzione delle emissioni la domanda era: come sarà il motore di domani ?

Rispondendo a questa domanda e con le relative risposte, dal Gennaio di quest' anno, sono stati introdotti i limiti Euro 4 che, per i motori a benzina, rappresentano un livello "prossimo a zero". Rispetto ai "Valori base" del 1970 la riduzione è infatti pari al 98% (fig.1).

Le emissioni gassose dei Diesel, negli anni '70 ed '80, erano sostanzialmente inferiori a quelle dei benzina (figg. 2, 3). Dal 1988 hanno iniziato ad essere limitate, compreso il particolato, e, rispetto a valori base stimati, dagli anni '80 al 2006 la riduzione è stata leggermente inferiore, ma comunque molto importante, infatti vale circa il 94%.

I diagrammi sono stati elaborati a parità di ciclo, considerando l'ultima versione dello stesso adottata dal 2001 con Euro 3 e identificato come NEDC (New European Driving Cycle). I valori numerici dei limiti, tradizionalmente espressi in g/km, sono ora diventati così bassi che, gli Euro 5, vengono misurati in mg/km.

Affrontando la richiesta di ridurre anche i consumi dovremo rispondere alla domanda: come sarà la vettura del domani ?

2. Le vetture Euro 5: Emissioni e Consumi

Tuttavia, basandosi sulla evoluzione tecnologica disponibile, la Commissione europea ha proposto ulteriori riduzioni con i limiti Euro 5 da implementare, per le nuove omologazioni, intorno al 2009. Esaminando le proposte, figura 4, si nota come gli attuali motori benzina stechiometrici, ad iniezione indiretta (PFI Port Fuel Injection), possono ancora ridurre i loro inquinanti mentre i Diesel presentano le maggiori difficoltà relativamente agli NOx.

Per il particolato, l'applicazione dei relativi filtri, offre la possibilità di una sostanziale riduzione di questo inquinante.

Come noto i Diesel offrono un importante vantaggio in termini di consumo, pertanto, per rispondere alla domanda precedente, la vettura del domani, Euro 5, dovrebbe presentare emissioni prossime a zero, quelle dei benzina, e consumi contenuti, quelli dei Diesel.

Per quanto riguarda i consumi, ACEA, che rappresenta i Costruttori europei, ha sottoscritto con la Commissione l'impegno di ridurli progressivamente. Pertanto sono stati avviati molti interventi finalizzati alla riduzione consumi dei motori benzina ma, non c'è dubbio, che un contributo determinante, al raggiungimento dell'obiettivo, lo stia dando la consistente penetrazione del Diesel.

La fig. 5 illustra la riduzione ottenuta che, nel periodo 1995 – 2004, è stata pari al 13% ed evidenzia anche il peso crescente del Diesel. L'obiettivo è quello di ottenere, con l'adeguamento delle tecnologie e a pari mix di mercato, 140 g/km di CO₂ per il 2008. Questo obiettivo, definito nel 1995, era stato ritenuto congruente con gli obiettivi del Protocollo di Kyoto.

3. Limiti Euro 5 per i motori benzina

Il diagramma di fig. 6 si riferisce agli attuali motori benzina PFI. Su questi, grazie alla applicazione ottimizzata del catalizzatore a tre vie è praticamente possibile, annullare le emissioni. Si tratta di fare in modo che:

- il sistema di controllo motore mantenga, sempre meglio, la dosatura stechiometrica;
- l'efficienza del catalizzatore venga migliorata;

- il catalizzatore si attivi il più rapidamente possibile, a partire da Euro 3 viene infatti integrato con il collettore di scarico.

Con l'evoluzione delle strategie ora elencate sarà possibile rispettare la proposta Euro 5, naturalmente a costi crescenti, sebbene "ragionevoli", riducendo quindi del 25% HC ed NOx. Sostanzialmente la richiesta della Commissione appare poco motivata poiché queste riduzioni, applicate ad emissioni già prossime a zero, non saranno determinanti per risolvere i problemi di qualità dell'aria che ancora si presentano nelle città europee come già dichiarato da UBA (Agenzia per l'ambiente tedesca) e da ACEA. Inoltre, tendenzialmente, i limiti proposti, saranno sfavorevoli ai consumi.

Al fine di ridurre questi ultimi, diventa sicuramente interessante alimentare il motore con dosature magre. A questo proposito la fig. 7 illustra, a grandi linee, l'andamento degli inquinanti, a monte del catalizzatore, quando, dalla zona stechiometrica dei benzina PFI ($\lambda = 1$), si passa ai motori ad iniezione diretta magri siano essi Diesel o benzina (GDI Gasoline Direct Injection). In zona magra si nota come tutti gli inquinanti sono già contenuti, figg. 2, 3 e 7, tuttavia questi livelli non sono considerabili "prossimi a zero" come ormai richiesto dalle Direttive emissioni.

Diventa quindi necessario poter fare affidamento su un catalizzatore ma, a causa dell'eccesso di Ossigeno allo scarico, non è possibile far lavorare il catalizzatore a tre vie altrettanto bene come lavora in corrispondenza della dosatura stechiometrica dei motori benzina PFI. In zona magra viene garantito un ottimo abbattimento per CO ed HC ma si perde l'efficienza sugli NOx.

Da molti anni i fornitori investono notevoli risorse per individuare i catalizzatori DeNOx, di tipo rigenerativo, capaci di assicurare una efficace riduzione degli ossidi di azoto nell'ambiente ossidante che si ritrova allo scarico dei motori magri.

Si tratta delle "trappole" per gli NOx già descritte nei precedenti Convegni e schematizzate nella fig. 8. Con l'impiego di specifici materiali catalitici, esempio ossidi di Bario, è possibile trattenere gli NOx per un certo periodo. Quando l'accumulo supera un certo livello occorre prevedere una rigenerazione della trappola in modo tale che questa rilasci gli NOx in forma controllata e cioè come N₂. Questo diventa possibile facendo funzionare la trappola con una dosatura stechiometrica o ricca che durerà per un breve transitorio. Il controllo elettronico del motore può provvedere a questa rigenerazione tuttavia la messa a punto dei nuovi tipi di catalizzatori richiederà ancora qualche anno per raggiungere livelli di efficienza e di affidabilità soddisfacenti.

Per poter utilizzare i DeNOx, diventa indispensabile disporre di combustibili, benzine e gasoli, "Sulphur free" e cioè con un contenuto di Zolfo inferiore alle 10 ppm. La Direttiva 2003/17 prevede la sua progressiva disponibilità e l'obbligo dal 1° Gennaio 2009.

4. Limiti Euro 5 per i motori Diesel

I DeNOx di tipo rigenerativo potrebbero essere applicati anche ai Diesel: si presenta tuttavia una ulteriore difficoltà e cioè quella delle emissioni di particolato durante il transitorio ricco. Pertanto, mancando un catalizzatore, per ridurre le emissioni di NOx dei Diesel a livelli inferiori agli Euro 4, occorre individuare le opportune modifiche motoristiche in grado di offrire una riduzione significativa.

L'architettura del sistema di iniezione/controllo diventa quindi di importanza fondamentale al punto che, sulla base di queste considerazioni, Volkswagen ha deciso di sostituire progressivamente, a partire dal 2007 concludendo nel 2012, il sistema "Unit Injector" fino ad oggi ritenuto valido, con il "Common Rail". Quest'ultimo sistema si dimostra infatti più flessibile nell'accettare contemporaneamente la soluzione a quattro valvole, utile per migliorare le prestazioni, e nel gestire la variabilità delle "post-injection" utili per la fase di rigenerazione dei sistemi di post trattamento siano essi i filtri del particolato od i catalizzatori DeNOx.

I sistemi sempre più evoluti di ricircolo dei gas di scarico (raffreddamento gas, controllo elettronico, farfalla di regolazione) contribuiscono alla riduzione degli NOx.

Con l'Euro 5 il Diesel dovrà risolvere il problema del controllo delle emissioni del PM e lo si potrà realizzare con l'uso generalizzato dei relativi filtri. Anche in questo caso occorre ricorrere alla rigenerazione periodica al fine di innescare la combustione del particolato accumulatosi sul filtro come illustrato in fig. 9.

Il filtro del particolato non è un dispositivo economico; il suo costo è significativo e dipende dalle emissioni base del motore e della sua cilindrata. La fig. 10 illustra la versione in Carburo di Silicio a canali di sezione quadrata scelta per i motori che FPT fornisce per i modelli di Fiat Auto (es. Croma e 159) e per altri Costruttori: Opel, Saab, Suzuki. Si tratta della soluzione ad oggi più diffusa; i vari particolari sono forniti da importanti Fornitori quali: Engelhard, Johnson Matthey, NGK, Corning, Ibiden e Fourecia sia per il supporto che per il materiale catalitico.

5. Limiti Euro 5 per i combustibili alternativi

Dalla fine degli anni '90 ha iniziato ad essere considerata seriamente l'alimentazione a metano. Infatti la Commissione ha dato precise indicazioni per promuovere l'uso dei combustibili alternativi (Biofuels, Metano, Idrogeno). Tra questi, il metano offre vantaggi accertati sia per le emissioni che per i consumi con una disponibilità di rifornimento che può essere incrementata con relativa facilità. Certamente si tratta del combustibile per autotrazione più idoneo a contrastare l'accumulo di polveri nelle zone cittadine. Il suo uso è pertanto utilissimo sia per le vetture che per gli autobus. Mentre per i motori di questi ultimi si applica già la misura dei Non Methane Hydrocarbons (NMHC) l'Italia ha chiesto che lo stesso criterio venga applicato alle vetture e ciò potrebbe essere adottato con i limiti Euro 5. In questo modo il metano, essendo del tutto innocuo, non verrebbe conteggiato tra gli inquinanti ma si terrebbe conto del suo effetto serra nella valutazione del consumo di combustibile. Con questa soluzione le vetture a metano potrebbero soddisfare i limiti Euro 5 con aumenti di costo paragonabili a quelli dei motori benzina. Nel caso in cui questo limite non venisse introdotto questi allestimenti non potrebbero più essere prodotti poiché diventa molto difficile individuare un tipo di catalizzatore capace di presentare una efficienza di conversione del metano a livelli tali da soddisfare i limiti Euro 5. Del resto la forte stabilità della molecola del metano è la caratteristica che la rende del tutto innocua. Per i biofuels, sostanzialmente alcoli, non si presentano problemi sostanzialmente diversi da quelli già esposti per i motori benzina, a parte la verifica di alcuni componenti agli attacchi chimici.

L'idrogeno, considerandone l'importanza con relativi vantaggi e difficoltà, verrà trattato con interventi specifici; occorre tener presente, fin d'ora, che l'idrogeno non è un combustibile disponibile, ma deve essere prodotto.

6. Futura evoluzione dei limiti

Dalla fine degli anni '90, dopo la pubblicazione della Direttiva 98/70, e con le successive fino alla 2003/17, sono stati ridotti ed allineati i tenori di Zolfo relativi alle benzine ed ai gasoli portandoli agli stessi livelli: 350, 150, 50 e 10 ppm.

Il logico obiettivo diventerebbe quello di stabilire limiti "Fuel Neutral"; in altri termini, limiti uguali indipendentemente dal tipo di combustibile utilizzato.

Questa situazione sta diventando difficile sostanzialmente per due motivi:

- difficoltà del Diesel a raggiungere il limite NOx Euro 4 dei benzina (0,08 g/km, 80 mg/km) e più ancora l'eventuale limite Euro 5 ridotto a 60 mg/km
- introduzione di limiti specifici in funzione dei diversi combustibili; ad esempio, limite NMHC per il metano o limite di formaldeide per l'alcol metilico.

Si vedrà quindi, nel prossimo futuro, come questo concetto possa essere ancora valido o se sia più opportuno riadeguarlo per tenere conto delle nuove esigenze.

I Fornitori dei catalizzatori pensano di poter introdurre i DeNOx per i prossimi anni. La situazione tuttavia non appare facile infatti alcuni Costruttori, specie per le vetture più pesanti, considerano l'applicazione del sistema denominato Selective Catalyst Reduction (SCR) basato su un concetto totalmente diverso rispetto a quelle delle rigenerazioni intermittenti. Questo sistema prevede infatti di iniettare continuamente Urea che, con una opportuna reazione su un "front catalyst", determina la formazione di Ammoniaca (NH₃) che possiede qualità così fortemente riducenti da poter abbattere gli NOx anche negli ambienti ossidanti di cui si è parlato. E' stato sviluppato per i veicoli pesanti e, per brevità, non viene descritto.

E' chiaro che il costo di questo complesso sistema catalitico si aggiungerà a quello dei filtri per il particolato.

Come già anticipato, i nuovi combustibili "Sulphur free" dovranno essere progressivamente introdotti sul mercato per poter rendere operativi e funzionanti, sia da nuovo che sulle lunghe durate, i dispositivi rigenerativi o continui ora descritti.

7. Tecnologie per la riduzione dei consumi

Ridurre i consumi con una tecnologia opportuna non è mai stato facile lo dimostrano tanti tentativi che non hanno avuto successo; basta pensare ai primi motori a combustione magra, ai motori rotativi, al due tempi benzina ed alle prime, e ancora recenti, applicazioni della iniezione diretta di benzina.

A maggior ragione appaiono ammirevoli le qualità della soluzione Diesel "Common Rail" che offre ottima affidabilità, piacevolezza di guida, riduzione delle emissioni ed una riduzione di consumo che oscilla tra il 25 ed il 30 %. L'aumento del prezzo finale di vendita, rispetto al benzina, è di circa 2000 €, con oscillazioni da 1400 a 3000 €.

Per effetto della maggior densità del gasolio, rispetto alla benzina, la riduzione della CO₂ si riduce di circa sette punti oscillando quindi tra il 18 ed il 23%.

Tecnicamente il guadagno è sostanzialmente ottenuto grazie alla dosatura magra, al sistema di iniezione diretta ed al miglioramento del rendimento volumetrico determinato dalla assenza della farfalla di regolazione del carico, caratteristica degli attuali motori benzina.

L'aumento del costo è determinato dalla maggiore complicazione del sistema di iniezione, dalla presenza dell'impianto EGR, dalle modifiche strutturali del motore e dalla necessità di sovralimentare.

Se diventerà inevitabile applicare limiti di NOx simili a quelli dei benzina, il guadagno di consumo si ridurrà di alcuni punti, posizionandosi intorno al 25%.

Nel campo dei motori benzina non c'è dubbio che la soluzione benzina GDI, opportunamente ottimizzata, presenta un buon potenziale. A questo proposito si possono citare i risultati ottenuti da Volkswagen che offre modelli simili, Polo e Golf, con iniezione tradizionale PFI, e con iniezione diretta, denominata FSI.

La riduzione del consumo/CO₂ è in questo caso pari a circa il 9% con un aumento del prezzo finale di vendita di 1000 €, con oscillazioni da 700 a 1500 €.

Il gruppo Fiat, al momento, ha orientato l'applicazione della iniezione diretta ai modelli più prestazionali. Così si è deciso di dotare del nuovo sistema i motori benzina 1800 e 2200 della Alfa 159. In questo caso l'aumento della potenza specifica è stato utilizzato per mantenere o migliorare le qualità dinamiche della nuova vettura. I consumi si posizionano nella zona favorevole della categoria di appartenenza.

Una soluzione che si presenta interessante è ora quella di aggiungere la sovralimentazione all'iniezione diretta. Questa combinazione permette un considerevole aumento della coppia ai bassi regimi e quindi la possibilità di un consistente allungamento dei rapporti.

Una soluzione che si presenta difficile è quella della completa variazione della fasatura e della alzata delle valvole di aspirazione; questo sistema permette di eliminare la farfalla di regolazione. BMW con il sistema Valvetronic ha raggiunto l'obiettivo con un guadagno che può raggiungere un 8%, a prezzo di una considerevole complicazione meccanica. Altre soluzioni hanno dovuto essere sospese. FPT sta lavorando attivamente al sistema di alzata e fasatura variabile, sempre delle valvole di aspirazione (VVA). Questo sistema sarà applicabile anche al Diesel e potrà contribuire alla riduzione delle emissioni motore. E' preventivabile una riduzione dei consumi di circa il 10%. Aggiungendo la sovralimentazione, si può ottenere un guadagno complessivo del 25% di consumo/CO₂, con il possibile "downsizing" del motore. Il risultato finale diventa paragonabile quindi a quello del Diesel (migliore per la CO₂), ma con i livelli di emissioni tipici dei motori a benzina a prezzo degli adeguati aumenti dei costi.

8. I combustibili alternativi per la riduzione dei consumi

Al fine di ridurre la CO₂ Fiat Auto ha, da tempo, deciso di investire nella alimentazione con metano. Così i modelli Punto, Doblò e Multipla presentano una riduzione della CO₂ del 20 ÷ 22 % con un aumento del prezzo di vendita di circa 2800 € e con emissioni nettamente migliori a quelle di ogni altro tipo di alimentazione come è stato evidenziato con un significativo studio del TNO su modelli Euro 4. Una tabella sintetica dei risultati ottenuti è presentata nella fig. 11. Certamente il contributo italiano di 1500 € per questo tipo di soluzione ha contribuito alla sua diffusione ed infatti, dal 2000, Fiat Auto ha immatricolato circa 56.000 vetture nuove, naturalmente concentrate nelle Regioni dove i distributori sono disponibili.

Le riduzioni di CO₂ citate si mantengono qualunque siano le condizioni di guida della vettura.

In prospettiva è evidente che l'alimentazione a Metano può recepire tutti gli interventi migliorativi descritti nel paragrafo precedente. A questo punto al citato 20 ÷ 22% si potrà aggiungere il precedente 25% con una riduzione totale del 45% che appare realmente sorprendente.

La diffusione di questa alimentazione farà crescere anche l'interesse, e quindi la disponibilità, di bombole in materiale composito che contribuiranno a ridurre l'aumento di peso che oggi penalizza le vetture Bifuel.

9. La soluzione ibrida per la riduzione dei consumi

Secondo i dati di Quattroruote si nota che la CO₂ emessa dalla Toyota Prius è pari a 104 g/km (4,3 l/100km), la vettura costa 25.100 € ed il tempo di accelerazione 0-100 km/h è pari a 10,9 s. Per 18.300 € si può acquistare una Stilo 5 porte Multijet 120 CV che emette 143 g/km di CO₂ (5,4 l/100km) e che offre un tempo di accelerazione pari a 10,5 s. Le due vetture presentano una capacità di carico simile. Quindi si direbbe che occorrono 6.800 € per ottenere un guadagno di CO₂/consumo rispettivamente pari al 27 ed al 20%. I vantaggi di questa soluzione si riducono in modo significativo quando da un percorso di tipo cittadino si affronta un percorso extraurbano od uno autostradale. Al riguardo sono infatti frequenti le rimostranze di molti Clienti, soprattutto americani, che utilizzano la vettura prevalentemente per spostamenti sui percorsi extraurbani. In queste condizioni il tradizionale motore termico presenta infatti consumi specifici ottimali e quindi si minimizza il vantaggio ottenibile con la versione ibrida nella gestione del transitorio.

Sicuramente le emissioni della Prius sono migliori di quelle del Multijet ma il delta prezzo è anche decisamente elevato e spesso si ipotizza che il prezzo di vendita sia oggi volutamente contenuto.

Si constata infatti come, dopo la Prius, questa soluzione sia stata applicata su una vettura, SUV RX 400h, decisamente cara, e non sulla Yaris vettura sicuramente cittadina.

10. Consumi e caratteristiche vetture

Un argomento da non trascurare è infine quello del peso delle vetture stesse. Il diagramma di fig. 12 illustra come varia la quantità di CO₂ emessa in funzione del peso e delle prestazioni. Si tratta di vetture con motore ad accensione comandata.

I valori di CO₂ ed i pesi sono quelli pubblicati da Quattroruote che, secondo la Direttiva 99/94, riporta, dal Settembre 2005, anche i valori della CO₂. In pratica sono stati raccolti i valori della CO₂ delle vetture Fiat Auto, di VW Polo e Golf iniezione indiretta e diretta e di qualche modello SUV, BMW e Jeep, collocati sui valori di peso di competenza. Sono deliberatamente state escluse le vetture con prestazioni "estreme", ad esempio Ferrari, Aston Martin o berline a 12 cilindri che offrono tempi di accelerazioni 0 ÷ 100 km/h compresi tra 4 e 6 secondi. I valori diagrammati sono pertanto quelli di vetture con significativa penetrazione di mercato e tempi di accelerazione "normali" compresi tra i 7 ed i 14 secondi. Le vetture con tempi di 7 ÷ 8 s sono quelle che si posizionano nella parte superiore della linea di interpolazione.

Questa variabilità è certamente uno dei fattori che determina la dispersione dei dati illustrati. Sul diagramma è evidenziato il posizionamento delle vetture Fiat Bipower con la relativa riduzione della CO₂.

Si rileva come una variazione del peso di 250 kg determini una variazione del consumo variabile dal 15 al 25%, con il valore più elevato nella zona dei pesi più contenuti. Nel passare da 1000 a 2000 kg di peso la CO₂ emessa raddoppia: da 150 a 300 g/km.

Una linea di interpolazione analoga si otterrebbe diagrammando la CO₂ ed i pesi delle vetture a gasolio, traslandola verso il basso di circa il 20%.

11. Conclusioni

Si osserva quindi come l'industria motoristica stia valutando ed affrontando la necessità di ridurre consumi, CO₂ ed emissioni con soluzioni che possono effettivamente offrire soluzioni certe. La battaglia emissioni / consumi è impegnativa e determinerà aumenti dei costi non trascurabili.

Appare evidente come FPT abbia individuato e scelto soluzioni corrette, sia per l'immediato che per l'impostazione dei prossimi progetti, avendo ben presente le compatibilità ambientali, gli obiettivi di Kyoto e la necessità di promuovere la commercializzazione delle nuove soluzioni.

Alcuni Concorrenti sono altrettanto attivi e si è avuto modo di valutare qualche esempio esaminando allestimenti disponibili sul mercato.

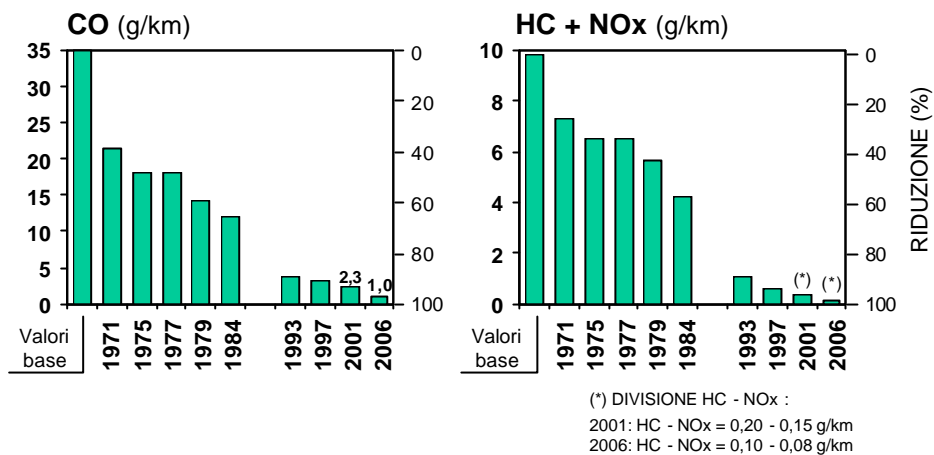
Relativamente alle vetture, si è osservata, negli ultimi anni, una crescente attenzione al contenimento dei pesi con l'offerta di un maggior numero di modelli del Segmento A e l'impiego di materiali più leggeri rispetto a quelli tradizionali. Per contro le richieste relative ad una maggiore sicurezza e confort determinano un inevitabile aumento dei pesi. Un esame di questi fattori richiederebbe molto spazio.

Infine, nel caso si migliori il potere di acquisto di una Società, sarà difficile contrastare la tendenza dei Clienti verso vetture più confortevoli, prestazionali od "alla moda", considerando che anche i Costruttori, alla ricerca del loro profitto, dedicano molta attenzione agli allestimenti "più ricchi".

Questa considerazione andrebbe tenuta presente per evitare tendenze che non aiutano a raggiungere gli obiettivi esposti.

EVOLUZIONE LIMITI VETTURE BENZINA

ANNI	1971	1975	1977	1979	1984	1993	1997	2001/2006
DIRETTIVA n°	70/220	74/290	77/102	78/665	83/351	91/441	94/12	98/69

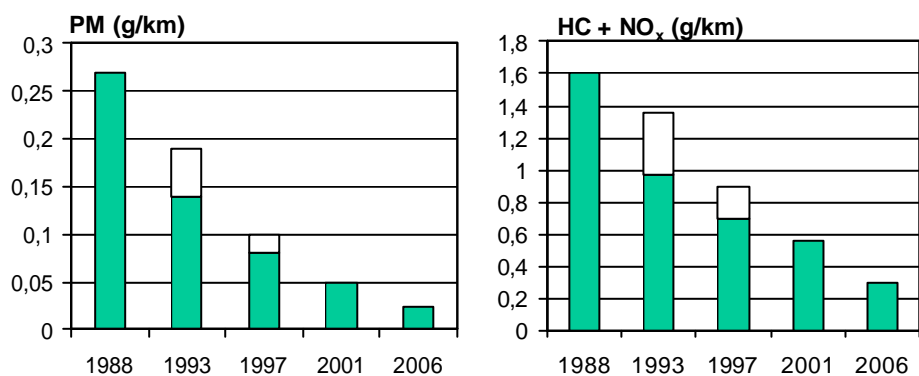


Note: I limiti '93 - '97 - '01 - '06 sono identificati come Euro 1, 2, 3, 4.

FIG. 1

EVOLUZIONE LIMITI VETTURE DIESEL

ANNI	1988	1993	1997	2001/2006
DIRETTIVA n°	88/436	91/441	94/12	98/69

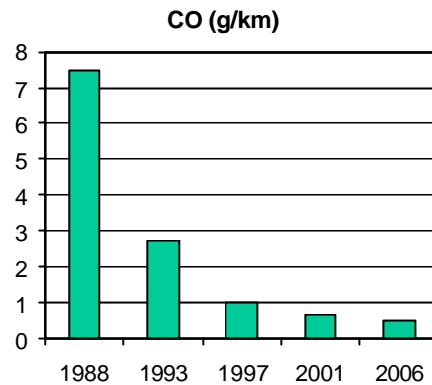


Note: - I limiti più elevati, ove esistono, si riferiscono alla versione i.d.
 - I limiti '93 - '97 - '01 - '06 sono identificati come Euro 1, 2, 3, 4.

FIG. 2

EVOLUZIONE LIMITI VETTURE DIESEL

ANNI	1988	1993	1997	2001/2006
DIRETTIVA n°	88/436	91/441	94/12	98/69



Nota: I limiti '93 - '97 - '01 - '06 sono identificati come Euro 1, 2, 3, 4.

FIG. 3

PROPOSTE COMMISSIONE LIMITI EURO 5

Benzina

- HC da 100 a 75 mg/km (- 25%)
- NOx da 80 a 60 mg/km (- 25%)
- CO invariato 1000 mg/km
- PM introduzione misura per iniezione diretta

Diesel

- NOx da 250 a 200 mg/km (- 20%)
- CO invariato 500 mg/km
- PM da 25 a 5 mg/km (- 80%)

FIG. 4

**OBIETTIVO RIDUZIONE CO₂
 ACCORDO: ACEA – COMMISSIONE**

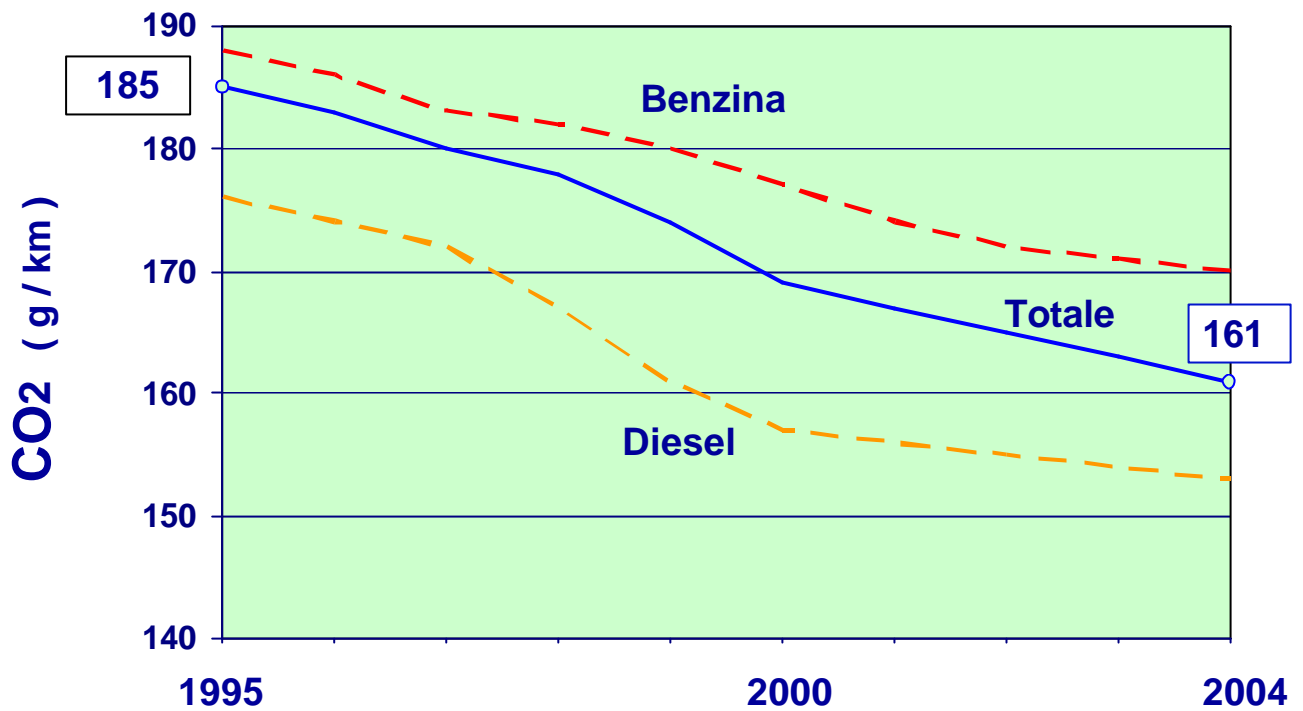


FIG. 5

**Motori benzina: emissioni a valle del catalizzatore
 nell'intorno della dosatura stechiometrica**

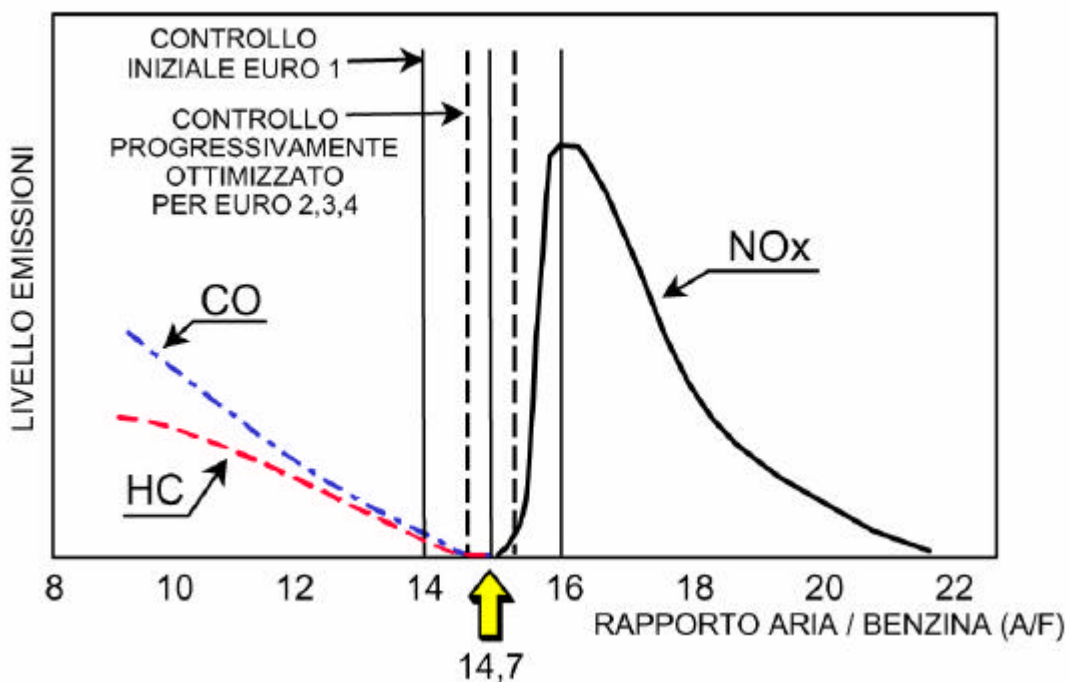


FIG. 6

Andamento delle emissioni motore, monte catalizzatore, con dosatura ricca ($\phi < 1$), stechiometrica ($\phi = 1$) e magra ($\phi > 1$)

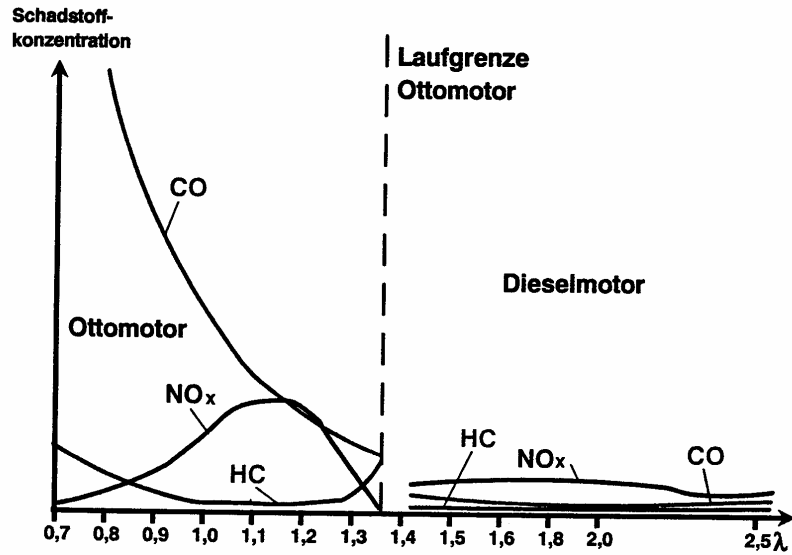


FIG. 7

Catalizzatori DeNOx "NOx Trap" per riduzione NOx con dosature magre

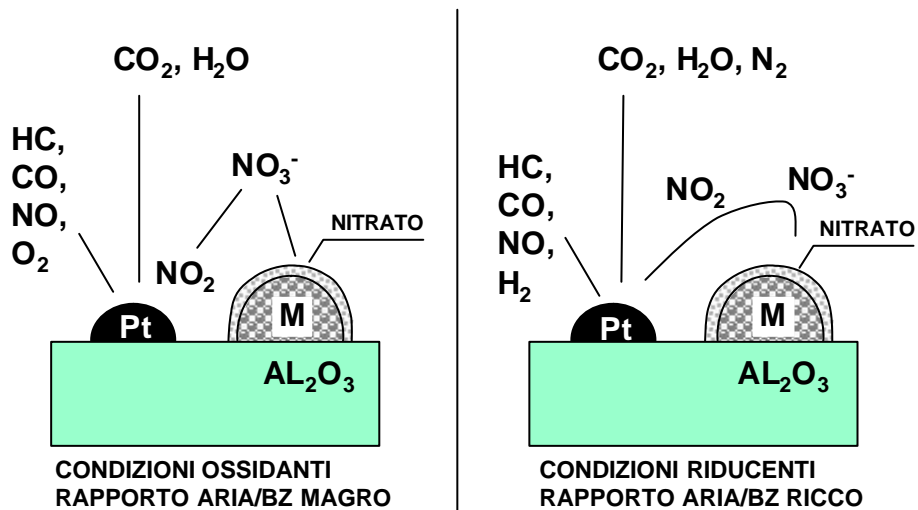


FIG. 8

Motori Diesel

Rappresentazione del picco di emissioni (M_{ri}) durante la fase di rigenerazione periodica del filtro del particolato

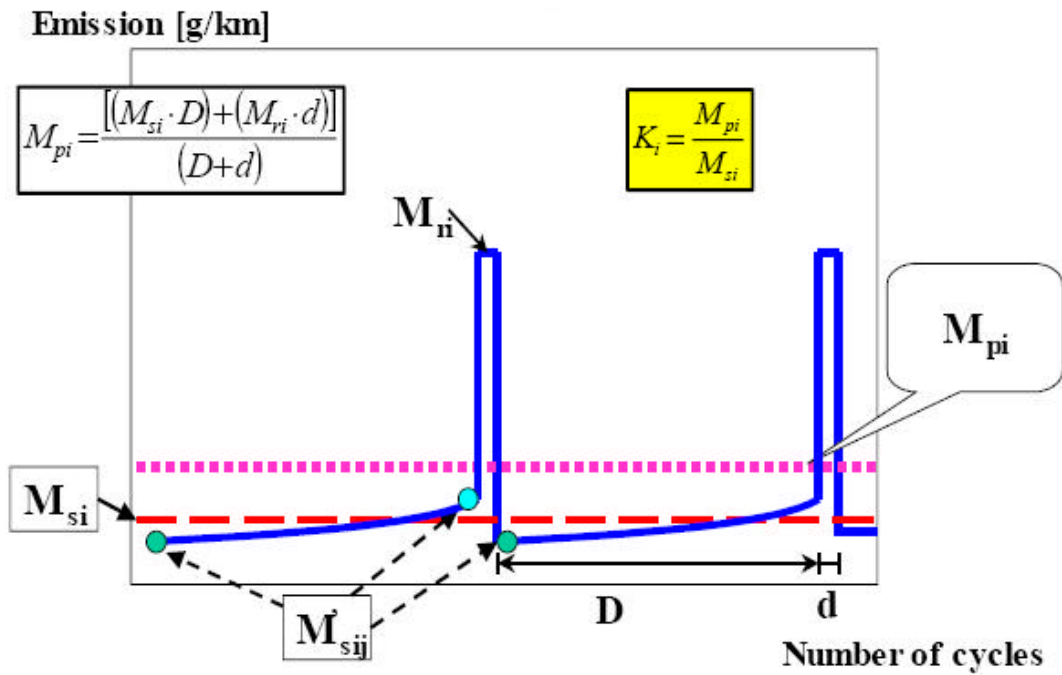


FIG. 9

Complessivo del Filtro Particolato e del "Front Catalyst" nella versione di normale produzione

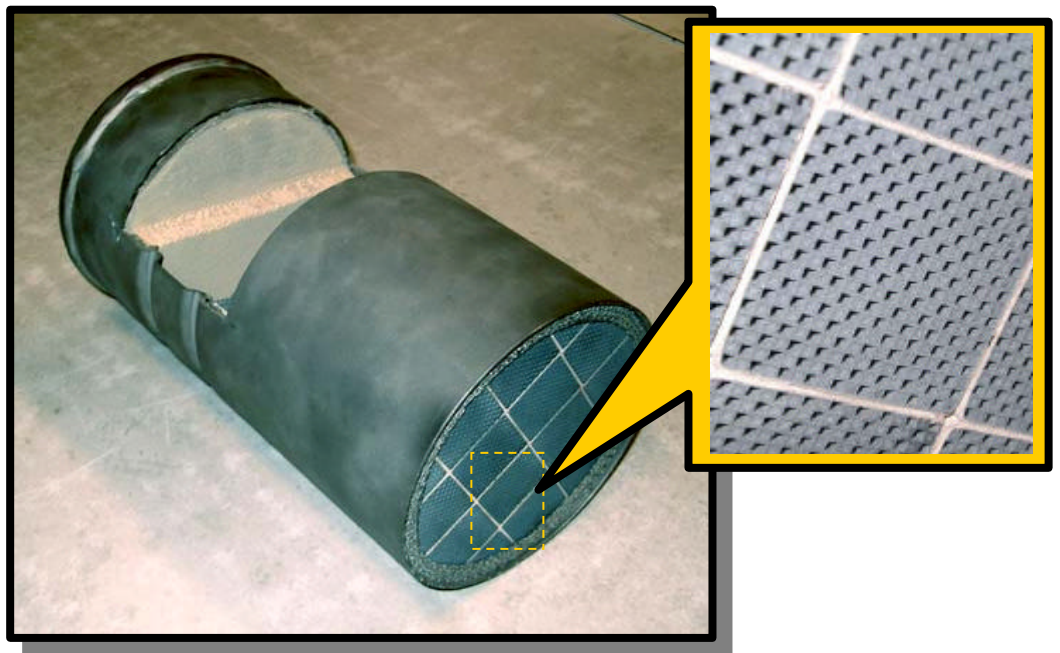


FIG. 10

Confronto dell'impatto totale sull'ambiente con i combustibili e le tecnologie Euro 4 (TNO – Dicembre '03)

ENVIRONMENTAL IMPACT OF DIFFERENT FUELS ACCORDING TNO (NL)
[- / - / 0 / + / ++] From very high to very low impact potential

Average driver		Petrol	Diesel	LPG	CNG
	Relevance				
<i>Health effects</i>					
NO ₂	high	++	--	++	++
overall PM	high	+	-	+	++
overall PAH	high	+	+	++	++
1,3-butadiene	high	+	++	+	++
light aldehydes	high	++	+	++	++
BTX	medium	+	++	+	++
smog potent. POCP	high	+	++	+	+
smog potent. TOFP	high	+	-	+	+
<i>Ecological effects</i>					
Smog potent. TOFP	high	+	-	+	+
Acidification potent.	medium	+	-	+	+
Euthrophication potent.	high	+	-	+	+
<i>Climatic effects</i>					
Direct GWP	high	-	+	+	++
EC-OC (GWP)	uncertain	++	o	++	++

0
FIG. 11

Variabilità CO₂ in funzione pesi/prestazioni vetture benzina/Metano

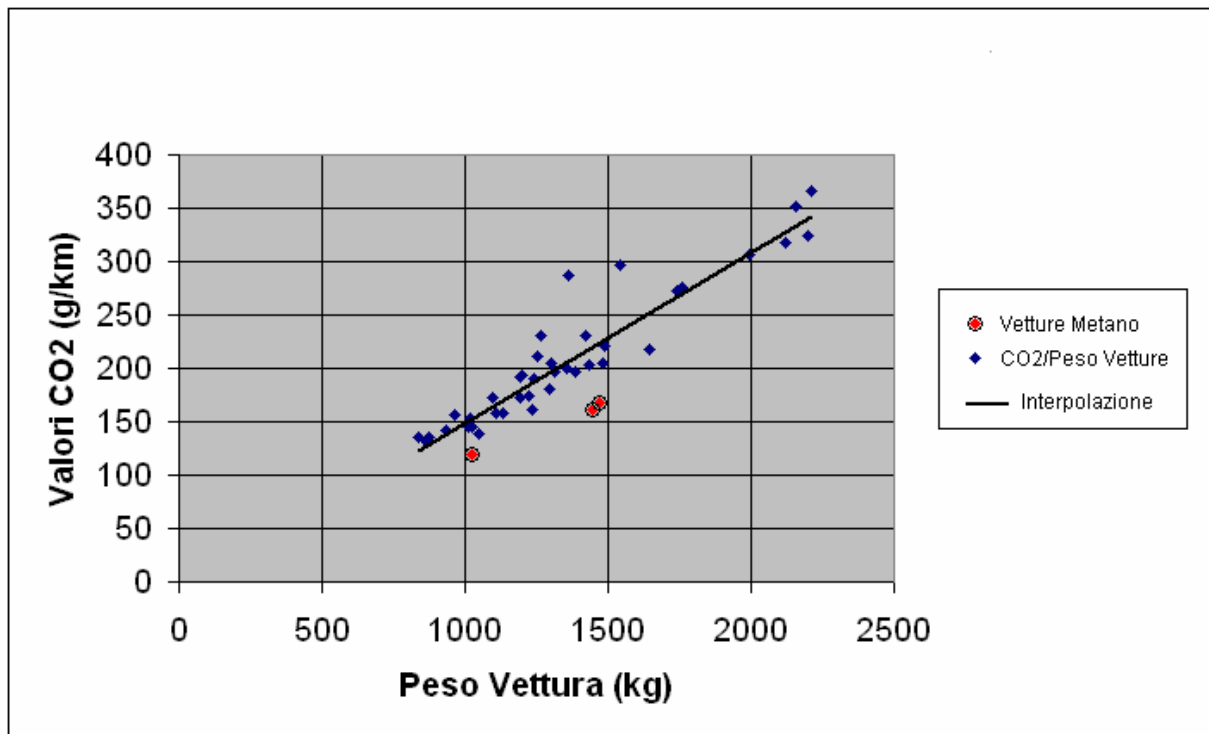


FIG. 12