

**CNEIA**

**Commissione Nazionale per l’Emergenza  
Inquinamento Atmosferico**

**RELAZIONE DEL GRUPPO DI  
LAVORO 7**

**FORNIRE INDICAZIONI OPERATIVE SULLE SOLUZIONI TECNOLOGICHE ED ORGANIZZATIVE APPLICABILI AI PREDETTI SETTORI, A COSTI RAGIONEVOLI E PROPORZIONATI, PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI INQUINANTI SIA PER QUANTO ATTIENE LA RIDUZIONE GENERALIZZATA A LIVELLO NAZIONALE, SIA PER QUANTO ATTIENE LA RIDUZIONE GENERALIZZATA IN AREE GEOGRAFICHE CON PARTICOLARE CRITICITÀ METEOCLIMATICHE, SIA, INFINE, PER QUANTO ATTIENE IL CONTRIBUTO ALL’INQUINAMENTO ATMOSFERICO NELLE AREE URBANE OVE SI SONO VERIFICATE O SI POSSONO VERIFICARE FREQUENTI SUPERAMENTI DEI VALORI LIMITE DELLA QUALITÀ DELL’ARIA.**

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 La qualità dell'aria nell'Unione Europea

Una cattiva qualità dell'aria può influenzare negativamente la salute umana, gli ecosistemi, le coltivazioni ed il patrimonio culturale ed in un modo o nell'altro la maggior parte dei cittadini europei subisce questi effetti. In conformità con quanto riportato nel Rapporto del 1999 dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (*"Environment in the European Union at the turn of the century"*) circa 40 milioni di persone nelle 115 maggiori città europee è esposto per almeno un inquinante ad un valore di concentrazione superiore a quello di soglia indicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. Gli ecosistemi possono essere danneggiati dall'acidificazione, dall'eutrofizzazione e a causa di inquinanti come l'ozono che inibiscono la crescita di alcune coltivazioni e alberi. Taluni inquinanti, come i metalli pesanti ed i composti organici persistenti, vengono accumulati nel suolo e nelle acque di falda recando danni in tal modo agli ecosistemi ed entrando nella catena alimentare. Inoltre, i monumenti e gli edifici facenti parte del patrimonio culturale vengono deteriorati grazie all'erosione e allo scolorimento soprattutto da parte dei composti dello zolfo. In passato, le maggiori sorgenti di inquinamento atmosferico erano l'industria e la produzione di energia; negli ultimi decenni il passaggio a combustibili più puliti e a combustioni più efficienti ha fatto diminuire le emissioni di alcuni inquinanti. A partire dai primi anni '90, la penetrazione sul mercato di nuovi veicoli diesel (ecodiesel) ha in parte ridotto le emissioni di polveri (PM<sub>10</sub>) e la crescente quota di auto catalizzate o alimentate con combustibili a basso tenore di zolfo (GPL) ha invertito la tendenza all'aumento delle emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) (le emissioni di anidride solforosa, per esempio, si sono ridotte negli Stati Membri in media del 20% tra il 1980 ed il 1990), composti organici volatili non metanici (COVNM) e monossido di carbonio (CO). Questi risultati, non devono però essere sopravvalutati, in quanto nello stesso arco temporale si registra un forte aumento di altri inquinanti come il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), le cui emissioni provenienti dai veicoli sono raddoppiate, e l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>), aumentata di ben 25 volte. Tutto ciò è spiegabile considerando che i catalizzatori ossidanti/riducenti (detti three way), di cui sono dotati i veicoli ad accensione comandata dagli anni 90 in poi, in determinate condizioni di funzionamento oltre alle reazioni desiderate, favoriscono alcune reazioni indesiderate che portano alla formazione di acido solfidrico, ammoniaca e protossido di azoto.

Per quanto riguarda i COVNM, le emissioni non provengono soltanto dalla parziale combustione all'interno dei motori, ma si originano anche dall'evaporazione dei carburanti durante sia la marcia dei veicoli che durante la sosta, durante le operazioni di rifornimento nelle stazioni di

servizio, dai serbatoi e dagli stoccaggi. Inoltre l'aumento del numero dei veicoli in circolazione ed il conseguente incremento della congestione del traffico ha generato un aumento dei tempi di percorrenza, controbilanciando così l'effetto positivo dovuto alla penetrazione di veicoli meno inquinanti.

## **1.2 L'Iniziativa Comunitaria**

L'iniziativa comunitaria intrapresa per migliorare la qualità dell'aria ha seguito tre linee d'azione:

- ✓ la definizione di limiti e valori obiettivo per la qualità dell'aria ambiente;
- ✓ lo sviluppo di strategie integrate per combattere gli agenti inquinanti transfrontalieri (in particolare acidificazione e ozono) e per identificare riduzioni economicamente praticabili in alcuni settori obiettivo (come il programma Auto-Oil);
- ✓ l'introduzione di specifiche misure per la limitazione delle emissioni o per incrementare la qualità del prodotto.

Nel quadro della Direttiva 96/62/CE "Qualità dell'Aria Ambiente" la Commissione Europea ha effettuato una serie di proposte volte a stabilire nuovi standard della qualità dell'aria per la protezione della salute umana e degli ecosistemi. Nuovi limiti per l'anidride solforosa, gli ossidi di azoto, il materiale particolato ed il piombo sono stati adottati nel 1999 (Prima Direttiva Figlia 1999/30/CE). Valori limite per il monossido di carbonio ed il benzene sono stati stabiliti nel 2000 (Seconda Direttiva Figlia 2000/69/CE). Inoltre è stata emanata una Direttiva (Terza Direttiva Figlia 2002/3/CE) interamente dedicata al parametro ozono, nella quale sono state introdotte le definizioni di valore bersaglio, obiettivo a lungo termine, soglia di informazione e precursori dell'ozono. Nel Luglio 2002 è stato istituito un programma della durata di 10 anni (*Sixth Environment Action Programme*) che costituisce un quadro per le politiche ambientali comunitarie ed ha il fine di assicurare un elevato livello di protezione dell'ambiente e della salute umana ed un generalizzato miglioramento della qualità della vita in Europa. Tale programma identifica 4 aree ambientali di interesse:

- cambiamento climatico;
- natura e biodiversità;
- ambiente e salute e qualità della vita;
- risorse naturali e rifiuti.

Infine è stata emanata una Direttiva (Quarta Direttiva Figlia 2004/107/CE) che introduce l'obbligatorietà del monitoraggio di Mercurio, Nichel, Arsenico e Cadmio e fissa per tutti questi inquinanti, tranne il Mercurio, i valori obiettivo. Una parte della Direttiva è dedicata al

benzo(a)pirene per il quale è fissato un valore obiettivo a lungo termine. Tutte insieme queste iniziative danno vita ad un complesso di obiettivi per il 2010 non solo per la Comunità Europea, ma anche per gli Stati Membri e le loro autorità regionali e locali. Ai sensi di queste direttive gli Stati Membri e le loro autorità locali dovranno monitorare la qualità dell'aria e introdurre piani e programmi di risanamento dove la qualità dell'aria non soddisfa i criteri specificati. Se gli obiettivi verranno rispettati ne scaturirà un generalizzato incremento della qualità della vita in Europa.

Per quanto riguarda l'abbattimento delle emissioni derivanti dal traffico, esso è stato reso possibile dall'emanazione da parte della Commissione Europea di standard di emissione per i veicoli LD (limiti Euro1, Euro 2 e Euro 3), con le Direttive 91/441/CE, 94/12/CE e 98/69/CE, entrate in vigore rispettivamente nel 1992, 1997, 2001 (per la Fase I-Euro3) e con i nuovi limiti previsti per la Fase II-Euro 4 nel 2006. Inoltre a partire dal 1999 con la direttiva 97/24/CE sono stati imposti dei limiti alle emissioni inquinanti dei veicoli a due (ciclomotori e motocicli) e tre ruote.

### **1.3 Qualità dell'aria in Italia**

Da un punto di vista legislativo, l'Italia, in quanto Stato Membro, ha dovuto recepire le Direttive Comunitarie.

La Direttiva Quadro 96/62/CE è stata recepita con il Decreto Legislativo n.351 del 4 Agosto 1999; tale Decreto introduce importanti novità quali l'estensione del numero di inquinanti da sottoporre a monitoraggio e la definizione di valori limite più restrittivi rispetto ai precedenti, sia per gli inquinati convenzionali sia per i non convenzionali.

Le Direttive Figlie Prima e Seconda sono state recepite con il Decreto Ministeriale n.60 del 2 Aprile 2002. L'adozione di queste due Direttive ha segnato un momento molto importante per la gestione dell'inquinamento in quanto si sono dovuti sostituire i criteri generali di rilevamento dell'inquinamento ed i criteri particolari per le sostanze individuate all'interno delle Direttive Figlie. Naturalmente la legislazione precedente è stata abolita e si è provveduto ad una transizione dalla vecchia alla nuova legislazione attraverso una visione critica dei metodi e dei criteri di valutazione dell'inquinamento atmosferico, della definizione dei siti, dei metodi di riferimento e dei requisiti di misura.

Il D.M. n.60 del 2 Aprile 2002 ha stabilito sia i nuovi limiti da rispettare sia i criteri per le strategie di campionamento e misura. Per molti parametri, seguendo la norma comunitaria di cui il decreto costituisce atto di recepimento, viene definito un "valore limite" come obiettivo da raggiungersi entro un determinato anno, e un "margine di tolleranza" (da aggiungersi al limite) di entità decrescente annualmente man mano che ci si avvicina all'anno fissato per l'obiettivo. Il DM

60/02 prevede anche un riassetto completo delle strategie di monitoraggio (numero e localizzazione dei siti di misura).

Il 20 Settembre 2002 sono stati, inoltre, emanati due Decreti Ministeriali: *“Modalità per la garanzia della qualità del sistema delle misure di inquinamento atmosferico”* (che individua gli organismi incaricati a svolgere le seguenti funzioni tecniche) e *“Attuazione dell’art.5 della legge 28 dicembre 1993, n.549, recante misure a tutela dell’ozono stratosferico”* (che disciplina le norme tecniche e le modalità per la prevenzione delle emissioni in atmosfera delle sostanze lesive l’ozono stratosferico durante le operazioni di recupero di apparecchiature fuori uso).

Inoltre, il 1° Ottobre del 2002 è stato emanato il Decreto Ministeriale n.261, che è un regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell’aria ambiente, i criteri per l’elaborazione del piano e dei programmi di cui al DL n.351 del 1999. Questo decreto ministeriale fornisce una messe di elementi preziosi per trasformare i dati rilevati con i monitoraggi in informazioni da utilizzarsi per una valutazione della qualità dell’aria su vasta scala, valutazione da intendersi come doverosamente preliminare alla redazione di piani non solo di risanamento delle situazioni critiche ma anche di più generale miglioramento. Secondo la legge, infatti, le regioni devono assicurare *“un elevato livello di tutela dell’ambiente e della salute umana”* e, a tale scopo, i piani devono essere elaborati a partire non solo da un’adeguata conoscenza dello stato della qualità dell’aria così come rilevato nei monitoraggi predisposti, ma anche dalla ricognizione delle sorgenti di emissioni presenti sul territorio e delle caratteristiche di questo (orografia, condizioni meteo-climatiche, usi del suolo, distribuzione demografica, insediamenti produttivi, infrastrutture, ecosistemi naturali, patrimonio culturale da proteggere, e via discorrendo). Il DM 261/02 definisce anche la struttura che i piani di risanamento debbono avere e che comprende, tra l’altro: contesto e obiettivi, dettaglio delle misure di risanamento, indicazione di tutti gli elementi significativi per l’attuazione dei piani (responsabilità, risorse, tempi, strumenti di monitoraggio e controllo, ecc.). Negli allegati tecnici la norma si sofferma su elementi di valutazione della qualità dell’aria mai così ampiamente sviluppati da norme precedenti; i temi dettagliati riguardano:

- le strategie e tecniche di campionamento dell’aria (con particolare enfasi circa l’uso di laboratori mobili a integrazione delle stazioni fisse),
- l’uso della modellistica previsionale,
- la zonizzazione territoriale come elemento cruciale per la gestione della qualità dell’aria,
- la redazione degli inventari delle emissioni,
- la redazione dei piani sopra citati.

Infine, il Decreto Legislativo n.183 del 2004 ha recepito la normativa comunitaria relativa all'ozono.

Per quanto riguarda le emissioni derivanti dal traffico, la loro riduzione è stata resa possibile dall'emanazione delle Direttive che hanno introdotto i limiti denominati Euro1, Euro 2 e Euro 3 rispettivamente nel 1992, 1997 e 2001; prima che la Direttiva 91/441/CE entrasse in vigore, in Italia la percentuale di auto catalizzate era pari al 9%, e quindi molto inferiore alla media europea del 21% (in Germania tale percentuale era addirittura pari al 52%). A fine 2001, il rinnovo del parco veicolare era ancora parziale: solo il 55% delle autovetture (il 49% nel 2000) era adeguato agli standard europei Euro 1, Euro 2 e Euro 3. La situazione è ancor più critica per quel che riguarda gli altri veicoli circolanti nel 2001: sono adeguati solo il 36% di autocarri leggeri e pesanti, il 37% degli autobus (13% per quelli in servizio urbano e 39% per quelli in servizio extraurbano) e il 28% dei motocicli. Tra il 2000 e il 2001 l'incremento maggiore di veicoli adeguati agli standard di emissione si è avuto per quel che riguarda i motocicli (10%), seguiti da autobus (6%) e autovetture (5%); gli autocarri, invece, sono quelli che hanno registrato il minor incremento (2%).

## **1.4 Evoluzione dell'inquinamento nelle aree urbane**

I dati pregressi di inquinamento atmosferico dimostrano che i livelli di inquinamento nei grandi centri urbani erano nel passato molto più rilevanti dei livelli attuali. Questa considerazione è molto importante alla luce dell'eventuale effetto sulla salute dei livelli di concentrazione attuali. Tale conclusione è suffragata dai seguenti elementi.

Per quanto riguarda l'inquinamento primario, tutte le fonti emissive sono state notevolmente ridimensionate. Il traffico veicolare si avvale di propulsori e carburanti molto meno inquinanti e, sebbene la quantità di veicoli in circolazione sia aumentata, le emissioni complessive sono diminuite. Le emissioni industriali all'interno delle aree urbane ora sono molto scarse, mentre il riscaldamento, attualmente quasi tutto basato sull'utilizzazione di gas naturale, non comprende più quote significative di olio combustibile, gasolio e, in qualche caso, carbone, che contribuivano a notevoli emissioni di inquinanti. Anche gli inquinanti secondari sono diminuiti o si sono stabilizzati grazie alla parallela diminuzione delle emissioni di precursori.

Per quanto riguarda il particolato, è anch'esso diminuito sia come concentrazione totale sia come frazione fine. La diminuzione di particolato fine è giustificata da almeno tre motivi. In primo luogo, sono diminuite le emissioni di precursori di composti secondari (principalmente idrocarburi, ossidi di zolfo e di azoto). In secondo luogo, le emissioni primarie da riscaldamento e da industria che pure causavano le emissioni di grandi quantità di particolato fine sono parimenti diminuite. In

terzo luogo, i motori pre-euro emettevano grandi quantità di particolato fine al contrario di quelli moderni.

Purtroppo dati relativi alla distribuzione granulometrica degli aerosoli nelle aree urbane italiane non sono disponibili, ma quanto sopra esposto dimostra in modo inequivocabile una diminuzione anche di questo parametro che, comunque è sempre superiore ai limiti per esso stabiliti.

Nonostante quanto appena detto, l'Italia, nelle recenti statistiche, è tra i paesi dell'Unione Europea che hanno fatto meno progressi in direzione della riduzione degli inquinanti; ciò è dovuto alla nostra situazione meteo-climatica, unica in Europa. L'Italia, infatti, non produce immissioni superiori rispetto alle altre metropoli europee, ma il clima provoca la stagnazione degli inquinanti sfavorendone la dispersione e determinando episodi di inquinamento acuto.

Ciò è dovuto al fatto che l'Italia è attraversata da una persistenza di forti campi di alta pressione, sia d'estate, con l'anticiclone delle Azzorre, sia d'inverno, con l'anticiclone russo. Ma c'è un altro inquinante che non si conosceva trent'anni fa e che pone l'Italia agli ultimi posti nelle classifiche europee: l'ozono. Anche questo inquinante è condizionato dalla nostra situazione climatica. In estate è favorito dall'alta irradiazione solare e dai venti (così l'ozono rilevato in una zona potrebbe provenire in realtà da una fonte lontana). Quindi, per conseguire dei risultati, è importante che la lotta all'inquinamento prosegua su una scala spaziale più ampia di quella metropolitana, che può essere regionale o addirittura internazionale.

## **2. ATTIVITA' DEL GdL N.7**

### **2.1. Mandato e struttura organizzativa**

Nell'ambito della Commissione Nazionale istituita presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, il Gruppo di Lavoro n. 7, coordinato dal Dott. Ivo Allegrini, ha avuto il compito di:

“Fornire indicazioni operative sulle soluzioni tecnologiche ed organizzative applicabili ai predetti settori, a costi ragionevoli e proporzionati, per la riduzione delle emissioni inquinanti sia per quanto attiene la riduzione generalizzata a livello nazionale, sia per quanto attiene la riduzione generalizzata in aree geografiche con particolare criticità meteoclimatiche, sia, infine, per quanto attiene il contributo all'inquinamento atmosferico nelle aree urbane ove si sono verificate o si possono verificare frequenti superamenti dei valori limite della qualità dell'aria”.

I lavori del GdL sono stati articolati in modo da comprendere quanto stabilito nel mandato alla luce dei processi principali che sono responsabili del fenomeno dell'inquinamento nelle grandi città italiane. Questo approccio nasce dalla necessità di intervenire al fine di limitare l'estensione dei processi di inquinamento e quindi di orientare le opzioni di riduzione delle emissioni in modo mirato.

Per poter conseguire gli obiettivi concordati era necessario seguire in larga misura le orme tracciate in Comunità Europea, ovvero:

- prevedere le emissioni del trasporto stradale e la qualità dell'aria nel futuro ed identificare le aree che necessitano di ulteriori interventi;
- identificare i possibili insiemi di misure nel settore del trasporto stradale che possono contribuire a conseguire gli obiettivi di qualità dell'aria;
- stimare costi ed effetti di questi scenari politici.

Al tempo stesso si è cercato di introdurre degli aspetti innovativi:

- la partecipazione al gruppo di lavoro è stata quindi estesa a tutti i soggetti interessati;
- per inquadrare la problematica globale della qualità dell'aria, si è cercato di stimare le emissioni provenienti anche da settori diversi dal trasporto stradale e di identificare, per questi, possibili misure supplementari;
- per lo sviluppo di un contesto omogeneo per la valutazione di un'ampia gamma di opzioni politiche, si è cercato di identificare strumenti e basi di dati che mettessero sullo stesso livello le misure tecniche e quelle non tecniche;
- si è riconosciuto che un approccio integrato presuppone di prendere in considerazione anche i fenomeni non direttamente trattati. Per esempio, sebbene il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) non

costituisca in questo contesto un fattore determinante, in quanto l'enfasi è posta sulla qualità dell'aria piuttosto che sul cambiamento climatico, occorre tuttavia riconoscere che le tendenze delle emissioni di gas serra vanno considerate nel giudicare le misure sia tecniche che non tecniche, al fine di evitare effetti collaterali controproducenti. È stato quindi inserito un accenno sulle tendenze future delle emissioni di CO<sub>2</sub>, ed una valutazione della correlazione delle misure di qualità dell'aria sul CO<sub>2</sub>.

L'organizzazione delle attività, in coerenza con quelle della Commissione, si è basata su rapporti tecnici, audizioni, pubblicazioni, al fine di effettuare un'analisi critica e un esame tecnico rigoroso delle diverse soluzioni che possono condurre ad una riduzione delle emissioni, nonché di poter fornire risposte coerenti. In particolare il GdL ha deciso di procedere ad un'indagine conoscitiva sulle problematiche connesse all'inquinamento atmosferico nelle aree urbane. A tal fine sono state effettuate audizioni di soggetti appartenenti ad organismi pubblici e privati, capaci di fornire dati ed informazioni atti a definire un quadro il più possibile esatto del fenomeno dell'inquinamento cittadino.

Le audizioni si sono tenute nei giorni 6 aprile, 20 aprile e 4 maggio del corrente anno e hanno visto la partecipazione dell'Unione Petrolifera, della Federchimica, (Assoliquidi), del CNR, della Pirelli Ambiente, Endeavour del settore industriale e riscaldamento civile.

## **2.2. Obiettivi ambientali**

### **2.2.1 Valutazione della qualità dell'aria e target di riduzione delle emissioni**

La particolare condizione meteorologica che interessa il nostro Paese ha ottenuto larga eco nei mezzi di informazione, creando un diffuso, giustificato allarme nell'opinione pubblica. Le condizioni climatiche provocano infatti in più occasioni il superamento dei limiti normativi sulla concentrazione degli inquinanti nell'atmosfera cittadina; gli inquinanti considerati hanno, com'è noto, influenza più o meno importante secondo la loro natura sulla salute e sulle stesse cause di mortalità, e provocano indirettamente gravi danni all'economia del Paese. Di fronte a tali avvenimenti, che si sono configurati come vere e proprie emergenze, i sindaci delle grandi città hanno reagito in modo diverso, anche se nella totalità dei casi hanno ritenuto opportuno procedere al blocco della circolazione delle auto soprattutto nelle giornate festive o all'utilizzo della circolazione a targhe alterne. E' evidente che tali provvedimenti non possono che avere carattere episodico e non risolutivo.

L'analisi dei principali fenomeni di inquinamento delle città mostra l'estrema variabilità delle sorgenti e dei meccanismi di formazione e trasporto delle sostanze immesse in atmosfera.

In generale gli inquinanti vengono classificati in:

- Inquinanti primari, direttamente emessi dalle sorgenti;
- Inquinanti secondari, che si formano dagli inquinanti primari per reazione chimica con i componenti dell'atmosfera o per trasformazioni fotochimiche.

Il GdL ha osservato che la maggior parte dei superamenti dei limiti o degli standard fissati per l'inquinamento sono essenzialmente a carico del biossido di azoto, dell'Ozono e del Particolato (PM10 e probabilmente PM2,5) con probabili frequenti superamenti di altri inquinanti che, sebbene non siano stati portati all'attenzione dell'opinione pubblica, rivestono pur sempre un'importanza elevata (ad esempio il benzo(a)pirene).

Biossido di Azoto: generato dall'ossidazione di Ossido di Azoto (NO) a sua volta emesso da tutte le fonti di combustione, sia fisse che mobili. Gli ossidanti che provocano la trasformazione di monossido in biossido di azoto sono i perossidi e tra questi l'Ozono. Dunque, la concentrazione di biossido di azoto dipende dalla quantità di ozono disponibile e, ovviamente, dalla quantità di ossidi emessi. Altri perossidi, come quelli perossiradicalici, non giocano un ruolo significativo nella chimica degli ossidi di azoto.

Ozono: è un inquinante normalmente trasferito da lunga distanza e la sua presenza in atmosfera è dovuta a fenomeni di avvezione. La sua sorgente principale è nella troposfera libera ove si ha la massima concentrazione. Questo è il motivo per cui la sua concentrazione è elevata nelle località montane. Esso si trasferisce al suolo per fumigazione verticale, processo questo molto efficace nelle ore pomeridiane quando è massimo il livello di rimescolamento verticale. Spesso, in particolare nelle aree urbane, all'Ozono avvevivo si somma quello formato localmente da precursori che sono gli idrocarburi reattivi e gli ossidi di azoto, ambedue emessi dagli scarichi veicolari. La più importante sorgente di esposizione è comunque dovuta all'avvezione dalla troposfera.

Particolato: è un inquinante che è presente a causa dei tre principali meccanismi finora visti. Esso viene formato direttamente dagli scarichi veicolari e dagli impianti fissi, in particolare dal riscaldamento come inquinante primario. Alcune sostanze (ossidi di azoto, di zolfo ed idrocarburi) sono responsabili della formazione di particolato secondario, mentre una certa quantità è anche di origine avveviva quale quello proveniente da sorgenti lontane.

### **2.2.2 Altri problemi ambientali**

Il raggiungimento dell'obiettivo di miglioramento della qualità dell'aria non può essere perseguito senza prendere in considerazione altri fenomeni ambientali ed anche fattori economici e sociali. Molto spesso si pone la necessità di selezionare le priorità, a volte si possono trovare dei

sinergismi produttivi o, almeno, delle misure di compensazione (quali l'introduzione di catalizzatori per la riduzione di NOx per compensare più alte emissioni di NOx da motori ad iniezione diretta più efficienti).

Misure riguardanti la politica dei trasporti possono avere una notevole influenza sulla riduzione dei gas effetto serra. Alcuni strumenti strutturali come l'introduzione di tasse o sovvenzioni possono avere effetti sulla concentrazione della CO<sub>2</sub>, sul rumore o sul numero degli incidenti, più che miglioramenti nelle prestazioni tecniche del parco veicolare.

### **2.2.3 Obiettivi ambientali per la qualità dell'aria**

Gli obiettivi di qualità dell'aria sono basati essenzialmente sulle direttive adottate e proposte dalla Comunità Europea.

Le Direttive emanate dalla Commissione Europea negli ultimi anni hanno modificato il quadro normativo relativo alla valutazione e alla gestione della qualità dell'aria.

Alla base del lavoro della Commissione Europea è lo sviluppo di una strategia di controllo attraverso la definizione di obiettivi a lungo termine. Alla Direttiva Quadro 96/62/CE sono seguite la prima Direttiva figlia 1999/30/CE, relativa al biossido di zolfo, agli ossidi di azoto, al materiale particolato, e al piombo, e la seconda 2000/69/CE, relativa al benzene e al monossido di carbonio.

La terza Direttiva figlia, relativa all'ozono, è stata adottata nel 2002 e nel 2004 è stata emanata la Direttiva 2004/107/CE concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente che ha completato il quadro degli inquinanti tracciato dalla 96/62/CE.

L'Italia ha recepito la direttiva madre 96/62/CE attraverso il DLgs. 351 del 1999 e le due prime Direttive figlie con il DM del 2/4/2002 n. 60, e la terza Direttiva sull'ozono.

Tali direttive stabiliscono valori limite e valori-obiettivo per le varie sostanze inquinanti che devono essere raggiunti prima di una certa data (2005-2010) e richiedono agli Stati Membri o alle autorità locali di mettere in atto programmi d'azione nelle aree in cui la qualità dell'aria non risponde ai criteri specificati. Alcuni di questi valori sono annuali, ciò vuol dire che il limite che deve essere raggiunto deve essere una media calcolata su un anno, altri sono valori relativi a brevi periodi di tempo e sono mirati a episodi di inquinamento o ad "hot spots" (siti particolarmente inquinati).

In particolare dalla legislazione sono stati fissati obiettivi di qualità dell'aria per cinque inquinanti principali: benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), particolato (PM10 e PM2,5) e ozono (O<sub>3</sub>). Le relative cifre sono riportate nella tabella seguente;

Inquinante	Valore obiettivo	Anno di adempimento
CO (media di 8 ore consecutive)	10 (mg/m <sup>3</sup> )	2005
NO <sub>2</sub> (media annuale)	40 (µg/m <sup>3</sup> )	2010
Benzene (media annuale)	5 (µg/m <sup>3</sup> )	2010
PM (media annuale)	20 (µg/m <sup>3</sup> )	2010
Ozono (media sulle 8 ore)*	120 (µg/m <sup>3</sup> )	2010

\*L'obiettivo fa riferimento alla media massima di 8 ore nell'arco di 24 ore, che non deve essere superata per più di 20 giorni per ogni anno solare calcolati su una media di 3 anni.

### *Principali obiettivi ambientali*

## **2.3. Valutazione della qualità dell'aria e target di riduzione delle emissioni**

Per l'individuazione dei possibili interventi politici relativi a tecnologia dei veicoli, qualità dei carburanti, controllo e manutenzione, misure non tecniche e strumenti fiscali, il GdL ha dovuto acquisire una serie di dati relativi alle emissioni attuali e a quelle previste in base all'applicazione di modelli e alla formulazione di eventuali scenari.

Da studi effettuati in ambito europeo emerge che entro il 2020 le emissioni da trasporto stradale degli inquinanti tradizionalmente disciplinati scenderanno a meno del 20% rispetto ai livelli del 1995, mentre le emissioni di CO<sub>2</sub> continueranno ad aumentare. Ciò è dovuto all'aumento delle percorrenze complessive, all'aumento del numero dei veicoli ed anche ad un relativo aumento delle cilindrata all'interno di ciascuna classe nei modelli di più recente immatricolazione. Dal confronto con gli scenari elaborati per le emissioni di altre sorgenti si evince che la quota delle emissioni globali (non CO<sub>2</sub>) attribuibile al trasporto stradale scenderà considerevolmente tra il 1990 e il 2010, mentre aumenterà in modo corrispondente l'importanza relativa di altri settori.

Le implicazioni di queste proiezioni relative alla futura qualità atmosferica sono state studiate auspicando un grosso miglioramento della qualità dell'aria in ambiente urbano di qui al 2010, sebbene numerosi obiettivi ambientali non saranno conseguiti. Tra gli inquinanti analizzati, quelli che pongono i principali problemi ancora irrisolti sono il particolato, l'ozono troposferico a livello regionale ed alcuni episodi localizzati di inquinamento da biossido di azoto.

Un'analisi delle misure non tecniche nelle città rappresentative ha dimostrato che esse racchiudono un notevole potenziale di abbattimento ad un tempo delle emissioni e dei costi, purché siano ottimizzate e combinate fra loro onde evitare possibili effetti avversi. Anche le

misure fiscali hanno dato prova di fornire soluzioni a somma positiva sia per l'ambiente che per l'economia.

La legislazione vigente in materia di qualità dei carburanti ed emissioni dei veicoli commerciali leggeri, dei veicoli commerciali pesanti e dei veicoli a due e tre ruote contiene una serie di clausole evolutive sulle quali sarebbe necessario lavorare.

### **2.3.1 Relazioni funzionali e modelli di valutazione**

Può essere dimostrato che, come una determinata riduzione uniforme delle emissioni da tutte le sorgenti risulta avere effetti sulla qualità dell'aria di una città, così è possibile ottenere gli stessi risultati partendo da una piccola riduzione mirata delle emissioni di un determinato settore.

L'effetto reale delle emissioni sulla qualità dell'aria può dipendere, per esempio, dall'altezza, dalla distanza o dal tempo di rilascio allo stesso modo che dalle condizioni metereologiche prevalenti. In caso di sostanze inquinanti attive ci possono essere molte combinazioni di riduzioni (es. dei precursori dell'ozono) che possono dare la stessa qualità dell'aria.

Un metodo alternativo deve sviluppare le relazioni funzionali che collegano emissioni e qualità dell'aria in un modello integrato di valutazione.

Per ottenere risultati utili è opportuno processare una grande varietà di scenari, dati di input sulla riduzione degli inquinanti e tenere in considerazione l'analisi costi-benefici.

Mentre il compito degli studi sulla qualità dell'aria è quello di identificare e quantificare i previsti raggiungimenti degli obiettivi ambientali, lo scopo della valutazione integrata è quello di cercare strategie redditizie per conseguire gli obiettivi.

### 3. L'ITALIA: IL CASO SPECIFICO

#### 3.1 Trasporti in Italia

Il grafico che segue è stato estrapolato dallo studio dell'AOPII (Auto Oil II-Programme) del 2000, che fa una previsione al 2020, su quanto aumenterà la domanda ed offerta riferita al settore dei trasporti e quale sarà la tipologia di trasporto preferito.

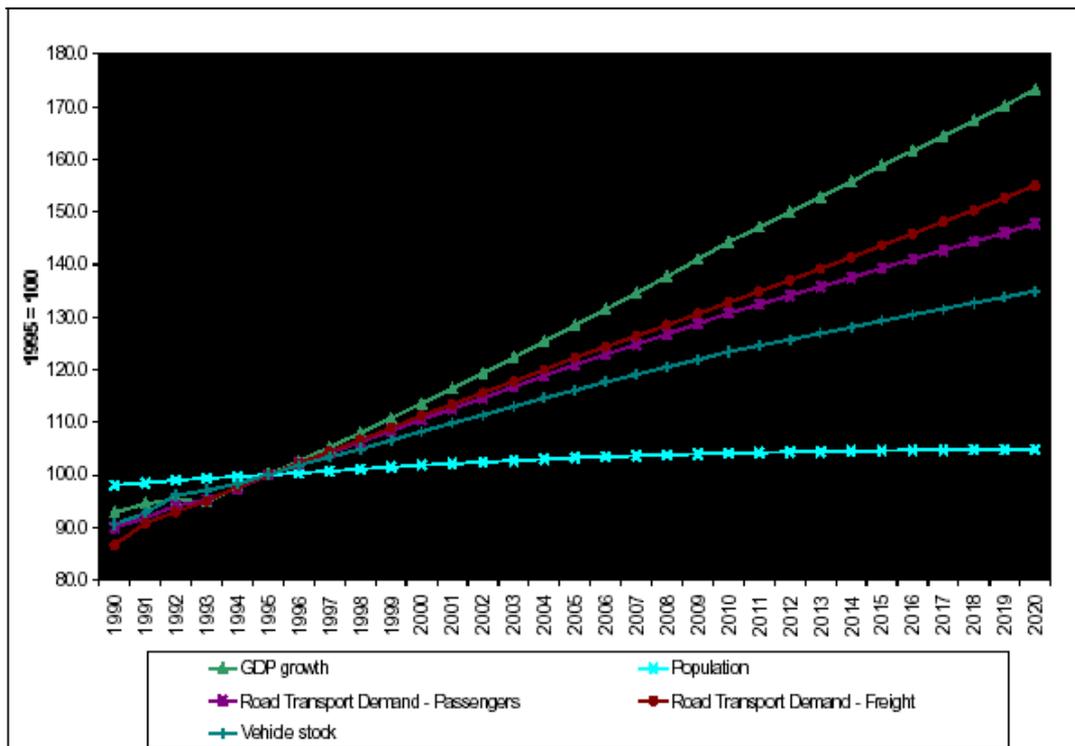


Grafico 3.1.1: AOP-II TRansport Case Base Overview EU9 (Ref1995).

Lo studio è stato eseguito su 9 nazioni Europee tra cui l'Italia; esso mostra come ad una crescita demografica costante corrisponde una domanda crescente di veicoli ed infrastrutture, queste ultime specialmente dedicate al trasporto merci. Si deve tenere presente che nei paesi sviluppati, lo spazio per la creazione di nuove infrastrutture è ridotto e ci si aspetta quindi negli anni successivi una crescita minore della domanda per mancanza d'offerta. Il numero di veicoli circolanti ha un indice crescente, questo si traduce con un conseguente aumento di veicoli pro-capite.

Per l'Italia questo è evidente con la seguente Tabella elaborata dal ministero dei Trasporti al 2001.

**Tab.3.1.1** Indice procapite di autovetture (popolazione/autovetture) circolanti in Italia dal 1999 al 2001

1990	1995	1999	2000	2001
2,11	1,89	1,80	1,78	1,74

Fonte: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Osservando da vicino la situazione Italiana, la crescita della domanda di mobilità di passeggeri e merci è andata aumentando costantemente dal 1990. Con riferimento alle diverse modalità di trasporto, viene di seguito illustrata la situazione dei traffici passeggeri e merci, vedi Tabella 3.1.2. I dati riferiti all'anno 2001, confermano l'assoluta prevalenza del trasporto su strada, con una motorizzazione privata predominante (72,5% dei veicoli circolanti, contro lo 0,2% degli autobus). Il trasporto collettivo urbano non è cresciuto allo stesso modo e la preferenza attuale dell'Italiano resta il mezzo proprio.

Secondo uno studio eseguito dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) relativo al 1996 l'Italia aveva uno dei più alti tassi di motorizzazione e di densità di motoveicoli su strada, rispetto ad altri paesi industrializzati.

	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Ferrovie dello Stato	44.709	43.859	44.782	43.591	41.392	40.971	43.700	46.675
Ferrovie in concess.	2.780	2.792	2.792	3.001	2.852	2.878	2.439	2.675
Tram urbani	1.576	1.136	1.236	1.185	1.090	1.024	1.071	1.040
Tram extraurb.	53	46	45	53	52	48	50	50
Metro urbani	2.580	4.085	4.067	4.146	4.133	4.167	4.277	4.335
Funicolari	19	26	26	35	28	28	32	34
Funivie	242	275	295	302	299	298	303	301
Autolinee urbane	11.616	10.350	10.446	10.597	10.515	10.778	10.939	11.168
Autolinee extraurb.	17.505	16.829	17.261	17.360	17.021	17.632	17.867	18.058
Autobus extraurb.	54.834	59.968	61.029	62.046	63.077	64.116	65.150	66.623
Autovetture private	522.593	614.713	627.383	638.837	662.545	663.319	665.206	666.366
di cui: ambito urbano	161.000	209.000	208.000	210.000	217.000	218.000	220.000	221.000
Motocicli	60.124	59.882	61.063	62.913	63.996	65.512	66.931	68.350
Navigaz. interna	483	420	425	448	446	435	450	455
Navigaz. marittima	2.404	2.247	2.560	3.297	3.307	3.832	4.224	4.615
Navigaz. aerea	6.416	7.108	7.871	8.841	8.974	9.345	10.384	10.035
TOT. Generale	727.934	823.689	841.234	856.605	879.727	884.383	892.999	900.865

\*Milione di passeggeri-chilometro: unità di misura per indicare 1 milione di passeggeri trasportati per la distanza di 1 km

Fonte: Conto Nazionale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Anno 2001, APAT

**Tabella 3.1.2**

### 3.2 Emissioni dal settore dei trasporti

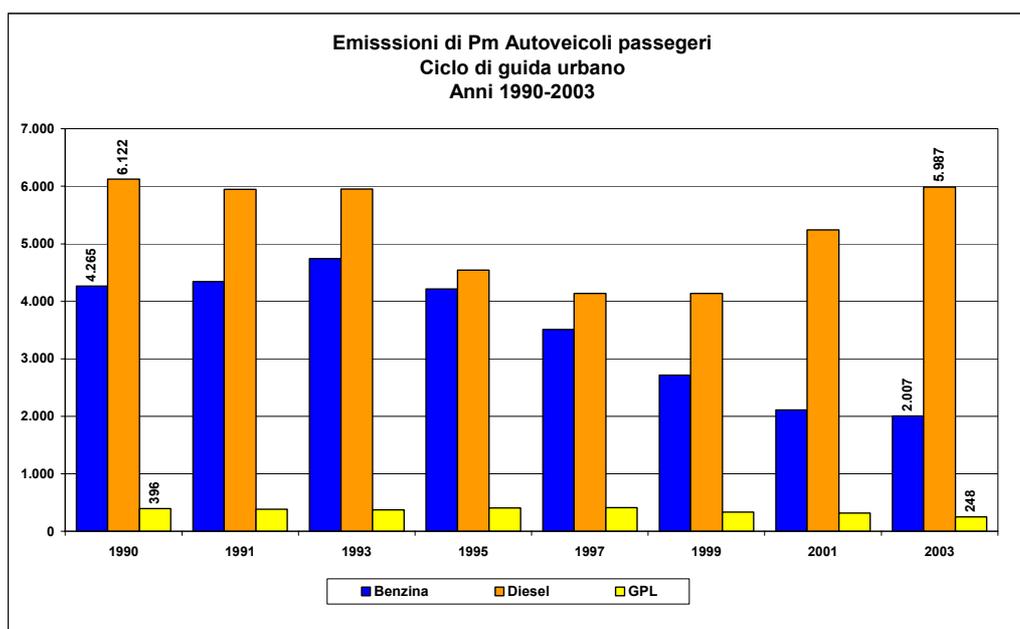
I veicoli circolanti rappresentano una variabile fondamentale utilizzata per stimare l'influenza sulla qualità dell'aria dovuta alla quantità di emissioni inquinanti prodotte.

La mobilità è caratterizzata dall'uso prevalente del mezzo proprio, con la maggioranza di auto alimentate a benzina. Il motore diesel è l'unico tipo di propulsore adottato per i veicoli pesanti, mentre la diffusione negli autoveicoli leggeri sta crescendo negli anni perché le peculiari caratteristiche del motore diesel, progressivamente migliorate dai costruttori lo hanno reso competitivo con quello a benzina. Nella tabella seguente benché il motore a benzina resti quello di gran lunga superiore, si nota il trend crescente della tipologia a gasolio.

Tipologia di carburante		2001	2002	2003	2004
<b>Autovetture</b>	Benzina	26.073.783	25.758.674	25.521.673	24.100.251
	Gasolio	5.541.902	6.403.624	7.433.143	8.572.272
	Altro	1.623.344	1.543.855	1.335.630	1.300.624
	<b>Totale</b>	<b>33.239.029</b>	<b>33.706.153</b>	<b>34.310.446</b>	<b>33.973.147</b>

Fonte ACI 2004

Il trasporto, soprattutto quello su strada, è un'importante fonte di produzione di ossidi di carbonio (CO e CO<sub>2</sub>), di azoto (NO<sub>x</sub>), di zolfo (SO<sub>x</sub>) e di idrocarburi incombusti (COV). Dagli autoveicoli a gasolio viene, inoltre, emesso il particolato, molto pericoloso quando la dimensione dei suoi componenti scende al di sotto di 10 micron. Si vedano da tabella 3.2.1 le emissioni di PM attribuite alle autovetture passeggeri



**Tabella 3.2.2. Emissioni di PM attribuite alle autovetture passeggeri. Anni 1990-2003**

*Elaborazione ENEA su dati APAT*

### 3.3 Emissioni da altre tipologie di sorgenti

Le tipologie di sorgenti che interagiscono con l'ambiente urbano e che ne influenzano la qualità dell'aria dipendono caso per caso con la vicinanza di queste all'area urbana e da molti altri fattori, quali la geomorfologia, le condizioni meteorologiche, fattori demografici e di una urbanizzazione e via dicendo. Volendo solo dare una breve occhiata all'importanza del settore dei trasporti nel computo complessivo dei contaminanti emessi, si osservino delle tabelle elaborate dall'AOP con previsioni che a partire dal 1995 arrivano fino al 2020.

Sector	Emissions in kt						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agriculture	341	315	289	263	237	237	237
Combustion: energy	2757	2396	2035	1673	1312	1312	1312
Combustion: industry	811	795	779	764	748	748	748
Combustion: non-industry	571	584	596	608	620	620	620
Fuel extraction	0	0	0	0	0	0	0
Other mobile	1771	1695	1619	1544	1468	1468	1468
Process	708	692	676	661	645	645	645
Road transport	5865	5131	3925	2678	1631	1157	985
Solvent	0	0	0	0	0	0	0
Waste	0	0	0	0	0	0	0
EU15	12824	11608	9920	8190	6661	6188	6015
Reduction from 1995	-10%	0%	15%	29%	43%	47%	48%



Tab.3.3.1 Emissioni di NOx per settore dal 1990 al 2020.

Sector	Emissions in kt						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agriculture	96	98	99	100	101	101	101
Combustion: energy	10110	5992	4391	3504	2134	2134	2134
Combustion: industry	2240	1063	834	831	774	774	774
Combustion: non-industry	1281	794	632	574	345	345	345
Fuel extraction	671	359	271	281	300	300	300
Other mobile	323	188	176	179	197	197	197
Process	1148	1102	1001	974	948	948	948
Road transport	127	143	85	18	18	18	18
Solvent	0	0	0	0	0	0	0
Waste	0	0	0	0	0	0	0
EU15	15996	9739	7489	6460	4817	4817	4817
Reduction from 1995	-64%	0%	23%	34%	51%	51%	51%



Tab.3.3.2 Emissioni di SO<sub>2</sub> per settore dal 1990 al 2020.

Sector	Emissions in kt						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agriculture	579	573	567	561	555	550	544
Combustion: energy	651	690	728	787	808	866	923
Combustion: industry	3398	3086	3138	3108	3013	2941	2919
Combustion: non-industry	6775	5892	5901	5919	5962	5970	5953
Fuel extraction	61	60	59	59	58	58	57
Other mobile	1924	1905	1886	1866	1847	1828	1809
Process	2622	2596	2569	2543	2517	2491	2465
Road transport	31362	26372	19280	12662	8407	5973	5048
Solvent	1	1	1	1	1	1	1
Waste	2755	2728	2700	2672	2645	2617	2590
EU15	50126	43903	36829	30180	25815	23294	22308
Reductions from 1995	-14%	0%	16%	31%	41%	47%	49%



Tab.3.3.3 Emissioni di CO per settore dal 1990 al 2020

Sector	Emissions in kt						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agriculture	23	23	24	24	25	25	25
Combustion: energy	461	437	414	390	366	366	366
Combustion: industry	414	373	333	293	252	252	252
Combustion: non-industry	481	436	391	346	301	301	301
Fuel extraction	0	0	0	0	0	0	0
Other mobile	25	24	24	23	23	23	23
Process	467	454	441	428	415	415	415
Road transport: Diesel exhaust	229	245	177	115	67	47	43
Road transport: Gasoline exhaust	88	68	36	34	35	37	40
Road transport: Non exhaust	33	41	47	53	58	63	68
Solvent	0	0	0	0	0	0	0
Waste	100	77	53	29	6	6	6
EU15	2322	2179	1939	1736	1548	1535	1538
Change from 1995	-7%	0%	11%	20%	29%	30%	29%



Tab.3.3.4 Emissioni di PM<sub>10</sub> per settore dal 1990 al 2020

Sector	Emissions in kt						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agriculture	101	101	101	101	101	101	101
Combustion: energy	252	244	236	228	220	220	220
Combustion: industry	51	54	57	61	64	64	64
Combustion: non-industry	655	654	652	650	649	649	649
Fuel extraction	1018	910	803	695	588	588	588
Other mobile	752	710	668	626	584	584	584
Process	776	824	872	920	968	968	968
Road transport	5415	4378	2828	1522	804	600	566
Solvent	4157	3861	3565	3269	2973	2973	2973
Waste	84	85	86	87	88	88	88
EU15	13261	11821	9869	8160	7040	6835	6802
Change from 1995	-12%	0%	17%	31%	40%	42%	42%

Tab.3.3.5 Emissioni di COV per settore dal 1990 al 2020

Sector	Emissions in kt						
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Agriculture	3	3	3	3	3	3	3
Combustion: energy	9	9	9	8	8	8	8
Combustion: industry	2	2	2	2	2	2	2
Combustion: non-industry	24	24	24	24	24	24	24
Fuel extraction	2	2	2	1	1	1	1
Other mobile	25	24	22	21	19	19	19
Process	17	18	19	20	21	21	21
Road transport	200	163	79	42	23	17	16
Solvent	0	0	0	0	0	0	0
Waste	5	5	5	5	5	5	5
EU15	288	249	165	127	108	101	100
Reductions in total over 1995	-16%	0%	34%	49%	57%	59%	60%

Tab.3.3.6 Emissioni di C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> per settore dal 1990 al 2020

### 3.4 Emissioni di Biossido di Carbonio e di altri gas serra

Il Protocollo di Kyoto entrato in vigore nel 1997, prevede che i paesi più industrializzati riducano le loro emissioni di gas serra, tra cui il più importante è la CO<sub>2</sub>.

Il contributo del traffico all'effetto serra è rappresentato nelle tabelle seguenti. In Tab 3.4.1. sono dati i valori di alcuni gas serra (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) negli anni dal 1990 al 2000, il tutto espresso in Mt CO<sub>2</sub> eq. e Valori %.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Anidride carbon.	100,5	102,7	106,8	108,8	108,4	110,3	111,6	114,2	117,8	119,0	119,9
Metano	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8
Protoss. di azoto	2,0	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3	3,5	3,6
TOTALE	103,4	105,6	109,8	112,0	111,8	113,9	115,4	118,1	122,0	123,4	124,3
%											
Passeggeri	64,8	66,0	66,1	68,1	69,4	68,6	68,8	67,9	67,9	67,6	67,0
Merci	31,6	30,4	30,5	28,7	27,6	28,5	28,0	28,9	29,0	29,6	30,1
Altro (a)	3,6	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	3,2	3,2	3,1	2,8	2,9
TOTALE	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Strada	94,4	94,9	95,1	95,3	95,5	95,6	95,1	95,0	95,1	95,1	94,8
Altri modi	5,6	5,1	4,9	4,7	4,5	4,4	4,9	5,0	4,9	4,9	5,2
TOTALE	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

(a) Pubblica Amministrazione (P.A.) e nautica  
Fonte: APAT

**Tab 3.4.1 Valori di alcuni gas serra (CO<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) negli anni dal 1990 al 2000**

Il contributo del settore trasporti sui gas serra, rispetto altri settori è rappresentato nella tabella seguente:

Macrosettori	Valori assoluti 2002							
	CH <sub>4</sub> (t)		CO <sub>2</sub> (t)		N <sub>2</sub> O (t)		CO <sub>2</sub> eq. (t)	
Centr. Elettriche Pubbl., Cogeneraz., Telerisc.	113	0%	7.469.200	23%	3.871	46%	8.671.660	22%
Combustione - Industria	224	0%	7.983.900	25%	590	7%	8.161.830	21%
Trasporti Stradali	1.932	1%	6.674.100	21%	881	11%	7.023.448	18%
Combustione - Riscaldamento civile e terziario	1.323	1%	5.018.900	16%	413	5%	4.782.837	12%
Estrazione, distribuzione combustibili fossili	28.477	13%	1.852.600	6%	0	0%	2.450.587	6%
Processi Produttivi	730	0%	1.215.500	4%	0	0%	1.230.805	3%
Altre Sorgenti Mobili	34	0%	1.036.100	3%	192	2%	970.939	3%
Trattamento e Smaltimento Rifiuti	150.159	66%	576.000	2%	13	0%	3.733.368	10%
Natura	727	0%	57.700	0%	11	0%	76.391	0%
Uso di solventi	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Agricoltura e Allevamenti	42.953	19%	0	0%	2.396	29%	1.644.714	4%
TOTALE	226.673		31.884.000		8.367		38.746.580	

**Tab. 3.4.2** Quadro regionale dell'inventario delle emissioni IRSE. Macrosettori di provenienza delle emissioni regionali di gas ad effetto serra, in ordine di importanza.

In molti settori, specialmente in quelli a sorgente fissa, le emissioni di gas serra stanno calando. Nel settore energetico ad esempio i limiti di legge sono più severi, le tecnologie di abbattimento sono più efficienti, i controlli del rispetto delle regole sono frequenti e facili da operare; mentre il settore dei trasporti è quello che nei prossimi anni causerà un incremento di emissioni consistente. Come è stato già detto ciò è dovuto all'aumento delle percorrenze complessive, all'aumento del numero dei

veicoli ed anche ad un relativo aumento delle cilindrata all'interno di ciascuna classe nei modelli di più recente immatricolazione. Si veda elaborazione seguente.

Macrosettori	CO <sub>2</sub> eq (t)				variazione %
	1990	1995	2000	2002	1990 - 2002
Centr. Elettriche Pubbl., Cogeneraz., Telerisc.	10.225.126	10.546.732	9.943.060	8.671.660	-15,2
Combustione Riscaldamento civile e terziario	4.434.815	4.600.211	4.701.137	4.782.837	+7,8
Combustione - Industria	7.275.527	7.546.655	8.205.830	8.161.830	+12,2
Processi Produttivi	867.973	901.329	1.230.805	1.230.805	+41,8
Estrazione, distribuzione combustibili fossili	2.380.652	2.449.863	2.465.287	2.450.587	+2,9
Uso di solventi	0	0	0	0	
Trasporti Stradali	5.970.538	6.192.615	6.870.348	7.023.448	+17,6
Altre Sorgenti Mobili	1.023.164	1.058.734	970.939	970.939	-5,1
Trattamento e Smaltimento Rifiuti	2.728.945	2.743.753	3.733.368	3.733.368	+36,8
Agricoltura - Allevamenti	1.992.056	1.982.467	1.644.714	1.644.714	-17,4
Natura	56.804	58.315	76.891	76.391	+34,5
TOTALE	36.955.595	38.080.675	39.842.380	38.746.580	+4,8

**Tab. 3.4.3.** Quadro regionale dell'inventario delle emissioni IRSE. Stima delle emissioni di anidride carbonica CO<sub>2</sub> e dei due altri più importanti gas ad effetto serra, metano CH<sub>4</sub> e protossido di azoto N<sub>2</sub>O, per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2002.

### 3.5. La qualità dell'aria nelle maggiori città italiane

I dati ufficiali che risultano dai monitoraggi effettuati nelle principali città, mostrano una situazione di certo poco rassicurante; inoltre se si considerano i limiti verso cui dovremo tendere per le concentrazioni degli inquinanti da qui al 2010, è evidente che dovranno essere attuati interventi molto più radicali e soprattutto di natura più strutturale rispetto a quanto è stato fatto o annunciato sino ad ora.

In ben 8 città su 12 sono presenti una o più aree critiche – i cosiddetti hot spot – in cui tutti e tre gli inquinanti più problematici (biossido di azoto, PM<sub>10</sub> e ozono) superano in modo netto i valori limite per la protezione della salute umana. Venezia e Bari sono le uniche due città a rientrare nel limite di 50 µg/m<sup>3</sup> previsto per l'NO<sub>2</sub> relativamente al 2005, mentre a Genova, Roma, Firenze, Palermo e Bologna gli hot spot superano di oltre il doppio il valore obiettivo di 40 µg/m<sup>3</sup> che entrerà in vigore nel 2010. Solo Catania riesce a rimanere al di sotto del limite di 40 µg/m<sup>3</sup> previsto per il PM<sub>10</sub>. Nel corso del 2003 le concentrazioni di polveri sottili sono state particolarmente alte a Torino, Genova, Verona e Firenze dove in alcune aree critiche è stato superato di oltre il 50% il valore obiettivo di 40 µg/m<sup>3</sup> previsto per il 2005. Anche non concentrandosi solo sulle zone peggiori ma analizzando la media di tutte le centraline poste in area urbana la situazione è tutt'altro che incoraggiante. Soltanto Bari è a posto per entrambi i parametri di NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>. Per quanto riguarda l'ozono il

valore da raggiungere entro il 2010 prevede che la massima media mobile giornaliera sulle 8 ore delle concentrazioni di ozono possa superare i  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  25 volte al massimo in un anno, ma i superamenti sono spesso tripli o quadrupli rispetto al limite di legge e a Bari, Bologna, Palermo, Torino e Venezia si va anche oltre i 125 sforamenti.

La situazione è invece meno grave per il benzene: il valore limite di  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  è superato a Firenze e a Bari, mentre Torino e Napoli sfiorano l'obiettivo di  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  del monossido di carbonio. Insomma nel corso del 2003 nessuna grande città è risultata in regola con tutti gli inquinanti considerati. Se analizziamo la situazione dei capoluoghi di provincia italiani da cui si ha un quadro più approfondito a livello nazionale, si può notare come per alcuni inquinanti come  $\text{SO}_2$  e CO, la situazione sia ormai sotto controllo e i valori limite sono rispettati praticamente in tutte le città, mentre per altri inquinanti, in particolare le  $\text{PM}_{10}$  la situazione è ancora ben lontana da una soluzione.

Per quanto riguarda la  $\text{SO}_2$ , dai dati di Ecosistema Urbano 2005, Genova è l'unico comune che presenta uno sfornamento al limite annuo di  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  previsto dal DM 60/04/02. La forte riduzione di  $\text{SO}_2$  e in generale di  $\text{SO}_x$  è avvenuta a partire della metà degli anni 80 per effetto del miglioramento nella qualità del combustibile per la produzione energetica ed il riscaldamento e poi dai primi anni '90, con la comparsa sul mercato di carburanti con livelli sempre più bassi di zolfo.

#### **Evoluzione della qualità dei carburanti dal 1990**

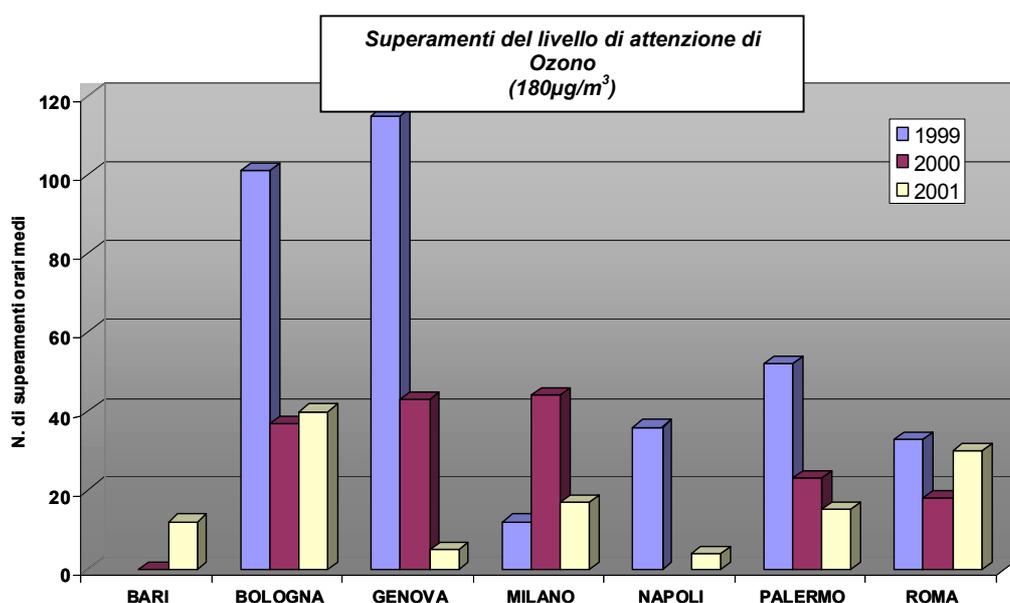
	1990	1994	1995	1998	2000	2005	2008
<b>Benzina</b>							
Zolfo ppm m/m	1000		500		150	50	10
<b>Gasolio</b>							
Zolfo ppm m/m	3000	2000	500		350	50	10

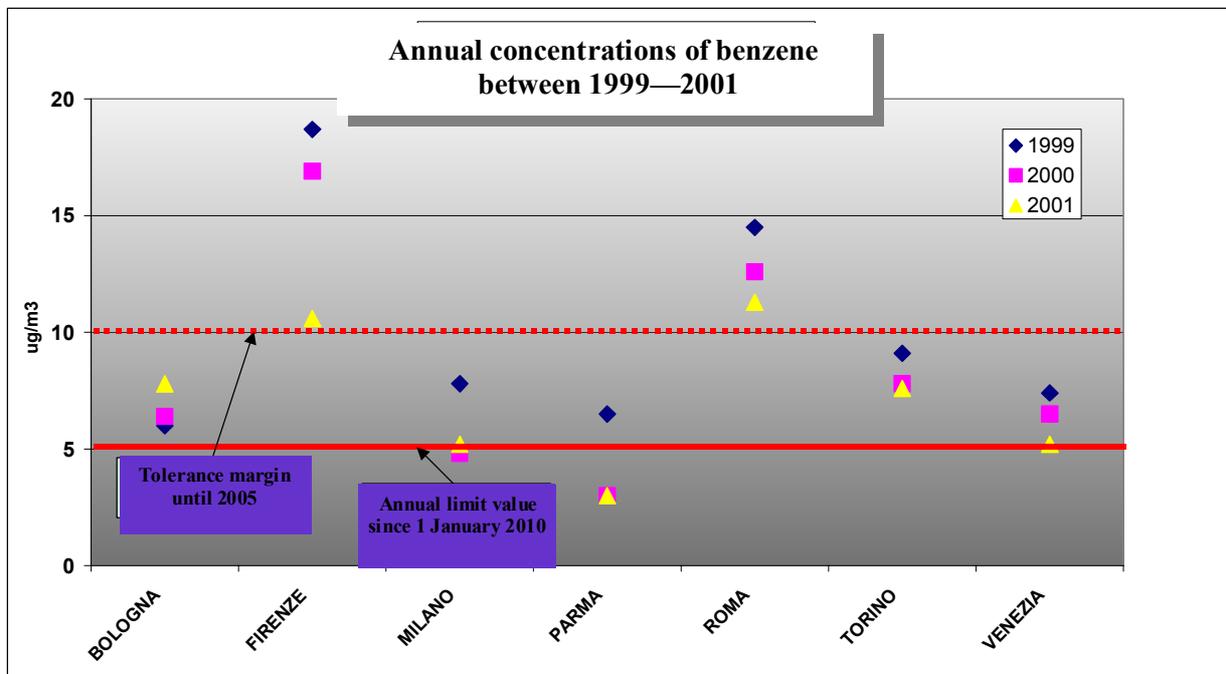
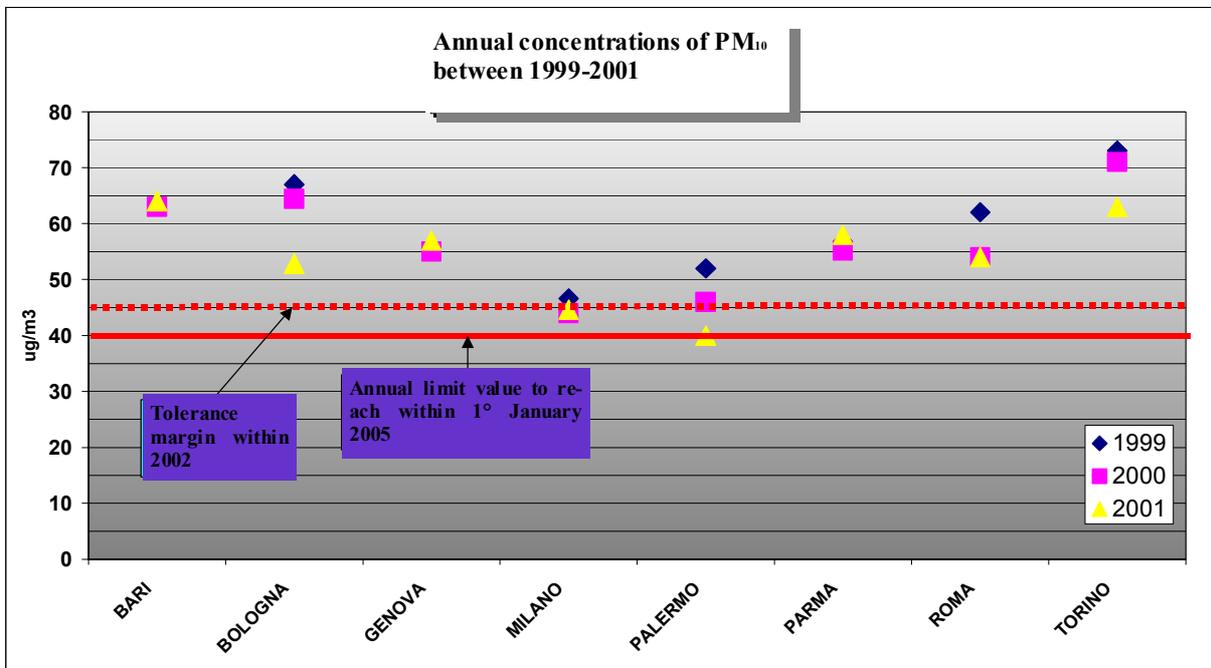
Questi fattori, insieme alla conversione delle caldaie per il riscaldamento domestico da olio combustibile a metano hanno invertito la tendenza all'aumento delle emissioni dei principali inquinanti presenti in ambiente urbano e in particolare quelle degli ossidi di zolfo ( $\text{SO}_x$ ) e di monossido di carbonio (CO). Gli alti valori di Genova sono verosimilmente da attribuire alla presenza della centrale ENEL a carbone e all'attività delle acciaierie di Cornigliano.

Per quanto riguarda gli  $\text{NO}_x$  nel 2003 i valori registrati dalle centraline all'interno dei capoluoghi di provincia testimoniano una situazione piuttosto critica. Infatti se prendiamo come riferimento l'attuale limite di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annua, su 77 città di cui sono disponibili i dati, 45 superano la soglia e ben 62 centri superano il valore obiettivo fissato per il 2010 di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Analizzando i superamenti orari, 17 comuni superano la soglia di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per più dei 18 giorni fissati per il 2010. Di questi due (Napoli e Perugia) superano tale limite di circa 10 volte.

Il fatto che le centraline considerate nel conto dei superamenti siano solo quelle che hanno lavorato per più del 60 % dei giorni influisce fortemente sulla sottostima del dato, in quanto i comuni di cui non sono pervenuti i dati o in cui il monitoraggio non abbia coperto più del 60 % dei giorni, non sono stati inclusi. Le polveri sottili e il PM<sub>10</sub> in particolare rappresentano ormai una criticità diffusa su tutto il territorio nazionale. I dati riferiti al 2003 evidenziano che il 53% dei comuni presenta livelli al di sopra del limite in vigore da quest'anno e tutti, eccetto Lecce, hanno un livello medio di polveri sottili superiore all'obiettivo fissato dalla normativa comunitaria per il 2010.

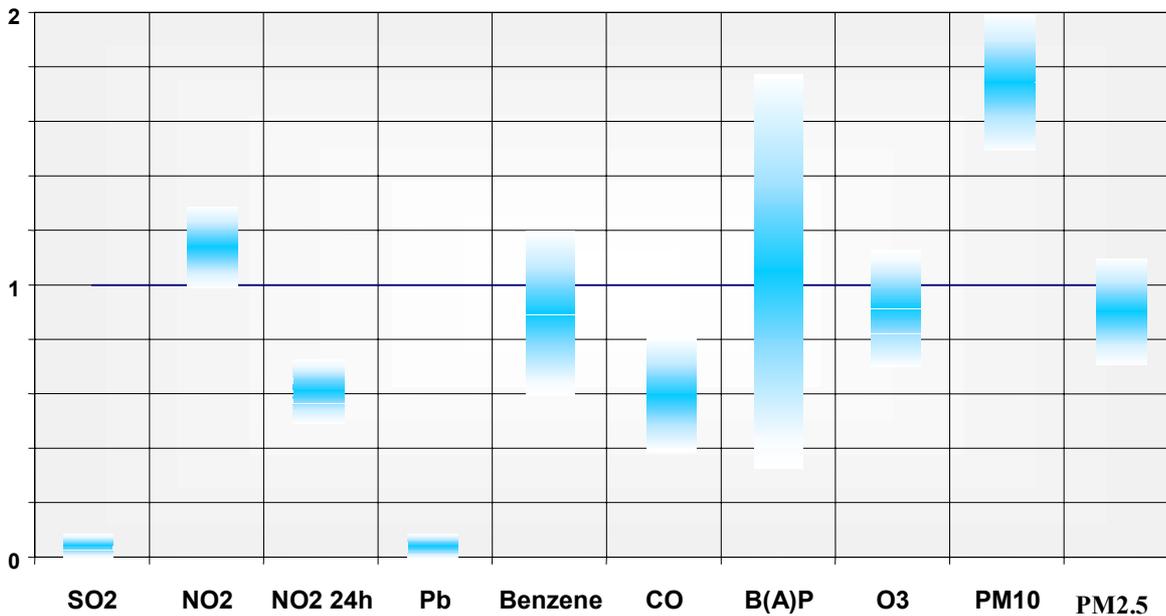
Dal 1° gennaio 2005 tutti i Comuni italiani devono obbligatoriamente rispettare la normativa europea sulle polveri fini nell'aria che impone un tetto massimo di 35 superamenti l'anno della media giornaliera di 50 µg/m<sup>3</sup>. La prospettiva, dati i valori attuali registrati, è che nessuna grande città italiana riuscirà a rientrare nei limiti stabiliti dalla normativa europea, a partire dall'anno in corso, se non verranno prese misure adeguatamente restrittive. I dati relativi all'ozono sono pervenuti da 68 dei 103 capoluoghi di provincia. Tutti, tranne Torino e Vercelli, sono stati classificati in relazione ai valori obiettivo stabiliti dalla direttiva europea del 2002. Il valore da raggiungere entro il 2010 prevede che la massima media mobile giornaliera sulle 8 ore delle concentrazioni di ozono possa superare i 120 µg/m<sup>3</sup> per un massimo di 25 volte in un anno. Il limite è superato in oltre il 65% dei casi, ovvero in 43 comuni se consideriamo la media giornaliera e in 44 se consideriamo il peggior valore medio registrato. Il numero dei superamenti è addirittura triplo o quadruplo rispetto al valore di riferimento per il 30 % circa di questi, se consideriamo la media calcolata su tutte le centraline presenti sul territorio comunale, mentre si arriva quasi al 50% se consideriamo il peggior valore medio annuo registrato da una centralina.





## Forecast of air quality at Rome by 2010

Ratio concentrations / CE limits



### 3.6 L'influenza della meteorologia nella qualità dell'aria

L'inquinamento atmosferico dei grandi centri urbani viene determinato principalmente da due fattori: l'intensità delle emissioni di inquinanti e la situazione meteorologica, ove si intende la presenza di condizioni climatiche tali da impedire il rimescolamento dell'atmosfera. Questi fenomeni di stagnazione sono molto comuni nelle aree urbane italiane e portano all'instaurarsi di concentrazioni di inquinanti molto elevate, spesso superiori ai limiti stabiliti.

E' da sottolineare che i fenomeni meteorologici influenzano, in misura diversa, tutti i meccanismi di formazione ora descritti per cui la sua importanza risulta fondamentale in particolare quando si vuole confrontare la situazione emissiva di una località rispetto ad un'altra. In altri termini, la riduzione percentuale delle emissioni in una certa area urbana potrebbe fornire risultati pratici molto differenti rispetto ad una altra area proprio a causa della diversa natura ed intensità dei fenomeni meteorologici di stagnazione dell'atmosfera che possono esistere in un sito o nell'altro.

Nel caso in cui le inversioni termiche siano molto numerose, allora anche emissioni molto ridotte possono dare luogo a concentrazioni di inquinanti molto rilevanti.

La comprensione dei fenomeni meteorologici aiuta a comprendere alcune dinamiche dell'inquinamento nelle grandi città, come nel caso dell'inquinamento da biossido di azoto e di ozono orientando quindi le scelte tecniche per la riduzione degli inquinanti.

La genesi di un evento di inquinamento atmosferico, ovvero di una situazione in cui una o più classi di inquinanti raggiungono un livello di concentrazione sensibilmente più elevato dei valori tipici del

periodo oppure dei valori limite stabiliti dalla legislazione, è il risultato di un complesso processo di interazione fra chimica e meteorologia. La concentrazione di una specie inquinante in atmosfera dipende, infatti, non solo dal tasso di emissione dalle sorgenti, dalla velocità delle eventuali trasformazioni chimico-fisiche e dalla velocità di deposizione, ma anche dalla possibilità di diluizione negli strati atmosferici più vicini al suolo. La conoscenza delle dinamiche di rimescolamento dello strato limite costituisce un'informazione basilare, cui spesso non viene attribuita la necessaria importanza, per l'interpretazione di qualsiasi evento di inquinamento atmosferico, sia relativo agli inquinanti primari che al materiale particolato o agli inquinanti foto-ossidativi. Appare quindi particolarmente importante disporre di uno strumento diagnostico in grado di individuare le situazioni di scarso rimescolamento atmosferico, che fatalmente conducono ad un incremento della concentrazione degli inquinanti e ad un peggioramento della qualità dell'aria.

La valutazione delle proprietà di rimescolamento della bassa atmosfera può essere effettuata mediante la misura della radioattività naturale dovuta ai prodotti di decadimento a vita breve del Radon, gas radioattivo e chimicamente inerte che viene emesso dal sottosuolo con un flusso che si può considerare costante nella scala spazio-temporale dei fenomeni che ci si propone di valutare. La concentrazione atmosferica della progenie del Radon è strettamente dipendente dal potere di diluizione dell'atmosfera e la misura della radioattività naturale consente di acquisire informazioni sul grado di rimescolamento degli strati atmosferici a contatto del suolo: in caso di rimescolamento convettivo o di avvezione l'accumulo di Radon nello strato limite è ostacolato e quindi il valore della radioattività naturale è basso e con piccole modulazioni; in caso di stabilità atmosferica l'accumulo di Radon è invece favorito ed il valore della radioattività naturale cresce rapidamente fino a raggiungere valori elevati. La misura della radioattività naturale consente dunque di distinguere le variazioni nella concentrazione degli inquinanti che dipendono da variazioni nei tassi di emissione e/o trasformazione da quelle che dipendono invece da variazioni nel volume di aria disponibile per la diluizione. Tale metodica è molto consolidata e si è rivelata particolarmente utile per l'interpretazione dei fenomeni di inquinamento atmosferico.

In figura 3.6.1 è mostrata, ad esempio, la variazione nell'arco di un mese (mesi di gennaio e di luglio 2004) della media giornaliera della concentrazione di benzene misurata in una stazione di traffico della città di Roma (grafici superiori). La variazione della radioattività naturale nel corso degli stessi mesi, misurata in continuo su periodi di integrazione di due ore presso la stazione di fondo urbano di Roma, è mostrata nei due grafici intermedi. Si può notare come il mese di gennaio sia stato caratterizzato dall'alternanza di periodi di scarso rimescolamento, anche diurno, (giorni 2, 5-8, 16, 25-27, 31) e di periodi con prevalenza di fenomeni avvevativi (giorni 1, 3-4, 22, 24, 28, 30). I periodi del primo tipo sono riconoscibili da valori elevati della radioattività naturale sia notturni

che, soprattutto, diurni, mentre durante i periodi avvevivi la radioattività naturale assume valori costantemente bassi. Il grafico della radioattività naturale relativo al mese di luglio mostra invece il tipico andamento regolare dei mesi estivi, con valori elevati durante la notte (stabilità) e valori ridotti durante le ore diurne (rimescolamento convettivo). Nei due grafici inferiori sono riportati i valori degli Indici di Stabilità Atmosferica, calcolati mediante un algoritmo che prende in considerazione valori e derivate temporali della radioattività durante periodi della giornata particolarmente critici per l'insorgenza di episodi di inquinamento primario. Gli Indici di Stabilità Atmosferica mostrano in maniera più chiara come lo scarso rimescolamento atmosferico, soprattutto durante le ore diurne, sia responsabile dell'incremento della concentrazione degli inquinanti. Le concentrazioni più alte di benzene si registrano infatti durante i giorni 2, 7, 8, 9, 16, 31 del mese di gennaio, caratterizzati da un valore elevato dell'Indice di Stabilità Atmosferica.

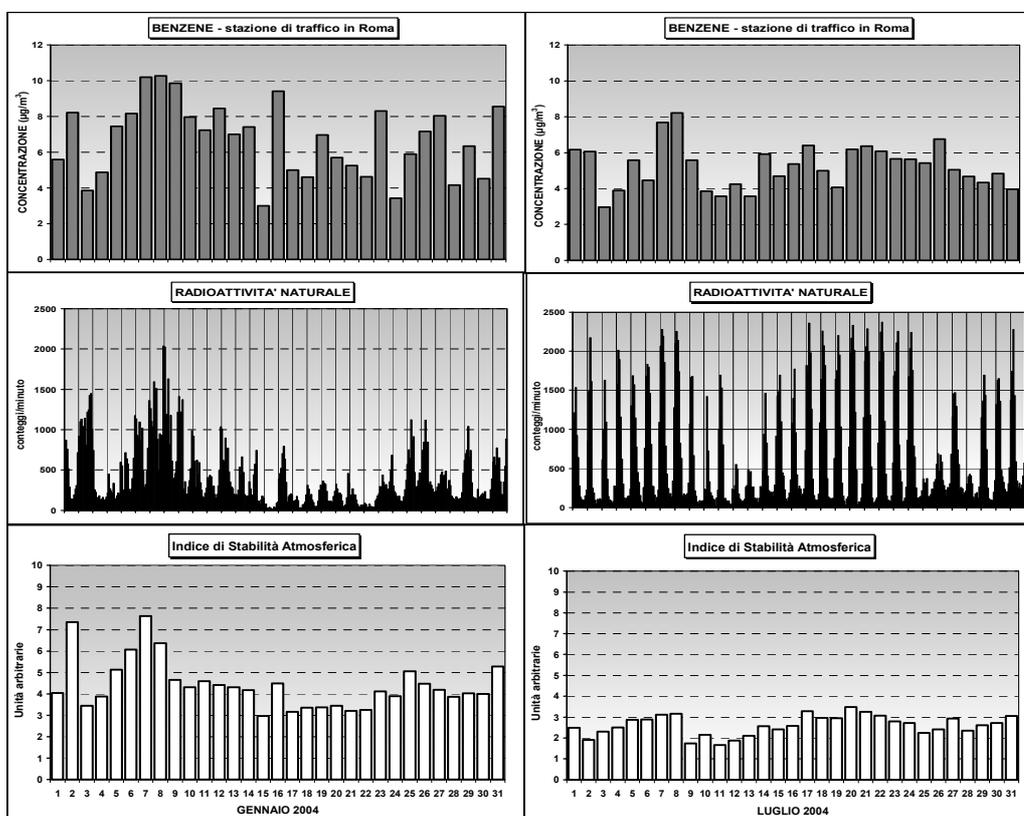


Figura 3.6.1: Concentrazione media giornaliera di benzene in una stazione di traffico della città di Roma, radioattività naturale in Roma ed Indici di Stabilità Atmosferica relativi ai mesi di gennaio e luglio 2004.

Il ruolo fondamentale giocato dal rimescolamento atmosferico nella genesi e nell'entità degli eventi di inquinamento atmosferico comporta conseguenze rilevanti sulla dislocazione geografica di tali eventi. Le aree più sfavorite dal punto di vista meteorologico (sul territorio italiano, la pianura padana, in ambito europeo i Paesi dell'area Mediterranea) sono infatti soggette, considerando analoghi livelli emissivi, a più frequenti e più importanti superamenti dei limiti di concentrazione

imposti dalla legislazione. Per lo stesso motivo, gli effetti dei provvedimenti di riduzione delle emissioni sono anch'essi dipendenti in larga parte dalla situazione meteorologica del periodo.

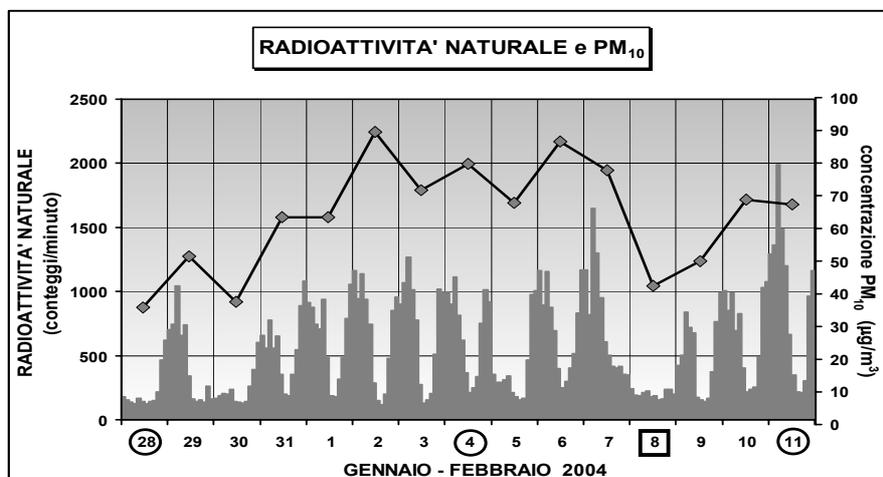


Figura 3.6.2: Radioattività naturale e concentrazione di PM<sub>10</sub> a Roma (stazione di traffico) durante un periodo invernale del 2004 comprendente tre pomeriggi a targhe alterne (28/1, 4/2 ed 11/2, dalle ore 15:00 alle ore 21:00) ed una domenica di blocco del traffico (8/2, dalle ore 10:00 alle ore 17:00).

In figura 3.6.2, ad esempio, è riportato l'andamento della radioattività naturale a Roma durante il periodo 28 gennaio – 11 febbraio 2004, periodo in cui nella città sono stati messi in atto provvedimenti di contenimento delle emissioni da traffico autoveicolare (circolazione a targhe alterne dalle ore 15:00 alle ore 21:00 del 28 gennaio, 4 ed 11 febbraio, blocco della circolazione dalle ore 10:00 alle ore 17:00 dell'8 febbraio). Il grafico mostra chiaramente come i giorni 28 gennaio e 8 febbraio siano stati caratterizzati da condizioni di buon rimescolamento dell'atmosfera, il che ha consentito di mantenere la concentrazione di PM<sub>10</sub> al di sotto dei 50 ug/m<sup>3</sup> anche nelle stazioni orientate al traffico. Nei giorni 4 ed 11 febbraio, invece, l'andamento della radioattività naturale indica un rimescolamento atmosferico scarso durante le ore notturne e limitato anche durante le ore diurne. In queste condizioni meteorologicamente sfavorevoli, nonostante la riduzione del traffico autoveicolare dovuta ai provvedimenti di limitazione, la concentrazione di PM<sub>10</sub> ha ampiamente superato i 50 ug/m<sup>3</sup>. Questo esempio dimostra come gli effetti positivi di una riduzione delle emissioni possano essere ampiamente controbilanciati dagli effetti negativi dovuti ad una scarsa capacità di diluizione della bassa atmosfera.

Per valutare i possibili effetti della riduzione delle emissioni da traffico sui livelli di concentrazione del PM<sub>10</sub> è necessario, in primo luogo, considerare che gli inquinanti primari antropogenici costituiscono una porzione di PM<sub>10</sub> variabile fra il 15-20% alle stazioni di fondo urbano ed il 25-35% alle stazioni di traffico. A ciò si somma un 20-25% di componenti naturali

(specie di origine terrigena e aerosol marino), mentre il rimanente materiale particellare è costituito da composti secondari. Di conseguenza, i provvedimenti di limitazione del traffico, che agiscono prevalentemente sulla concentrazione dei primari, hanno un effetto sensibile sulla concentrazione di  $PM_{10}$  solo quando le condizioni di rimescolamento atmosferico sono scarse e quindi la concentrazione di inquinanti antropogenici primari nelle aree urbane raggiunge i valori massimi. Simulazioni numeriche relative all'anno 2004 consentono di effettuare le seguenti stime: se il flusso emissivo diminuisse del 20% per tutto l'anno e se tale diminuzione avesse un effetto sensibile (diminuzione del 20%) solo nei casi in cui la concentrazione di  $PM_{10}$  è superiore a  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la concentrazione media annuale ad una stazione di traffico diminuirebbe del 10%. Supponendo invece un effetto su tutti i casi in cui la concentrazione di  $PM_{10}$  è superiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , allora la concentrazione media annuale alla stazione di traffico diminuirebbe del 15%. Nelle stesse condizioni, alla stazione di fondo urbano, la diminuzione sarebbe in entrambi i casi trascurabile.

In conclusione, i fenomeni meteorologici sono, in ultima analisi, gli elementi principali che definiscono i livelli di inquinamento atmosferico. Di conseguenza, nel caso di superamento dei limiti, i siti caratterizzati da elevata stabilità atmosferica dovranno porre in essere interventi e piani di risanamento molto più pesanti e drastici di quelli prevedibili ed attuabili in zone nelle quali questi fenomeni si rivelano meno importanti. Ciò implica una modulazione degli interventi di contenimento delle emissioni legata principalmente all'area geografica di appartenenza. A causa di questa disparità appare opportuno iniziare a considerare possibili modulazione dei costi sociali ed economici degli interventi e, poiché non è possibile rivedere verso l'alto i limiti fissati dalla legislazione, iniziare a considerare queste differenze alla luce di possibili interventi di compensazione, siano essi sociali od economici.

### **3.7 Conclusioni**

Legate alla mobilità ci sono molti aspetti che la influenzano, il consumo energetico, le infrastrutture dedicate, l'impatto ambientale, la qualità della vita ecc. ecc. Uno dei problemi importanti legato alla mobilità sono l'emissione di inquinanti che sono la causa la maggior parte delle volte della cattiva qualità dell'aria nei centri urbani. L'Italia ha sempre avuto rispetto all'Europa carenza di infrastrutture, con conseguente impiego di mezzi su strada sia per il trasporto pubblico che merci. L'uso di mezzi privati in Italia continua a crescere più che negli altri paesi e tutto ciò si riflette in un aumento di quelli che saranno i contaminanti più preoccupanti nel prossimo futuro, quali polveri ed Ozono.

## 4. MISURE TECNICHE SUL TRASPORTO

### 4.1 Propulsori e carburanti

#### 4.1.1 Informazioni tecniche

L'organizzazione delle attività del GdL n.7, in coerenza con quelle della Commissione, si è basata su rapporti tecnici, audizioni, pubblicazioni, al fine di effettuare un'analisi critica e un esame tecnico rigoroso delle diverse soluzioni che possono condurre ad una riduzione degli inquinanti.

Si è iniziato con una valutazione della consistenza del parco veicolare italiano dalla quale è emerso che attualmente il numero della autovetture è di circa 34 milioni delle quali poco più del 70% alimentate a benzina ed il 25% a gasolio, i motocicli risultano essere circa 4,5 milioni, gli autobus circa 93.000, gli autocarri 4 milioni, i ciclomotori a seconda delle stime tra i 5 ed i 6 milioni, per un totale di circa 50 milioni di veicoli. Secondo stime Unrae, poi, il 75% del parco auto risulta catalizzato, 31,6% rispetta le direttive Euro 3 ed Euro 4, il 21,8% Euro 2, il 16,2% Euro 1.

#### CONSISTENZA DEL PARCO VEICOLARE ITALIANO (2004)

AUTOVETTURE:	33.973.147	71% circa (benzina) 25% circa (gasolio) 4% circa (altre alimentazioni)
MOTOCICLI	4.574.644	
AUTOBUS	92.874	
AUTOCARRI	4.015.612	
MOTOCARRI	342.739	
MOTRICI	142.809	
ALTRO	809.478	
CICLOMOTORI	4.881.823 (stima APAT anno 2003 <sup>1</sup> )	
<b>TOTALE</b>	<b>48.833.126</b>	

(Fonte ACI: *Annuario statistico 2005- Parco iscritto al PRA al 31 dicembre 2004*)

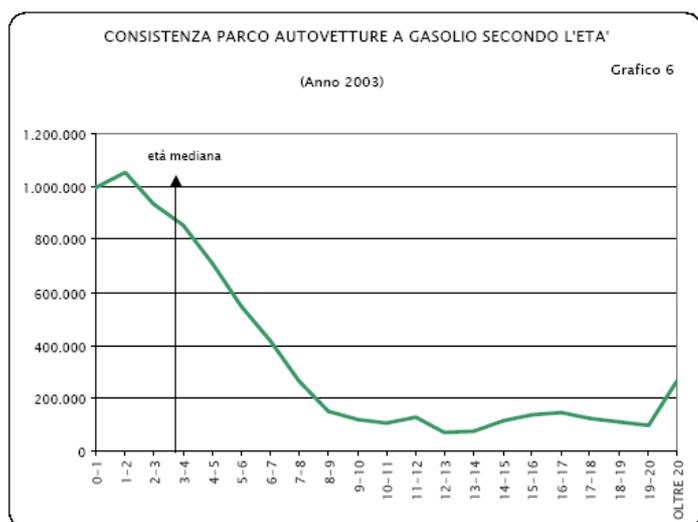
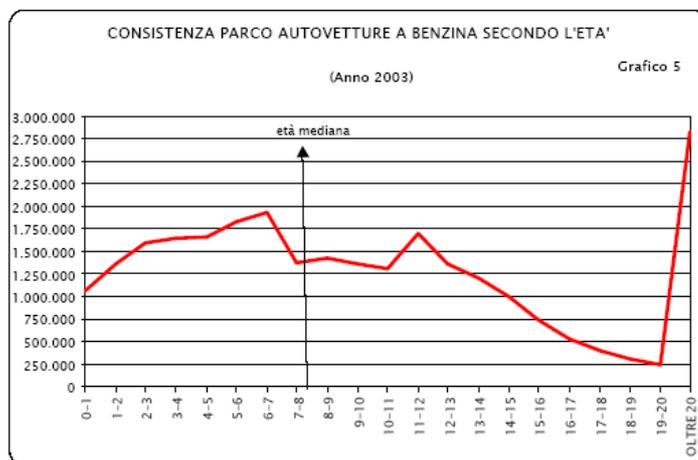
---

<sup>1</sup> I ciclomotori essendo sprovvisti di targa, non sono iscritti al PRA e ,quindi, non risultano nelle statistiche ufficiali dell'ACI.

Il contrassegno rilasciato dal Ministero dei Trasporti, il cosiddetto targhino, è un documento personale sganciato dal veicolo: si può possedere un contrassegno senza possedere un ciclomotore e si può avere un solo contrassegno e più di un ciclomotore. Per questo motivo è difficile stimare il numero dei ciclomotori esistenti ed è ancora più arduo stimare quelli che circolano. La stima APAT è forse la più attendibile.

### **Consistenza parco auto secondo l'età**

L'età media delle autovetture circolanti è di poco inferiore ai 10 anni; in particolare, quelle a benzina evidenziano una età media più alta (circa 8,5 anni) rispetto alle autovetture diesel. Sono oltre 3 milioni le autovetture con più di 20 anni in Italia al 2003, tra quelle a benzina e a gasolio.



Le emissioni associate al traffico veicolare (generalmente classificate come exhaust e non exhaust) derivano da:

- emissioni allo scarico;
- emissioni evaporative (sono le emissioni dovute alle perdite evaporative che si verificano sia durante la marcia dei veicoli che durante le soste);
- emissioni dovute all'usura (freni, frizione, pneumatici e manto stradale)
- perdite di rifornimento;
- risospensione del particolato

I principali inquinanti emessi dai veicoli possono essere classificati come

INQUINANTI REGOLAMENTATI [generalmente espressi in g/km]:

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO), OSSIDI DI AZOTO (NO<sub>x</sub>), IDROCARBURI INCOMBUSTI (HC), PARTICOLATO CARBONIOSO (PM)

INQUINANTI IN CORSO DI REGOLAMENTAZIONE [g/km]:

ANIDRIDE CARBONICA (CO<sub>2</sub>)

INQUINANTI NON REGOLAMENTATI [generalmente espressi in mg/km]

ANIDRIDE SOLFOROSA (SO<sub>2</sub>BENZENE (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (VOC), ALDEIDI, PM<sub>10</sub>, PM<sub>5</sub>, PM<sub>2.5</sub>.....

INQUINANTI NON REGOLAMENTATI [generalmente espressi in µg/km]

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA) e NITRO-IPA

INQUINANTI NON REGOLAMENTATI [generalmente espressi in ng/km]

DIOSSINE (PCDD)

I meccanismi di formazione delle specie inquinanti durante il processo di combustione sono abbastanza differenti tra i motori ad accensione comandata (SI-benzina) e quelli ad accensione per compressione (Diesel). Per le due motorizzazioni sono richiesti diversi sistemi di post-trattamento dei gas di scarico:

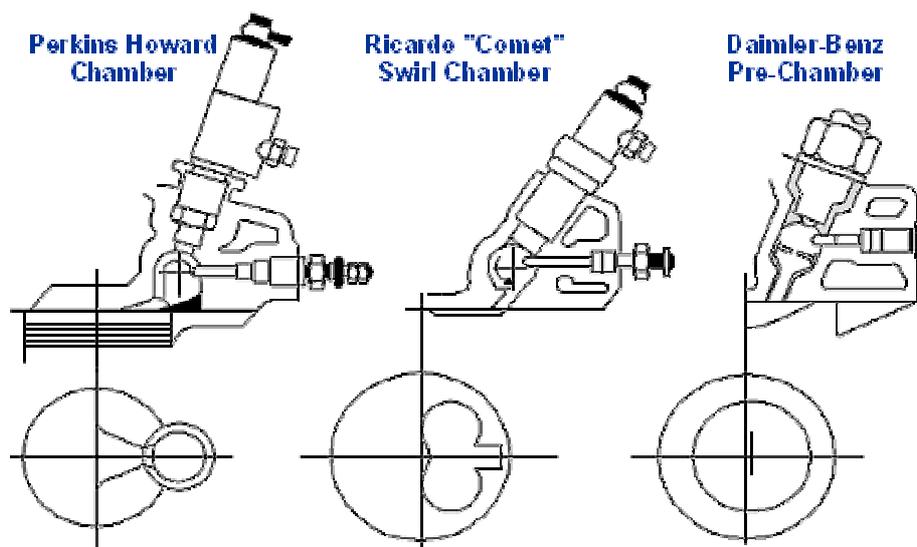
- catalizzatori ossidanti/riducenti per lo abbattimento di CO, HC e NO<sub>x</sub> in condizioni stechiometriche ( $\lambda=1$ ) per la motorizzazione ad accensione comandata,
  - catalizzatori ossidanti per la conversione di CO e HC, trappole per il particolato, sistemi per la riduzione degli ossidi di azoto, in condizioni di eccesso di aria ( $\lambda>1$ ) per la motorizzazione diesel.
- 
- o Nei motori a benzina la presenza dei catalizzatori trivalenti ha condizionato lo sviluppo del motore verso soluzioni migliorative del sistema integrato (motore+catalizzatore).
  - o Al contrario nei motori Diesel si è andati verso il miglioramento del sistema di combustione.

La ricerca nel campo della motorizzazione a benzina sta cercando di sviluppare tecnologie che permettano di ottenere una riduzione dei consumi senza un aumento delle emissioni, mentre nel

sette Diesel si studiano soluzioni per ottenere una riduzione delle emissioni ( $\text{NO}_x$  e PM) senza un aumento dei consumi (alta efficienza).

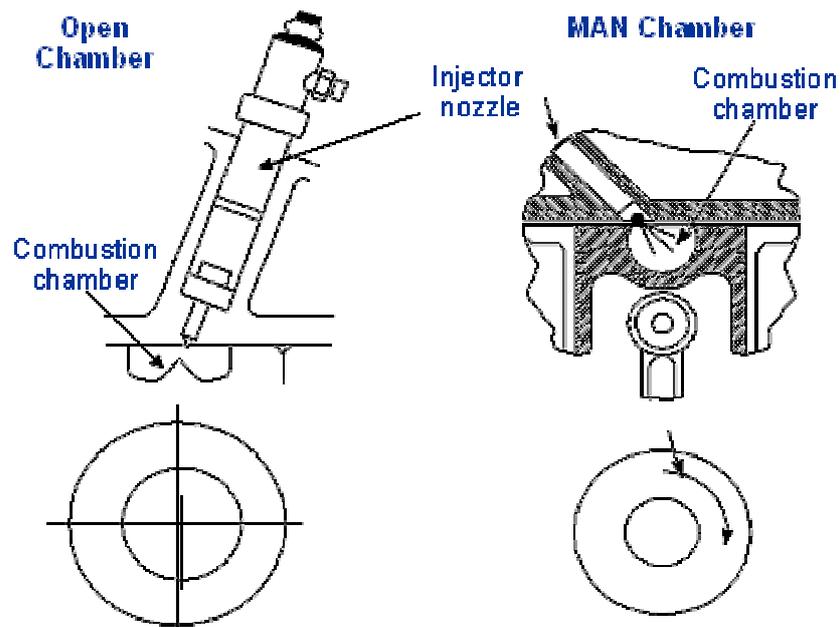
Riguardo ai motori diesel occorre distinguere due tipi base di motore diesel a quattro tempi; i motori a iniezione indiretta (IDI) e quelli a iniezione diretta (ID).

Nei motori a iniezione indiretta il combustibile è iniettato in una precamera collegata attraverso uno stretto passaggio alla camera principale di combustione. Una candele è generalmente installata nella precamera per assistere nella partenza a freddo dove lo spray di combustibile viene in contatto con la parte calda della candele e la combustione inizia in quel volume limitato. I prodotti gassosi fluiscono nella camera principale dove continuano il loro processo di ossidazione. La combustione nella precamera è così intensa e violenta da indurre turbolenza nella camera principale. Per questa ragione la pressione di iniezione negli IDI non deve essere troppo alta poiché il mixing dipende dall'energia cinetica dell'aria più che dall'atomizzazione del combustibile



Nei motori a iniezione diretta il combustibile è iniettato direttamente nella camera di combustione. La camera di combustione ha generalmente la forma di una vaschetta nella testa del pistone. L'energia dell'aria e del combustibile contribuiscono alla preparazione della miscela e quindi all'efficienza di combustione.

Quindi è importante la progettazione del sistema di combustione e la sua interazione con le caratteristiche dello spray di combustibile per ottimizzare non solo le performance del motore ma anche per minimizzare le emissioni. Poiché la preparazione della miscela in questo sistema di combustione dipende molto dall'energia cinetica dello spray, la pressione di iniezione e la geometria dei fori dell'iniettore (sia come diametro che lunghezza) sono molto importanti più che negli IDI.



I motori IDI hanno maggiori perdite di pompaggio e di calore a causa della presenza di precamera. D'altra parte gli IDI hanno minore rumore a causa della minore crescita in pressione così come della massima temperatura e pressione di combustione. Questo li ha resi ideali per le auto passeggeri dove il confort di guida è una priorità. Gli sviluppi nei sistemi di iniezione insieme al minor consumo hanno però reso possibile l'ingresso dei motori DI anche nella trazione leggera. In generale i motori DI hanno tra il 10 e 15% in meno di consumo rispetto agli IDI e per questa ragione molti dei nuovi motori Diesel sono esclusivamente a camera aperta ad iniezione diretta. La introduzione del sistema di iniezione common-rail sui motori DI ha portato un miglioramento nel rumore e a più basse emissioni di NOx. In confronto agli altri tipi di motori a combustione interna, il processo di combustione diesel produce basse emissioni di CO e HC e queste emissioni possono essere controllate in maniera relativamente semplice con catalizzatori ossidanti. La vera sfida nella progettazione degli attuali motori diesel è il rispetto per gli standard emissivi di NOx e PM, infatti entrambi questi inquinanti sono prodotti in quantità relativamente elevate nel processo di combustione del diesel.

Inoltre l'aspetto del controllo simultaneo di NOx e PM è reso ancora più complesso dal trade-off nel motore diesel. Molte tecniche di progettazione del motore che portano ad una riduzione del PM causano un incremento nelle emissioni di NOx e viceversa la diminuzione degli NOx generalmente incrementa il particolato.

Tra i principali inquinanti emessi dai veicoli diesel (inquinanti regolamentati, inquinanti in corso di regolamentazione, inquinanti non regolamentati), quello che suscita particolare interesse è il PM e le sue frazioni fini.

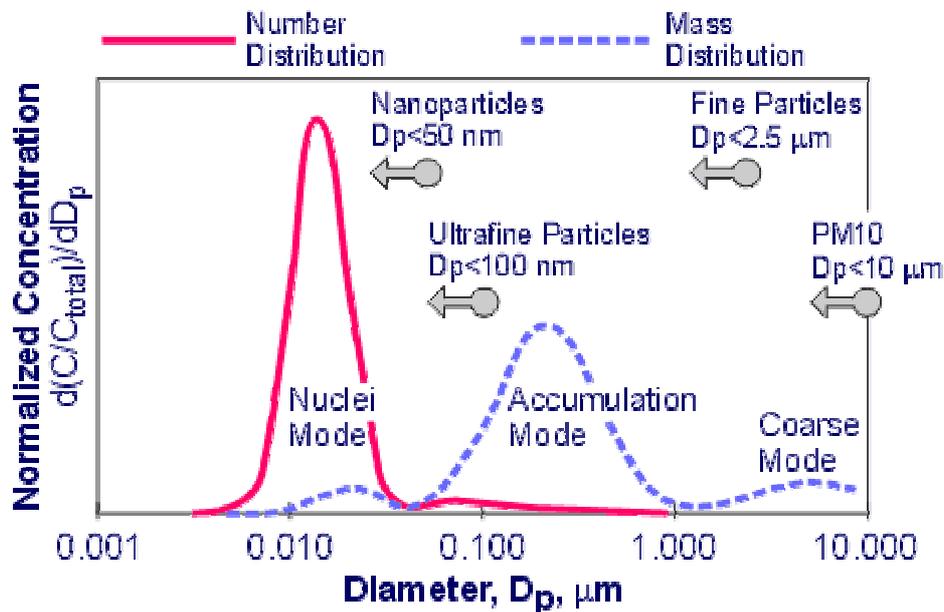
Il particolato diesel è composto da 3 frazioni principali:

- 1) carbonio elementare e cenere (solido-SOL),
- 2) frazione organica solubile (SOF),
- 3) Solfati (liquido SO<sub>4</sub>), acqua

Il particolato totale può quindi essere definito come:

$$PM = SOL + SOF + SO_4$$

Delle 3 frazioni la SOF è quella che riceve il maggior interesse da parte dei chimici e dei tossicologi, esso infatti è costituito da una grande varietà di sostanze organiche, tra le quali gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i loro nitroderivati (nitro-IPA), alcuni dei quali sono noti per la loro attività cancerogena e genotossica. La proporzione di SOF nel particolato totale può variare in maniera significativa tra i diversi tipi di motore. Particolati con poca SOF sono chiamati “secchi”, quelli con molta SOF “umidi”. In un particolato umido la SOF può costituire più del 50% del particolato, indicando un assorbimento di idrocarburi sulla superficie del particolato. Tipicamente il contenuto di SOF è più elevato a bassi carichi quando le temperature dei gas esausti sono basse. Durante le partenze a freddo si produce circa il 25% in più di SOF.

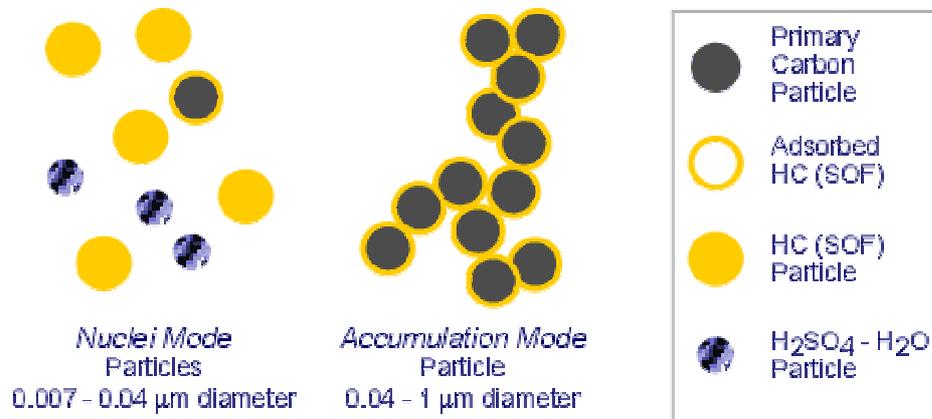


**Distribuzione dimensionale del particolato diesel**

Il particolato diesel ha una distribuzione dimensionale di tipo bimodale. E' una miscela di particelle in modalità NUCLEI e ACCUMULAZIONE. Le particelle in modalità NUCLEI sono molto piccole e il loro diametro varia tra 0.007 and 0.04 µm (micron), costituiscono la maggioranza in numero delle particelle (nell'ordine del 90%), ma solo qualche percento della massa di PM.

Queste particelle sono costituite da idrocarburi ed acido solforico idratato condensati che vengono formati da precursori gassosi al diminuire della temperatura nel sistema di scarico e dopo la

miscelazione con l'aria ambiente. Sono particelle molto instabili la cui concentrazione dipende fortemente dalle condizioni di diluizione dei gas di scarico, dal rapporto di diluizione e dal tempo di residenza.



Le particelle nella modalità di accumulo sono formate dalla agglomerazione delle particelle di carbonio e di altri materiali solidi insieme a gas assorbiti e vapori condensati. I diametri di queste particelle e variano tra 0.04 and 1 µm con un Massimo di concentrazione tra 0.1 and 0.2 µm.

#### 4.1.1.1 Gli standard di emissione

La misura delle emissioni allo scarico di veicoli deve essere effettuata definendo e tenendo sotto controllo una serie di parametri che la influenzano, in particolare devono essere definiti i seguenti parametri (standards):

- Limiti numerici (ad esempio, grammi per chilometro)
- Procedure di test
- Combustibili
- Condizioni ambientali
- Durata (vita utile)
- Verifica di mantenimento di requisiti (revisione).

#### 4.1.1.2 Perché sono importanti gli standard di emissione

Essi sono importanti in quanto spingono per l'applicazione di tecnologie ai nuovi veicoli. Le nuove tecnologie comprendono:

- Modifiche del motore;
- Convertitori catalitici;
- Sistemi di controllo elettronici;
- Filtri per il particolato;
- Assorbitori per gli NOx;

- Impianti avanzati;

Ad esempio nella bozza di proposta che la Commissione Europea sta elaborando per i futuri limiti Euro V per la trazione leggera viene richiesta una grande riduzione (80%) nella massa di particolato emessa dai motori diesel. Il rispetto di questo nuovo limite emissivo di fatto richiederà l'introduzione dei filtri per il particolato (DPF). D'altra parte la stessa proposta prevede solo una piccola riduzione (20%) per i NOx poiché ad oggi la tecnologia per la riduzione degli ossidi di azoto non è ancora matura.

Anche per i motori diesel utilizzati per la trazione pesante sono necessari valori limiti più bassi per il particolato e gli ossidi di azoto. Alcuni aspetti sono simili a quelli già descritti per la trazione leggera:

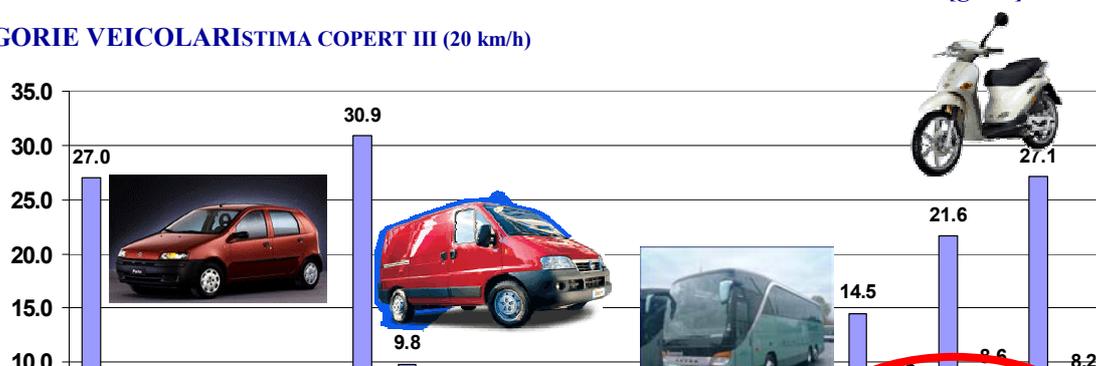
- I valori limiti devono essere indipendenti dal combustibile;
- E' necessario abbassare da subito il limite già previsto per gli NOx a 1 g/kWh per poi ulteriormente ridurlo con l'Euro VI a 0.5 g/kWh;
- Abbassare anche il limite Euro V per il particolato.
- Una riduzione della massa di particolato di un fattore di 10 permette di raggiungere l'obiettivo di protezione della salute umana, utilizzando trappole efficienti per la riduzione del particolato o tecnologie equivalenti.

Per la valutazione del contributo emissivo dei veicoli circolanti sono necessari i fattori di emissione valutati durante l'utilizzo reale del veicolo e non quelli ottenuti durante le prove di omologazione. Infatti i comportamenti di guida su strada differiscono da quelli seguiti durante l'effettuazione di cicli "studiati" per l'omologazione del veicolo.

I fattori di emissione più utilizzati in Europa sono quelli del database del programma di calcolo Copert III che fornisce i fattori di emissione "a caldo" in funzione della velocità media di spostamento del *veicolo*, la sovraemissione per la partenza "a freddo" ed il contributo evaporativo (per i soli veicoli a benzina)..

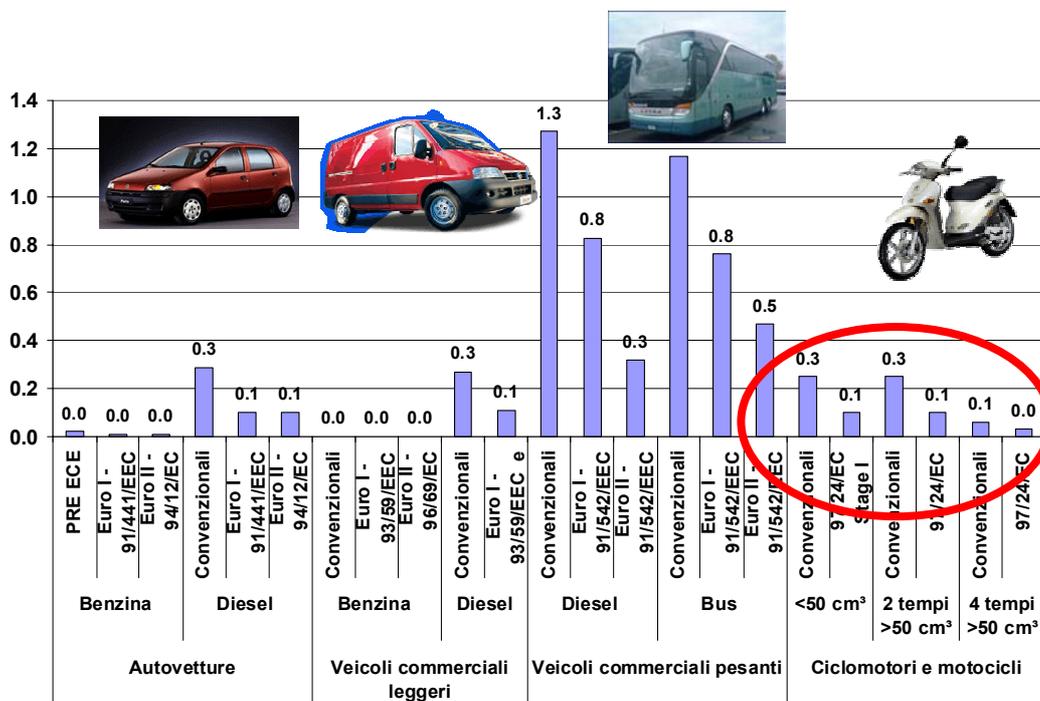
Di seguito sono riportati i fattori di emissione medi a caldo per categoria di veicoli e direttiva di riferimento, relativi a CO, PM10, NOx, VOC, nonché i consumi medi di combustibile, stimati ad una velocità di spostamento di 20 km/h.

**FATTORI DI EMISSIONE – CO FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI CO [g/km] “ a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI STIMA COPERT III (20 km/h)**



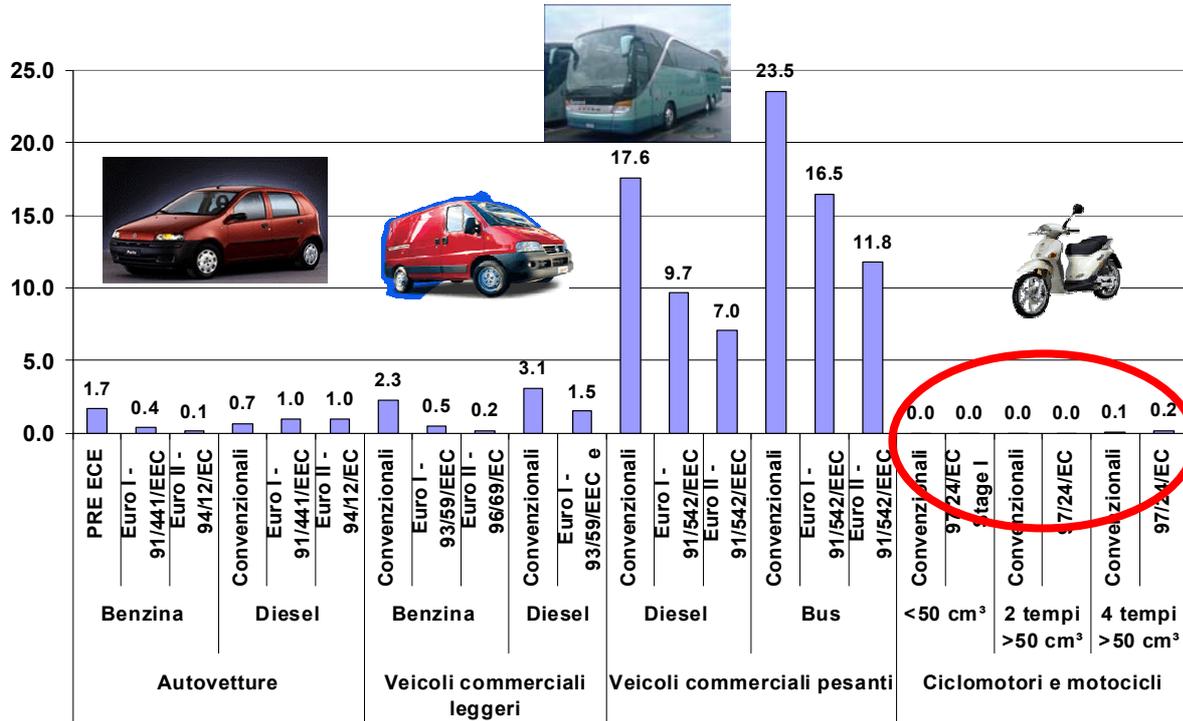
## FATTORI DI EMISSIONE – PM<sub>10</sub>

FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI PM/PM<sub>10</sub> [g/km] “ a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI



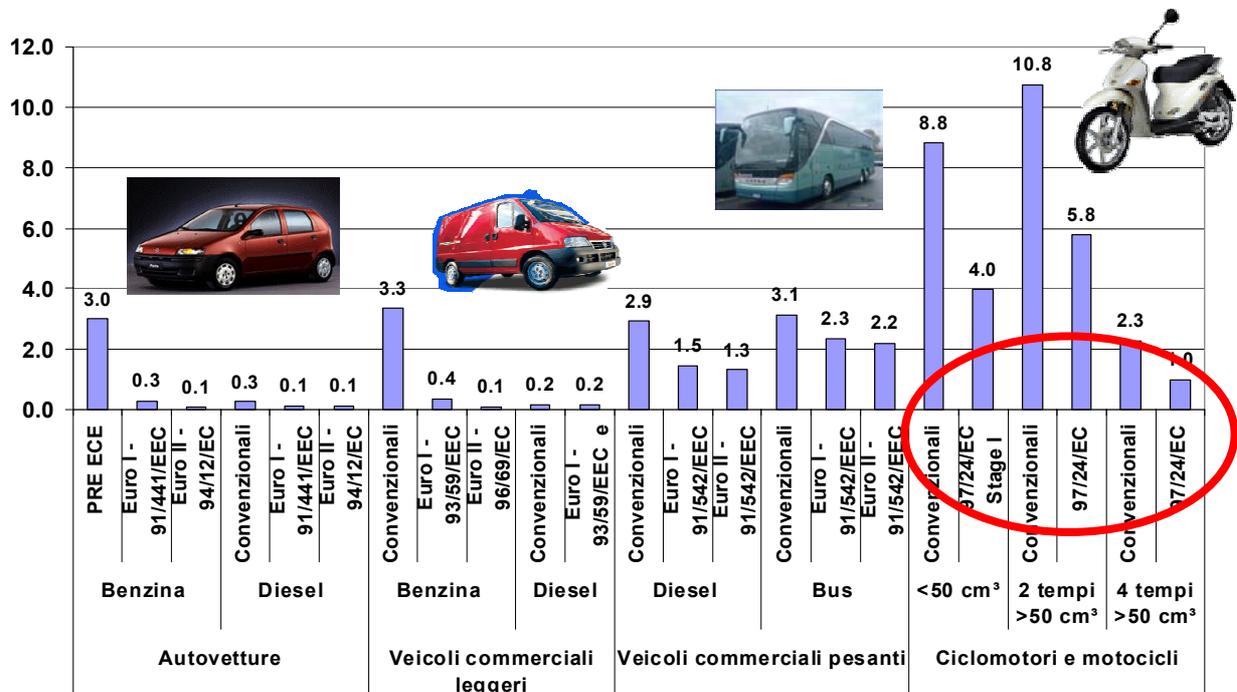
## FATTORI DI EMISSIONE - NO<sub>x</sub> FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI NO<sub>x</sub> [g/km] “ a caldo”

PER CATEGORIE VEICOLARI

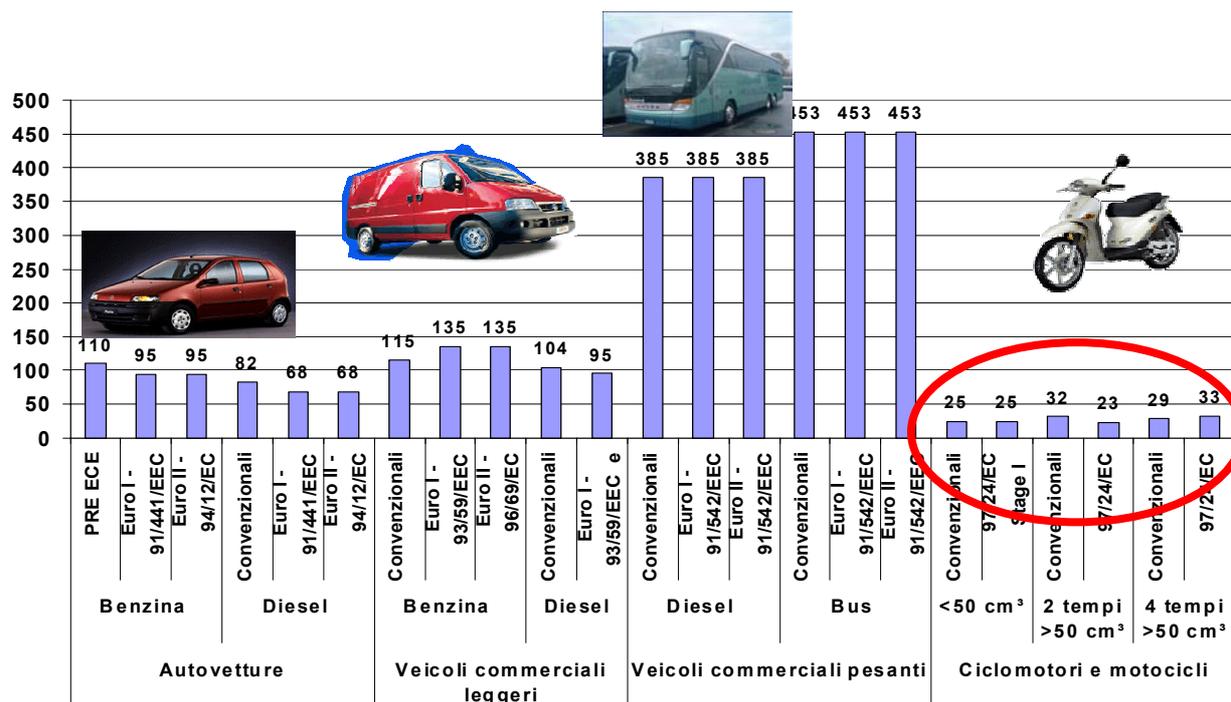


## FATTORI DI EMISSIONE – VOC (Composti Organici Volatili) FATTORI DI EMISSIONE

MEDI DI VOC [g/km] “ a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI



**FATTORI DI EMISSIONE - CONSUMI** FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI CONSUMO DI  
**COMBUSTIBILE [g/km] “ a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI**



Riguardo alla qualità dei carburanti europei, facendo riferimento alla Direttiva 2003/17/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 3 marzo 2003 relativa alla qualità della benzina e del combustibile diesel, è stato affermato che la riduzione del tenore di zolfo della benzina e del gasolio è considerato un elemento utile per il raggiungimento di obiettivi di qualità dell'aria e per l'introduzione di nuove tecnologie nel settore automobilistico (10 mg/kg tenore massimo di zolfo a partire dal 1° gennaio 2009, con introduzione graduale a partire dal 1° gennaio 2005).

In definitiva, per il raggiungimento di basse emissioni di particolato e NO<sub>x</sub>, è emerso che occorre un approccio integrato tra la Tecnologia per il controllo delle emissioni, la Sensoristica ed il controllo, la Tecnologia del motore e la Qualità dei combustibili e lubrificanti.

In particolare la **Tecnologia per il controllo delle emissioni** comprende:

- Catalizzatori a tre vie
- Catalizzatori ossidanti
- Filtri per il particolato (autorigeneranti)
- Catalizzatori DeNO<sub>x</sub> attivi – SCR Riduzione Catalitica Selettiva (con introduzione di un agente riducente come l'ammoniaca) e DeNO<sub>x</sub> passivi – Assorbitori di NO<sub>x</sub>

I filtri o trappole per il particolato vengono denominati ***diesel particulate filters (DPF)***.

I primi filtri per il particolato Diesel furono introdotti nel 1985 su auto Mercedes vendute in California. Questi sistemi, che utilizzavano la tecnologia “passiva” comportarono numerosi problemi tecnici e le vetture furono presto eliminate dal mercato.

Dopo questa esperienza la tecnologia sparì dai nuovi veicoli, ma fu velocemente adattata per retrofittare alcune selezionate applicazioni off-road (nelle miniere, tunnel). Alla fine degli anni '90, una volta che l'esperienza come retrofit era cresciuta, furono iniziati diversi programmi su veicoli target come flotte di bus urbani in città europee (Parigi, Berlino, Monaco), nell'Est (Taipei, Tokyo) e negli USA (New York City, California).

Nel 2000, i filtri per particolato Diesel hanno fatto il loro ritorno nelle applicazioni automobilistiche. La prima casa è stata la Peugeot sulla 607 HDi 2.2 che era equipaggiata con un filtro attivo autorigenerante attraverso l'uso di additivi nel combustibile ed una post iniezione common-rail del combustibile. Nel 2001 questo sistema fu introdotto sulla Peugeot modello 406 HDi 2.2, e successivamente su Peugeot 307, 807 ed alcune Citroen C5 and C8. Alla fine del 2002 il gruppo PSA ha venduto circa 400.000 auto equipaggiate con filtri per la riduzione del particolato Diesel. Le trappole per il particolato Diesel sono sistemi che fisicamente catturano il particolato per prevenirne il rilascio in atmosfera.

Alcuni dei materiali sviluppati mostrano delle efficienze di filtrazione molto elevate (superiori al 90%), così come accettabili durata termica e meccanica.

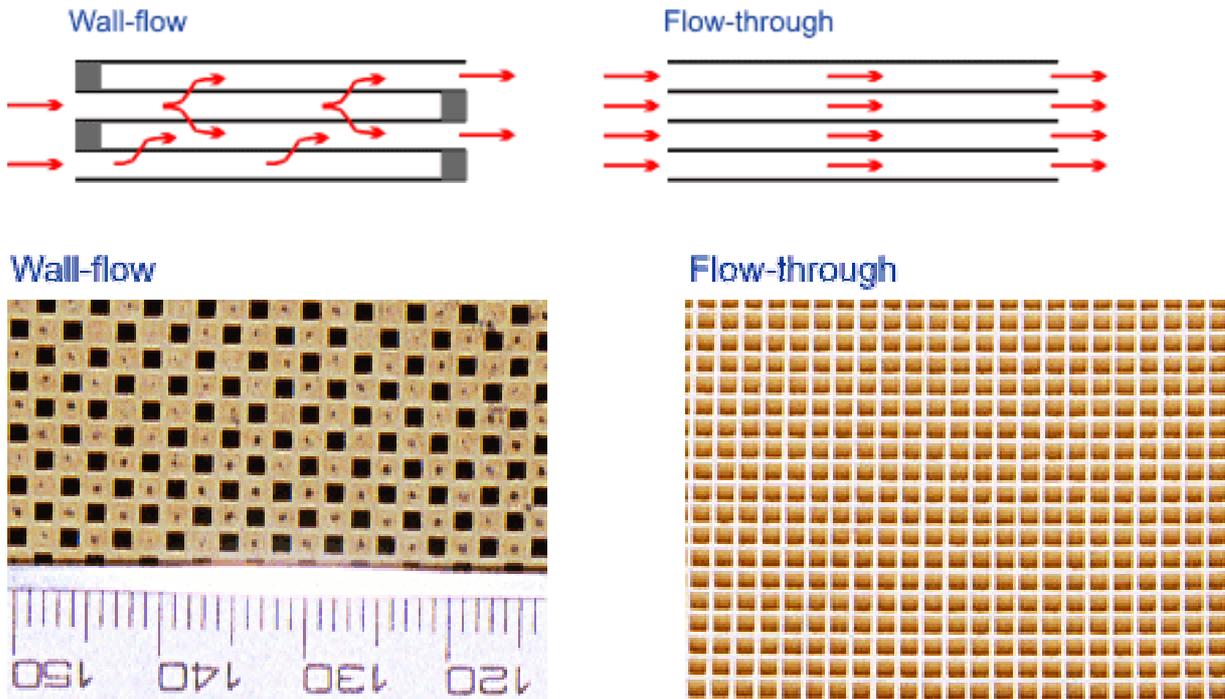
Le trappole sono la tecnologia di controllo per la riduzione delle emissioni di particolato più efficiente. In particolare, a causa dei meccanismi di deposizione particellare utilizzati, le trappole sono efficienti nel controllo della frazione solida SOL del PM ( e quindi nella riduzione delle emissioni di fumo nero), ma hanno scarsa efficacia nel controllo della frazione non solida, come la SOF (Frazione Organica Solubile) e i solfati associati alla fase particellare. Per questo motivo alle trappole sono spesso associati componenti funzionali addizionali per ridurre le emissioni di SOF (catalizzatori ossidanti) e di solfati (utilizzo di combustibili con basso tenore di zolfo). Oltre la filtrazione ci sono altri meccanismi per la deposizione delle particelle, generalmente utilizzati nella separazione delle polveri industriale. Questi meccanismi comprendono: la deposizione per gravità, la separazione centrifuga (cicloni) e l'intrappolamento elettrostatico.

La deposizione per gravità, la separazione centrifuga sono inefficaci nella cattura del particolato Diesel a causa delle loro piccole e sub-microniche dimensioni e a causa della bassa densità. Gli aerosol Diesel tendono a comportarsi in un ciclone più come gas che come gas-solido. Quindi serve almeno una combinazione di coagulazione elettrostatica a monte per le particelle fini con un ciclone inserito a valle per incrementare, almeno da un punto di vista teorico, l'efficienza di recupero. Il sistema è poco praticabile per l'applicazione veicolare. La struttura più utilizzata per il

filtra è il monolita a wall-flow. E' una struttura usualmente cilindrica e di materiale ceramico con molti piccoli canali paralleli in direzione assiale. Essi derivano dai substrati catalitici a "flow-through" di uso automobilistico.

Ci sono comunque due importanti differenze tra queste strutture:

- (1) I monoliti wall-flow sono fatti di ceramica di piu' elevata e precisamente controllata porosità;
- (2) Canali adiacenti nei filtri wall-flow sono alternativamente bloccati ad ogni estremità in modo tale da forzare il gas a fluire attraverso le pareti porose che agiscono come mezzo filtrante.



A causa della bassa densità del particolato ( i.e.  $0.1 \text{ g/cm}^3$  ) i filtri possono facilmente accumulare considerevoli volumi di particelle carboniose. A volte la capacità di carica di PM puo' essere solo di alcune ore o di alcuni giorni. Il particolato raccolto potrebbe causare un'eccessiva caduta di pressione dei gas nel filtro che potrebbe influenzare in maniera negativa il comportamento del motore. Perciò i sistemi DPF devono provvedere un modo di rimuovere il particolato dal filtro per riportare la capacità di raccolta del particolato. Questo processo di rimozione è conosciuto come RIGENERAZIONE del filtro e puo' essere realizzata o in maniera continua, durante operazioni regolari, o periodicamente, dopo che una certa predeterminata quantità di PM è stata accumulata. In entrambi i casi la rigenerazione dovrebbe essere invisibile al guidatore o all'operatore del veicolo e dovrebbe realizzarsi senza il suo intervento.

Nella maggioranza delle applicazioni viene impiegata la rigenerazione termica, in cui il particolato raccolto viene rimosso dalla trappola per ossidazione a prodotti gassosi, principalmente anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ). Questo tipo di rigenerazione è indubbiamente la più "pulita". Per

assicurare una buona velocità di ossidazione ovviamente il filtro deve lavorare in condizioni di temperatura adeguata e devono essere presenti degli agenti ossidanti (ossigeno o diossido di azoto o suoi precursori). In alcuni sistemi la sorgente sia di calore che di agenti ossidanti, è la stessa corrente di scarico. In questo caso il filtro è denominato FILTRO PASSIVO, ed il filtro si rigenera continuamente durante il normale funzionamento del motore. Sui filtri passivi generalmente vi sono dei catalizzatori che abbassano la temperatura di ossidazione del particolato ad un livello che può essere raggiunto dai gas di scarico durante il funzionamento dei veicoli.

Un altro approccio che può facilitare la rigenerazione coinvolge un numero di strategie per incrementare la temperatura del filtro (riscaldatori, controllo del motore...). In questo caso si parla di FILTRO ATTIVO e la rigenerazione di tali sistemi viene fatta in maniera periodica, come determinato dal sistema di controllo del veicolo.

Una strategia alternativa prevede l'uso di cartucce a perdere che periodicamente vengono sostituite quando sature. Questa tipologia viene più spesso utilizzata in alcuni ambienti di lavoro, infatti una tale manutenzione non è accettabile per applicazioni mobili.

La temperatura dei gas di scarico e/o la temperatura del filtro è quindi il parametro più importante che influenza la rigenerazione del filtro. L'ossidazione delle particelle carboniose può essere considerato un processo cinetico, la cui velocità può essere descritta dalle leggi della cinetica delle reazioni chimiche. Comunque si possono trarre analogie tra l'ossidazione dei gas nei convertitori catalitici e la ossidazione del PM nei filtri, specialmente quelli che lavorano in regime di rigenerazione continua. I filtri devono assicurare più lunghi tempi di residenza, che sono richiesti per ossidare le particelle più grosse (relativamente alle molecole del gas). In maniera analoga ai gas la velocità di ossidazione del PM aumenta all'aumentare della temperatura e diminuisce, quasi fino a 0, alle basse temperature. A differenza dei convertitori catalitici comunque il materiale che non si ossida non viene rilasciato dal filtro. Invece le particelle non reagite si accumulano fino ad un cambio di condizioni. Quindi una funzione importante del filtro è di fornire meccanismi che prevenivano l'accumulo di SOL che supera la capacità di carica del filtro. A basse temperature (360°C, 400°C) le velocità di ossidazione sono molto basse e la rigenerazione è incompleta. Solo a temperature superiori a circa 600°C il SOL potrebbe essere ossidato velocemente e completamente. La rigenerazione termica dei DPF richiede quindi temperature di 550-650°C. Tali temperature allo scarico non si incontrano in molte applicazioni pratiche dei motori Diesel. Molte applicazioni heavy-duty (Bus, camion) hanno temperature allo scarico nel range di 300-450°C. Le applicazioni light-duty (auto) possono dare valori di 200-300°C.

Quindi per facilitare la rigenerazione si utilizzano catalizzatori depositati direttamente sul mezzo filtrante. Vengono utilizzati sia catalizzatori a base di metalli che di metalli preziosi: come platino, argento, rame, vanadio, ferro, molibdeno, manganese, cromo, nickel ed altri.

In funzione del tipo di filtro il catalizzatore può essere impregnato direttamente nel mezzo o può essere usato in uno strato di rivestimento intermedio. Un discreto numero di materiali possono essere utilizzati come mezzo filtrante con differenti performance e durata, tra cui metalli sinterizzati, fibre ceramiche e supporti alveolari in carburo di silicio, materiale che presenta caratteristiche di resistenza alle alte temperature ed agli sbalzi termici. In alcune applicazioni un additivo organometallico a base di ferro viene aggiunto al carburante attraverso un sistema di dosaggio a bordo veicolo.

La presenza di additivi in quantità adeguate permette di abbassare la temperatura di combustione del SOL tra i 250-400°C, in funzione della tecnologia del motore (e quindi della quantità di PM emesso) e della qualità del combustibile (contenuto di zolfo).

CRT (Continuously Regenerating Technology) è il nome commerciale di un prodotto che indica un filtro passivo con un catalizzatore a due stadi. Il CRT utilizza un filtro ceramico a wall-flow per intrappolare il particolato ed il particolato intrappolato viene continuamente ossidato da NO<sub>2</sub> generato in un catalizzatore ossidativo che è posto a monte del filtro. Per operare in maniera adeguata, il CRT richiede gasoli a bassissimo tenore di zolfo ed un certo minimo rapporto NO<sub>x</sub>/PM. Il principio del CRT è basato su un brevetto della Johnson Matthey basato sul fatto che il particolato è più facilmente ossidato dall'NO<sub>2</sub> che dall'ossigeno. Infatti con l'NO<sub>2</sub> il processo avviene a temperature basse fino a 250°C (contro i 550°C dell'ossigeno). L'NO presente nei gas di scarico è ossidato da:



Nella pratica quasi tutto l'NO<sub>2</sub> reagisce con il carbonio per ricreare NO.

Anche la Mercedes-Benz ha introdotto i DPF su alcuni modelli, inizialmente sulla C-Class e sulla E-Class con motore 4 cilindri CDI 200 e 220 CDI per poi introdurli sul 6 cilindri. Tutte le auto con DPF rispettano i limiti Euro 4 (2005) come standard di emissione.

Poche informazioni tecniche si hanno su questi sistemi. Sono sistemi attivi che richiedono il controllo di varie funzioni del motore (EGR,...) e non è chiaro se utilizzano un catalizzatore o come rivestimento o anche come precatalizzatore di formazione di NO<sub>2</sub> per diminuire la temperatura di rigenerazione. La Toyota Motor Corporation ha realizzato un programma di

monitoraggio in Europa per valutare l'applicazione del suo sistema "Diesel Particulate NOx Reduction" (DPNR) con Toyota D-4D 2 litri 4 cilindri.

Il sistema DPNR simultaneamente e continuamente riduce sia il particolato che gli ossidi di azoto. E' una combinazione di DPF con un sistema catalitico di assorbitori di NOx. L'assorbitore di NOx è ricoperto sulle pareti di un substrato monolitico di un filtro per il particolato. La Mazda a marzo 2004 ha richiamato 3.000 suoi veicoli (Bongo truck, e i van Delica e Vanette) dal mercato giapponese per difetti al DPF (presentavano livelli eccessivi di emissioni di particolato). I veicoli hanno la motorizzazione common-rail 2.0 litri con DPF catalizzato ed EGR per il controllo degli NOx. Il problema sembra causato dal software di controllo che non controllava adeguatamente la rigenerazione del filtro.

Per quanto riguarda i target di progettazione delle trappole, essi possono essere così sintetizzati:

- alta efficienza di raccolta del particolato,
- elevata riduzione delle particelle fini (<0.1 µm),
- riduzione delle emissioni gassose,
- nessuna generazione di emissioni secondarie sul filtro (incremento delle emissioni gassose, nuove emissioni, emissioni di ceneri da additivi, rilascio di fibre),
- bassa caduta di pressione,
- elevata durata,
- richiesta di scarsa manutenzione

#### 4.1.2 Combustibili convenzionali

##### *L'evoluzione della qualità e dei consumi del combustibile diesel*

La norma EN 590 definisce le caratteristiche da controllare e i limiti che devono essere rispettati per garantire l'idoneità dei prodotti all'uso previsto, nonché i metodi di prova da usare per il controllo dei limiti di specifica. A seguito dell'adozione delle Direttive comunitarie 98/70/CE e 2003/17/CE, la norma EN 590 è stata adeguata per recepire i nuovi limiti per quelle caratteristiche che hanno rilevanza sulle emissioni inquinanti

La EN 590 prevede due raggruppamenti di specifiche, la prima riguarda i limiti che devono essere adottati indipendentemente dalle condizioni ambientali, l'altra quelli che devono essere adottati rispettivamente dai paesi con clima temperato e da quelli con clima artico

L'integrazione delle Direttive 98/70/CE e 2003/17/CE nella norma CEN è stato abbastanza agevole. A partire dal 1996-97, in concomitanza con la riduzione del contenuto di zolfo del gasolio trazione da 0.20 a 0.05%, sono emersi alcuni problemi alle caratteristiche lubrificanti del gasolio con fenomeni di usura precoce di alcuni tipi di pompe. Questa problematica è stata affrontata dal CEN che ha introdotto un limite di specifica per il controllo della lubricità del gasolio

E' un tipico esempio questo di effetti collaterali dell'inseverimento di una specifica senza sufficiente sperimentazione

#### La norma EN 590

Caratteristica	Unità di misura	Limiti		Metodo di prova
		Min	Max	
Numero di cetano		51		EN ISO 5165
Indice di cetano		46		EN ISO 4264
Massa volumica a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Idrocarburi aromatici policiclici	% (m/m)		11	EN 12916
Contenuto di zolfo	mg/kg		50 10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Punto di Infiammabilità	°C	> 55		EN ISO 2719
Contenuto di acqua	mg/kg		200	EN ISO 12397
Contenuto di sedimenti solidi esistenti	mg/kg		24	EN 12662
Corrosione su rame (3 ore a 50°C)	indice		Classe 1	EN ISO 2160
Potere Lubrificante (diametro medio di usura misurato a 60°C)	microns		460	ISO 12156-1
Viscosità a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2.0	4,5	EN ISO 3104
CFPP <sup>(5)</sup>	°C		-10 inverno zero estate	EN 116 EN 116
Distillazione: - punto del 95% (v/v) recuperato a	°C		360	EN ISO 3405

## La domanda dei combustibili nel settore dei trasporti

ANNO	Milioni di Tonnellate				
	1990	2000	2005	2010	2015
Gpl trasporti	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9
Carboturbo	2,0	3,5	3,7	4,4	4,7
Benzina	13,5	16,8	13,5	11,0	9,2
Gasolio autotrazione	16,6	18,3	25,1	26,9	25,5
Gasolio agricolo e marino	2,4	2,6	2,7	2,9	3,0
Totale	35,8	42,6	46,5	46,9	44,3
Comb. non petr. (Mtep)			0,3	1,0	1,9
Totale generale			46,8	47,9	46,2

Dalla tabella emerge che dal 1990 ad oggi si è osservato non solo una minore richiesta nel corso degli anni della benzina rispetto al gasolio, ma la domanda di quest'ultimo è notevolmente cresciuta nel tempo passando da 16,6 (1990) a 25,1 M tonn (2005)

### *L'evoluzione della qualità del gasolio*

L'accordo volontario sulla riduzione dei consumi delle auto nuove, siglato dall'ACEA con la Commissione UE prevede che entro il 2008 le emissioni medie di CO<sub>2</sub> dovranno passare dai 190 g/Km del 1995 a meno di 140 g/Km. Per raggiungere questo obiettivo i costruttori dovranno produrre vetture da 120 g/Km di CO<sub>2</sub> ed avviare quella di vetture da 90 g/Km di CO<sub>2</sub>. In termini di tecnologia motoristica sia i motori a benzina che quelli diesel dovranno essere del tipo ad iniezione diretta - lean burn. I sistemi di abbattimento degli NOX per tali motori richiedono, per un corretto funzionamento, combustibili praticamente senza zolfo (meno 10 ppm)

### *Le interazioni tra la tecnologia motoristica e la qualità dei fuels*

I maggiori benefici per le emissioni da traffico e quindi per la qualità dell'aria si sono avuti quando la qualità del fuel ha consentito l'applicazione delle più avanzate ed efficienti tecnologie di abbattimento degli inquinanti allo scarico dei veicoli. Questo è stato il criterio che, soprattutto negli ultimi anni, ha determinato l'evoluzione qualitativa dei carburanti.

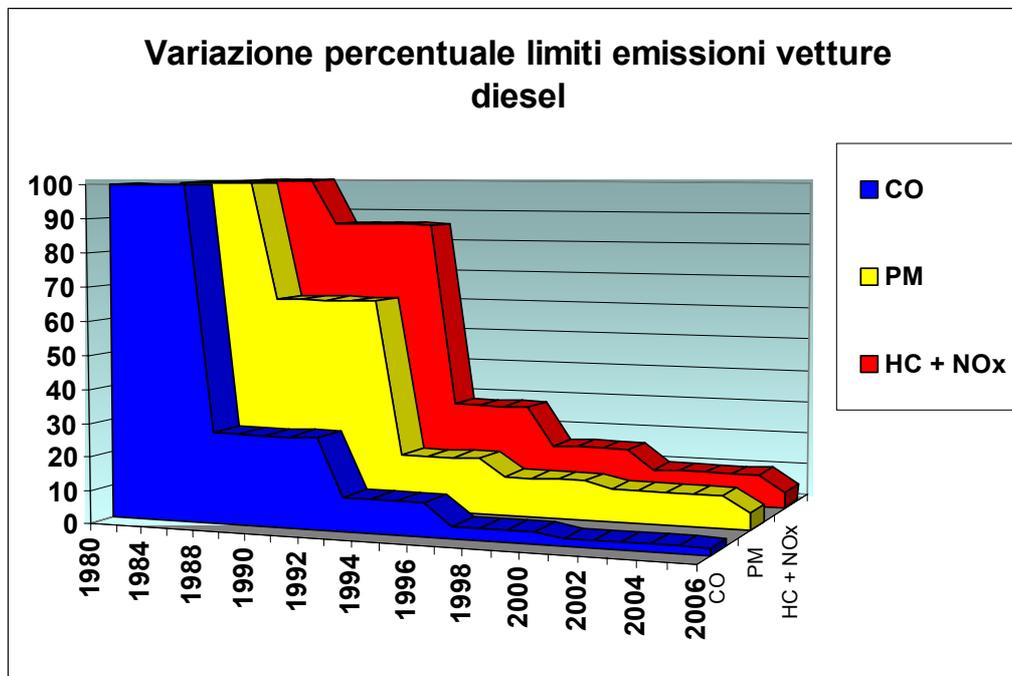
### Auto-Oil II SCENARI INVESTIGATI PER IL DIESEL

	Base	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5	Auto Oil
Densità	845	840	840	830	840	840	825
PAH (% max)	11	11	6	6	6	6	1
N.C.	51	51	51	51	53	51	58
T95 (% max)	360	360	360	360	360	345	340
Zolfo (ppm)	50	50	50	50	50	50	30

### L'evoluzione della qualità per benzina e gasolio

	1990	1994	1995	1998	2000	2005	2008
<b>Benzina</b>							
Zolfo ppm m/m	1000		500		150	50	10
Benzene %vol.	5			1	1		
Aromatici %vol.				40	40	35	
Tensione di vapore kPa	80				60		
<b>Gasolio</b>							
Zolfo ppm m/m	3000	2000	500		350	50	10
Numero di cetano	49				51		
Densità kg/m <sup>3</sup>	860				845		
T95 °C	370				360		

### Emissioni veicoli Diesel



Dall'osservazione delle emissioni dei veicoli diesel si evince come le tecnologie di abbattimento, per i motori diesel hanno portato durante il periodo considerato (1990 – 2005) ad un significativo abbattimento di CO, PM, HC e NO<sub>x</sub>

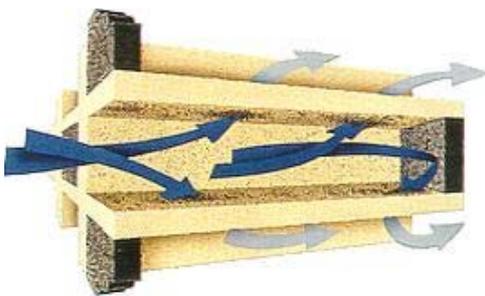
In prospettiva futura si presenteranno sul mercato ulteriori e più avanzate tecnologie di abbattimento sia per i motori a benzina che diesel, che sposteranno il trend di riduzione degli inquinanti verso obiettivi sempre più ambiziosi. Tra queste ricordiamo:

- Iniezione diretta; regolazione variabile delle valvole; riduzioni delle dimensioni;
- Iniezione multipla ad alta pressione; EGR raffreddato;
- Marmitte catalitiche avanzate; conversione degli NO<sub>x</sub>; filtri di particolato;
- Sistemi ibridi;

Tutte le esigenze tecniche di questi sistemi sono soddisfatte dai sulphur free fuels. L'inseverimento delle altre caratteristiche dei fuels oltre lo zolfo non fornisce riduzioni aggiuntive alle emissioni veicolari

Nuove formulazioni dei fuels potranno essere necessarie per i sistemi di combustione attualmente non ancora sviluppati quali sistemi di ignizione per compressione di cariche omogenee (HCCI).

Al fine di migliorare le prestazioni dei combustibili costituiti da emulsioni acqua/gasolio, è stato messo a punto un sistema di filtrazione che utilizza supporti alveolari in **carburo di silicio**, materiale che presenta caratteristiche di resistenza alle alte temperature ed agli sbalzi termici

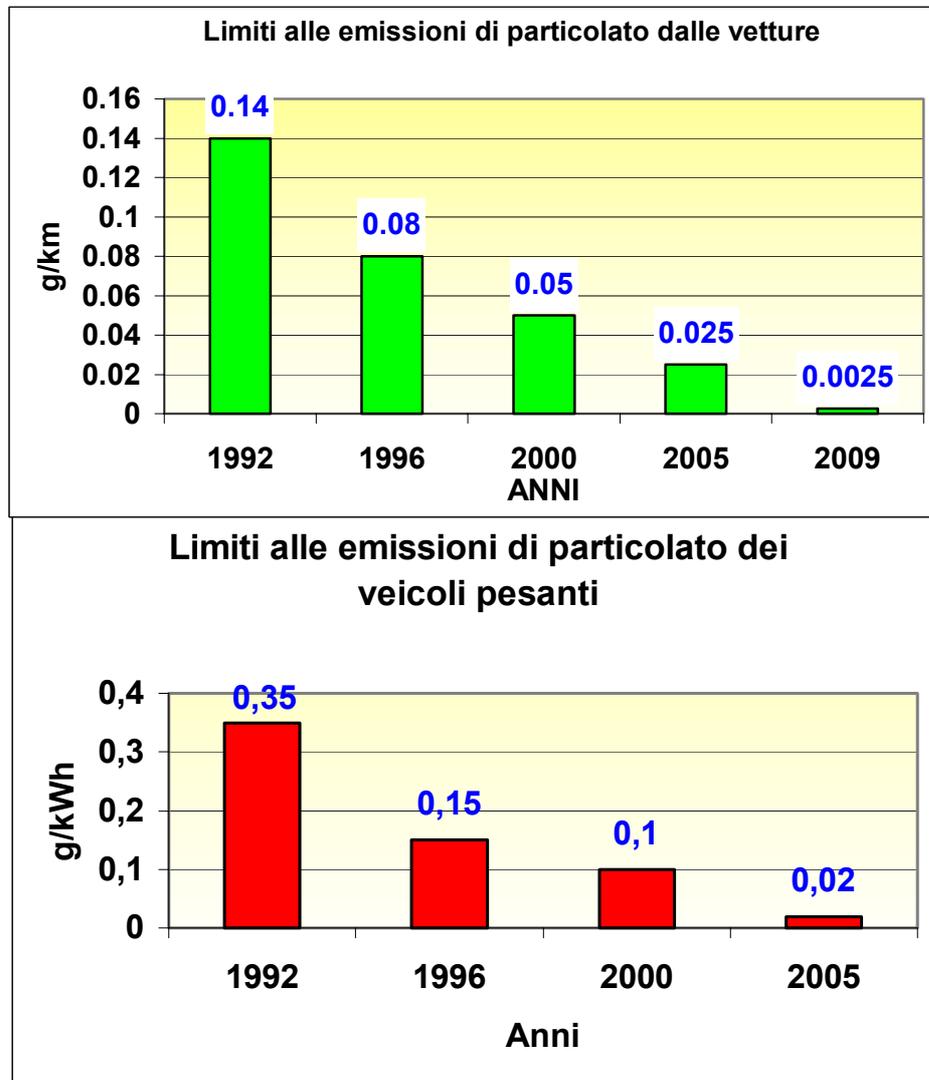


Il particolato che si accumula sul filtro viene rigenerato in continuo grazie alla presenza di un catalizzatore. Questo può essere sotto forma di un additivo organometallico a base di ferro aggiunto al carburante attraverso un sistema di dosaggio a bordo veicolo o sotto la forma di un coating catalitico di metalli nobili. Entrambi i sistemi permettono di abbassare la temperatura di combustione del Soot a circa 250-280°C. Potendo variare il dosaggio l'additivo permette l'adattamento della soluzione nel caso di un Retrofit.

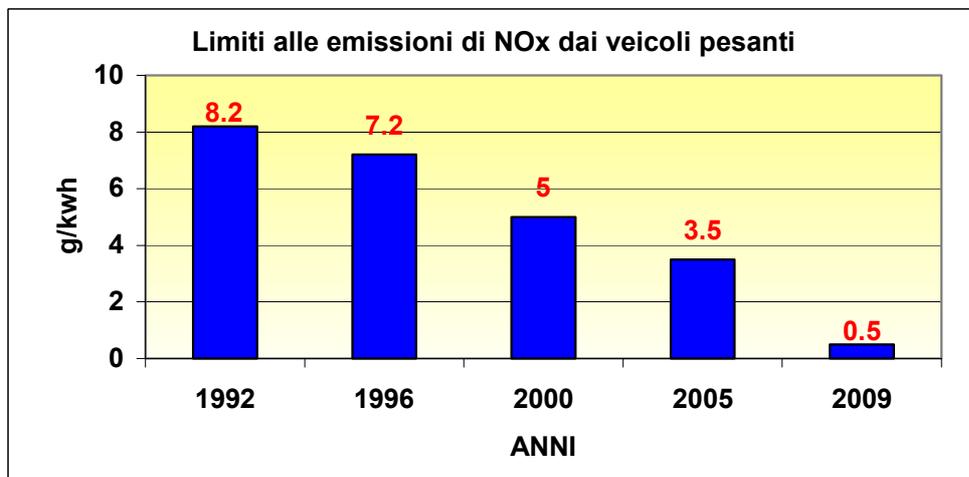
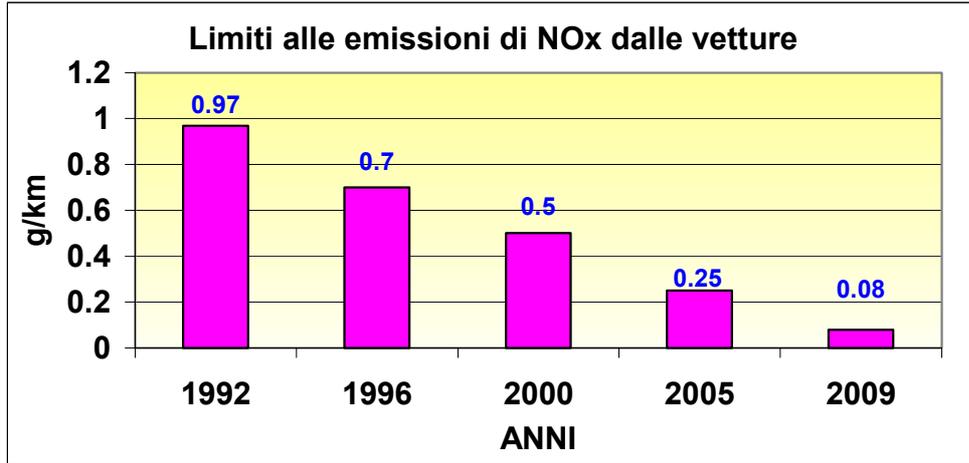
### *Le soluzioni motoristiche prospettate per il controllo delle emissioni future*

- I motori diesel dovranno migliorare le emissioni di particolato e di NOx senza alterare le emissioni di CO<sub>2</sub>. Il problema è complesso poiché le misure per migliorare il particolato sono antagoniste rispetto alle emissioni di NOx
- Per i veicoli passeggeri i limiti Euro 4 sono rispettati con un semplice catalizzatore ossidante, solo alcune vetture più grandi prevedono il ricorso alle trappole per il particolato e sistemi di abbattimento degli NOx
- Per rispettare i futuri limiti Euro 5 saranno necessari trappole per il particolato e sistemi più sofisticati di abbattimento degli NOx

#### L'evoluzione delle emissioni di particolato



## L'evoluzione delle emissioni di NOx

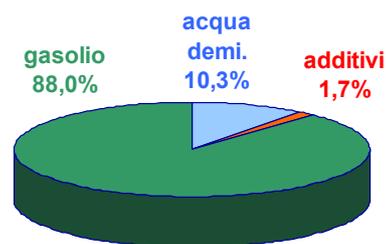


### 4.1.3 Combustibili alternativi

#### *Emulsioni acqua/gasolio*

L' emulsione di acqua in gasolio costituisce un metodo innovativo per produrre combustibili diesel compatibili sia con le tecnologie motoristiche tradizionali sia con quelle più avanzate, in grado di offrire una possibilità di ridurre le emissioni di alcune specie inquinanti nei gas di scarico, senza penalizzare le prestazioni del propulsore. Essa si presta per alimentare motori di tipo *heavy-duty*, montati sia su autoveicoli (autobus, veicoli commerciali) che in impianti fissi (gruppi elettrogeni, ecc.)

La facilità di preparazione e di distribuzione delle emulsioni e l'impiego immediato nei motori senza apportare modifiche, hanno reso utilizzabile questo combustibile come alternativo al gasolio convenzionale.



Dal punto di vista chimico le emulsioni acqua/gasolio sono dispersioni di microgocce di acqua nel gasolio, stabilizzate attraverso l'aggiunta di particolari sostanze tensioattive. Oltre al tensioattivo viene utilizzato un antibatterico e un antigelo.

Per valutare il comportamento nei motori diesel in relazione alle emissioni inquinanti sono stati raccolti e analizzati i dati ottenuti in sperimentazioni eseguite sia su motore che su autoveicolo. I test sono stati condotti presso laboratori italiani ed europei (tra cui Stazione Sperimentale per i Combustibili di San Donato Milanese, JRC di Ispra). I risultati delle sperimentazioni svolte sono riassunti in Tabella

TRAZIONE		RISCALDAMENTO	
PM	-40%	PM	-60%
NOx	-5%/-15%	NOx	-10%/--30%
CO	0/-20%	CO	-50%
HC	-10%/+20%	SO <sub>2</sub>	-72%*
Distribuzione granulometrica PM	riduzione in tutto lo spettro		
IPATEQ	riduzione dimostrata da ENI/JRC		

\* Grazie al ridotto contenuto di zolfo del gasolio base

Sono stati presentati anche i dati relativi alle prove svolte su autobus urbano e si riferiscono all'analisi dei gas di scarico campionati durante una simulazione di percorso dell'autobus eseguita secondo cicli di guida non convenzionali, quali il ciclo MLTB e il ciclo ATM 61.

In quasi tutte le sperimentazioni è stato impiegato come combustibile di riferimento il gasolio utilizzato per la preparazione delle emulsioni. I combustibili di riferimento erano gasoli a specifica EN 590 con differenti livelli di zolfo.

La maggior parte dei test di confronto su motore al banco-freno sono stati svolti a parità di mandata di combustibile e non a parità di potenza erogata dal motore. In effetti, dato il differente contenuto energetico delle emulsioni rispetto al gasolio, la condizione rappresentativa del funzionamento su strada dell'autoveicolo su cui è equipaggiato il motore, a parità di percorso effettuato, sarebbe la seconda..

Sebbene le condizioni sperimentali delle prove svolte sia sui motori che sugli autoveicoli fossero differenti da caso a caso, dall'esame dei dati raccolti sono state riportate alcune conclusioni di carattere generale sul comportamento delle emulsioni in relazione alle emissioni inquinanti, rispetto al gasolio convenzionale. E' stato osservato che la sostituzione del gasolio con l'emulsione tende a determinare una diminuzione significativa delle emissioni di CO, degli NO<sub>x</sub> e del particolato (TPM), valutabile rispettivamente intorno all'11%, al 14% e al 37%. Al contrario, è stato riscontrato un incremento superiore al 30% delle emissioni degli idrocarburi incombusti (THC).

Nella sperimentazione non è stata effettuata alcuna valutazione sull'emissione di alcune classi di microinquinanti non regolamentati (IPA, composti carbonilici).

Le misure di consumo di combustibile hanno consentito di stabilire che a parità di condizioni operative, il consumo dell'emulsione è risultato più elevato di quello del gasolio convenzionale.

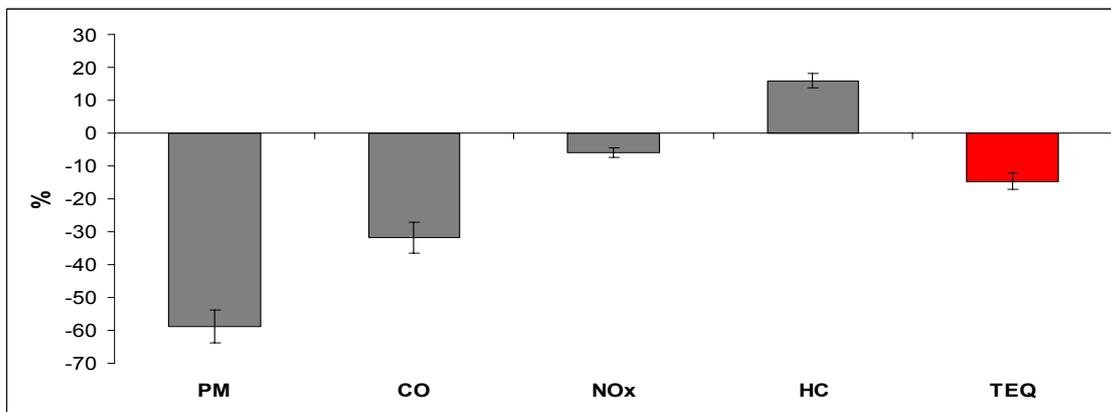
Sono stati riportati di seguito inoltre i risultati delle prove condotte presso il laboratorio VELA del JRC-Ispra relativi all'emulsione acqua/gasolio ed ad un sistema filtrante catalizzato effettuate su motore heavy-duty in configurazione Euro3.

Le conclusioni preliminari che sono state tratte dai dati ottenuti indicano che le emulsioni sono capaci di abbattere le emissioni di particolato da veicoli heavy-duty, seppure possono avere effetti negativi su altre emissioni regolamentate (idrocarburi incombusti).

All'utilizzo dell'emulsione acqua gasolio viene associato anche un sistema filtrante per il trattamento dei gas di scarico.

Per quanto riguarda il sistema filtrante catalizzato i risultati indicano, limitatamente alla configurazione provata, una elevata efficienza del sistema con un significativo abbattimento delle emissioni inquinanti (ad eccezione degli NO<sub>x</sub>).

## EURO-3 HD engine



Durante la sperimentazione è stata valutato anche l'Indice di Tossicità Equivalente (TEQ) attraverso il quale è stato osservata una riduzione di tossicità del 15% (*Il TEQ è definito come l'indice che si ottiene dalla somma dei prodotti calcolati moltiplicando la quantità misurata dei 16 PAH, indicati dall'EPA come i più pericolosi, adsorbiti sul particolato per peso; quest'ultimo esprime la tossicità equivalente di ciascun PAH rispetto alla tossicità del Benzo(a)Pirene che per convenzione è posta uguale a 1. Tale indice non è direttamente correlabile agli effetti sulla salute ma è da intendersi come un modo alternativo di rappresentare la composizione dei PAH adsorbiti sul particolato*).

La sperimentazione e la valutazione delle emissioni che prevedono l'impiego di emulsioni acqua/gasolio necessitano ancora di un'adeguata attività di analisi delle emissioni e di certificazione ufficiale delle stesse.

### *Normativa fiscale*

Le emulsioni hanno un costo di produzione superiore al gasolio (additivi e processi), da ciò scaturisce la necessità di agevolazioni fiscali per compensare il maggior costo.

- A partire dal 2000 viene fissata per le emulsioni un'accisa agevolata rispetto al gasolio tradizionale prorogata attraverso provvedimenti a scadenza semestrale o annuale.
- Risale ad ottobre 2003 l'ultimo provvedimento con scadenza fine 2004
- Art. 7 della legge delega per la riforma del sistema fiscale prevede la ristrutturazione delle accise dei prodotti energetici

- Ad oggi (2004) è in preparazione il primo decreto di attuazione della riforma che dovrebbe contenere la definizione di una adeguata accisa agevolata per le emulsioni che abbia carattere strutturale e non più soggetta a scadenze.

#### 4.1.4 Biodiesel

Gli esteri metilici di oli vegetali (biodiesel) sono prodotti a partire da semi oleosi (colza, girasole, soia) e presentano alcune caratteristiche simili a quelle del gasolio, tanto da poter essere utilizzati in motori diesel senza o con minime modifiche tecniche. Possono essere miscelati con questo ultimo in proporzioni molto variabili (in linea indicativa: 5 - 50%) anche se normalmente si fa riferimento a miscele al 20% (B20). Il prodotto tal quale è generalmente chiamato B100.

Le principali caratteristiche dei prodotti (biodiesel e gasolio) sono riportate in **Tabella**

<i>Caratteristica</i>	<i>Unità</i>	<i>Biodiesel puro</i>	<i>Gasolio</i>
Potere calorifico inferiore	MJ/kg	37,3	42,8
Numero di Cetano	[-]	Min 51	Min 51
Densità a 15°C	kg/dm	0.860 - 0.900	0.820 - 0.845
Contenuto di zolfo	mg/kg	Max 10	Max 350
Contenuto di ossigeno	% massa	11	-
Aromatici	% peso	-	32,6

Rispetto al gasolio il biodiesel contiene l'11% in peso di ossigeno, non contiene zolfo e idrocarburi aromatici, mentre per il prodotto tal quale il potere calorifico è inferiore di circa 10%. L'utilizzo del biodiesel potrebbe richiedere la sostituzione di taluni tipi di guarnizioni quando utilizzato in concentrazioni superiori al 30%.

Sul biodiesel sono stati effettuati una consistente mole di studi sperimentali condotti in più parti del mondo sia per quanto riguarda gli aspetti motoristici che quelli ambientali.

L'EPA ha registrato il biodiesel sia come combustibile che come additivo, mentre recentemente è stato classificato come combustibile alternativo dai Dipartimenti energia e Trasporti USA.

L'utilizzo del biodiesel puro o in miscela porta quasi sempre a un aumento degli NO<sub>x</sub>, mentre è sempre consistente la diminuzione di CO e PM (vedi Tabella)

*Riduzione indicativa delle emissioni alla combustione utilizzando B100 e B20 rispetto al gasolio convenzionale*

<i>Combustibile</i>	<i>IPA</i>	<i>Nitro IPA</i>	<i>Solfati</i>	<i>PM<sup>7.5</sup></i>	<i>HC</i>	<i>CO</i>	<i>NO<sub>x</sub></i>
<i>B100</i>	-80%	-90%	-100%	-30%	-93%	-50%	+13%
<i>B20</i>	-13%	-50%	-20%	-22%	-30%	-20%	+2

Sono stati presentati i risultati di un'analisi eseguita presso il *Southwest Research Institute* per conto dell'EPA (1999). Nel caso dell'impiego senza catalizzatore si osserva un buon comportamento sia del B100 che del B20 per quanto riguarda gli HC, il CO e il PM; al contrario gli NOx e i consumi aumentano (a causa del minore potere calorifico rispetto al gasolio). Inoltre, lo studio dimostra che nel B100 la riduzione di IPA è significativa, in quanto mancano i precursori aromatici nel biocombustibile; conseguentemente, vengono ridotti quasi a zero i nitro - IPA. Un altro aspetto è che le miscele di biodiesel e gasolio non generano composti diversi da quelli generati dall'uso dei combustibili tal quali.

Un punto dolente per il biodiesel sembrerebbe l'emissione delle aldeidi (Krahl J. 1996) anche se lo stesso autore auspica ulteriori ricerche sull'argomento. È necessario aggiungere che un altro studio (Health & Safety Laboratory 2001) sostiene esattamente il contrario e cioè che le aldeidi sarebbero prodotte in percentuale minore utilizzando biodiesel come sostituto del gasolio, quindi, a maggior ragione, sarebbero necessari nuovi test mirati per capire quale sia il reale comportamento del biodiesel nei confronti di tali inquinanti.

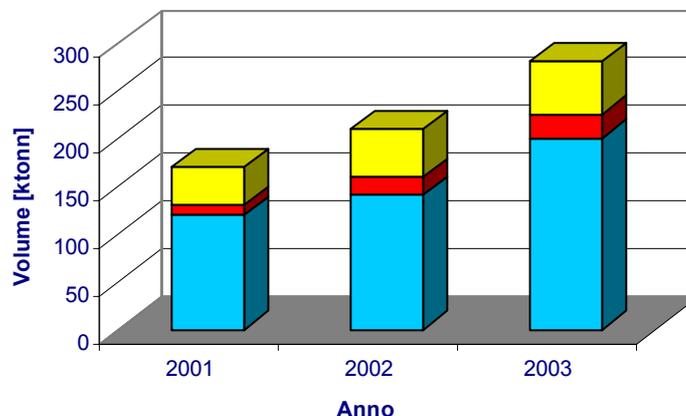
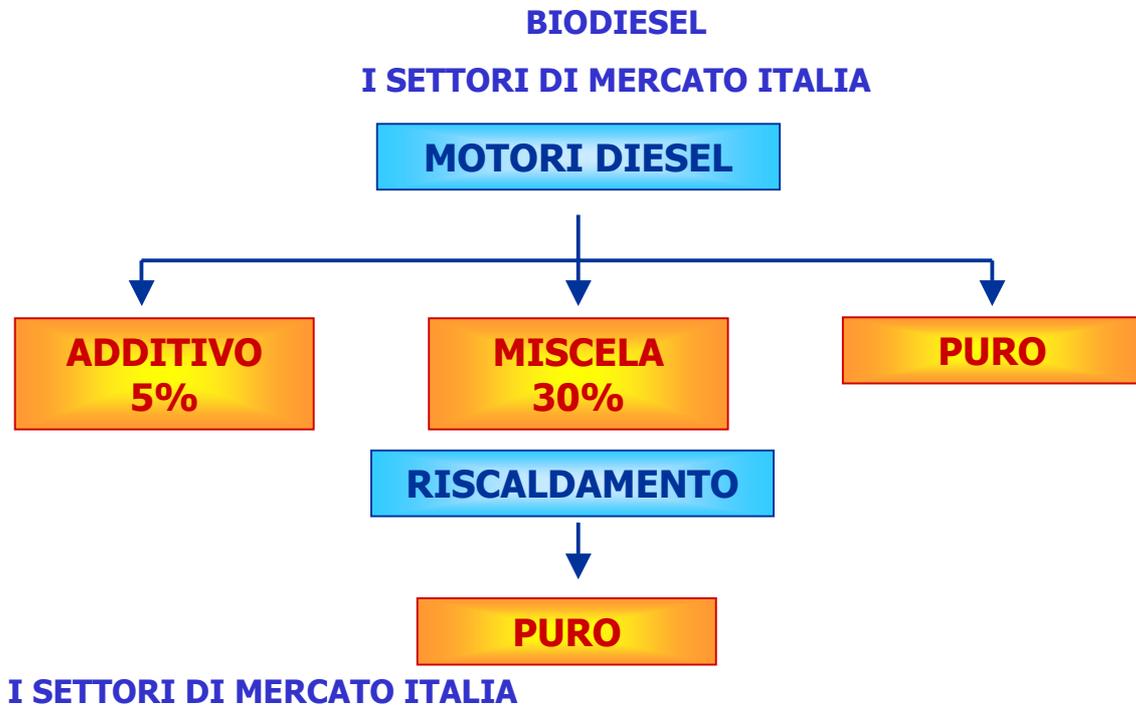
Un altro aspetto è quello relativo alla biodegradabilità che, nel caso di utilizzo di prodotto puro, riduce i rischi derivanti da sversamenti in aree sensibili (questa caratteristica suggerisce l'utilizzo del B100 per la nautica nelle aree protette). Da questo punto di vista, quindi, il biodiesel presenta rispetto al gasolio una configurazione molecolare più "vantaggiosa". Il rovescio della medaglia è la minore stabilità nel tempo.

Vari studi americani (Peterson 1996, Will Research Laboratories, 1996) in acqua marina hanno dimostrato che il biodiesel ha una tossicità verso pesci e crostacei molto più bassa (mediamente 15-20 volte) rispetto a quella del gasolio di riferimento..

Infine, un aspetto che differenzia nettamente il biodiesel dagli altri combustibili è la sua rinnovabilità e origine agricola. Ciò significa che la sua produzione - pur essendo limitata dalla disponibilità di terreno - offre uno sbocco di tipo *no - food* alle produzioni agricole, quindi al mantenimento del mondo rurale.

## Applicazioni

Nel settore autotrazione è utilizzato in misura massima del 5%, più diffuso è il suo utilizzo in forma pura, sia nel settore per autotrazione, sia nelle centrali termiche



**POSIZIONE STAKE HOLDERS** maggiori utilizzatori sono le Compagnie petrolifere (per la sua capacità di aumentare la lubrificita del gasolio esso trova larga applicazione nei gasoli a basso tenore di zolfo)

Altro settore industriale è rappresentato dai Costruttori di motori (WW, Audi, Seat, Skoda, PSA, Mercedes, Iveco, Caterpillar, MAN, DAF). I principali costruttori di motori Diesel offrono garanzia per l'impiego del biodiesel puro o in miscela al 30%

**LUBRICITY IMPROVERI** gasoli a basso tenore di zolfo vengono additivati per aumentare il potere lubrificante del gasolio.

- Una piccola percentuale di biodiesel consente di raggiungere valori adeguati di lubricità senza impiego di altri additivi ***Specifiche tecniche***

Tutte le applicazioni di mercato del biodiesel richiedono standard qualitativi che ne assicurino l'affidabilità.

La qualità del biodiesel è garantita dal rispetto della specifica europea CEN14214.

## ***Panorama giuridico***

### ***La Legislazione europea***

- **Aprile 2003** – Legge Delega Riforma Accise focalizzata sulla salvaguardia di salute e ambiente privilegiando utilizzo di prodotti ecocompatibili
- **Maggio 2003** – approvazione Direttiva comunitaria n. 30 per promozione biocarburanti con obiettivi “indicativi”:
- **Novembre 2003** – approvazione Direttiva n. 96 sulla Tassazione Energia: agevolazioni strutturali per diffusione biocarburanti

### ***Il quadro normativo nazionale***

La finanziaria 2005 ha previsto un contingente di biodiesel in esenzione fino a un contingente di 200.000 t annue per un periodo di cinque anni (fino al 2010) tenendo presente che, in coerenza con gli obiettivi delle Direttive Comunitarie, le richieste dei produttori erano: esenzione da accise per un contingente di 400.000 t/anno nel 2005, agevolazione fiscale strutturale.

Per quanto riguarda l'inquadramento normativo, nel 2003 sono state varate due Direttive per i biocarburanti, tutti gli stati membri si sono espressi in maniera favorevole tranne l'Italia, inoltre è stato sottolineato che in Italia la finanziaria 2005 ha ridotto il prodotto a 200.000 t annuo (corrispondente a 1/3). Tale situazione sarà mantenuta fino al 2010

Per concludere questo paragrafo si riporta lo schema riassuntivo, relativo al biodiesel, di uno studio eseguito per conto della Comunità Europea nell'ambito del “II Programma Auto-Oil (WG3)” dal prof. C. Arcoumanis.

#### ***Vantaggi***

- E' rinnovabile quindi ha un basso livello di emissioni di CO2 lungo tutto il ciclo di vita.
- Il biodiesel puro non contiene zolfo e composti aromatici, quindi produce minori emissioni di particolato e di IPA rispetto al gasolio
- Il prodotto puro è biodegradabile e non tossico
- Come composto ossigenato.

#### ***Svantaggi***

- Ha una maggiore viscosità cinematica che determina problemi di atomizzazione, a meno di modifiche agli iniettori.<sup>89</sup>
- Ha un comportamento peggiore alle basse temperature, rispetto al gasolio; situazione migliorabile solo con additivi.
- L'elevato contenuto di ossigeno delle sue molecole causa un aumento delle emissioni di NOx
- La scarsa disponibilità di terra per colture energetiche limita le possibilità di produzione di tale biocombustibile.
- La miscela con gasolio di biodiesel in percentuale superiore al 5% può causare numerosi problemi al sistema di iniezione.
- Ha una bassa stabilità idrolitica, causa di problemi alle

*Schema riassuntivo relativo al biodiesel, estratto dallo studio del Prof. C. Arcoumanis  
(European Auto oil II Programme, WG3 – Fuel Technology – Estrapolato CTI)*

#### **4.1.4.1 Gas serra e biodiesel**

Il biodiesel (estere metilico di olio vegetale) è un combustibile rinnovabile. Questo significa che la combustione di biodiesel non aumenta la concentrazione atmosferica di anidride carbonica in conseguenza del fatto che, da un punto di vista quantitativo, la CO<sub>2</sub> emessa è la stessa che le piante oleaginose hanno prelevato dall'atmosfera durante il loro ciclo vegetativo.

Questo concetto è applicabile alla combustione di tutte le fonti rinnovabili provenienti da biomassa ed è effettivamente vero se si considerano le sole emissioni di CO<sub>2</sub> al tubo di scappamento o al camino. La conferma che il biodiesel è effettivamente vantaggioso in termini di produzione di gas serra è data dall'analisi delle emissioni dei "gas clima alteranti" lungo l'intera filiera produttiva del biocombustibile e dal confronto dei risultati ottenuti con quelli relativi al gasolio (Life Cycle Analysis). La produzione di biodiesel, come ogni altra attività antropica, non è esente da emissioni di gas serra ed è quindi importante allargare al massimo i confini del sistema analizzato al fine di valutarne l'effettiva valenza ambientale.

Recenti studi in materia (CTI Energia Ambiente – '99; Ademe – '02; Shell – '02) riportano i risultati di varie analisi del ciclo di vita ed evidenziano che, mediamente, le emissioni di gas serra evitate nel corso dell'intera vita produttiva del biodiesel si aggirano attorno a 2 – 2.4 kg di CO<sub>2</sub>eq per kg di gasolio sostituito (l'estrema variabilità dei valori è legata alle modalità di analisi e alla definizione dei confini del sistema analizzato).

Il valore medio, prudenziale, di 2 kg di CO<sub>2</sub>eq evitata per kg di gasolio sostituito è quindi un dato sicuramente accettabile che consente di ipotizzare un contenimento delle emissioni di gas serra pari a circa 520.000 tonnellate di CO<sub>2</sub>eq all'anno, per una produzione di biodiesel di 300.000 tonnellate, pari all'attuale contingente esente da accisa.

E' importante notare come, per massimizzare il vantaggio in termini di CO<sub>2</sub> risparmiata, sia opportuno seguire alcune regole fondamentali: coltivazione di materia prima su terreni agricoli

fertili e quindi altamente produttivi; impiego di buone pratiche agricole al fine di minimizzare l'utilizzo di concimazioni azotate, percentualmente rilevanti nel computo dei gas serra; produzione di materia prima sul territorio europeo al fine di mantenere in un ambito territoriale circoscritto i benefici legati all'utilizzo delle colture energetiche e massimizzare gli effetti indotti dalla messa in atto di nuove colture; utilizzo di altre fonti energetiche rinnovabili lungo tutta la catena produttiva.

#### 4.1.5 GPL e Metano

La rete di distribuzione del GPL aggiornata al 2005 è rappresentata nella seguente tabella:

##### *Rete di distribuzione del GPL auto*

Regioni	Distributori GPL 2002		
	Stradali	Autostradali	Totali
<b>Valle d'Aosta</b>	1	1	2
<b>Piemonte</b>	162	37	199
<b>Liguria</b>	19	4	23
<b>Lombardia</b>	311	27	338
<b>Trentino-Alto Adige</b>	42	3	45
<b>Friuli-Venezia Giulia</b>	37	5	42
<b>Veneto</b>	222	22	244
<b>Emilia-Romagna</b>	243	25	268
<b>Toscana</b>	137	17	154
<b>Marche</b>	106	10	116
<b>Umbria</b>	54	2	56
<b>Lazio</b>	126	17	143
<b>Abruzzo</b>	54	13	67
<b>Molise</b>	18	1	19
<b>Campania</b>	81	18	99
<b>Puglia</b>	87	4	91
<b>Basilicata</b>	22	0	22
<b>Calabria</b>	36	3	39
<b>Sicilia</b>	103	11	114
<b>Sardegna</b>	45	0	45
<b>Totale Italia</b>	<b>1.906</b>	<b>220</b>	<b>2.126</b>
<b>Repubblica San Marino</b>	<b>5</b>		<b>5</b>

In essa sono indicati sia gli impianti in esercizio, sia quelli in costruzione (stradali e autostradali), è stato osservato che l'attuale rete di distribuzione è alquanto carente.

La rete di distribuzione del metano aggiornata al 2005 è riportata nella tabella seguente:

*Rete distribuzione metano (aggiornamento aprile 2005)*

REGIONI	IMPIANTI IN ESERCIZIO			IN COSTRUZIONE		
	Aziendali	Stradali	Autostradali	Aziendali	Stradali	Autostradali
Piemonte	1	23	-	-	13	-
Liguria	1	7	-	-	-	-
Lombardia	5	45	-	-	2	-
Veneto	1	72	1	-	5	-
Friuli V.G.	1	4	-	-	-	-
Trentino A.A.	2	4	-	-	-	-
Emilia Romagna	5	83	3	-	1	3
Marche	2	55	-	-	1	-
Abruzzo	-	14	-	-	2	-
Molise	-	3	-	-	-	-
Toscana	2	55	2	1	1	-
Umbria	2	18	-	-	-	-
Lazio	-	17	3	-	7	1
Puglia	-	28	-	-	2	-
Campania	1	30	-	1	5	-
Basilicata	-	4	-	-	-	-
Calabria	-	3	-	-	-	-
Sicilia	2	10	-	-	-	-
<b>TOTALE</b>	<b>25</b>	<b>475</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>39</b>	<b>4</b>

*Fonte Federmetano*

Per quanto riguarda la richiesta di mercato del GPL, relativa al periodo 2000-2003, si è osservato un calo nella vendita del prodotto con un picco nel 2001, anche se nel complesso la situazione appare leggermente migliore rispetto al GN. Questa situazione emerge anche dai dati forniti dalla motorizzazione dove sono riportate le immatricolazioni dei veicoli alimentati a GPL e a metano nel periodo 1998 – 2004. Al fine di fornire un'idea di come sta andando attualmente il mercato, viene riportata una ripartizione per regione dalla quale si osserva che alcune regioni, in particolar modo Lazio e Lombardia, orientano le loro scelte verso questo tipo di carburante. Tale scelta probabilmente è condizionata dal blocco della circolazione applicato a queste regioni e dalla concomitante recente presenza sul mercato di auto FIAT alimentate a metano.

### Immatricolazioni GPL

anno 1998	anno 1999	anno 2000	anno 2001	anno 2002	anno 2003	anno 2004
241	2.509	1.822	414	2.175	1.168	463

### Immatricolazioni Metano

anno 1998	anno 1999	anno 2000	anno 2001	anno 2002	anno 2003	anno 2004
720	5.624	11.570	13.274	6.301	6.644	12.520

### Collaudi GPL

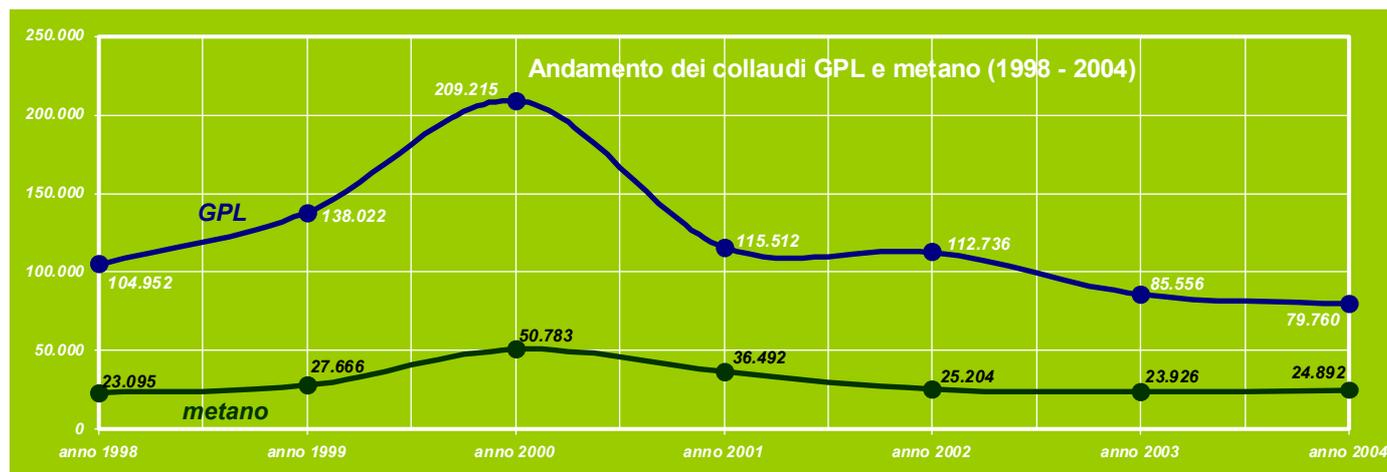
anno 1998	anno 1999	anno 2000	anno 2001	anno 2002	anno 2003	anno 2004
104.952	138.022	209.215	115.512	112.736	85.556	79.760

### Collaudi Metano

anno 1998	anno 1999	anno 2000	anno 2001	anno 2002	anno 2003	anno 2004
23.095	27.666	50.783	36.492	25.204	23.926	24.892

Immatricolazioni e collaudi di veicoli alimentati a GPL e metano 1998-2004.

I dati sono estratti ed elaborati dal Consorzio Ecogas dai file prodotti dal CED della Motorizzazione.



Per quanto riguarda la sicurezza, in linea con tutto il settore automotive negli ultimi anni si è assistito al passaggio verso una “sicurezza attiva”, attraverso l’uso di elettrovalvole di blocco (valvole e dispositivi di sicurezza), nell’ambito della quale i componenti utilizzati sono gli stessi che l’industria automobilistica impiega per le installazioni sulle immatricolazioni. Per quanto riguarda la valenza ambientale, sono stati presentati dati comparati GPL e metano condotti presso il Centro Superiore Ricerche e Prove Ministero dei Trasporti di Roma e presso la Stazione Sperimentale Combustibili. I risultati ottenuti utilizzando i due tipi di combustibili sono confrontabili, inoltre essi dimostrano in ogni caso che le auto che hanno subito la trasformazione da benzina a metano anticipano sempre la direttiva successiva a quella vigente. Per quanto riguarda la fiscalità, è emerso che in tema di imposte sui carburanti in tutto il mondo si sta diffondendo un orientamento favorevole ad agevolare i prodotti le cui emissioni sono minori. In tale ottica appare evidente come la politica fiscale rappresenti lo strumento più efficace per incentivare i consumatori ad utilizzare carburanti ecocompatibili, quale il GPL, la cui diffusione ridurrebbe i costi esterni del settore dei trasporti su ambiente e salute. La Direttiva 2003/96/CE del Consiglio dell’Unione Europea riconosce al GPL le sue positive caratteristiche ambientali; la direttiva prevede infatti, per il GPL auto, un’accisa pari a 1/5 rispetto a quelle assegnata alla benzina. L’accisa che grava sul GPL

autotrazione nel nostro Paese – 0,1566€ per litro – risulta ben superiore all’aliquota minima stabilita dalla Direttiva Europea, pari a 0,06888€ per litro, ed a quella applicata dalla maggior parte degli altri Paesi europei. La politica fiscale adottata dai diversi Paesi europei (Olanda, Inghilterra, Belgio) nei confronti dei carburanti premia infatti il GPL quale carburante dalla rilevante valenza ambientale, con un livello di tassazione nettamente inferiore a quello italiano. Per questo motivo il comparto chiede di allineare l’accisa applicata in Italia a quella minima prevista dalla vigente Direttiva Europea al fine di incentivare un carburante pronto a rispondere agli obiettivi di qualità dell’aria fissati dalla Comunità Europea e a quelli indicati dal Protocollo di Kyoto per quanto riguarda le emissioni di gas serra.

*Accise applicate in Italia Confronto con i valori della nuova direttiva europea 2003/96/CE*

	<b>GPL</b>	<b>Metano</b>	<b>Diesel</b>	<b>Benzina</b>
<b>Accisa Dir. 2003/96 Euro/litro</b>	<b>0,0688</b>	<b>0,0910</b>	<b>0,3020</b>	<b>0,3590</b>
<b>Accisa in Italia Euro/litro</b>	<b>0,1566</b>	<b>0,0110</b>	<b>0,4032</b>	<b>0,5586</b>
<b>▲ assoluto</b>	<b>0,0878</b>	<b>-0,0800</b>	<b>0,1012</b>	<b>0.1996</b>
<b>percentuale</b>	<b>127,78%</b>	<b>-87,91%</b>	<b>33,51%</b>	<b>50,92%</b>

*Caratteristiche chimico-fisiche del GPL*

La sigla GPL (Gas di Petrolio Liquefatti) identifica una miscela commerciale di gas (idrocarburi) costituita prevalentemente da propano e butano. In condizioni ambientali standard questa miscela si presenta allo stato gassoso, ma ha la positiva caratteristica di poter essere portata allo stato liquido, a temperatura ambiente, se sottoposta a pressioni anche leggermente superiori a quella atmosferica. Ed è allo stato liquido che può essere facilmente contenuta e trasportata in recipienti a pressione.

*Origine del GPL, produzione e distribuzione*

Il GPL può essere ottenuto tramite estrazione da pozzi petroliferi o di gas naturale e dalla raffinazione, in quanto i processi di raffinazione del greggio producono naturalmente dei gas.

Attualmente in Europa il GPL commercializzato è per circa il 55% estratto da giacimenti di gas naturale e per il restante 45% derivato dalla raffinazione del petrolio. Rispetto ad altri combustibili tradizionali il GPL ha, quindi, un più basso costo energetico, dovuto ai più semplici processi di estrazione e lavorazione, con i relativi benefici ambientali. Grazie alla facilità con cui il GPL passa dallo stato gassoso a quello liquido e viceversa, lo stoccaggio ed il trasporto avvengono agevolmente attraverso contenitori a pressioni non elevate. Ciò rende il GPL un combustibile gassoso unico per la sua versatilità, economicità delle apparecchiature e sicurezza di utilizzo.

### ***Il GPL in Italia***

Attualmente il GPL presenta caratteristiche tecniche paragonabile a quelle dei carburanti tradizionali. Inoltre il Decreto del Ministero dell'Interno del 22/11/2002 autorizza il parcheggio delle auto a GPL nelle autorimesse interrato, sanando una anomala normativa che da anni ne impediva la diffusione ed eliminando i pregiudizi che l'utente ha sulla sicurezza del veicolo

Oltre alle autovetture trasformate e a quelle offerte dalle case automobilistiche già equipaggiate per funzionare a GPL, oltre ai veicoli per il trasporto leggero e agli autobus, la tecnologia GPL è già pronta anche per gli scooter, corresponsabili dell'inquinamento nelle aree urbane e per le imbarcazioni. Le sue potenzialità non sono però pienamente sfruttate e i trend di crescita non sono rispondenti alle esigenze ambientali del nostro Paese. Il GPL già da anni è penalizzato da un prezzo al pubblico troppo elevato a causa del carico fiscale (accise) elevato e decisamente sproporzionato sia rispetto alle indicazioni europee che agli altri carburanti.

### ***Il GPL in Europa***

In Europa circolano circa 2 milioni di veicoli a GPL: auto private, taxi, veicoli leggeri per la distribuzione merci, veicoli di servizio e mezzi delle amministrazioni locali e per il trasporto pubblico.

La politica fiscale adottata dai diversi Paesi nei confronti dei carburanti premia il GPL quale prodotto dalla rilevante valenza ambientale, con livelli di tassazione inferiori rispetto all'Italia. L'Europa infatti, da tempo riconosce e premia i pregi ambientali del GPL: sia la direttiva europea 92/82/CE sia la nuova direttiva in vigore (2003/96/CE) prevedono per il GPL livelli di tassazione molto più bassi di quello attualmente applicato in Italia.

### ***Il GPL e l'Ambiente***

I gas prodotti dalla combustione del GPL hanno ridotte emissioni sia di sostanze inquinanti regolamentate e non, sia di gas serra. Benzene e IPA, notoriamente cancerogeni, sono assenti nel

GPL. Quasi totalmente assente è anche lo zolfo. Inoltre, le sue caratteristiche di combustione non richiedono l'uso di additivi, spesso inquinanti, per raggiungere adeguati livelli di non-detonanza.

Per quanto riguarda le emissioni di gas ad effetto serra, studi recenti hanno evidenziato i seguenti benefici dei veicoli a GPL rispetto ai veicoli a benzina: i veicoli alimentati con GPL di raffinazione del gas naturale riducono la produzione di gas serra del 14-20%; i veicoli alimentati con GPL di raffinazione del petrolio riducono la produzione dei gas serra del 12-17%.

Questa analisi mostra, inoltre, che i veicoli a GPL presentano emissioni di CO<sub>2</sub> di poco inferiore ai veicoli diesel, i quali se grazie allo speciale ciclo termodinamico del motore sono particolarmente efficienti, pongono però seri problemi di emissioni di ossidi di azoto e di particolato fine e ultrafine.

Studi recenti hanno evidenziato il vantaggio del GPL anche rispetto al gasolio a basso contenuto di zolfo su veicoli di ultima generazione e confermano la leggera riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

I veicoli a GPL hanno anche notevoli vantaggi ambientali per quanto riguarda i composti organici volatili, rispetto ai veicoli a benzina, e gli ossidi di azoto ed il particolato, rispetto alle vetture diesel.

La maggior parte dei provvedimenti finora adottati dalle amministrazioni locali, volti a contenere le concentrazioni degli inquinanti, esentano, quindi, i veicoli a GPL, anche se non catalizzati, dai blocchi parziali o totali della circolazione in ambito urbano. A tale proposito è necessario ricordare che soprattutto le concentrazioni di particolato rilevate dalle centraline di monitoraggio segnalano livelli spesso superiori a quelli consentiti dalle direttive europee in merito.

I benefici ambientali del GPL non derivano solo dal suo uso, ma riguardano anche la sua produzione. Si tratta infatti di una miscela di gas butano e propano presenti nei giacimenti di greggio e di gas naturale o prodotta dalla raffinazione del petrolio. La produzione di GPL non apporta quindi nessun inquinamento aggiuntivo nel processo di estrazione o di raffinazione con cui è ricavato ed inoltre se non venisse recuperato, sarebbe inutilmente bruciato in testa ai pozzi o nelle raffinerie.

### ***Il GPL e la sicurezza***

Nella costruzione dei componenti dell'impianto si tiene conto delle caratteristiche chimico-fisiche del GPL. Collaudi, test e prove sono severissimi, ciò riguarda anche le norme che regolano la costruzione di serbatoi, tubazioni, valvole e degli altri dispositivi che compongono l'impianto. Basti pensare che la pressione sviluppata dal GPL all'interno del serbatoio oscilla da 3 a 10 bar, mentre i serbatoi sono progettati per pressione di esercizio pari a 30 bar; inoltre, in fase di

omologazione, i serbatoi, sottoposti ad un test di pressione idraulica, non devono avere cedimenti strutturali prima di raggiungere la pressione di 67,5 bar. Anche i materiali utilizzati per la costruzione degli impianti di conversione sono specifici, proprio per garantire ad un carburante gassoso come il GPL, la medesima sicurezza riscontrabile per la benzina e il diesel. Inoltre, perché sia ottenuto il massimo dell'efficienza dal punto di vista della sicurezza, il serbatoio viene sostituito dopo 10 anni dall'installazione.

#### *Il regolamento ECE/ONU 67/01*

Il nuovo Regolamento, oltre ad introdurre norme sulla costruzione ed omologazione dei componenti GPL, definisce i requisiti di sicurezza inerenti all'installazione di questi componenti sulle autovetture. L'obiettivo è quello di garantire le caratteristiche di massima sicurezza dell'impianto GPL in ogni situazione (coinvolgimento in un incidente o incendio, parcheggio in garage interrati, esposizione ad eccessivo surriscaldamento per irraggiamento ecc.). Sono quindi obbligatori alcuni dispositivi atti ad assicurare la massima sicurezza.

#### ***Caratteristiche chimico-fisiche del Metano***

È un gas incolore, inodore, non tossico, che brucia all'aria con fiamma bluastro; è costituito da un atomo di carbonio e quattro di idrogeno con formula chimica  $\text{CH}_4$ . Il metano è il principale componente del gas naturale, cioè il combustibile gassoso di origine fossile formatosi, generalmente insieme al petrolio, centinaia di milioni di anni fa, per decomposizione chimica dei vegetali in assenza di ossigeno (fermentazione anaerobica). Questo combustibile/carburante all'idrogeno, esiste in natura ed è prontamente utilizzabile.

#### ***Riserve certe di gas naturale***

Agli attuali consumi le riserve accertate di gas naturale sono sufficienti per 60/70 anni, la sua diffusione è abbastanza distribuita, le regioni con minori riserve sono quelle americane, le maggiori ancora le regioni dell'area del Golfo Persico dove sono concentrati più di un terzo dei giacimenti accertati. Oltre alle riserve certe il metano può derivare anche da produzioni "artificiali", in qualche misura può essere una fonte rinnovabile derivante dalla fermentazione anaerobica di sostanze organiche. In seguito all'aumento della produzione zoo-agricola e al conseguente aumento di scarti e deiezioni, unitamente alla maggior sensibilità nei confronti della produzione di energia da fonti diversificate, sono stati messi a punto digestori anaerobici che permettono di produrre effluenti gassosi (principalmente metano) da liquami, utilizzando alcuni microrganismi in grado di metabolizzare i composti organici. Per esempio da 120 tonnellate di liquami animali al giorno

(equivalente alle deiezioni di 12.000 maiali) si possono ottenere 200 N m<sup>3</sup> di metano. Il Metano può essere ricavato anche dalle miniere di carbone, sia pure dismesse. Le miniere di carbone possono essere sfruttate per fini energetici con le tecnologie per il recupero del metano autoprodotta dalle miniere sia nuove che dismesse, tali tecnologie sono collaudate ed efficienti e permettono di risparmiare e conservare la maggior parte del carbonio contenuto nel carbone e nel contempo impedire l'emissione del metano in atmosfera depurando il carbone da questo gas serra .

### ***Il Metano e l'Ambiente***

Dato il suo basso contenuto di carbonio (o alto contenuto di idrogeno) produce emissioni di CO<sub>2</sub> inferiori del 25% rispetto alla benzina, del 16 rispetto al GPL , di circa il 30% rispetto al diesel e del 70% nei confronti del carbone. Il gas naturale ha una capacità di formare ozono inferiore del 80% rispetto alla benzina e del 50% rispetto a gasolio e GPL. Il metano è un combustibile classificato a "minimo impatto ambientale" grazie alle emissioni dopo combustione molto ridotte che non contengono residui carboniosi, benzene e polveri ultrasottili PM<sub>10</sub> (considerati entrambi cancerogeni e presenti, rispettivamente, nella benzina e nel gasolio). Inoltre il metano non è strettamente una fonte esauribile come il petrolio, in quanto si può produrre industrialmente da idrogeno e anidride carbonica, si ottiene anche per fermentazione anaerobica di scarti vegetali e reflui zootecnici, per cui si può sostenere che il metano è in qualche modo una fonte rinnovabile. sotto l'aspetto economico.

#### **4.1.6 Conclusioni**

Le audizioni effettuate dai soggetti appartenenti ad organismi pubblici e privati hanno fornito dati e informazioni atti a definire un quadro il più possibile esatto del fenomeno dell'inquinamento cittadino.

Si può subito dichiarare che il quadro risultante conferma e quantifica le preoccupazioni già portate all'attenzione dell'opinione pubblica sulla esistenza e pericolosità delle polveri sottili (PM<sub>10</sub>). Cause principali della produzione di particolato e degli altri inquinanti (NO<sub>x</sub>, IPA ecc.) sono da attribuirsi nell'ordine, al traffico veicolare e agli impianti di riscaldamento, con grande influenza del primo fattore e grande influenza dei motori diesel nell'emissione delle polveri sottili.

A fronte di un miglioramento della qualità dei combustibili impiegati per l'autotrazione (benzina e gasolio) e di quella tecnologica dei motori a combustione, dovuto a normative molto severe adottate in sede europea, che prevedono una riduzione delle emissioni nocive scaglionata nel tempo di qui al 2010, va registrato un aumento notevole del traffico veicolare e in particolare, resta per il diesel, che pure ha rendimenti maggiori del motore a benzina e dunque produce meno

anidride carbonica, il problema della grande produzione di polveri sottili; ciò porta ad auspicare che le grandi case produttrici di autoveicoli rivedano, o quanto meno verifichino con maggiore attenzione, le politiche di ricerca e di marketing, che negli ultimi anni hanno decisamente privilegiato il ciclo diesel.

La severità delle norme che dettano presenze sempre minori di zolfo e di composti dell'azoto nei carburanti è senz'altro da condividere. Non va tuttavia dimenticato che la desolforazione e la denitrificazione spinta dei combustibili comporta la produzione di anidride carbonica, elemento questo da non sottovalutare in vista degli impegni presi con la firma del Protocollo di Kyoto.

Si sottolinea inoltre che mentre nel nostro Paese sono state interamente recepite le direttive europee che regolano le emissioni dei mezzi in funzione degli standard prefissati per la qualità dell'aria, poco si è fatto per l'impiego di alimentazioni a metano o GPL. L'impiego del metano per la sola flotta degli autobus cittadini sembrerebbe poter dimezzare la concentrazione di PM<sub>10</sub> nelle grandi città e ridurre anche gli idrocarburi policiclici aromatici, causa preminente degli effetti cancerogeni. Pertanto sarebbe auspicabile l'impiego più diffuso possibile dell'uso di GPL e Metano anche nel parco autoveicolare privato.

## 4.2 Emissione da risollevarimento

### Descrizione

In generale si possono distinguere due diversi contributi di materiale particolato (e quindi il PM<sub>10</sub>):

- emissione primaria allo scarico (*exhaust*) prodotta direttamente dalla sorgente,
- emissione “*non exhaust*” (derivata dalla precedente).

L'emissione definita “*non exhaust*” può essere suddivisa a sua volta in:

(1) componente “primaria” (prodotta direttamente dai veicoli):

- parti derivanti dall'usura dei veicoli (*tyre wear*),
- parti derivanti dall'usura di freni e frizione (*brake wear*),
- parti derivanti dall'abrasione del manto stradale (*abrasion*),

(2) componente “secondaria” (derivata dalla primaria):

- parti derivanti dal risollevarimento o risospensione delle polveri presenti sul manto stradale dovuto al transito dei veicoli.

In entrambi i casi l'emissione secondaria può essere considerata sostanzialmente indipendente dall'età del veicolo e dal tipo di combustibile impiegato, mentre può essere distinta per:

- tipologia,
- dimensioni,
- caratteristiche fisiche (ad esempio massa, numero di ruote o assi ecc.).

### Possibilità tecniche di intervento

#### *Monitoraggio*

Per pianificare strategie di abbattimento efficaci è necessario discriminare fra le differenti sorgenti presenti. Le emissioni industriali possono essere stimate con sufficiente accuratezza e precisione tramite 1) fattori di emissione e 2) misure dirette ai camini. Le emissioni da traffico possono essere stimate tramite a) modelli che tengono in considerazione il tipo di veicolo e le emissioni specifiche accoppiati a misure di densità di traffico, velocità media, accelerazione e b) misurate attraverso adeguati analizzatori *on the road* capaci di dare indicazioni grossolane sui vari inquinanti prodotti allo scarico. Lo stesso dicasi per la componente riscaldamento.

In generale, poiché sia misure che modelli non forniscono una risposta solida al problema, solo una combinazione di entrambi può dare il valore aggiunto necessario per comprendere pienamente e valutare quantitativamente il contributo di differenti sorgenti.

Le misure possono essere effettuate convenzionalmente con analizzatori automatici di materiale particolato, con campionatori sequenziali con determinazione gravimetrica della massa e analisi

chimica dei campioni. Il tasso di emissione viene ricavato da tali fattori e in funzione del modello emissivo. La misura o stima del relativo fattore di emissione richiede particolare attenzione. Nel caso della componente secondaria per esempio non esistono, al momento, fattori di emissione consolidati. Considerando il traffico veicolare, ad esempio, (un discorso simile sebbene più semplificato vale per le sorgenti puntuali di tipo industriale) si ha per le diverse classi di veicoli (distinte in base al loro fattore di emissione):

$$E_T = \sum_k E_k$$

$$E_k = E_k(\text{exhaust}) + E_k(\text{non exhaust})$$

in cui  $E_T$  l'emissione totale annua in ambito urbano ed i termini  $E_k$  rappresentano le emissioni totali annue in ambito urbano.

In un modello "statico" si può definire

$$E_k = N_k \varepsilon_k l_k$$

dove:

- $N_k$  è la media annua (giornaliera) del numero di veicoli circolanti della classe  $k$
- $l_k$  è il percorso medio annuo dei veicoli circolanti della classe  $k$
- $\varepsilon_k$  fattore specifico medio di emissione in g/(veicolo km)

In generale i fattori di emissione specifici  $\varepsilon_k$  dipenderanno dalla velocità dei veicoli, dalle pendenze del percorso, dal carico ecc. per i quali, in prima approssimazione, possono essere fissati dei valori "medi" fondati su stime oggettive o soggettive. Nella maggior parte dei casi si ha difficoltà a reperire tutti i termini specifici mentre si ha a disposizione un singolo fattore di emissione in ambito urbano:

$$[\varepsilon_k(\text{hot}) + \varepsilon_k(\text{cold})\beta_k(l_k)] = \varepsilon_k(\text{exhaust})$$

la stima in tal caso si semplifica in

$$E(\text{exhaust}) = \sum_k E_k(\text{exhaust}) = N_T \sum_k p_k l_k \varepsilon_k(\text{exhaust}) = \sum_k N_k l_k \varepsilon_k(\text{exhaust})$$

La stima della parte "exhaust" richiede quindi che vengano valutati i fattori di emissione specifici, il numero medio (o la proporzione) di veicoli circolanti ed il percorso medio in ambito urbano di ciascuna classe di veicoli (ed eventualmente il numero medio complessivo di veicoli circolanti).

Per le emissioni definite "non exhaust" si ha:

$$E(\text{non exhaust}) = \sum_k E_k(\text{non exhaust}) = N_T \sum_k p_k l_k \varepsilon_k(\text{non exhaust}) = \sum_k N_k l_k \varepsilon_k(\text{non exhaust})$$

in cui

$$\varepsilon_k(\text{non exhaust}) = [\varepsilon_k(\text{tyre wear}) + \varepsilon_k(\text{brake wear}) + \varepsilon_k(\text{abrasion})] + \varepsilon_k(\text{risollevamento})$$

I fattori di emissione sia da traffico che industriali possono essere rintracciati in letteratura. Un discorso a parte deve essere fatto invece, come precedentemente accennato, per la componente secondaria (*risollevamento*) per la cui stima del fattore di emissione sono presenti alcune difficoltà (lo stesso discorso vale per il contributo da cantieri, riportato in un paragrafo successivo in tale rapporto). Per la valutazione di tale frazione è disponibile un modello emissivo US-EPA. Tale modello prende in considerazione il contenuto di “limo” sulla superficie<sup>2</sup> (*silt loading*, sL, espresso in g/m<sup>2</sup>), la massa del veicolo medio (W) e indirettamente le condizioni di traffico. La quantità di PM<sub>10</sub> emessa in g/(km\*veicolo) è definita dalla relazione empirica:

$$\varepsilon_k(\text{risollevamento}) = 4.6 \left( \frac{\text{sL}}{2} \right)^{0.65} \left( \frac{W}{3} \right)^{1.5}$$

I limiti del modello corrispondono all'intervallo tra 0.01 e 400 g/m<sup>2</sup> per sL, tra 1.8 e 38 Mg per W, e per velocità medie dei veicoli comprese tra 15 e 90 km/h. Per strade ad elevato traffico (almeno 5000 veicoli/giorno) viene raccomandato un valore “normale” di sL pari a 0.1 g/m<sup>2</sup>, per strade con flussi minori il valore “normale” sL consigliato è di 0.4 g/m<sup>2</sup>.

Sussistono attualmente ancora numerose incertezze nella valutazione di questa componente e nell'applicabilità del modello proposto dall'US-EPA, per cui occorre una notevole cautela nell'interpretazione dei dati. Per la parte di risollevamento il modello dell'US-EPA non consente di stimare un fattore di emissione specifico per classe di veicoli in quanto, per come è definito, il calcolo dei valori di emissione si riferisce a tutte le classi di veicoli che percorrono una data strada: il valore del parametro "massa" è specificatamente riferito al valore del veicolo medio. Per questo motivo non sono riportati dati di fattori di emissioni per questo tipo di valutazione. La stima dell'emissione è quindi effettuata grossolanamente per l'intero parco veicolare e necessita, come già detto, di misure ad hoc da integrare col modello.

Un valido metodo per assegnare i contributi delle differenti sorgenti è la Source Apportionment Analysis (SAA) basata sull'integrazione di (1) campionamento e analisi chimica di campioni in massa di particolato e (2) applicazione di modelli recettore. Questi modelli usano le concentrazioni ambiente misurate e le abbondanze dei composti chimici nelle emissioni delle sorgenti (misurate o stimate) per quantificarne il contributo.

### ***Rimozione***

Interventi di rimozione del particolato generato dai cantieri, dal traffico o dalle industrie possono essere valutati separatamente per quanto riguarda la componente primaria e quella secondaria.

---

<sup>2</sup> Particolato con dimensione inferiore a 75 µm.

L'intervento sulla componente secondaria è possibile (e tecnicamente fattibile) con operazioni di "lavaggio" programmato delle strade, per agevolare il passaggio delle polveri secche in "fanghi umidi" difficilmente risollevabili. Diverse associazioni pongono questo rimedio al primo posto delle azioni da intraprendere nel breve termine, anche perché affronta il problema del ciclo della polvere nei suoi effetti e non nelle cause. Negli Stati Uniti, in Canada e in Australia, stanno considerando il lavaggio delle strade (sweeping vacuuming and flushing) come contromisura efficace per la riduzione del particolato. Un pool di esperti in Svezia, del National Road and Transportation Research Institute ha condotto ricerche sullo stato di diffusione della prassi del lavaggio strade per la riduzione del PM10 presso i comuni della Svezia e presso altre municipalità di altre nazioni in cui è sviluppata la coscienza ambientale, come l'Ontario e il Canada. La ricerca ha evidenziato come l'adozione del lavaggio strade per la riduzione del particolato fine sia effettivamente già applicata in diverse municipalità e sia ritenuta un rimedio efficace. Tuttavia, si è dovuto constatare la totale mancanza di uno standard e di una regolamentazione a proposito. Solo in California esiste un provvedimento legislativo, noto come Rule 11863, che richiede la certificazione dei mezzi di lavaggio stradale per l'abbattimento del particolato fine rispetto ad uno standard di riferimento. Infatti, solo un corretto processamento delle polveri permette l'effettiva riduzione delle polveri sottili, nonché porta vantaggi di secondo ordine ma non per questo trascurabili, come la riduzione dell'inquinamento delle acque, un migliore deflusso dell'acqua nella rete fognaria ed il contenimento del proliferare di insetti.

L'intervento sulla componente primaria è tecnicamente più complesso, se non indirettamente riducendo le emissioni. Una volta emessi infatti gli aerosol sono rimossi dall'atmosfera tramite precipitazioni atmosferiche o deposizione secca. Per quest'ultima (*fallout*) la dimensione influisce sul meccanismo, che può essere di tipo diffusivo ( $D_p < 1 \mu\text{m}$ ) o di tipo gravitazionale (sedimentazione) ( $D_p > 1 \mu\text{m}$ ) in funzione del diametro aerodinamico della particella. La sedimentazione avviene in condizioni ambientali tipicamente viscoso. Con  $Re \ll 0.1$  (regime di Stokes) e particelle sferiche vale la seguente equazione che descrive la forza di attrito agente su una particella (formula di Stokes):

$$F_D = 3\pi\eta D_p u$$

dove  $\eta$  è la viscosità dell'aria,  $D_p$  il diametro aerodinamico della particella (detto anche diametro di Stokes),  $u$  la velocità della particella rispetto al mezzo.

La velocità di sedimentazione, ricavata come la velocità di caduta libera è quindi data dal bilancio delle forze agenti sulla particella (gravità, spinta di Archimede e attrito):

$$u = \frac{gD_p^2(\rho_p - \rho_a)}{18\eta}$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\rho_p$  e  $\rho_a$  rispettivamente la densità della particella e dell'aria.

Dall'ultima relazione emerge che la velocità di deposizione cresce con la seconda potenza del diametro, quindi determina tempi di residenza in atmosfera molto lunghi per particelle più piccole. Egualmente la deposizione per via diffusiva ha velocità di deposizione crescenti al diminuire delle dimensioni, per cui è facile intuire che nell'intervallo tra 0.1 e 1 micrometro si ha una deposizione molto lenta (Figura):

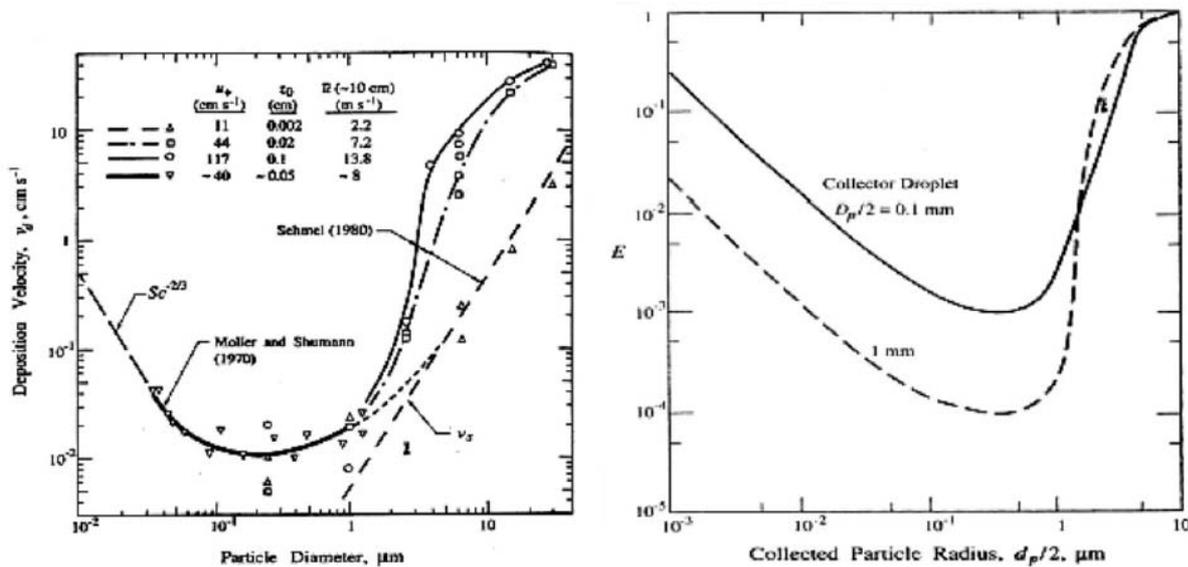


Figura : (Sx) Velocità di deposizione secca delle particelle in funzione del loro diametro. (Dx) Efficienza del coefficiente di rimozione umida di gocce di diametro diverso in funzione del raggio della particella intercettata

[Fonte: Seinfeld, 1999].

I processi di crescita e formazione tendono ad accumulare gli aerosol proprio in quell'intervallo, e questi possono essere rimossi solo tramite attivazione (se ha le giuste caratteristiche igroscopiche), crescita in gocce e successiva precipitazione umida.

Si riportano a titolo di esempio del dibattito ancora in corso sulla questione della valutazione del particolato dovuto a risospensione o risollevamento, due estratti relativi agli inventari delle emissioni inglese e austriaco.

### **4.3 Abbattimento passivo degli inquinanti**

Il problema dell'inquinamento atmosferico nelle grandi aree urbane costituisce una delle grandi sfide per la tutela dell'ambiente e, in particolare, per la salute pubblica. La materia della prevenzione e della gestione dell'inquinamento atmosferico è ora regolata dalla direttiva Comunitaria 96/62 (Direttiva quadro sulla qualità dell'aria) che, attraverso le Direttive specifiche per i singoli inquinanti, tra cui il biossido d'azoto ( $\text{NO}_2$ ), gli ossidi d'azoto ( $\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$ ), il biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ), il benzene, il piombo ed il materiale particolato sospeso ( $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{2.5}$ ), definisce i limiti di concentrazione, le metodiche, le strategie di misura, la localizzazione dei punti di misura, l'incertezza delle misure e le modalità di informazione al pubblico.

Un'analisi condotta sui dati disponibili nella maggior parte delle città italiane, indica che per questi inquinanti i limiti proposti, non potranno essere soddisfatti. Presumibilmente, i limiti per  $\text{NO}_2$  saranno, con ogni probabilità superati.

Il possibile superamento di questi limiti, impone l'adozione di piani di risanamento che si annunciano molto pesanti per l'economia del paese in quanto, necessariamente, essi incideranno quasi esclusivamente nei confronti delle sorgenti di emissione, limitando fortemente la mobilità e fruibilità delle città da parte dei cittadini. Questa situazione non solo si tradurrà in una serie di inconvenienti per i cittadini stessi, ma costringerà le Amministrazioni competenti ad un notevole sforzo economico, per rispettare i limiti imposti a livello europeo.

#### **4.3.1 Superfici fotocatalitiche**

E' dunque necessario attivare, nel limite delle possibilità offerte dalla tecnologia, nuove iniziative che, pur orientate alla riduzione dei livelli di inquinamento, possano ridurre l'impatto economico e sociale dei piani di risanamento.

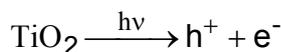
Da questa constatazione nasce l'idea di impiegare superfici aventi proprietà di reattività legata al concetto di fotocatalisi e di usare la luce come "acceleratore" di deposizione. Tra i materiali fotocatalitici più studiati e usati, il biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ) presenta caratteristiche molto peculiari che lo rende molto adatto alla preparazione di rivestimenti fotocatalitici che possono trovare immediata applicazione sia nell'edilizia urbana e nel settore della protezione passiva in ambienti dedicati alla conservazione delle opere d'arte o di manufatti pregevoli relativi alla conservazione del patrimonio culturale.

Queste capacità del  $\text{TiO}_2$  possono potenzialmente condurre allo sviluppo di una nuova classe di materiali da costruzione aventi le proprietà autopulenti e di abbattimento dell'inquinamento atmosferico.

In considerazione del Decreto Ministeriale del 1 aprile 2004, che prevede interventi a vantaggio dei comuni che adottano sistemi innovativi per l'abbattimento e la mitigazione dell'inquinamento ambientale, è stato sviluppato un sistema sperimentale che consente, in modo univoco, la valutazione dell'efficacia dei materiali contenenti biossido di titanio per l'abbattimento del biossido e del monossido di azoto. Il metodo utilizzato ha la capacità di misurare in laboratorio i parametri collegati alla reattività eterogenea degli inquinanti sulle superfici a pressione ambiente e a livelli di concentrazioni reali degli inquinanti e senza limitazioni sul trasferimento di massa.

### Basi teoriche

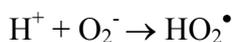
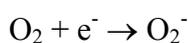
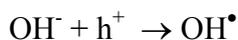
TiO<sub>2</sub> è un catalizzatore semiconduttore che dà luogo a reazioni di ossidoriduzione superficiali quando è irradiato con luce ultravioletta di lunghezza d'onda minore di 380 nm. Questa energia luminosa eccita gli elettroni degli atomi di titanio, presenti sulla superficie del materiale, e induce la promozione di questi elettroni dalla banda di valenza alla banda di conduzione. Il risultato è la formazione della coppia buca-elettrone (h<sup>+</sup>-e<sup>-</sup>) nella banda di valenza. Le buche partecipano alle reazioni di ossidazione, mentre gli elettroni partecipano alle reazioni di riduzione secondo il seguente schema:



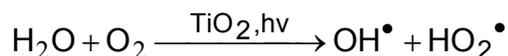
dove h<sup>+</sup> è la forma eccitata del TiO<sub>2</sub>. L'acqua assorbita sulla superficie del materiale attivo viene dissociata in ioni ossidrilici (OH<sup>-</sup>) ed in ioni idrogeno (H<sup>+</sup>):



La specie h<sup>+</sup> reagisce con OH<sup>-</sup> per generare il radicale OH<sup>•</sup> sulla superficie del TiO<sub>2</sub> eccitato, mentre e<sup>-</sup> può partecipare all'assorbimento di ossigeno dall'aria e produrre O<sub>2</sub><sup>-</sup> sulla superficie del materiale reagendo con gli ioni idrogeno H<sup>+</sup> per formare il radicale idroperossido HO<sub>2</sub><sup>•</sup>:

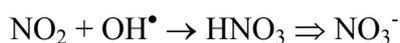
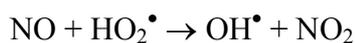


Il risultato complessivo è, quindi, il seguente:



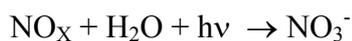
A questo punto il TiO<sub>2</sub> ritorna allo stato fondamentale, ed è pronto per essere di nuovo eccitato esercitando, quindi, il ruolo di catalizzatore.

Il monossido di azoto, che diffonde sulla superficie del materiale, reagisce rapidamente con il radicale idroperossido per produrre il biossido di azoto. Questa ultima specie reagisce con il radicale ossidrilico per formare acido nitrico:



L'acido nitrico, trovandosi in ambiente alcalino, viene irreversibilmente assorbito sulla superficie del materiale formando lo ione nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

In definitiva, una specie inquinante dannosa per l'ambiente viene trasformata in una specie solubile e non nociva. Infatti, la reazione complessiva che avviene sulla superficie del materiale fotocatalitico è la seguente:



Ovviamente, parte di  $\text{NO}_2$  può essere assorbito sulla superficie del materiale prima di essere ossidato ad acido nitrico. In tal modo, il biossido di azoto, reagendo con l'acqua], può essere determinato sotto la forma di nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e di nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ):



Di conseguenza, i materiali fotocatalitici costituiscono uno strumento capace di abbattere in modo semplice e diretto l'inquinamento atmosferico specialmente nelle aree urbane.

## **Parte sperimentale**

Le prove sperimentali di esposizione sono state condotte utilizzando reattori fotocatalitici cilindrici (denuder di diffusione), ricoperti con materiali, disponibili in commercio, contenenti  $\text{TiO}_2$ .

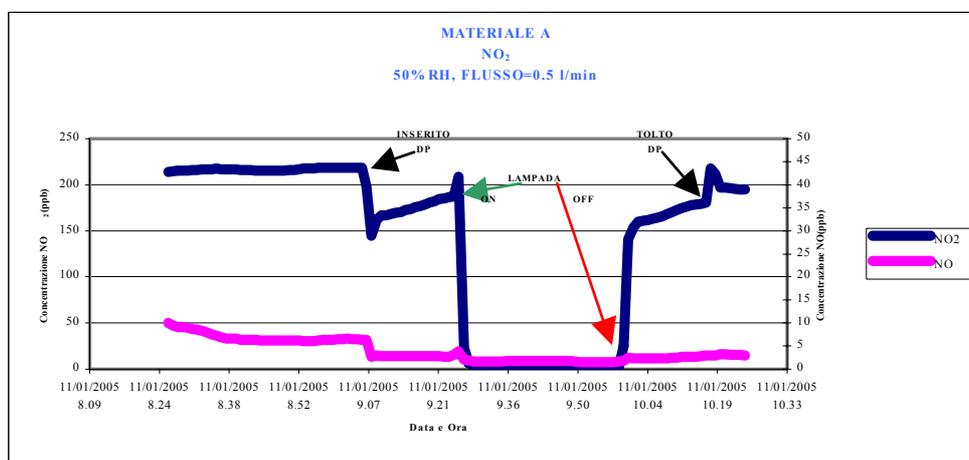
I prodotti da analizzare sono stati applicati all'interno della superficie del denuder con una tecnica "wash coat". La superficie contenente il fotocatalizzatore è stata illuminata con una guida di luce flessibile di 0.5 m, con la radiazione UV-VIS generata da una lampada Xenon da 150 Watt (Oriel lamp, US).

I gas campione, che sono stati utilizzati per testare la reattività dei rivestimenti fotocatalitici, sono il monossido di azoto e il biossido di azoto. Il monossido di azoto viene inviato nel dispositivo sperimentale da una bombola e viene diluito tramite un flusso di aria ad umidità relativa controllata. Il biossido di azoto, prodotto da un tubo di permeazione, viene inviato, (anch'esso insieme ad un flusso di aria di diluizione ad umidità relativa controllata), al dispositivo sperimentale contenente una superficie ricoperta con uno dei materiali fotocatalitici in esame.

A valle del sistema è posto un analizzatore a chemiluminescenza per la misura delle variazioni delle concentrazioni degli ossidi di azoto in uscita dal dispositivo.

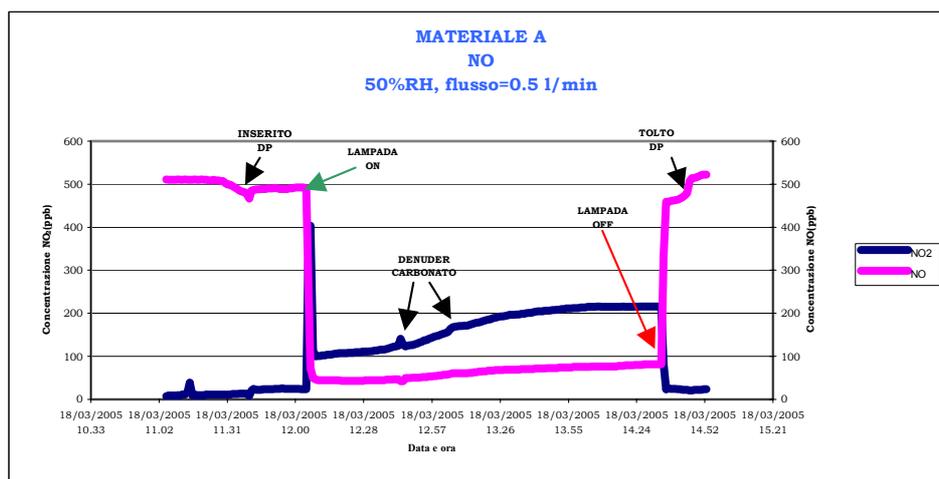
## Risultati

Nel presente lavoro sono riportati e discussi alcuni risultati sperimentali relativi alla valutazione della reattività fotocatalitica di  $\text{TiO}_2$ , dell'efficienza ed i prodotti di reazione della decomposizione fotocatalitica di  $\text{NO}_2$  e di  $\text{NO}$  sui vari materiali edilizi fotosensibili analizzati.



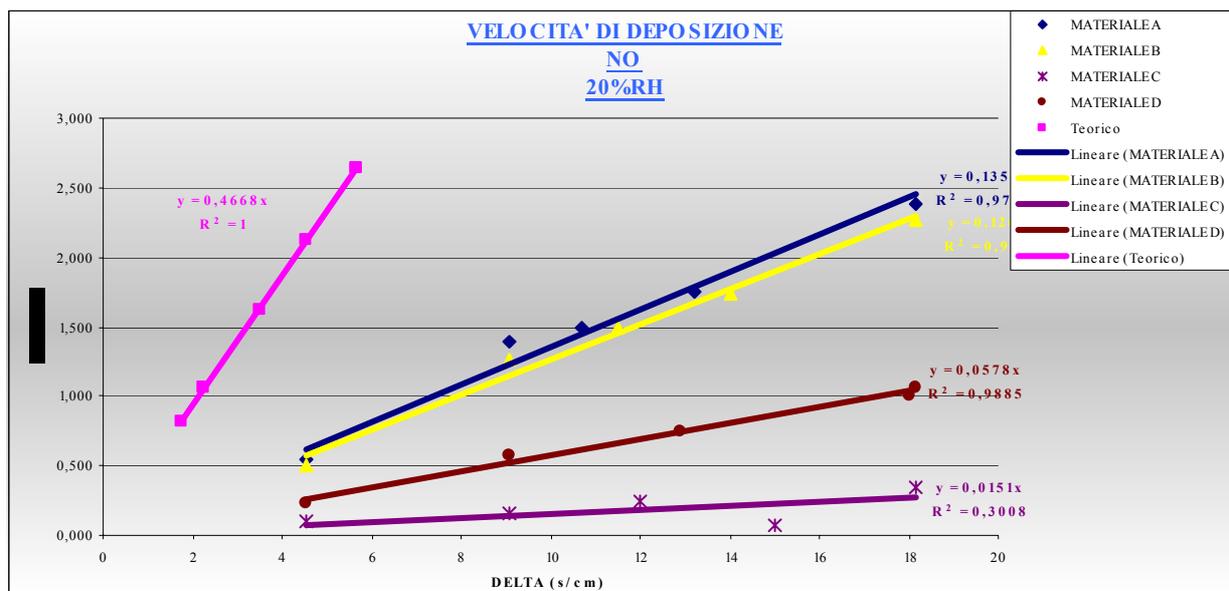
**Figura 1:** Grafico della prova di esposizione del materiale A a  $\text{NO}_2$ , 50% RH, 0,5 l/min

Dalla figura 1 si vede che quando viene fatto fluire  $\text{NO}_2$  a circa 220 ppb, all'interno del dispositivo, ricoperto con il materiale A, e quando avviene l'irradiazione, la concentrazione di  $\text{NO}_2$  in uscita diminuisce rapidamente a causa della reazione fotocatalitica che avviene in superficie. Quando la lampada viene spenta, ovviamente, la concentrazione del biossido di azoto risale nuovamente ai valori iniziali.



**Figura 2:** Grafico della prova di esposizione del materiale A a  $\text{NO}$ , 50% RH, 0,5 l/min

In figura 2 è riportato il grafico della prova sperimentale di esposizione del materiale A ad una concentrazione di monossido di azoto di circa 500 ppb. Quando il dispositivo viene illuminato con la radiazione ultravioletta, si osserva che la concentrazione di monossido di azoto diminuisce fino a raggiungere un valore di 47 ppb.



**Figura 3: Rette relative all'abbattimento da parte dei materiali esposti**

È stato individuato anche un criterio per la valutazione quantitativa della reattività di una determinata superficie fotocatalitica nei confronti di NO e di NO<sub>2</sub> a diversi flussi e umidità (figura 3). Risulta che l'aumento dell'umidità sfavorisce la distruzione di queste specie e che i materiali considerati, sono caratterizzati da uno specifico potere fotocatalitico di rimozione.

## Conclusioni

Le caratteristiche del sistema sperimentale descritte in questo testo possono essere riassunte come segue:

- Il sistema sviluppato è stato applicato per lo studio delle proprietà fotocatalitiche rispetto al biossido di azoto, relative a diversi materiali contenenti TiO<sub>2</sub> forniti da diverse società. Sono state calcolate alcune costanti di rimozione e, conseguentemente, la velocità di deposizione per l'NO<sub>2</sub> e NO sia in presenza, che in assenza di radiazione luminosa. Un chiaro effetto fotocatalitico è stato trovato per alcune superfici
- Tali studi, che devono essere ulteriormente proseguiti per approfondire i diversi meccanismi di abbattimento e, a volte, di produzione di inquinanti nocivi per l'ambiente e la salute umana.

## **4.4 Emissione da riscaldamento**

Di seguito vengono espone alcune considerazioni in merito alle prestazioni energetiche ed emissive dei sistemi di produzione di calore finalizzati al riscaldamento civile alimentati con i tre combustibili fossili maggiormente utilizzati allo scopo: gas naturale, gasolio e GPL.

### **4.4.1 Emissioni dirette**

L'attuale mercato offre generatori di calore caratterizzati da prestazioni energetiche diverse tra loro; il DM 660/96 ha identificato, in relazione al rendimento utile raggiungibile, 4 classi di generatori di calore. L'utilizzo di generatori di calore ad alta efficienza energetica comporta una sensibile riduzione dei consumi di combustibile e quindi una corrispondente riduzione dei costi di gestione. Tale riduzione, permette normalmente di recuperare, in tempi ragionevoli, l'extracosto sostenuto nel momento dell'installazione.

La diffusione di generatori di calore caratterizzati intrinsecamente da alte prestazioni energetiche comportano, di norma, una riduzione delle emissioni in atmosfera pressoché proporzionale alla riduzione dei consumi di combustibile conseguibile.

Relativamente alle prestazioni emissive, invece, il mercato rende disponibili sostanzialmente due livelli tecnologici diversi: i sistemi tradizionali ed i sistemi definiti "LowNOx". L'utilizzo dei sistemi "LowNOx" consente normalmente di ridurre le emissioni di ossidi di azoto (NOx) di oltre il 50% rispetto alle emissioni prodotte da un sistema cosiddetto tradizionale. Tale aspetto non può essere trascurato, in particolare se si tiene conto che gli ossidi di azoto rappresentano una delle maggiori criticità nel raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria fissati dalla Comunità Europea. Le tecnologie "LowNOx" sono ad oggi commercialmente disponibili, in tutte le taglie di potenza normalmente utilizzate nel riscaldamento civile, su sistemi di combustione alimentabili a gas naturale, GPL e gasolio. I livelli emissivi di ossidi di azoto ottenibili grazie a tali tecnologie sono tipicamente compresi tra 80 e 120 mg/kWh nel caso del gasolio e minori di 80 mg/kWh nel caso del gas naturale e del GPL.

Un ulteriore passo in avanti per quanto riguarda il contenimento delle emissioni è ottenibile grazie ai sistemi di combustione di ultima generazione per combustibili gassosi (gas naturale e GPL), che consentono, oggi, di ottenere generatori di calore di piccola e media potenza (tipicamente moduli termici con  $P_n < 110$  kW) caratterizzati da livelli emissivi che, relativamente agli ossidi di azoto, si attestano su valori inferiori ai 30 mg/kWh, che corrispondono ad una riduzione di oltre l'80% rispetto ad un sistema in tecnologia tradizionale. Anche in questo caso, i costi sensibilmente più alti rispetto ai sistemi tradizionali costituiscono un freno alla diffusione di tale tipo di tecnologie.

La commercializzazione di bruciatori in tecnologia “LowNOx” alimentati a gas naturale o GPL ( $\text{NO}_x < 80 \text{ mg/kWh}$ ), destinata ad equipaggiare nuovi generatori di calore o a sostituire bruciatori esistenti, è in fase avanzata, tanto che numerosi produttori stanno abbandonando la produzione di sistemi a tecnologia tradizionale. Tale salto di tecnologia non pare comportare sensibili aggravii di costo per l’utenza. Diversa è la situazione per quanto riguarda i bruciatori “LowNOx” alimentabili a gasolio; nonostante la disponibilità di questi sistemi sia completa per quanto riguarda le varie taglie di potenza, il costo decisamente più alto rispetto ad analoghi sistemi in tecnologia tradizionale ne ha finora limitato fortemente la commercializzazione. A fronte di questa situazione, è importante evidenziare come, anche nel caso di interventi di mera sostituzione del bruciatore, il passaggio a sistemi “LowNOx”, seppur solitamente non produca vantaggi dal punto di vista energetico, può invece comportare una sensibile riduzione delle emissioni in atmosfera ed in particolare di ossidi di azoto.

Dalla situazione sopra delineata si evince che una corretta politica di riduzione dell’impatto ambientale provocato dal riscaldamento civile non può passare solo attraverso un miglioramento delle prestazioni energetiche dei generatori di calore, ma deve necessariamente perseguire l’obiettivo di minimizzare i fattori di emissioni dei generatori stessi, in particolare quelli relativi agli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) e al particolato (PM). L’applicazione delle migliori tecnologie oggi disponibili permette infatti di ottenere miglioramenti che, per quanto riguarda l’efficienza energetica, sono dell’ordine del 15 – 20 % (a cui corrisponde un’analogia riduzione delle emissioni), mentre per quanto riguarda i fattori di emissione possono variare da un minimo del 50% a valori anche superiori all’80% (utilizzo di bruciatori raffreddati, bruciatori a matrice porosa, ceramici o metallici, eventualmente catalitici, ecc.). E’ quindi evidente, se si considerano prioritariamente le emissioni a impatto tipicamente locale (CO,  $\text{NO}_x$ , PM, HC), come sia molto più interessante un rinnovo del parco generatori che punti soprattutto su tecnologie di combustione a basse emissioni, piuttosto che esclusivamente sul miglioramento delle prestazioni energetiche.

E’ quindi auspicabile che eventuali indicazioni o iniziative volte a migliorare il parco generatori esistente e ad indirizzare le nuove installazioni non si focalizzino esclusivamente su obiettivi di prestazione energetica, ma anche e soprattutto sulla riduzione dei fattori di emissione, attraverso l’applicazione delle più moderne tecnologie di combustione. A tale riguardo si ritiene strategico l’impegno nel campo della ricerca, finalizzato soprattutto alla realizzazione di prodotti ad alto contenuto tecnologico e elevate prestazioni energetico-ambientali in grado di rendere propositivo e competitivo il sistema produttivo italiano che opera in questo settore.

#### 4.4.1.1 Generatori di calore alimentati a biomassa solida

I recenti sviluppi delle politiche finalizzate al contenimento dei gas ad effetto serra stanno ulteriormente stimolando l'uso delle biomasse per la produzione di energia. L'utilizzo più immediato in tal senso è quello relativo alla produzione di calore per il riscaldamento degli ambienti.

L'impiego della biomassa solida per la produzione di energia termica a fini riscaldamento civile, richiede alcune considerazioni che stanno alla base di una corretta valutazione delle relative ricadute ambientali, soprattutto sulla matrice atmosferica. Infatti se da un lato il vantaggio ottenibile riguardo alle emissioni climalteranti è fuori dubbio (almeno in base alle attuali convenzioni internazionali), per quanto riguarda le emissioni dei classici inquinanti ad impatto locale (CO, NO<sub>x</sub>, PM, HC) la situazione si presenta decisamente più complessa e meno rosea. Nella tabella riportata di seguito sono messi a confronto i fattori di emissione tipici della generazione di calore da combustibili fossili con quelli relativi alle biomasse solide, almeno per quanto riguarda i principali inquinanti ad impatto locale.

<b>Tipo di combustibile</b>	<b>NO<sub>x</sub> (mg/kWh) (*)</b>	<b>CO (mg/kWh) (*)</b>	<b>PM (mg/kWh) (*)</b>
Gas naturale / GPL	30 – 70	20	<5
Gasolio	80 – 120	10	< 10
Biomassa solida	(430)750 - 1080(**)	(110)200 - 1600(**)	(22)65 - 200(**)

(\*) I fattori di emissione sono riferiti al p.c.i. del combustibile considerato.

(\*\*) Una comparazione corretta tra la biomasse solida e gli altri combustibili dovrebbe tenere conto anche del diverso rendimento (normalmente più basso) ottenibile dai generatori di calore a biomassa rispetto a quelli dei generatori a combustibile liquido o gassoso.

Nota: i valori indicati tra parentesi si riferiscono a generatori di calore di taglia >3 MWt dotati di opportuni sistemi di contenimento delle emissioni.

Dall'analisi dei dati riportati appare evidente come l'utilizzo diffuso della biomassa quale combustibile per il riscaldamento civile, soprattutto se impiegato in generatori di piccola taglia, possa comportare un deciso incremento delle emissioni degli inquinanti a impatto locale, in particolare per quanto riguarda il particolato (PM) e gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), rendendo sempre più critico il raggiungimento dei livelli di qualità dell'aria imposti dall'attuale normativa europea di settore. Appare quindi chiaro come una corretta politica di incentivazione dell'utilizzo delle biomasse solide non possa che basarsi su una valutazione complessiva del relativo impatto ambientale e quindi, tenendo conto delle tecnologie di combustione ad oggi disponibili, privilegiare

iniziative di media taglia ( $3 < P_n < 20$  MWt) costituite da un polo di produzione dell'energia termica accoppiato ad una idonea rete di distribuzione alle utenze. L'individuazione di questo range di potenze nasce dalla necessità di rendere economicamente sopportabile l'applicazione dei sistemi di contenimento delle emissioni necessari a ridurre, entro limiti accettabili, il quantitativo di inquinanti ad impatto locale emessi dal generatore di calore a biomassa. L'applicazione di tali sistemi infatti non risulta economicamente sostenibile nel caso di generatori di piccola taglia.

#### **4.4.2 Cogenerazione**

Con il termine di cogenerazione si intende la produzione combinata in un unico sistema di energia elettrica/meccanica e termica.

Il sistema della cogenerazione produce energia elettrica recuperando parte dell'energia termica che nella tradizionale produzione di sola energia elettrica viene invece dispersa nell'ambiente.

La Delibera del 19 marzo 2002, n. 42 "Condizioni per il riconoscimento della produzione combinata di energia elettrica e calore come cogenerazione ai sensi dell'art. 2, comma 8, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79" definisce come impianti di cogenerazione quelli che soddisfano contemporaneamente due condizioni:

- un risparmio energetico del 10% per ogni nuova sezione dell'impianto
- una produzione di almeno il 15% di energia termica sul totale della produzione complessiva (termica più elettrica).

Le due condizioni variano in funzione di altri parametri (potenza della sezione dell'impianto, combustibili utilizzati, destinazione dell'energia prodotta).

#### ***Vantaggi della cogenerazione***

- **Economico** si sfrutta meglio l'energia contenuta nel combustibile ovvero, a parità di energia prodotta, si consuma meno combustibile. Dal punto di vista concettuale produrre contemporaneamente energia elettrica e termica è più conveniente che produrle separatamente, con due impianti distinti, perché a parità di energie utili prodotte, si ha un minor consumo di combustibile.
- **Ambientale** il minor consumo di combustibili implica una minor quantità di emissioni nocive nell'ambiente.
- **Salvaguardia delle risorse** si utilizzano in maniera più efficiente le risorse energetiche tradizionali (petrolio, carbone, gas naturale), riducendone gli sprechi

- Finanziario è assimilabile alle fonti energetiche rinnovabili e gode quindi di tutti gli incentivi e facilitazioni previste dalla legge e dal Piano Energetico Nazionale

### ***Micro/piccola cogenerazione***

L'applicazione diffusa della micro/piccola cogenerazione è una delle azioni previste per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'ambito della produzione di energia. A tale aspetto è opportuno però associare anche una analisi attenta delle prestazioni emissive delle tecnologie che tipicamente sono utilizzate per realizzare sistemi cogenerativi. In alcuni casi, infatti, tali prestazioni possono comportare un contributo negativo alla qualità dell'aria a livello locale, aspetto particolarmente delicato qualora l'applicazione si situi in un ambito caratterizzato da una evidente criticità per quanto riguarda il rispetto degli standard di qualità dell'aria imposti dall'attuale legislazione europea. A tale proposito si riportano alcune considerazioni e valutazioni svolte dagli uffici tecnici regionali, che puntano a definire i parametri di riferimento circa le prestazioni emissive delle tecnologie maggiormente utilizzate per la cogenerazione al fine di garantirne l'accettabilità e quindi l'eventuale diffusione anche in porzioni di territorio in cui si evidenziano criticità particolari per la qualità dell'aria (tipicamente zone ad alta antropizzazione).

La valutazione effettuata tenta di confrontare le due opzioni (cogenerazione e generazione separata), prendendo come riferimento l'unità di energia termica cogenerata e valutando, nei due casi, le emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e di particolato (PM), che sono, ad oggi, i due parametri più critici per la qualità dell'aria a livello locale. Relativamente alla cogenerazione sono state valutate le tecnologie più comuni (motori a combustione interna di piccola e media taglia alimentati a gas naturale o a gasolio e microturbine a gas naturale), in quanto sicuramente saranno le candidate favorite di un'eventuale massiccia diffusione della cogenerazione sul territorio. Per quanto riguarda invece la generazione separata, sono state prese a riferimento tecnologie standard per la generazione di calore, mentre per l'energia elettrica sono state considerate le prestazioni sia delle moderne centrali termoelettriche a ciclo combinato a gas naturale, sia quelle del parco termoelettrico medio italiano (dati di emissione riferiti alla situazione del 2002).

Nella valutazione comparativa sono state confrontate le emissioni di ossidi di azoto e di particolato prodotte dalle diverse tecnologie di cogenerazione analizzate (motore a combustione interna da 50 kWe alimentato a GN o a gasolio, motore a combustione interna da 1 MWe alimentato a GN o a gasolio e microturbina alimentata a GN) con quelle generate dalla produzione separata di 1 kWh di energia termica (si sono considerate come riferimento una caldaia a gas naturale e una a gasolio con tecnologia di combustione standard) e della stessa quantità di energia elettrica ottenibile dal

cogeneratore considerato, ma prodotta o mediante una centrale termoelettrica a ciclo combinato alimentata a gas naturale (CTE CC a GN) o dal parco termoelettrico medio italiano (PTe).

Dall'analisi dei risultati ottenuti è possibile formulare le seguenti considerazioni:

**a) Emissioni prodotte in ambito locale** (criterio di riferimento per zone con evidenti criticità relativamente alla qualità dell'aria) :

- L'utilizzo della cogenerazione comporta, in tutte le situazioni analizzate, un incremento delle emissioni di ossidi di azoto (NOx) con particolare rilievo per i casi in cui si utilizzi il gasolio come combustibile. In tutti i casi analizzati l'utilizzo del gasolio si pone come particolarmente critico anche per le emissioni di particolato.

**b) Emissioni totali prodotte:**

- Prendendo come riferimento le prestazioni emissive medie del parco termoelettrico italiano, si può concludere che l'assetto cogenerativo può dare un contributo positivo, per gli inquinanti considerati, solo nel caso si utilizzino motori a c.i. di media taglia alimentati a gas naturale oppure microturbine a gas naturale; in tutti gli altri casi il bilancio rispetto ai due inquinanti considerati è negativo.
- Prendendo a riferimento le prestazioni delle moderne centrali termoelettriche a ciclo combinato alimentate a gas naturale, l'unica tecnologia che permette di ottenere una riduzione, a livello globale, delle emissioni di ossidi di azoto è quella della microturbina alimentata a gas naturale.

I risultati dell'analisi effettuata pongono in evidenza un aspetto che molto spesso viene trascurato quando si affronta il tema della cogenerazione. Usualmente, infatti, la cogenerazione viene valutata, dal punto di vista ambientale, esclusivamente in relazione alla riduzione di emissione di CO<sub>2</sub> che permette di ottenere, dimenticando che tale riduzione, pur essendo un aspetto importante, non può essere considerata come elemento unico per una valutazione esaustiva delle problematiche di impatto sulla matrice atmosferica. L'attuale panorama delle tecnologie consolidate in tale settore comporta, di norma, un incremento a livello locale degli inquinanti emessi in atmosfera (in particolare per gli ossidi di azoto) e, tranne che nel caso di alcune tecnologie, anche un incremento a livello globale.

Questa considerazione diventa tanto più importante quanto più il sito considerato è caratterizzato da uno stato della qualità dell'aria particolarmente critico rispetto ai limiti e agli obiettivi posti dalla legislazione comunitaria a tutela della salute dei cittadini.

Lo stato della qualità dell'aria delle aree ad alta antropizzazione è influenzato, in modo complesso e intercorrelato, da fonti emissive di natura diversa nonché dai parametri legati alla dinamica

dell'atmosfera. Tale situazione rende estremamente difficile l'individuazione, tra le fonti emissive presenti, di responsabilità definite e determinanti.

La strategia per il miglioramento della qualità dell'aria deve quindi articolarsi attraverso un insieme di interventi, principalmente di tipo strutturale, che, pur non risolutivi singolarmente, possano, incidendo sulle diverse fonti emissive, portare ad un risultato complessivamente positivo.

In questo sistema devono essere evitate, se non strettamente indispensabili, iniziative che apportino contributi controtendenza rispetto al faticoso e complesso avvicinamento agli obiettivi fissati.

L'analisi svolta, basata peraltro su ipotesi conservative rispetto all'impatto emissivo, evidenzia come la diffusione delle micro e piccola cogenerazione imperniata sulle tecnologie attualmente consolidate, rischi di comportare un ulteriore aggravio del carico emissivo locale, in particolare proprio per quanto riguarda gli inquinanti oggi più critici per la qualità dell'aria.

E' quindi essenziale che lo sviluppo e la diffusione della micro e piccola cogenerazione si realizzi perseguendo l'obiettivo di coniugare il risparmio di energia primaria con la garanzia di un non peggioramento del quadro emissivo locale. Tale obiettivo potrà essere raggiunto solo se verrà posta una notevole attenzione alle tecnologie utilizzate ed alle relative prestazioni emissive, anche ricorrendo, ove necessario, allo sviluppo di nuovi prodotti decisamente più performanti in termini di emissioni, con particolare riguardo agli ossidi di azoto ed al particolato.

## **4.5 Emissioni industriali**

### **4.5.1 Premessa**

L'obiettivo dichiarato dalla direttiva 96/61/CE è quello di prevenire e ridurre l'inquinamento attraverso un approccio integrato che superi una visione settoriale degli impatti generati da un'attività industriale consentendo una valutazione complessiva degli effetti inquinanti.

Il sistema legislativo ambientale comunitario ha quindi trovato nella disciplina IPPC un proseguimento e un allargamento dei propri obiettivi ponendo nuovi presupposti normativi per una politica ambientale che tende verso alti standard tecnologici e sistemi di controllo e prevenzione integrati e coordinati.

### **4.5.2 Direttiva IPPC**

L'Italia ha recepito integralmente la Direttiva IPPC con il Decreto Legislativo n. 59 del 18 febbraio 2005, ma la sua attuazione è iniziata, per gli impianti esistenti, con il D. Lgs. 372/99 ed i successivi decreti attuativi, ed è ormai in corso un graduale processo di adeguamento degli impianti alle migliori tecniche disponibili al fine di raggiungere alte prestazioni ambientali e di conseguire la protezione dell'ambiente nel suo complesso.

Il sistema normativo introdotto in Italia con la disciplina IPPC ha in sé importanti elementi di riposta alle problematiche ambientali e rappresenta un'importante opportunità di sviluppo per l'industria nazionale: spronate dall'obbligo dell'adempimento legislativo tramite il nuovo regime autorizzativo integrato, le imprese sono stimolate al rafforzamento degli investimenti e della ricerca al fine di trovare soluzioni nuove al problema dell'inquinamento, spingendo il paese a lavorare nella direzione di un continuo avanzamento ambientale e tecnologico.

In particolare nel settore energetico, la Direttiva IPPC si integra con altri importanti regolamenti comunitari tesi al controllo delle emissioni dei principali inquinanti generati dai grandi impianti di combustione e alla regolamentazione dell'impiego dei combustibili.

In tale contesto, si è osservata negli ultimi anni una costante diminuzione delle emissioni nazionali di alcuni inquinanti; come le emissioni annue di ossidi di zolfo generate dagli impianti di combustione esistenti, dovuta all'applicazione dei decreti relativi alla riduzione del tenore di zolfo nei combustibili: il DPCM n. 395 del 7 settembre 2001, che recepisce la Direttiva 99/32/CE, e il DPCM 8 marzo 2002, che disciplina le caratteristiche tecnologiche degli impianti e le caratteristiche merceologiche dei combustibili (oli, emulsioni acqua-olio, coke da petrolio).

Le emissioni nazionali annue di ossidi di zolfo hanno così raggiunto valori inferiori alla quota massima stabilita all'allegato I della Direttiva 2001/80/CE, la cosiddetta Direttiva sui grandi Impianti di combustione in fase di recepimento in Italia, concernente la limitazione delle emissioni

nell'atmosfera di SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e polveri dagli impianti di combustione con potenza termica nominale superiore a 50 MW.

Alla progressiva riduzione delle emissioni nazionali generate dagli impianti di produzione di energia ha contribuito anche l'applicazione della direttiva 2001/81/CE, nota come Direttiva NEC (National Emission Ceilings), che fissa i tetti nazionali delle emissioni atmosferiche di quattro rilevanti inquinanti: biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), composti organici volatili (COV) e ammoniacca (NH<sub>3</sub>).

Il Decreto di recepimento della Direttiva NEC, D. Lgs. 21 maggio 2004, n. 171, individua, infatti, gli strumenti per assicurare che le emissioni nazionali annue per SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC, e NH<sub>3</sub> rispettino, entro il 2010 e negli anni successivi, i limiti nazionali di emissione stabiliti nell'allegato I.

Al fine di verificare e dimostrare il raggiungimento e il rispetto dei limiti nazionali, la direttiva 2001/81/CE prevede che gli Stati Membri redigano, aggiornino e comunichino annualmente alla Commissione europea gli inventari nazionali e le proiezioni delle emissioni, elaborati secondo le modalità previste dall'allegato III della stessa direttiva.

In Italia, in base al D. Lgs. 171, per le attività IPPC, le stime delle emissioni vengono confrontate e aggiornate con i dati di emissione riportati nel Registro Nazionale delle Emissioni EPER, l'inventario delle emissioni delle attività IPPC che la Commissione Europea pubblica ogni tre anni in base ai dati comunicati dagli Stati Membri.

In base ai rapporti inviati dall'Italia alla Commissione Europea nel dicembre 2004, ai sensi della Direttiva 2001/81/CE, contenenti gli inventari definitivi delle emissioni relativi agli anni 2000, 2001 e 2002, l'inventario provvisorio delle emissioni relativo all'anno 2003 e le proiezioni delle emissioni per il 2010, le stime aggiornate delle proiezioni relative al 2010 (cfr. Tabella 1), dimostrano che, per gli SO<sub>2</sub> e i COV i valori stimati sono inferiori ai tetti fissati dalla Direttiva NEC e dallo stesso D. Lgs. 171, mentre per gli NO<sub>x</sub> e l'NH<sub>3</sub> resta confermata l'esigenza di attuare misure di riduzione per le emissioni, anche se i valori non proiettati sono molto distanti dai tetti.

<b>Inquinante</b>	<b>Emissioni (kton)</b>	<b>Tetto NEC (kton)</b>
<b>SO<sub>x</sub></b>	434	475
<b>NO<sub>x</sub></b>	1065	990
<b>COV</b>	1117	1159
<b>NH<sub>3</sub></b>	433	419

Tabella 1 Proiezioni delle emissioni totali nazionali al 2010 in Italia

In linea con l'orientamento ambientale comunitario, in Italia cresce sempre più l'impiego del gas naturale, in sostituzione degli altri combustibili fossili.

Il gas naturale, composto in gran parte da metano ( $\text{CH}_4$ ), è infatti un combustibile a ridotto impatto ambientale. Durante la combustione esso produce prevalentemente  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . A differenza dell'olio combustibile, che contiene zolfo, non dà luogo alle emissioni solforose ed è ormai accertato che le emissioni solide (polveri) sono praticamente trascurabili, in linea con quanto stabilito dalla Comunità Europea che aveva ritenuto opportuno non fissare per tali inquinanti alcun limite di emissione dagli impianti alimentati a gas.

Inoltre, poiché il gas ha una composizione più ricca di idrogeno e più povera di carbonio rispetto all'olio combustibile, esso consente di avere anche minori emissioni di anidride carbonica in accordo con le linee per la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra (Emission Trading).

In tale contesto è interessante segnalare i risultati delle analisi economiche effettuate dall'Agenzia Internazionale dell'Energia nell'ambito dello studio "Projected Costs of Generating Electricity" relativa ai principali progetti di grandi impianti di combustione destinati ad entrare in esercizio nei Paesi OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) nel 2005-2010. In base a tale studio risulta che l'impiego di gas subirà fino al 2030 una fortissima crescita; l'olio combustibile subirà una drastica riduzione in termini di peso relativo, penalizzato dagli alti costi che raggiungerà, mentre il carbone resterà il combustibile dominante.

In termini di nuove centrali, è prevista da oggi al 2030 la costruzione per 4.500 GW, di cui ben 3.500 GW in impianti a gas e carbone, e di cui 2000 GW saranno con la tecnologia a ciclo combinato.

In particolare, le nuove centrali termoelettriche a ciclo combinato alimentate a gas naturale, comunemente definite "turbogas", rappresentano la soluzione più vantaggiosa in termini di efficienza produttiva e di contenimento di emissioni inquinanti.

La cogenerazione, utilizzata in tali impianti per la produzione combinata di elettricità e calore, è infatti considerata la tecnologia più pulita ed efficiente per produrre energia a partire da combustibili fossili. Con un impianto di cogenerazione il calore prodotto dalla combustione non viene disperso, ma recuperato per altri usi. In questo modo è possibile raggiungere una efficienza totale (termica ed elettrica) superiore al 70%.

Il ciclo combinato brucia gas naturale: i fumi prodotti sono inviati in una turbina a gas, che ruotando trascina un generatore di corrente che genera energia elettrica. La miscela gassosa di scarico dal turbogas, ancora molto calda, viene inviata in uno scambiatore (caldaie a recupero) dove i gas cedono il loro calore all'acqua, vaporizzandola (ciclo a vapore). Il vapore così prodotto va ad alimentare una seconda turbina, la quale trascina un secondo alternatore per la generazione di altra

energia elettrica. L'energia elettrica generata dai due alternatori viene quindi elevata di tensione per mezzo di trasformatori e indirizzata all'elettrodotto.

Ad oggi, il 70-75% degli impianti in realizzazione nel mondo sono a ciclo combinato. Tale tecnologia risulta conveniente per due semplici motivi: i tempi di costruzione e l'investimento richiesto sono molto più ristretti rispetto alle altre tecnologie; il payback è assai più veloce. Essa sta cominciando a raggiungere anche in Italia quella diffusione auspicata dalla Commissione Europea.

#### **4.5.3 Centrali Turbogas**

Gli impianti turbogas godono del vantaggio di avere progetti standardizzati e con costi di fabbricazione unitari ridotti. Attualmente i grandi impianti turbogas a ciclo combinato possono arrivare a taglie unitarie di 400-600 MWe, con la costruzione in fabbrica dei principali componenti.

Un altro vantaggio delle centrali turbogas a ciclo combinato è rappresentato dalla loro maggiore flessibilità in termini di tempi di avviamento: la possibilità di avviamento rapido le rende particolarmente idonee per soddisfare il fabbisogno nelle ore centrali dei giorni feriali.

Attualmente, il fronte della tecnologia di tali impianti si sta spostando sempre di più sull'innalzamento delle dimensioni e sull'aumento delle prestazioni in termini di rendimento ed efficienza. Le turbine a gas di nuova concezione arrivano al dimensionamento di 400 MW effettivi con rendimenti attorno al 58%, e si pensa che si possano raggiungere taglie di 480 MW con rendimenti di oltre il 60%, ottenuti aumentando la capacità di raffreddamento (con l'uso per esempio di idrogeno). Tuttavia la maggiore complessità di questi impianti allo studio fa presagire costi di manutenzione più alti e fermate più frequenti. Il turbogas a ciclo combinato rappresenta comunque una tecnologia con alte performance e basso impatto ambientale.

Il citato studio dell'Agencia Internazionale dell'Energia evidenzia che nessuna tecnologia può essere considerata più conveniente di un'altra in termini assoluti, in quanto solo specifiche circostanze possono determinare la scelta economicamente più adeguata. Emerge tuttavia che l'opzione di generazione con impianti turbogas risulta essere economicamente attraente almeno nel breve termine, per una serie di fattori, quali: relativa semplicità, bassi costi di costruzione, prospettiva di crescita dei prezzi del combustibile meno critiche rispetto al passato, basse emissioni rispetto ad altre opzioni tecnologiche a combustibile fossile.

Inoltre, i processi di privatizzazione e liberalizzazione in corso nel settore elettrico di molti paesi stanno favorendo la competitività economica e la minimizzazione dei rischi e in questa prospettiva privilegiano le tecnologie caratterizzate da bassi costi di investimento, bassi tempi di costruzione, minori problemi di accettabilità sociale e normativa. Anche in questo caso la tecnologia dei cicli combinati a gas sembra riscuotere un maggiore favore da parte degli operatori.

Sul fronte ambientale, le migliori prestazioni degli impianti turbogas sono dovute all'impiego di metano: è la tecnologia con una più rapida ed ampia potenzialità di applicazione per la riduzione dei principali inquinanti atmosferici, quali polveri, in particolare PM<sub>10</sub>, e gas ad effetto serra. Inoltre tali impianti sono caratterizzati da una bassa richiesta di acque di raffreddamento.

I principali inquinanti atmosferici emessi dalle centrali turbogas sono: gli ossidi di azoto, prodotti dalla reazione tra l'azoto e l'ossigeno durante la fase di combustione, e il monossido di carbonio, prodotto dalla combustione non completa del metano.

Altri inquinanti, in quantità molto minori, possono essere presenti per il fatto che il combustibile non è essendo metano puro, contiene anche altri idrocarburi e tracce di altre sostanze.

Per comprendere l'impatto ambientale della centrale a ciclo combinato è utile confrontare le emissioni con quelle di centrali convenzionali.

Per la maggior parte degli inquinanti i valori dei fattori di emissione caratteristiche delle centrali turbogas sono di circa due ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle delle convenzionali che impiegano combustibili diversi dal gas naturale. Solo gli NO<sub>x</sub> e il CO presentano un fattore di emissione inferiore ma dello stesso ordine di grandezza.

Tuttavia, gli attuali sistemi di abbattimento applicabili a tali impianti consentono di limitare drasticamente le emissioni di NO<sub>x</sub>. Occorre quindi tener presente che le emissioni gassose sono differenti in funzione delle modalità di abbattimento adottate.

Fra i le modalità di abbattimento degli ossidi di azoto più utilizzati si hanno sistemi con iniezione di acqua o vapore, sistemi di abbattimento a secco, dispositivi di riduzione degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) denominati SCR (Selective Catalytic Reduction).

Il sistema di abbattimento con iniezione di acqua o di vapore (water-steam injection) risulta oramai sorpassato sia per i limiti di abbattimento raggiungibili (100 mg/Nm<sup>3</sup> di NO<sub>x</sub>) sia per la necessità di disporre di risorse idriche elevate.

I sistemi oggi maggiormente utilizzati sono le tecnologie a secco consistenti nell'utilizzo di bruciatori con immissione di a stadi o graduale (Dry Low NO<sub>x</sub> - DLN).

Gli attuali sistemi DLN raggiungono valori di 30÷50 mg/Nm<sup>3</sup> di NO<sub>x</sub>, mentre una nuova tecnologia DNL basata sul medesimo sistema, che comincia ad essere impiegata negli Stati Uniti con ulteriore miglioramento del sistema di combustione, consente di ridurre ulteriormente l'emissione degli ossidi di azoto pari a 20 mg/Nm<sup>3</sup>, ma solo nella fase di funzionamento a regime e in condizioni di carico nominale. Per tali motivi, questa tecnologia non ha ancora trovato piena commercializzazione presso gli operatori del mercato elettrico europeo.

Anche il sistema SCR trova un largo impiego in questo campo: esso permette la riduzione degli ossidi di azoto con processi catalitici, all'interno del generatore di vapore a recupero, utilizzando un

agente riducente (ammoniaca o urea) che viene immesso nel flusso dei gas combusti a monte del sistema di catalizzatori. È un dispositivo molto efficiente nell'abbattimento degli NOx. Tuttavia esso comporta l'immissione nel flusso dei fumi di tracce di ammoniaca, la quale produce sali di ammonio (es. nitrato di ammonio), che danno origine a granelli solidi e quindi a emissioni di particolato. Recentemente è stato notato che la riduzione con tali sistemi non ha una efficienza elevata, e che si ha come prodotto intermedio la formazione di N<sub>2</sub>O.

L'N<sub>2</sub>O è un gas serra notevole con un potere equivalente alla CO<sub>2</sub> pari a 310.

Tale svantaggio ha avviato una discussione a livello internazionale circa la convenienza dell'impiego dei sistemi SCR: nonostante l'alta efficienza di abbattimento degli NOx, in molti casi sembra privilegiata l'adozione di misure primarie di abbattimento, come i citati bruciatori DLN che consentirebbero oltretutto di raggiungere concentrazioni più basse.

#### 4.5.4 Selective Catalytic Reduction (SCR)

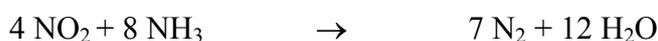
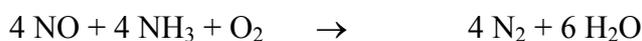
##### Descrizione della tecnica

Il sistema SCR è un processo che permette la riduzione selettiva di ossidi di azoto (NOx) attraverso l'azione di agenti riducenti (ammoniaca o urea) in presenza di un catalizzatore. Il metodo può essere applicato a diversi processi industriali come misura di abbattimento degli NOx presenti nei gas di scarico generati dalla combustione di combustibili solidi, liquidi o gassosi. Esso consente di raggiungere rendimenti di rimozione fino all'80-90%.

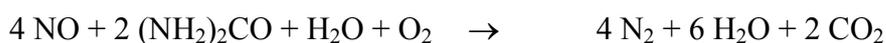
Le maggiori applicazioni della tecnica si hanno per: impianti di produzione di energia (caldaie, turbine a gas), cementifici, raffinerie, inceneritori, industrie di produzione del vetro, ecc.

Le reazioni che avvengono nel processo sono molteplici e complesse. Quelle predominanti risultano le seguenti:

- nel caso di impiego di ammoniaca:



- nel caso di impiego di con urea:



La riduzione degli NOx avviene generalmente in letti catalitici, che esplicano la loro azione catalitica a temperature superiori a 250°C. Possono essere utilizzati diversi tipi di catalizzatori: ossidi di metalli (metalli nobili, quali vanadio, tungsteno, titanio), zeoliti, ossidi di ferro e carbone attivo.

Le temperature di reazione variano comunque in funzione del catalizzatore utilizzato:

ossidi di vanadio, tungsteno, titanio ( $V_2O_5$ - $WO_3$ - $TiO_2$ )	300-450 °C
zeoliti	350-600°C
carbone attivo	100-220 °C

La durata del catalizzatore raggiunge 6-10 anni per le unità applicate a valle di un impianto di combustione alimentato a carbone e 8-12 anni per gli impianti di combustione alimentati a gas e olio.

L'agente riducente è iniettato nel gas di scarico in controcorrente con il catalizzatore. A differenza di altri riducenti, l'ammoniaca, come l'urea, agisce selettivamente sugli ossidi di azoto e non è consumata dall'ossigeno presente nei gas di combustione. In assenza di catalizzatore, la riduzione decorre in modo ottimale a temperature comprese tra i 950–1000°C; l'utilizzo del catalizzatore permette lo svolgimento della reazione anche alle basse temperature tipiche dei fumi di scarico (350 - 450°C).

### **Vantaggi e svantaggi della tecnica**

I principali vantaggi di questa tecnica sono rappresentati dal fatto che essa può essere utilizzata con qualsiasi tipo di combustibile, consentendo comunque di raggiungere efficienze di riduzione elevate. Essa è inoltre flessibile rispetto al livello di NOx. Tuttavia, alte concentrazioni di NOx nei gas da trattare comportano una diminuzione della velocità di reazione e un aumento dei costi di investimento.

I problemi principali relativi al suo impiego sono invece:

- alti costi di investimento (a causa dell'elevato costo dei catalizzatori).
- intasamento ed erosione del letto catalitico da parte delle ceneri presenti nei fumi; Per tale motivo, è preferibile che il sistema catalitico sia posizionato a monte del sistema d'abbattimento delle polveri.
- avvelenamento del catalizzatore da parte di metalli,  $SO_2$  ed  $SO_3$ ;
- difficoltà di miscelare completamente il reagente, allo stato liquido e in piccolissime quantità, alle grandi portate dei fumi di combustione;
- emissione in atmosfera di ammoniaca non reagita nel reattore. Tali emissioni aumentano al crescere del rapporto  $NH_3/NO_x$  utilizzato e al decrescere dell'attività del catalizzatore. Per ridurre la quantità di ammoniaca si devono utilizzare volumi maggiori di catalizzatore e migliorare il mixing tra  $NO_x$  e  $NH_3$ . La presenza di ammoniaca non reagita può inoltre portare alla formazione di solfati di ammonio per reazione con l' $SO_3$  presente nei gas esausti

che generano sporco delle superfici di scambio di calore. Per tale motivo, il sistema catalitico in alcuni casi, può trovarsi dopo il desolforatore.

- possibile formazione di sali di ammonio che possono dar luogo a incrostazioni delle zone fredde a valle del DeNOx.

Inoltre, un ulteriore svantaggio della tecnica è rappresentato da eventuali emissioni di protossido di azoto ( $N_2O$ ). Recenti ricerche sembrano infatti mostrare che i processi di abbattimento basati sul principio della riduzione selettiva SCR (Selective Catalytic Reduction), e SNCR (Selective Non Catalytic Reduction), non contribuiscano all'abbattimento delle emissioni del protossido d'azoto, ma, al contrario, in alcuni casi ne comportano una produzione (a basse concentrazioni se si usa ammoniaca, a concentrazioni più alte se si usa urea e acido cianidrico).

La riduzione degli NOx potrebbe dunque avvenire a discapito di un aumento degli  $N_2O$ . tali considerazioni stanno portando all'idea di modificare i materiali dei catalizzatori SCR per far in modo che ci sia la doppia riduzione di NOx ed  $N_2O$  (van der Brink, 2001; Pérez-Ramírez et al., 2003; Pietrese J. et al.).

Il protossido d'azoto è il terzo gas serra più importante dopo l'ossido di carbonio ed il metano; esso contribuisce per circa il 6% all'effetto serra. Inoltre l'incremento del protossido di azoto in atmosfera è causa dell'assottigliamento dello strato d'Ozono, perché contribuisce ad aumentare la concentrazione di NO nella stratosfera.

La molecola di  $N_2O$  (forma stabile del legame azoto/ossigeno) non è solubile in acqua e la vita media in atmosfera si aggira intorno ai 120 anni. Data la sua lunga permanenza in atmosfera, il protossido d'azoto è completamente mescolato in tutti gli strati atmosferici. Non ha importanti serbatoi quali foreste o suolo, come accade invece per la CO<sub>2</sub> ed è generalmente distrutto solo negli strati più alti dell'atmosfera.

Valutando la "nocività" delle concentrazioni di  $N_2O$  in termini di CO<sub>2</sub>-equivalente, risulta che 1Kg di  $N_2O$  equivalga a 310 Kg di CO<sub>2</sub>. Ciò significa che il "*potenziale di riscaldamento globale*" (GWP) del protossido di azoto è pari a 310 (il GWP è indice che identifica la capacità di ogni gas ad intrappolare all'interno dell'atmosfera le radiazioni nello spettro dell'infrarosso in uscita dalla superficie terrestre).

Nella seguente tabella si riassumono i vantaggi e gli svantaggi tecnici della tecnica SCR

Vantaggi	Svantaggi
Alta efficienza di rimozione (fino all'80-90%)	Alti costi di installazione dovuti soprattutto ai costi del catalizzatore
	intasamento ed erosione del letto catalitico da parte delle ceneri presenti nei fumi; Per tale motivo, è preferibile che il sistema catalitico sia posizionato a monte del sistema d'abbattimento delle polveri.
La tecnica può essere utilizzata con tutti i tipi di combustibile (solidi, liquidi, gassosi)	avvelenamento del catalizzatore da parte di metalli, SO <sub>2</sub> ed SO <sub>3</sub> ;
La tecnica è flessibile rispetto al livello di NO <sub>x</sub> nei fumi da trattare.	difficoltà di miscelare completamente il reagente, allo stato liquido e in piccolissime quantità, alle grandi portate dei fumi di combustione;
	emissione in atmosfera di ammoniaca non reagita nel reattore.
	possibile formazione di sali di ammonio che possono dar luogo a incrostazioni delle zone fredde a valle del DeNO <sub>x</sub> .
	Possibile produzione di protossido di azoto N <sub>2</sub> O

### Considerazione sui costi di un SCR

I costi di investimento di un SCR sono piuttosto elevati a causa dell'elevato costo dei catalizzatori. Essi, quindi, dipendono fortemente dal volume del catalizzatore, dalla concentrazione di NO<sub>x</sub> in ingresso e dalla potenza dell'impianto. Vanno inoltre considerati i costi di esercizio legati ai reagenti utilizzati (comunque più bassi rispetto ad un'unità SNCR).

I costi di investimento specifici per tonnellata di NO<sub>x</sub> ridotto per un'unità SCR variano a seconda del tipo di impianto (e quindi delle concentrazioni dei fumi in uscita).

Il volume di catalizzatore è determinato dal volume di gas da trattare, dalle perdite di ammoniaca e dal rapporto di conversione che si vuole ottenere.

Il documento europeo "The final draft on Large Combustion Plants – 9" (novembre 2004) fornisce dei criteri di valutazione per i costi relativi all'applicazione di un SCR:

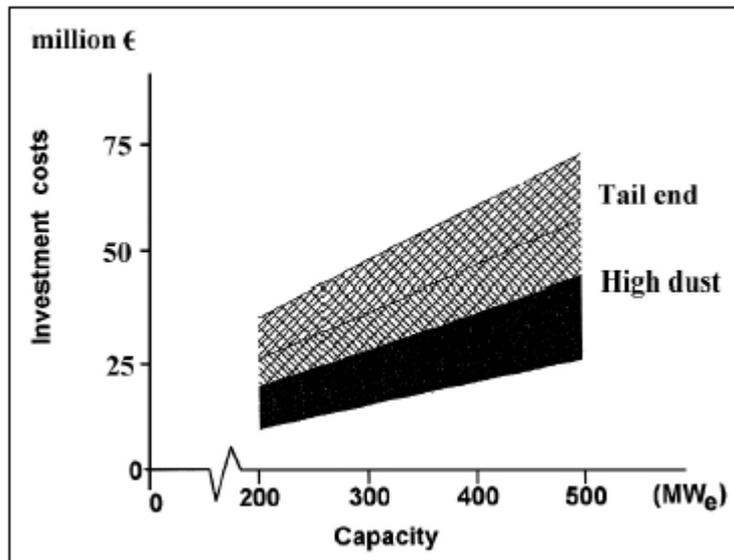


Figura 1. Costi di investimento per un'unità SCR applicata a Grandi Impianti di Combustione in funzione della capacità dell'impianto

Il costo del catalizzatore è stimato essere nel range di **10.000-15.000 per m<sup>3</sup>**.

Per portate di gas di scarico di **1 milione di m<sup>3</sup>/h**, i costi di investimento per un SCR sono stimati intorno a **15 milioni di Euro** (compreso il progetto, la costruzione, i servizi generali, come pompe, valvole, piping, eccetto il catalizzatore).

Sulla base di informazioni fornite dagli operatori e dei prezzi di mercato degli ultimi 5 anni, i costi di investimento possono essere stimati utilizzando la seguente formula:

$$\text{I.C.} = (\text{x milione di m}^3 \text{ di volume di gas} / \text{1 milione di m}^3)^{0,7} * \text{15 milioni di Euro.}$$

Nella seguente tabella si riportano i costi stimati per un'unità SCR che tratta diverse portate di fumi:

Parametro	Unità di misura	Portata di gas di scarico (Nm <sup>3</sup> /h)		
		200.000	500.000	1.000.000
Ore di funzionamento	h/anno	5000	5000	5000
Carico di NOx ridotto	t/anno	250-400	625-1000	1250-2000
Costi di investimento	Milioni di Euro	4,86	9,23	15
Costi di investimento ripartiti all'anno <sup>1</sup>	Milioni di Euro / anno	0,5	0,95	1,54
Costi di gestione (inclusa energia elettrica, catalizzatore, agenti riducenti, manutenzione, acqua e tar)	Milioni di Euro / anno	0,25-0,29	0,6-0,69	1,17-1,34
<b>Costi totali annuali</b>	Milioni di Euro / anno	<b>0,75-0,76</b>	<b>1,56-1,64</b>	<b>2,72-2,88</b>
Costi annuali specifici	Euro/t di NOx	1968-3016	1638-2488	1442-2175

<sup>1</sup> base 15 anni con un tasso del 6%

Si riportano di seguito i dati relativi ad un un esempio di “retrofit” su un impianto esistente, riportato nel citato documento “The final draft on Large Combustion Plants – 9” (novembre 2004):

*Impianto tedesco del 1983, modificato tra il 1983 e il 1989 con ESP, unità di desolforazione; SCR. Nel 1997 è stato modificato installando bruciatori LNB (misure primarie per riduzione NOx).*

Tipo di impianto	impianto a vapore
Potenza termica in input	1820 MWt
Potenza elettrica	750 MWeI
Combustibile	carbone polverizzato
Efficienza totale dell'impianto	38%
Portata effluente	2.500.000
Concentrazioni NOx prima del retrofitting del 1997	850 mg/Nm <sup>3</sup>

Concentrazioni NOx prima del retrofitting del 1997	250 – 300 mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Costo investimento SCR</b>	<b>38 milioni di Euro</b>
<b>Costo investimento retrofit per misure primarie abbattimento NOx</b>	<b>6 milioni di Euro</b>

Al fine di illustrare i costi di investimento e di gestione di un sistema SCR applicato a diverse unità industriali, si riportano di seguito i dati relativi l'applicazione delle tecniche di riduzione di NOx negli impianti di produzione di energia. Tali informazioni sono riportate nel documento E.B. AIR 1999/2 *“Draft document on control techniques and economic instruments to the Protocol to abate acidification and Ground-level ozone”* (1999).

Il documento è stato elaborato dai Membri Esecutivi (E.B.) dell'UNECE, nell'ambito del settimo seminario del 1999 e basato sulle analisi della *“Task force on assessment of abatement Option/Techniques for NOx”*.

**Costi di investimento e di gestione per l'applicazione delle tecniche di riduzione di NOx negli impianti di produzione di energia**

<b>Tecnica</b>		<b>Costi di investimento (milioni di Euro)</b>	<b>Costi di gestione (milioni di Euro/anno)</b>	<b>Flusso di massa abbattuto (Mg NOx/anno)</b>
<b>Impianti a vapore</b>				
Impianti di produzione di energia e riscaldamento urbano Comb.: Carbone pesante Capacità: 1500 MWth; ore di funzionamento: 5500 h/anno	<b>LNB</b>	13.3	1.4	3560
	<b>LNB + OFA</b>	16.1	1.5	4100
	<b>LNB + SCR</b>	61.3	6.4	8110
	<b>LNB+OFA+SNCR</b>	17.5	2.2	6770
	<b>LNB+OFA+SCR</b>	64.1	6.5	8200
Impianti di produzione di energia e riscaldamento urbano Comb.: carbone pesante Capacità: 600 MWth; ore di funzionamento: 1500 h/anno	<b>LNB</b>	7	0.430	390
	<b>LNB + OFA</b>	8.5	0.505	450
	<b>LNB + SCR</b>	32	1.93	885
	<b>LNB+OFA+SNCR</b>	9.2	0.61	740
	<b>LNB+OFA+SCR</b>	33.5	2	895
Impianti industriali Comb.: gas naturale Capacità: 160 MWth; Ore di funzionamento: 6000 h/anno	<b>LNB</b>	2.8	0.17	140
Impianti industriali Comb.: plant gas Capacità: 160 MWth; Ore di funzionamento: 6000 h/anno	<b>LNB + SNCR</b>	1.5	0.24	830
	<b>LNB+ SCR</b>	3.4	0.56	1040
	<b>Flue gas ricirculation +SNCR</b>	1.3	0.21	780
	<b>Flue gas ricirculation +SCR</b>	3.2	0.53	1030
	<b>LNB + Flue gas ricirculation +SNCR</b>	2	0.31	920
	<b>LNB + Flue gas ricirculation +SCR</b>	3.85	0.63	1070

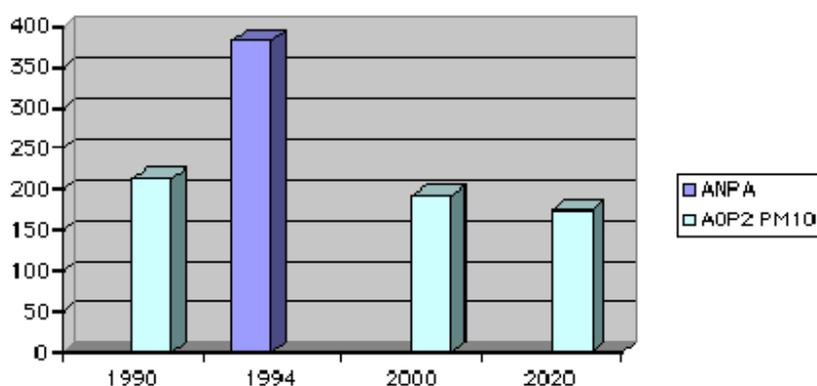
Impianti di produzione di energia e riscaldamento urbano Combustione convenzionale di carbone polverizzato Capacità: 160 MWth; ore di funzionamento: 6000 h/anno	<b>Letto fluido circolante</b>	10.7	0.83	760
	<b>Incremento per SNCR per letto fluido circolante</b>	0.29	0.074	152
Impianti industriali Comb.: olio pesante Capacità: 5 MWel; ore di funzionamento: 2000 h/anno	<b>LNB</b>	0.243	0.013	31
	<b>OFA</b>	0.051	0.0025	0.75
	<b>LNB+OFA</b>	0.295	0.0157	3.6
	<b>LNB+ flue gas ricirculation</b>	0.295	0.0165	4.5
Ciclo combinato Capacità di uscita: 150 MWel; Comb. Gas naturale; ore di funzionamento: 6000 h/anno		2.05	0.37	670
	<b>SCR</b>	27	3.11	1145
Ciclo semplice Capacità di uscita: 30 MWel; Comb. Gas naturale; ore di funzionamento: 2000 h/anno	<b>Misure Primarie</b>	0.36	0.036	70
	<b>SCR</b>	5.4	0.38	115
	<b>PM + SCR</b>	4	0.3	125
Impianti di cogenerazione Capacità di uscita: 25 MWel; Comb. Olio diesel; ore di funzionamento: 8000 h/anno	<b>Misure Primarie</b>	0.55	0.050	685
	<b>SCR</b>	4.5	0.6	1165
	<b>PM + SCR</b>	5.05	0.61	1265
IGCC Capacità di uscita: 450 MWel; Comb. Olio pesante; ore di funzionamento: 8000 h/anno	<b>Misure Primarie</b>	5.4	0.7	4000
	<b>SCR</b>	81	10	6900

## 4.6 Emissione da cantiere

Dato che le riduzioni delle emissioni degli inquinanti convenzionali provengono soprattutto dal settore del trasporto su strada, diventa sempre più importante tenere in considerazione il potenziale inquinante di altre sorgenti di emissione, soprattutto per quanto riguarda PM, NO<sub>x</sub> e VOCs. L'obiettivo guida è quello dell'adeguamento ai tetti massimi di emissione nazionali proposti dalla Comunità Europea che dovrebbero essere raggiunti entro il 2010. Nell'analisi riguardante i tetti di emissione nazionali, le uniche ulteriori misure che potrebbero essere considerate sono quelle riguardanti le emissioni dovute a sorgenti differenti da quelle del trasporto su strada.

Per quanto riguarda il PM sono disponibili pochissime informazioni riguardo ai costi e agli effetti delle tecniche di abbattimento per i settori diversi dal trasporto su strada. Visto che in alcune aree urbane i processi industriali sono l'unica importante sorgente di emissione di PM<sub>10</sub>, ciò diventa una significativa lacuna che dovrà essere presa in considerazione nelle future strategie riguardanti il PM.

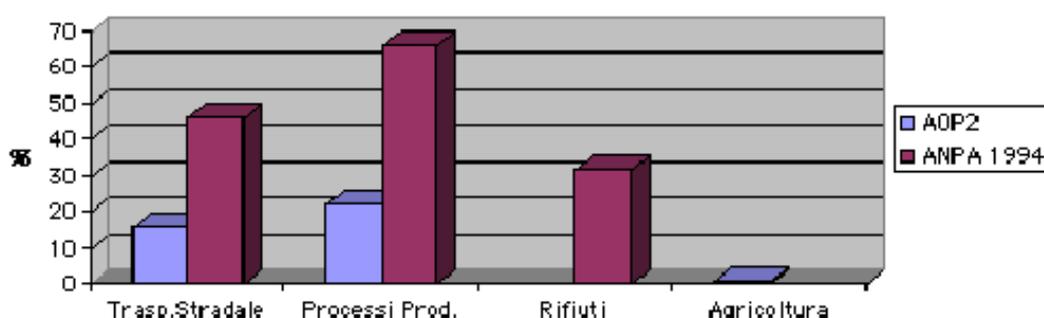
Le emissioni di PM per il nostro Paese sono state stimate da ANPA per il 1994 e nell'ambito del già citato Programma Autoil 2. Esse sono riportate in Figura.



Emissione di polveri sospese in Italia (migliaia di tonnellate).

Fonte: ANPA 2000 ([www.sinanet.anpa.it](http://www.sinanet.anpa.it)); AOP2 1999 ([www.europa.eu.int/en/comm/dg17/autooil.htm](http://www.europa.eu.int/en/comm/dg17/autooil.htm))

La distribuzione settoriale delle due stime è invece riportata in Figura.



Suddivisione macrosettoriale dei contributi all'emissione di polveri sospese in Italia

Fonte: ANPA 2000 ([www.sinanet.anpa.it](http://www.sinanet.anpa.it)); AOP2 1999 ([www.europa.eu.int/en/comm/dg17/autooil.htm](http://www.europa.eu.int/en/comm/dg17/autooil.htm))

E' evidente una differenza sensibile fra i due inventari sia nei valori assoluti sia nella distribuzione settoriale con più marcate differenze nel macrosettore trasporto, per il quale la stima AOP2 è più benevola. Tuttavia per questa ultima il riferimento è al periodo 1990-2005 e all'insieme dei Paesi EU15.

In ambiente urbano, laddove la componente industriale non è generalizzabile ma settorializzata a particolari città "industriali", la sorgente emissiva dovuta al trasporto veicolare diventa particolarmente rilevante. Laddove le condizioni meteorologiche ed energetiche siano sfavorevoli (freddo intenso e uso di combustibili con rapporti C/H elevati), il contributo dovuto al riscaldamento residenziale è anche importante. Fra le sorgenti urbane "*other than road transport*" le attività di cantiere possono determinare consistenti contributi ai livelli di inquinamento da particolato.

#### **4.6.1 Contributo ai livelli di inquinamento da particolato dovuto ad attività di cantiere**

Le emissioni di polveri da cantiere possono essere suddivise in relazione a:

(1) componente "primaria" (prodotta direttamente dal cantiere):

- emissioni *exhaust* primarie allo scarico di mezzi prevalentemente diesel pesanti (macchine operatrici e veicoli per trasporto materiali),
- emissioni diffuse dalle aree di cantiere dovute alle lavorazioni;

(2) componente "secondaria" (derivata dalla primaria):

- risollevarimento conseguente allo "sporcammento" delle strade,
- movimentazione e trasporto di materiali polverulenti.

La valutazione di tali emissioni fuggitive di materiale particolato in ambiente urbano proveniente sia da siti di costruzione che da altre sorgenti diffuse è molto importante soprattutto quando gli standard di materiale particolato sono superati e si rende necessaria l'applicazione di piani di controllo. In periodi di clima secco, la movimentazione di merce voluminosa, il trasporto pesante e i lavori all'aperto contribuiscono significativamente all'emissione diretta di polveri e particelle fini. In periodi umidi, fanghi e materiali argillosi possono essere trasportati dai siti di costruzione sulle strade. Nei conseguenti periodi secchi il materiale finemente disperso è risollevato dai veicoli nell'ambiente atmosferico urbano. Tali processi sono molto significativi per l'impatto sull'inquinamento atmosferico e contribuiscono attivamente alla degradazione della qualità dell'aria.

## **Possibilità tecniche di intervento**

### ***Monitoraggio e valutazione***

La pianificazione di strategie di abbattimento efficaci nel caso dei siti di costruzione dipende da parametri difficilmente valutabili, quali tipi di lavoro, composizione geologica del terreno, relazione fra inquinamento on-site e off-site, tipo di trasporto pesante dei mezzi e condizioni meteorologiche. In questo scenario, una stima delle emissioni di particolato può portare facilmente a risultati incorretti, laddove le misure possono fornire dati difficili da interpretare e traslare in termini di emissioni specifiche. Poiché sia misure che modelli non forniscono una risposta solida al problema, si stima che una combinazione di entrambi possa dare il valore aggiunto necessario per comprendere pienamente e valutare quantitativamente il contributo di dei cantieri. La concentrazione di materiale particolato dipende essenzialmente dall'interazione di due fattori: tasso di emissione della sorgente e fattore di dispersione, in funzione ovviamente delle coordinate spazio-temporali. La dispersione del materiale particolato è influenzata dalla posizione e geometria della sorgente oltre che dalle condizioni e dalla dimensione delle particelle. L'utilizzo di modelli di dispersione consolidati (Gaussiano, Lagrangiano, etc.) permette di calcolare il fattore di dispersione. Il campionamento e la misura del materiale particolato correttamente spazializzati sull'area in esame consentono di calcolare il valore discreto della concentrazione. Le misure possono essere effettuate convenzionalmente con analizzatori automatici di materiale particolato, con campionatori sequenziali con determinazione gravimetrica della massa e analisi chimica dei campioni. Il tasso di emissione viene ricavato da tali fattori e in funzione del modello emissivo. La misura o stima del relativo fattore di emissione richiede particolare attenzione. Nel caso della cantieristica non esistono, al momento, fattori di emissione consolidati.

Per la valutazione ed il monitoraggio di differenti sorgenti inquinanti di un cantiere sono proposte stime basate sulle linee guida Europee sugli inventari (EMEP/CORINAIR Emission inventory Guidebook third edition - EEA, October 2002) e linee guida US-EPA sui fattori di emissione.

Per la stima delle emissioni dai veicoli le linee guida Europee suggeriscono un metodo basato sui consumi di combustibile totali moltiplicati per appropriati fattori di emissione di massa (Eggleston et al., 1993); per le emissioni exhaust si fa riferimento alla terza edizione dell' Emission Inventory Guidebook, EEA, October 2002.

Per l'emissione di polveri l'US-EPA suggerisce la metodologia descritta nell'AP 42, Fifth Edition Compilation of Air Pollutant Emission Factors (Volume 1: Stationary Point and Area Sources) che dettaglia le linee guida per quantificare tali emissioni dalle operazioni di costruzione. In particolare

per il risollevarimento delle polveri è trattato nella documentazione sui fattori di emissione dell' AP-42 (sezione 13.2.2, Unpaved Roads Final Report; US-EPA September 1998).

Sussistono attualmente ancora numerose incertezze nella valutazione di questa componente e nell'applicabilità dei modelli proposti, per cui occorre una notevole cautela nell'interpretazione dei dati. La stima dell'emissione è quindi effettuata grossolanamente per l'intero cantiere e necessita, come già detto, di misure ad hoc da integrare col modello.

### ***Rimozione***

Per ridurre il più possibile le molteplici emissioni nell'aria circostante i cantieri dove vengono effettuati molteplici lavori con tecniche, macchine e apparecchi di vario tipo sono necessarie una serie di misure da adottare in futuro sui cantieri edili. Tra i provvedimenti di base vanno segnalati in particolare:

- l'umidificazione del materiale polveroso durante le operazioni di trasbordo e immagazzinamento (la cui - logica è simile ai provvedimenti di lavaggio delle strade, riportata nel paragrafo sul Risollevarimento),
- l'impiego di mastice di asfalto e di bitume con bassa tendenza all'esalazione di fumo,
- l'utilizzo di esplosivi con poche emissioni,
- la regolare manutenzione di macchine e apparecchi,
- la considerazione della protezione dell'aria nella pianificazione edilizia e nelle gare di appalto,
- la formazione del personale edile.

Altri provvedimenti specifici per i grandi cantieri sono, ad esempio:

- la copertura dei nastri trasportatori,
- l'impiego di macchine e apparecchi dotati di sistemi di filtri per particolato o l'installazione di vasche di - pulizia (p. es. impianti di lavaggio delle ruote) all'uscita dei cantieri.

## 4.7 Emissioni atmosferiche da trasporto navale

Si è stimato che le emissioni di inquinanti dalle navi impegnate in traffici commerciali nei mari europei ammontano a 2.6 milioni di tonnellate di diossido di zolfo e 3.6 milioni di ossidi di azoto. Mentre le emissioni degli inquinanti dalle sorgenti di terra stanno gradualmente diminuendo, quelle dalle navi continuano a crescere (vedi figura ).

	Sulphur dioxide	Nitrogen oxides
1990 <sup>1</sup>	2,001	2,808
2000	2,578	3,817
2010-Low (1.5% growth/yr)	2,845	4,015
2010-High (3% growth/yr)	3,294	4,649

<sup>1</sup> Entec data for 1990 was estimated from 2000 data, assuming a 2.5% per annum growth 1990-2000.

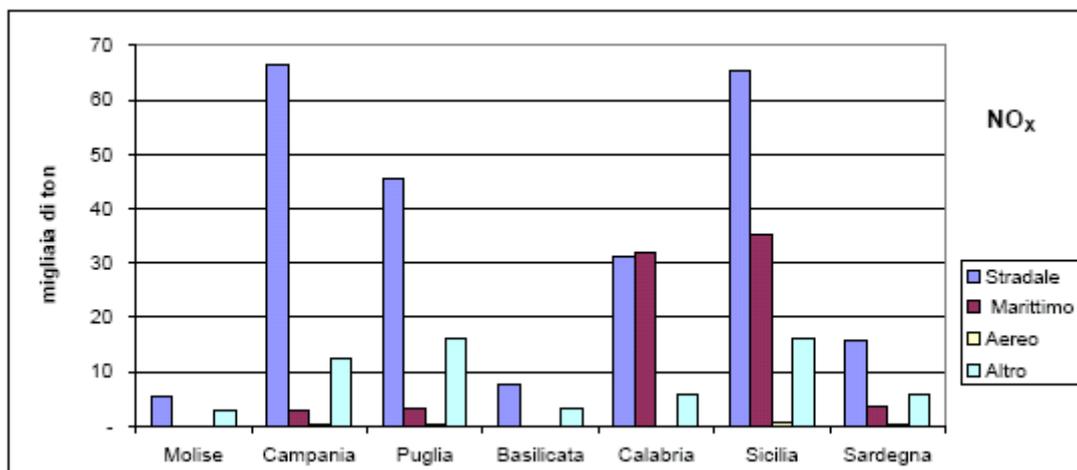
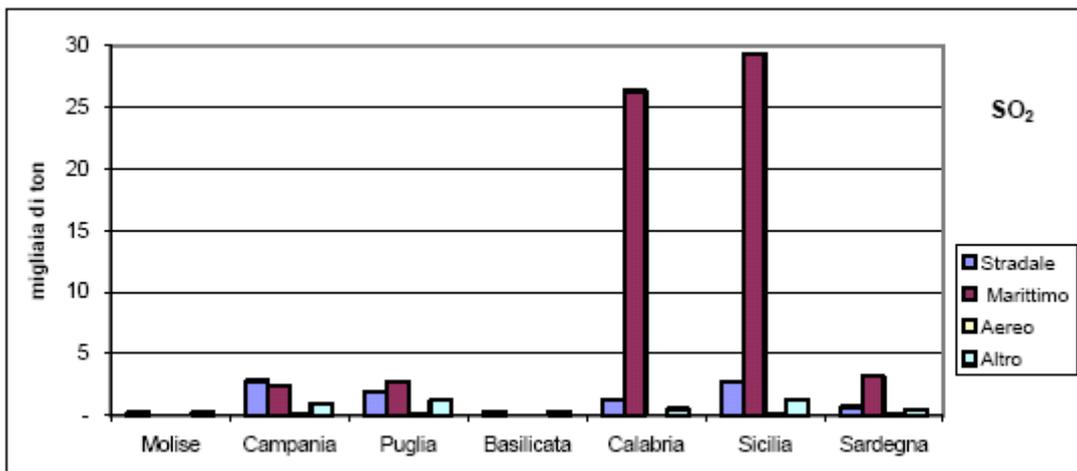
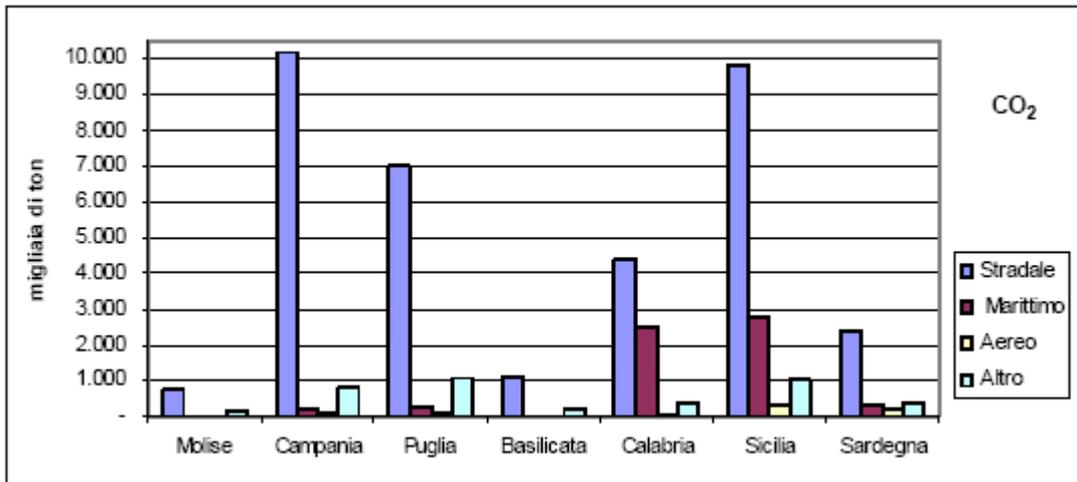
Source: Entec (2002).

*Emissioni di SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> dovute alla navigazione internazionale nelle acque europee (ktons).*

Il loro contributo alla concentrazione atmosferica del particolato secondario inorganico sulle zone costiere e del 20-30 % (CEC, 2002b) e notevole è pure l'apporto di inquinanti responsabili della formazione di ozono, soprattutto nella zona Mediterranea.

Nella figura successiva sono riportate le emissioni di CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dovute alle diverse modalità di trasporto nelle Regioni del Mezzogiorno nell'anno 1999

Il maggior contributo alle emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) ed ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) è dato dal trasporto stradale e in misura notevolmente minore dal trasporto marittimo; il maggior contributo alle emissioni di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) è invece dato dal trasporto marittimo, il quale utilizza ancora combustibili ad alto tenore di zolfo; le Regioni nelle quali si registrano le emissioni più alte di CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> sono nell'ordine la Campania, la Sicilia, la Puglia e la Calabria; ciò è probabilmente dovuto alla maggiore popolazione residente in queste Regioni, ma anche alla presenza di grandi vie di comunicazione, quali le dorsali autostradali tirrenica ed adriatica; la Sicilia e la Calabria sono le regioni in cui la notevole entità del traffico marittimo genera emissioni rilevanti di SO<sub>2</sub>; le altre Regioni del Mezzogiorno, sebbene dotate di importanti scali portuali, registrano livelli di emissione inferiori.



*Emissioni di CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dovute alle diverse modalità di trasporto nelle Regioni del Mezzogiorno, (1999)*

Naturalmente le emissioni possono essere generate in diversi modi e in diverse fasi del trasporto navale. In particolare potremmo distinguere le seguenti fasi: approccio e ormeggio nei porti; stazionamento in porto; partenza dal porto; navigazione.

E nel considerare i vari inquinanti emessi dovremmo considerare diversi elementi: la tipologia delle navi; tonnellaggio; tipo di propulsore; combustibili utilizzati; stima del numero di giorni spesi nelle fasi di manovra (approccio e ormeggio e partenza dal porto) e di stazionamento.

Tutti questi fattori vanno considerati se si vuole cercare di agire per una riduzione delle emissioni dovute al trasporto navale.

#### **4.7.1 Emissioni atmosferiche provocate dalle navi, nuove proposte**

La Commissione Europea ha proposto nuove misure atte a ridurre le emissioni atmosferiche provocate dalle navi.

Intanto ha previsto la modifica della direttiva del 1999 sul tenore di zolfo dei combustibili per uso marittimo con la fissazione di nuovi limiti per la concentrazione di zolfo nei combustibili. E per l'esattezza la fissazione di un tenore massimo di zolfo dell'1,5 per cento per i combustibili, compreso l'olio combustibile pesante, che vengono utilizzati dalle navi che attraversano il Mare del Nord, il canale della Manica e il Mar Baltico. Ciò permetterebbe di ridurre l'impatto delle emissioni delle navi sulla qualità dell'aria nell'Europa settentrionale

Dal 1° luglio 2007, questo limite di concentrazione dello zolfo, sarà esteso per tutti i combustibili utilizzati dalle navi passeggeri che effettuano servizi di linea da o verso porti comunitari. Questo assicurerebbe di migliorare la qualità dell'aria attraverso la riduzione delle emissioni di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), di particolato (PM) e di ossido di zolfo (NO<sub>x</sub>) all'interno dei porti.

Un'altra misura ha previsto il divieto della vendita di gasolio per uso marittimo (qualità DMA e DMX) con tenore di zolfo superiore allo 0,2 per cento (lo 0,1 per cento a partire dal 2008). La Commissione ha rivolto particolare attenzione agli strumenti di mercato. Rispetto alla regolamentazione diretta, tali meccanismi permettono di inserire i costi dell'inquinamento e gli altri costi di carattere ambientale, i “costi esterni” nei prezzi dei beni e dei servizi prodotti, incentivando le imprese a raggiungere risultati superiori agli standard stabiliti.

## **5. MISURE NON TECNICHE**

### **5.1 Gestione della mobilità**

#### **5.1.1 Scopo ed obiettivi**

Sono state considerate diverse politiche di trasporto e sono state studiate misure di gestione nelle seguenti aree di interesse:

- Gestione del traffico
- Trasporto pubblico, piste ciclabili e pedonizzazione nonché “intermodality”
- Efficienza del trasporto merci
- Pedaggi vari, incluso il “road pricing”
- Ricambio e ammodernamento del parco macchine
- Mobilità e condotta del guidatore
- Politiche di utilizzo del suolo

La caratteristica che contraddistingue le misure non-tecniche è quella di mirare alla modifica delle abitudini degli utilizzatori del trasporto. La reazione degli utilizzatori del sistema di trasporto non può essere prevista esattamente, di solito dipende dalle circostanze locali e può mutare nel tempo.

Le misure non-tecniche delle politiche di trasporto sono di competenza di varie autorità; in particolare, per quanto riguarda le misure con un potenziale di miglioramento della qualità dell'aria, le competenze sono focalizzate a livello locale e regionale. Comunque, come conseguenza della Direttiva quadro sulla qualità dell'aria (96/62/EC), gli Stati Membri e le autorità locali dovranno assicurarsi che, nelle aree di scarsa qualità dell'aria, i progetti d'azione siano redatti attenendosi agli standard di qualità dell'aria della Comunità Europea.

L'intento è quello di:

- Dimostrare che è disponibile un'ampia gamma di misure non-tecniche
- Promuovere le “good practices” riguardo all'implementazione di tali misure
- Rendere nota la capacità delle misure non-tecniche di influenzare la qualità dell'aria a livello

locale

- Fornire informazioni dettagliate riguardo ad impatti e costi di determinate misure non-tecniche, consentendo stime di costi-benefici

- Fornire una base di supporto alla politica.

Sono state raccolte diverse informazioni generali sulla “good practice” per l'implementazione delle misure non-tecniche da studi e relazioni effettuati al riguardo, al fine di ridurre le emissioni e migliorare la qualità dell'aria.

### **5.1.2 Considerazioni chiave per la valutazione delle misure non-tecniche**

I livelli di emissione e di inquinamento possono essere interpretati come un indicatore di qualità dei sistemi di trasporto, accanto ad altri come accessibilità regionale, gestione del traffico veicolare, qualità del trasporto pubblico, opportunità di tipi di trasporto non motorizzato e miglioramento dell'economia regionale.

I limiti delle misure non-tecniche ed il loro effetto sulle emissioni sono collegati ai cicli di guida ed alla condotta in condizioni di congestione, confrontati con la velocità media utilizzata come indicatore. Inoltre, la politica delle misure non-tecniche deve essere rivolta al rapporto qualità-prezzo; ciò include soprattutto l'accettazione pubblica di tali misure.

### **5.1.3 Valutazione di possibili scenari non tecnici**

Per quanto riguarda la valutazione di misure non-tecniche, va definita la variazione degli attributi della domanda di trasporto, soprattutto la generalizzazione dei prezzi che tiene conto del costo totale dell'utilizzo di un mezzo di trasporto. Le misure possono far variare direttamente i prezzi di mercato o i tempi di percorrenza, oppure possono avere un effetto sulle capacità, i fattori di carico medi e la frequenza del servizio.

Bisogna infine sottolineare che i risultati di una eventuale modellizzazione degli scenari dovrebbero essere considerati come una guida strategica che dovrà essere valutata dalle autorità competenti locali in base a specifiche informazioni locali e più dettagliati modelli.

## **5.2 Limitazioni del traffico parziali e totali**

I livelli di PM<sub>10</sub> rilevati negli ultimi anni evidenziano la necessità di programmare anche per il prossimo autunno-inverno una serie di limitazioni della circolazione veicolare.

Il provvedimento delle targhe alterne così come già adottato, se riproposto, rischia di avere scarsa efficacia; stime effettuate da alcuni Comuni attribuiscono alla circolazione a targhe alterne una riduzione del 15-20% del numero dei veicoli e delle conseguenti emissioni di polveri nelle fasce orarie di applicazione del provvedimento, mentre se si considera l'intero arco della giornata la riduzione è all'incirca del solo 10%.

### **5.2.1 Efficacia dei provvedimenti di limitazione del traffico**

Per valutare i possibili effetti della riduzione delle emissioni da traffico sui livelli di concentrazione del PM<sub>10</sub> è necessario, in primo luogo, considerare che gli inquinanti primari antropogenici costituiscono una porzione di PM<sub>10</sub> variabile fra il 15-20% alle stazioni di fondo urbano ed il 25-35% alle stazioni di traffico. A ciò si somma un 20-25% di componenti naturali

(specie di origine terrigena e aerosol marino), mentre il rimanente materiale particellare è costituito da composti secondari. Di conseguenza, i provvedimenti di limitazione del traffico, che agiscono prevalentemente sulla concentrazione dei primari, hanno un effetto sensibile sulla concentrazione di  $PM_{10}$  solo quando le condizioni di rimescolamento atmosferico sono scarse e quindi la concentrazione di inquinanti antropogenici primari nelle aree urbane raggiunge i valori massimi. Simulazioni numeriche relative all'anno 2004 consentono di effettuare le seguenti stime: se il flusso emissivo diminuisse del 20% per tutto l'anno e se tale diminuzione avesse un effetto sensibile (diminuzione del 20%) solo nei casi in cui la concentrazione di  $PM_{10}$  è superiore a  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la concentrazione media annuale ad una stazione di traffico diminuirebbe del 10%. Supponendo invece un effetto su tutti i casi in cui la concentrazione di  $PM_{10}$  è superiore a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , allora la concentrazione media annuale alla stazione di traffico diminuirebbe del 15%. Nelle stesse condizioni, alla stazione di fondo urbano, la diminuzione sarebbe in entrambi i casi trascurabile.

In conclusione, i fenomeni meteorologici sono, in ultima analisi, gli elementi principali che definiscono i livelli di inquinamento atmosferico. Di conseguenza, nel caso di superamento dei limiti, i siti caratterizzati da elevata stabilità atmosferica dovranno porre in essere interventi e piani di risanamento molto più pesanti e drastici di quelli prevedibili ed attuabili in zone nelle quali questi fenomeni si rivelano meno importanti. Ciò implica una modulazione degli interventi di contenimento delle emissioni legata principalmente all'area geografica di appartenenza. A causa di questa disparità appare opportuno iniziare a considerare possibili modulazione dei costi sociali ed economici degli interventi e, poiché non è possibile rivedere verso l'alto i limiti fissati dalla legislazione, iniziare a considerare queste differenze alla luce di possibili interventi di compensazione, siano essi sociali od economici.

## 5.3 Limitazioni della velocità

### Introduzione

Lo studio “Emissioni inquinanti dovute al traffico sull’autostrada A2 tra Chiasso e Mendrisio” (maggio 2000) condotto dalla Divisione dell’ambiente Sezione protezione aria e acqua, ha avuto come obiettivo quello di calcolare, sulla base dei parametri forniti dall’Ufficio federale dell’ambiente, delle foreste e del paesaggio (UFAFP), le emissioni dovute al traffico lungo l’autostrada A2 per i seguenti casi:

- emissioni provocate con gli attuali limiti di velocità;
- effetto di una riduzione della velocità massima consentita a 100 km/h.

Per l’effettuazione dei calcoli **non** sono state prese in considerazione:

- le emissioni dovute alle partenze a motore freddo;
- le emissioni dovute all’evaporazione di carburante;
- le emissioni supplementari dovute alla marcia in colonna a velocità molto bassa (“Stop and Go”);
- le emissioni dovute al traffico sulle rampe di accesso e di uscita dell’autostrada.

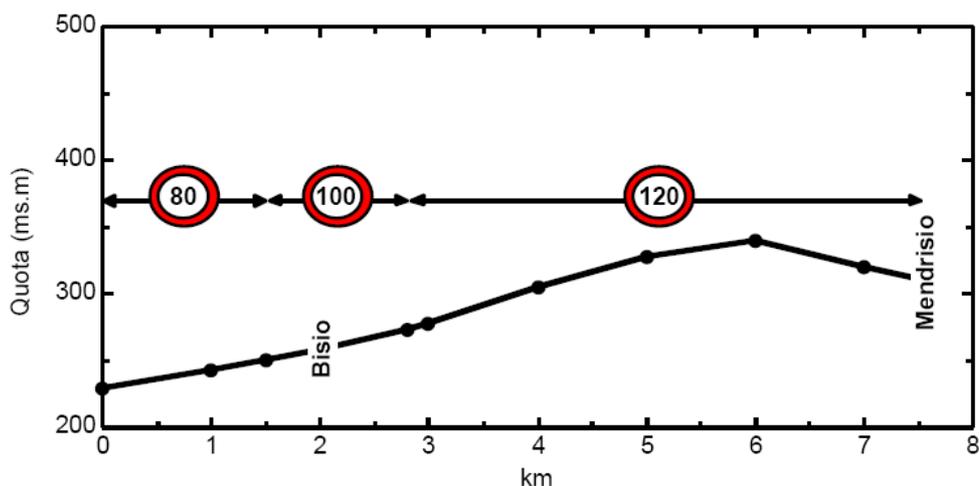
Il rapporto dell’UFAFP permette di determinare le emissioni per categorie di veicoli (in g/(km·veicolo)) dipendenti dai seguenti parametri:

- la dinamica di guida (dipendente dal tipo di strada e dal limite di velocità);
- la pendenza della strada;
- la composizione del parco veicoli;
- l’anno di riferimento.

Le categorie di veicoli sono disponibili a diversi livelli di aggregazione. Le categorie più dettagliate contemplano i diversi tipi di motorizzazione (cilindrata, tipo di carburante, tipo di catalizzatore), mentre quelle più aggregate forniscono dei coefficienti di emissione “medi”, basati sulla composizione media a livello svizzero del parco veicoli in un determinato anno (per esempio 20.5% convenzionale, 73.2% catalizzatore e 6.3% diesel per le automobili nel 1995).

### 5.3.1 Metodica

L’autostrada è stata suddivisa in tratti della lunghezza di 1 km. Nei casi in cui all’interno di un tratto si presenta un elemento di discontinuità, quali svincoli o cambiamenti del limite di velocità si è provveduto a suddividere ulteriormente il tratto.



**Profilo e suddivisione in segmenti (links) della A2**

### *Volumi di traffico*

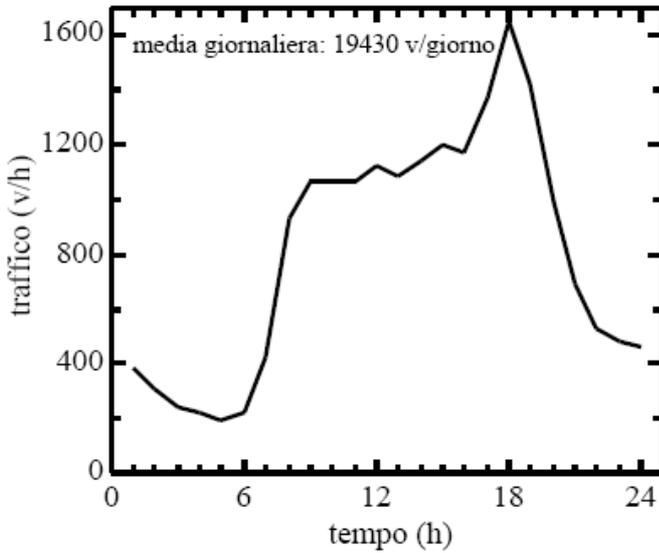
Il carico veicolare sui diversi tratti è stato calcolato a partire dai conteggi automatici che sono in funzione a Chiasso prima della dogana di Brogeda, sul tratto di autostrada tra Chiasso e Mendrisio. Questi conteggi sono effettuati su base oraria: ogni ora per ogni corsia viene registrato il numero di veicoli transitati. Per poter identificare possibili anomalie, dovute ad esempio ad interruzioni temporanee del traffico, i singoli flussi orari sono stati confrontati con il rispettivo flusso orario medio (su tutti i dati della stessa ora di un anno).

Dopo aver individuato le ore con flussi anomali di traffico il giorno tipo è stato ricalcolato tralasciando queste ore. I risultati di queste analisi per le due direzioni (Sud e Nord) nei diversi punti sono illustrati nella tabella e nelle figure seguenti.

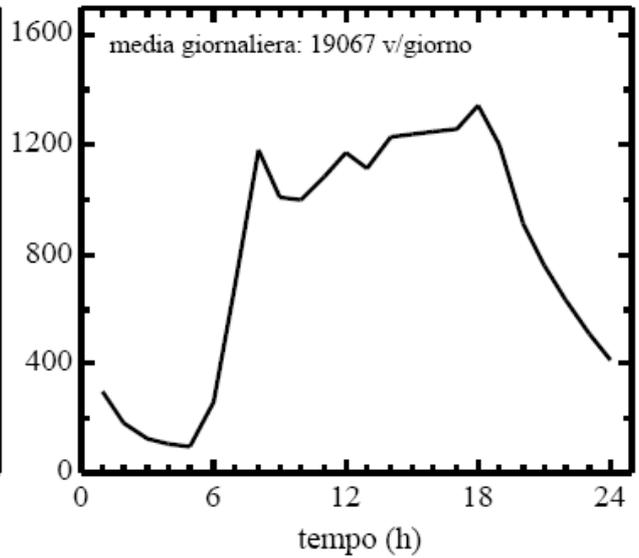
<b>Posto</b>	<b>Direzione/Corsia</b>	<b>traffico tot (v/d)</b>	<b>traffico VL (v/d)</b>	<b>traffico VP (v/d)</b>	<b>traffico VP (%)</b>
Chiasso Brogeda	Sud totale	11780	10207	1573	13
Chiasso Brogeda	Nord dalla dogana	9951	8432	1519	15
Chiasso Brogeda	Nord corsia di entrata	6499	6290	209	3
Chiasso Brogeda	Nord totale	16450	14722	1728	11
Mendrisio	Sud totale	19430	17492	1938	10
Mendrisio	Nord totale	19067	17255	1812	10

**Flussi di traffico sulla A2**

**traffico verso Sud (giorno tipo)**

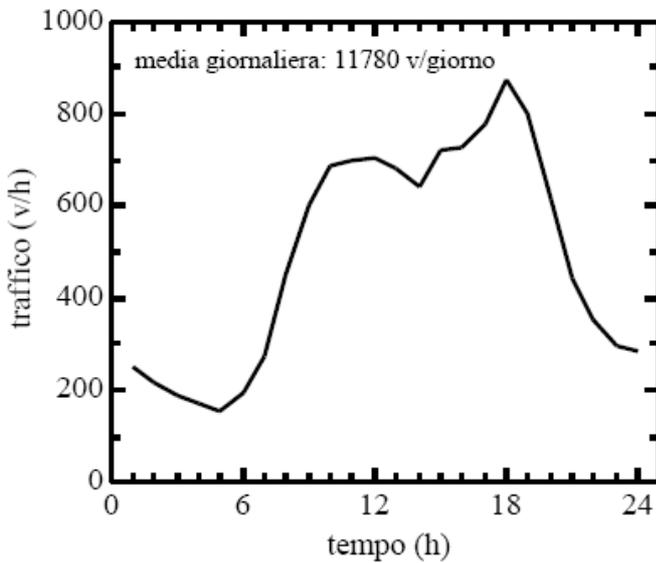


**traffico verso Nord (giorno tipo)**

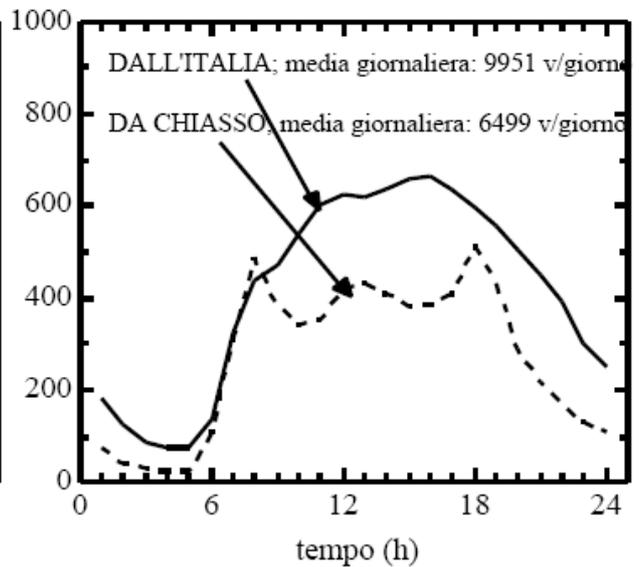


**giorno tipo dei flussi di traffico sulla A2 misurati a Mendrisio Sud**

**traffico verso Sud (giorno tipo)**



**traffico verso Nord (giorno tipo)**



**giorno tipo dei flussi di traffico sulla A2 misurati a Chiasso Brogeda**

Per quanto riguarda la suddivisione del carico totale nelle principali categorie di veicoli si è proceduto nel modo seguente. I veicoli più corti di 6 m vanno suddivisi fra automobili e furgoncini, mentre quelli di lunghezza superiore rientrano nella categoria traffico pesante.

Partendo dal presupposto che il traffico pesante sia composto da una componente “di transito” e da una “locale” direttamente proporzionale al traffico totale locale, vale a dire

$$\text{Traffico pesante} = \begin{matrix} T_{pt} \\ \text{“transito”} \end{matrix} + \begin{matrix} C1 \cdot \text{traffico locale} \\ \text{“locale”} \end{matrix},$$

è possibile mettere in equazione i dati relativi ai due punti di rilevamento di Grancia e della galleria del S. Gottardo per determinare le due componenti. Una volta noti i due parametri è possibile calcolare la percentuale di traffico pesante su tutti i tratti dell’autostrada.

Per il calcolo delle emissioni la suddivisione in traffico leggero e pesante non è ancora sufficiente. Un’ulteriore suddivisione deve essere effettuata separando il traffico leggero in automobili e furgoncini e quello pesante in autocarri e torpedoni. Queste suddivisioni sono state eseguite sulla base del chilometraggio totale delle singole categorie fornito dal quaderno Nr. 255 dell’UFAFP. Un’ultima suddivisione deve essere fatta all’interno della categoria automobili per determinare le percentuali di veicoli convenzionali, catalizzati e a motore diesel, i cui fattori di emissione sono molto differenti. Non disponendo

di dati oggettivi anche in questo caso ci si è basati sulla composizione media svizzera.

### 5.3.2 Risultati

#### *Emissioni con i limiti di velocità attuali*

	<b>PW</b>	<b>LI</b>	<b>SNF</b>	<b>RBus</b>	<b>Totale</b>
Benzolo	2.7	0.2	0.3	0.009	3.2
CO	922.5	173.8	29.4	1.1	1126.8
CO <sub>2</sub>	27171.0	3008.5	13888.0	613.4	44680.9
NMHC	38.3	3.1	13.2	0.5	55.1
NO <sub>x</sub>	137.7	13.8	156.0	7.5	315

**PW** (Automobili); **LI** (Furgoni fino a 3.5 t); **SNF** (Autocarri, veicoli pesanti, bus esclusi); **Rbus** (Bus)

#### *Emissioni annue in t/a*

	<b>PW</b>	<b>LI</b>	<b>SNF</b>	<b>RBus</b>	<b>Totale</b>
Benzolo	1.9	0.1	0.2	0.01	2.2
CO	476.6	94.2	21.5	1.0	593.3
CO <sub>2</sub>	19315.0	2135.3	6984.2	320.4	28754.9
NMHC	28.5	2.5	11.7	0.5	43.2
NO <sub>x</sub>	100.3	9.8	84.3	4.2	198.6

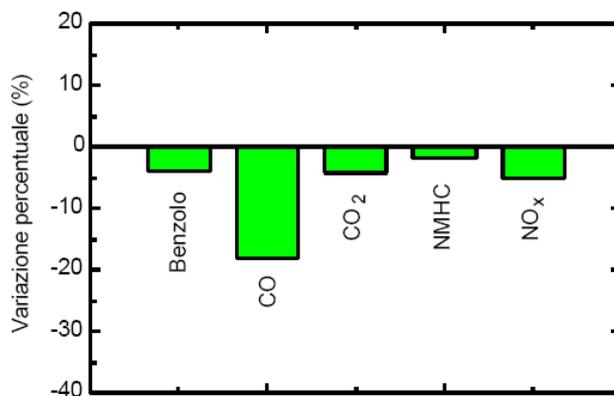
*Emissioni con limitazione della velocità a 100 km/h*

	<b>PW</b>	<b>LI</b>	<b>SNF</b>	<b>RBus</b>	<b>Totale</b>
Benzolo	1.6	0.1	0.2	0.007	1.9
CO	419.5	74.8	18.6	0.8	513.7
CO <sub>2</sub>	15984.8	1711.7	7618.4	340.8	25655.7
NMHC	23.9	2.0	9.1	0.4	35.4
NO <sub>x</sub>	77.8	8.3	87.7	4.3	178.1

*Differenze (in t/a e %) tra le emissioni a 120 e 100 km/h*

	<b>Tot 120</b>	<b>Tot 100</b>	<b>Diff.</b>	<b>Diff. %</b>
Benzolo	2.0	1.9	0.1	-3.8
CO	627.8	513.6	114.2	-18.2
CO <sub>2</sub>	26804.1	25655.7	1148.4	-4.3
NMHC	35.9	35.3	0.6	-1.7
NO <sub>x</sub>	187.5	178.1	9.4	-5.0

*Differenze in % tra le emissioni a 120 e 100*



*Differenza del tempo di percorrenza (traffico leggero)*

	<b>Mendrisio - Chiasso</b>
Situazione attuale	4' 16"
Limite=100 km/h	4' 44"
Differenza	28"
Differenza percentuale	11%

### **5.3.3. Conclusioni**

In estrema sintesi si può affermare che un allungamento dei tempi di percorrenza di 30 secondi è il prezzo da pagare per ottenere un risparmio di 1148 tonnellate di CO<sub>2</sub>, 114 tonnellate di CO e 9.4 tonnellate di NO<sub>x</sub> all'anno.

A titolo di paragone giova rilevare che tra Chiasso e Mendrisio in media su 1 km di autostrada (nelle due direzioni) vengono emesse 25 tonnellate all'anno di NO<sub>x</sub>. Quindi la riduzione delle velocità massime da 120 a 100 km/h equivale ad accorciare la tratta di A2 in questione di 376 m. Se si ripete la stessa analisi anche per le altre sostanze si ottiene che per il CO la riduzione di velocità equivale ad accorciare la tratta di 3.4 km e per il CO<sub>2</sub> di 1.4 km.

È inoltre interessante paragonare la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto che si ottiene tramite la riduzione delle velocità con le emissioni degli impianti di riscaldamento. Sulla base delle misure effettuate dai controllori della combustione si valuta che nel Mendrisiotto le emissioni di ossidi d'azoto sono pari a 76 tonnellate all'anno. Il margine di riduzione di queste emissioni che si otterrebbe allineando tutti gli impianti alla tecnica LowNO<sub>x</sub> è di ca. 30 tonnellate all'anno.

In conclusione si può affermare che con 30 secondi di aumento dei tempi di percorrenza si ottiene – a livello di NO<sub>x</sub> – un terzo di quanto si otterrebbe con ingenti spese a livello di impianti di riscaldamento munendo tutti gli impianti della tecnologia LowNO<sub>x</sub>.

## **5.4 Misure fiscali**

### **5.4.1 Scopo ed obiettivi**

Gli obiettivi principali degli strumenti fiscali sono:

- Identificare misure economiche che possano fornire un contributo alla riduzione dei livelli di emissione di inquinanti dai veicoli a motore
- Valutare la loro possibile implementazione ed eventuale impatto
- Selezionare le opzioni più promettenti e descriverle in modo tale da agevolare la loro eventuale introduzione nell'analisi costi-benefici
- Dove opportuno, considerare l'estensione di quegli strumenti identificati come possibilmente applicabili a sorgenti stazionarie.

L'intento non è quello di inventare nuovi strumenti, ma quello di capire fino a che punto gli strumenti esistenti possano essere utilizzati per ottenere ulteriori riduzioni delle emissioni di inquinanti dovute al trasporto su strada.

E' difficile, se non addirittura impossibile, valutare l'efficacia e l'effetto di un'unica tassa isolatamente.

I possibili strumenti fiscali possono essere suddivisi in due gruppi:

- Le misure cosiddette a sé stanti che non fanno riferimento a specifici standard tecnici
- Gli strumenti fiscali mirati ad incrementare la promozione di specifici standard della tecnologia dei veicoli o della qualità dei carburanti, ad esempio tassazioni differenti sui carburanti al fine di promuovere quelli più puliti.

Le possibili misure fiscali possono anche essere considerate in termini di effetto atteso su parametri come la struttura della flotta veicolare e la composizione e/o il livello di consumo complessivo di carburante.

#### **5.4.2 Considerazioni chiave per la valutazione degli strumenti fiscali**

Gli strumenti fiscali sono stati sempre più riconosciuti dagli Stati Membri come utile supporto agli obiettivi della loro politica relativamente a trasporto, energia e ambiente; resta comunque importante ricordare che esiste un possibile conflitto tra gli obiettivi dell'economia e gli obiettivi di altre politiche. Da un punto di vista strettamente economico è preferibile imporre delle tasse che abbiano il minor impatto possibile sulle abitudini del consumatore. La valutazione di possibili scenari deve quindi includere anche un giudizio sull'accettazione pubblica delle misure e sull'influenza che possono avere sul budget nazionale.

Un altro importante fatto da considerare è l'eventuale utilizzo di quegli strumenti fiscali che dovrebbero essere considerati come applicabili uniformemente in tutta la Comunità o dovrebbero poter essere cambiate a livello regionale o di Stato Membro, ad esempio per tener conto dei fattori ambientali locali.

#### **5.4.3 Valutazione di potenziali scenari fiscali**

Possono essere presi in considerazione differenti scenari in base agli effetti degli aumenti dei livelli minimi di tassazione degli oli minerali utilizzati come carburante. Questi possono essere improntati sull'analisi degli effetti dell'adeguamento alla proposta di aggiornare la struttura della Comunità per quanto riguarda la tassazione dei prodotti energetici, oppure sulla sostituzione delle tasse di immatricolazione e di circolazione con un aumento delle tasse sui carburanti.

Altri scenari possono essere rivolti ad una riduzione della differenza tra tasse sulla benzina e tasse sul gasolio e come incentivo fiscale per carburanti e veicoli puliti.

## **5.5 Ispezione e manutenzione (I&M)**

### **5.5.1 Scopo ed obiettivi**

Lo scopo è quello di considerare potenziali programmi periodici di I&M al fine di ridurre l'emissione di inquinanti in modo economicamente vantaggioso.

### **5.5.2 Lo stato dell'arte**

La Direttiva 91/338/EEC<sup>4</sup> per prima ha introdotto la necessità di testare le macchine passeggeri tramite il cosiddetto “controllo tecnico” (“roadworthiness”) ossia un controllo della conformità del veicolo alla normativa tecnica (allegato II della direttiva 96/96/CE). Lo scopo di tale controllo, relativo alle emissioni autoveicolari, è quello di individuare quali autovetture siano da considerarsi altamente inquinanti (i cosiddetti “gross polluters”), cioè quelle che emettono a livelli significativamente superiori ai limiti prescritti; in particolare sono previsti controlli del contenuto di monossido di carbonio nei gas di scarico dei veicoli a benzina e misure di opacità dei fumi dei veicoli a gasolio.

Sebbene le procedure siano molto più semplici rispetto a quelle usate per il test di omologazione, lo scopo dell'I&M è quello di fare in modo che i veicoli riconosciuti come altamente inquinanti non siano in grado di superare successivamente il test di omologazione.

### **5.5.3 Test di I&M**

In conformità alla direttiva 91/441/EEC sono stati finora effettuati numerosi studi per valutare se, per l'identificazione di veicoli altamente inquinanti, le misure di emissione a pieno carico siano più adatte rispetto alle misure al minimo per motori a benzina (in particolare quelli con catalizzatore a tre vie – TWC), o al test ad accelerazione libera (Free Acceleration Test, FAS) per i motori diesel. Oltre ai motori ad accensione a scintilla convenzionali ed ai diesel, sono stati oggetto di studio anche altri veicoli a motore ed in particolare i veicoli commerciali pesanti.

Per ognuna delle soluzioni sono stati calcolati i costi (comprensivi di installazione e funzionamento) ed è stata quantificata la capacità di abbattimento delle emissioni presenti e future. E' stata anche considerata la possibilità di utilizzare le tecniche di remote sensing per identificare i veicoli ad alte emissioni, ad ausilio alle tecniche di I&M attualmente operative.

Una breve discussione è riportata in seguito in relazione a:

---

<sup>4</sup> Prima che tale legge entrasse in vigore il controllo tecnico era obbligatorio, all'interno della Comunità, solamente per i veicoli commerciali (e le ambulanze).

La Direttiva 92/55/EEC ha introdotto il test sulle emissioni per veicoli ad accensione a scintilla di generazione precedente ai catalizzati (three-way catalytic converter - TWC) dal 1996, per i veicoli catalizzati (TWC) dal 1997, e per i diesel dal 1998.

La Direttiva 96/96/EC ha rafforzato tutte le Direttive riguardanti il controllo tecnico; il tutto è stato in seguito perfezionato dalla Direttiva 99/52/EC.

- Veicoli catalizzati (TWC),
- Veicoli non catalizzati o dotati di catalizzatore ad ossidazione,
- Veicoli diesel,
- Remote sensing.

#### Veicoli catalizzati

I test di breve durata attualmente regolamentati riescono ad identificare solamente il 15% dei mezzi altamente inquinanti e, di conseguenza, contribuiscono alla riduzione di appena il 5% delle emissioni inquinanti rispetto ai sistemi che non prevedono programmi di I&M. Tra tutti quelli utilizzati, i test con la maggior potenzialità di identificazione dei “gross polluters” sono risultati essere i quelli effettuati in cicli di breve durata. Un programma di I&M per auto catalizzate (TWC), che funziona in modo appropriato e prevede cicli di test di breve durata, dovrebbe essere in grado di realizzare una riduzione delle emissioni nell’ordine del 35% per quanto riguarda il CO, del 25% per gli idrocarburi e del 5% per gli NO<sub>x</sub>.

#### Veicoli non catalizzati o dotati di catalizzatore ad ossidazione

Per questo tipo di veicoli i test regolamentati dalla Direttiva corrente devono avere un’efficienza di riduzione del 15% delle emissioni di CO. Inoltre la riduzione del cut-point del CO, dal valore correntemente indicato nella normativa di 3,5% al valore di 1,5%, dovrebbe apportare ulteriori vantaggi.

#### Veicoli diesel

Il test FAS ed i test dinamici hanno avuto sempre all’incirca la stessa efficacia, ossia un potenziale di riduzione sul PM del 25% circa; a causa però dell’elevato numero di errori commessi dal test FAS (veicoli erroneamente identificati come difettosi), il costo aggiuntivo delle riparazioni non necessarie ha reso tale metodo molto più costoso e quindi meno conveniente. Inoltre considerando che l’attenzione tende sempre più ad essere rivolta sulle polveri sottili e che la comparsa di apparecchiature per il “post-trattamento” elimina il fumo visibile, la misura dell’opacità potrebbe diventare obsoleta. Proprio per questo motivo sono in fase di studio tecniche che consentiranno di stabilire metodi di misura, per i motori diesel a bassa emissione, più efficienti e meno costosi.

#### Remote sensing

Il Remote Sensing ha una serie di vantaggi rispetto ai metodi di test convenzionali: esso è in grado di misurare le emissioni di un gran numero di veicoli contemporaneamente senza apportare nessun tipo di disturbo al guidatore; inoltre, sistemi completamente automatizzati permetterebbero di effettuare le misure riducendo al minimo lo sforzo umano.

In base ad alcuni dati, ad esempio, l'utilizzo del remote sensing con un cut-point del CO pari al 5% potrebbe portare ad una riduzione delle emissioni nel range del 5% - 25% sui veicoli esaminati.

#### **5.5.4 Valutazione di possibili scenari di programmi di I&M**

Il controllo dinamico effettuato, a motore acceso, su veicoli leggeri sia a benzina che diesel produce risultati abbastanza realistici. Per quanto riguarda i veicoli con motore a benzina catalizzati (TWC), il test dinamico offre un'elevata accuratezza ambientale. Nonostante ciò il numero di veicoli catalizzati identificati come altamente inquinanti dal remote sensing, ha mostrato che la ripetizione biennale dei controlli (annuale in alcuni Stati Membri) non è sufficiente ad assicurare che non si verifichi un certo deterioramento dei veicoli tra un test ed il successivo. Per arrivare ad avere una riduzione al minimo dell'effetto di una scarsa manutenzione e/o deterioramento dei veicoli sulla qualità dell'aria, sarebbe utile integrare i test attualmente regolamentati con un controllo effettuato tramite remote sensing.

#### **5.5.5 Problemi a lungo termine – migliorare l'efficacia dei controlli e dello schema del “controllo tecnico”**

Il potenziale impatto dei test sulla riduzione dell'inquinamento ambientale è destinato a diminuire rapidamente in quanto i veicoli di nuova costruzione producono quantità sempre minori di inquinanti e sembrano avere caratteristiche di emissione più stabili. Una possibilità per l'immediato futuro potrebbe essere quella di usare sistemi diagnostici “on-board” (OBD). Per i diesel, come per i veicoli a benzina, l'OBD potrebbe offrire considerevoli vantaggi riguardo ai programmi di I&M; in particolare il maggior contributo a tali programmi sarà probabilmente dato dall'adozione di sistemi OBD soprattutto per quanto concerne i mezzi pesanti.

Sarà necessario in futuro effettuare ulteriori studi su:

- l'evoluzione degli strumenti di misura e delle procedure di test al fine di poter testare livelli di emissione molto bassi,
- l'introduzione del monitoraggio OBD nei requisiti dei programmi di I&M,
- i possibili benefici apportati dell'incremento della frequenza minima di ripetizione dei test,
- l'esecuzione dei test di emissione sui ciclomotori,
- l'incremento dell'esperienza col remote sensing e la promozione delle sue applicazioni
- la valutazione della possibile estensione ai veicoli leggeri dei controlli tecnici su strada.
- il valore aggiunto della verifica dei valori di riferimento delle emissioni dei produttori (sia gassose che dei particolati diesel)

## **6. CONCLUSIONI**

Il traffico veicolare privato è ormai ampiamente riconosciuto come la causa principale dell'inquinamento urbano e come il settore che percentualmente consuma più energia.

Negli ultimi decenni si è assistito non solo ad un notevole incremento della mobilità delle persone e delle merci, ma anche ad un'insufficiente diversificazione dei carburanti utilizzati per l'autotrazione, soprattutto verso quelli a più basso impatto.

Nelle aree a maggior rischio di inquinamento atmosferico, l'Autorità Competente è obbligata, nell'ambito dei piani e programmi previsti dal D.L.gs. 351/99, ad adottare misure di limitazione delle emissioni, anche mediante restrizione alla circolazione veicolare.

Nelle aree urbane e metropolitane si sviluppa circa il 70% degli spostamenti di tutto il territorio nazionale: tale situazione rappresenta una vera e propria emergenza nazionale, sia per i fenomeni di congestione, sia di inquinamento atmosferico.

Le incentivazioni al riequilibrio modale utilizzando carburanti gassosi, quali il GPL, metano, rappresentano gli strumenti per favorire la diversificazione delle fonti energetiche e condizione per la riduzione delle emissioni allo scarico di alcuni inquinanti. Inoltre dati anche i prezzi alla pompa di questi carburanti inferiori rispetto alla benzina e al gasolio, può essere un utile strumento per limitare la diffusione del diesel nel settore auto, che rappresenta un fattore limitante ai benefici derivanti dal rinnovo del parco circolante

Il comparto automobilistico è un settore strettamente legato all'andamento economico del Paese: per incentivare l'uso dei carburanti gassosi è necessario una diversificazione della gamma dei veicoli da parte delle case automobilistiche, prevedendo anche quelli ad alimentazione specifica (non solo bifuel), oltre ad un ampliamento della rete di distribuzione, in particolare del gas metano.

Le stesse case automobilistiche, essendo già disponibili le tecnologie di filtrazione del particolato diesel, devono anticipare, stante la situazione italiana, i tempi previsti dalle norme UE (2009) per l'installazione di serie dei filtri antiparticolato. Utile potrebbe essere un intervento normativo specifico.

### **6.1 Motivazione normativa**

In tema di imposte sui carburanti si sta diffondendo un orientamento favorevole ad agevolare i prodotti le cui emissioni nocive sono minori. In questo senso si è espressa anche la CEE, che con la Direttiva 92/82 ha stabilito le accise minime per i carburanti in misura da tassare più fortemente la benzina e con intensità via via decrescente i carburanti intrinsecamente meno inquinanti. Progressivamente anche il nostro Paese dovrà adeguarsi, in tema fiscale, alle indicazioni della UE.

L'Italia rappresenta il primo mercato europeo per autotrazione a GPL con oltre 1.394.700 veicoli privati circolanti (seppure prevalentemente veicoli di vecchia immatricolazione), 1.414.000 tonnellate di consumi per autotrazione e circa 2.100 distributori stradali, ma è anche uno dei paesi dove il GPL costituisce uno degli ostacoli maggiori all'incremento del mercato delle conversioni a GPL. Una minore pressione fiscale del GPL e del metano, potrebbe favorire un incremento del numero di veicoli di nuova immatricolazione alimentati con questi carburanti

Sul versante incentivi, le forme messe in atto fino ad ora in Italia hanno presentato un andamento discontinuo. Ciò ha creato lunghi momenti di fermo e di incertezze, mentre invece sarebbe auspicabile una politica duratura capace di creare fiducia negli operatori del settore e negli utenti.

Il GPL e il metano possono svolgere un ruolo fondamentale nella riduzione dei livelli di inquinamento atmosferico, in particolare nei grandi centri urbani.

La situazione economica complessiva del Paese e dei grandi agglomerati urbani non consente una rapida e radicale soluzione al problema dell'inquinamento atmosferico. Questa può essere trovata solo attraverso l'adozione di provvedimenti che singolarmente potrebbero non essere risolutivi, ma che complessivamente potrebbero portare a notevoli riduzione dei livelli di inquinamento.

I problemi relativi alla presenza di composti organici volatili e di ossidi di azoto sono alla base di fenomeni di inquinamento fotochimica che portano alla formazione di altri inquinanti secondari, incluso il particolato e l'ozono.

Inoltre l'utilizzo dei carburanti gassosi (GPL e metano) evita le emissioni di benzene che è un fattore importante per la salute umana.

Tutti gli indicatori ambientali ed economici sono quindi a favore di una più diffusa utilizzazione del GPL e del metano che, opportunamente incentivata non mancherà di far sentire i suoi benefici.

## **6.2 Ipotesi di intervento per il traffico**

Si ritiene opportuno elencare di seguito una serie di provvedimenti o obiettivi (emersi dai documenti presentati in sede di audizioni), che dovrebbero contribuire, nel medio-lungo periodo, a diminuire l'inquinamento atmosferico nei grandi centri urbani. Sono essenzialmente due le osservazioni che si vogliono fare: la prima è che l'elenco non può e non vuole pretendere di essere esaustivo, la seconda è che è da ritenersi illusoria la possibilità di risolvere a breve il problema dell'inquinamento cittadino, che richiederebbe su un periodo medio-lungo. Ciò non giustifica un atteggiamento fatalista di fronte a problemi così rilevanti per la salute degli individui e il rispetto

dell'ambiente, obiettivo quest'ultimo che appare indispensabile per uno sviluppo sostenibile. Tale sviluppo deve realizzarsi provvedendo

- ad una opportuna integrazione tra il trasporto su gomma e quello su ferro o via mare, al fine di recuperare il divario esistente tra il nostro sistema di trasporto e quello degli altri paesi dell'Unione europea;
- a favorire la trasformazione a carburanti gassosi delle flotte urbane degli autobus e dei veicoli leggeri, anche attraverso eventuale riduzione delle accise, nonché il potenziamento della rete di distribuzione di tali carburanti;
- adottare filtri antiparticolato sui veicoli diesel di nuova immissione sul mercato e adottare sistemi di retrofit sui veicoli trasporto merci, sugli autobus circolanti (almeno da Euro I in poi) e sui macchinari agricoli e di cantiere;
- mettere in atto politiche per favorire l'innovazione tecnologica dei motori a combustione interna, non solo per abbattere la concentrazione degli inquinanti agli scarichi, ma anche per la diminuzione dei consumi di carburante richiesta per il rispetto del Protocollo di Kyoto;
- anticipare, laddove tecnologicamente già disponibile, l'utilizzo di combustibili e carburanti con caratteristiche merceologiche previste dalle norme UE per gli anni a venire (ad esempio gasolio e benzina a 10 ppm di zolfo, anziché 50 ppm di zolfo)
- attuare sistematicamente i controlli dei gas di scarico previsti dal codice della strada anche sui veicoli medi e pesanti, delegando, se necessario, la funzione anche ad officine private, purchè munite di apparecchiature con libretto metrologico.

# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 La qualità dell'aria nell'Unione Europea</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 L'Iniziativa Comunitaria</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Qualità dell'aria in Italia</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 Evoluzione dell'inquinamento nelle aree urbane</b> .....	<b>6</b>
<b>2. ATTIVITA' DEL GdL N.7</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. Mandato e struttura organizzativa</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2. Obiettivi ambientali</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 Valutazione della qualità dell'aria e target di riduzione delle emissioni .....	9
2.2.2 Altri problemi ambientali.....	10
2.2.3 Obiettivi ambientali per la qualità dell'aria .....	11
<b>2.3. Valutazione della qualità dell'aria e target di riduzione delle emissioni</b> .....	<b>12</b>
2.3.1 Relazioni funzionali e modelli di valutazione.....	13
<b>3. L'ITALIA: IL CASO SPECIFICO</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Trasporti in Italia</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2 Emissioni dal settore dei trasporti</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3 Emissioni da altre tipologie di sorgenti</b> .....	<b>17</b>
<b>3.4 Emissioni di Biossido di Carbonio e di altri gas serra</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5. La qualità dell'aria nelle maggiori città italiane</b> .....	<b>21</b>
<b>3.6 L'influenza della meteorologia nella qualità dell'aria</b> .....	<b>25</b>
<b>3.7 Conclusioni</b> .....	<b>29</b>
<b>4. MISURE TECNICHE SUL TRASPORTO</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 Propulsori e carburanti</b> .....	<b>30</b>
4.1.1 Informazioni tecniche .....	30
Consistenza parco auto secondo l'età .....	31
4.1.1.1 Gli standard di emissione.....	36
4.1.1.2 Perché sono importanti gli standard di emissione.....	36
4.1.2 Combustibili convenzionali .....	46
L'evoluzione della qualità e dei consumi del combustibile diesel.....	46
L'evoluzione della qualità del gasolio .....	47
Le interazioni tra la tecnologia motoristica e la qualità dei fuels .....	47
Le soluzioni motoristiche prospettate per il controllo delle emissioni future.....	50
4.1.3 Combustibili alternativi.....	51
4.1.3 Combustibili alternativi.....	52
Emulsioni acqua/gasolio .....	52
Normativa fiscale .....	54
4.1.4 Biodiesel.....	55
Applicazioni .....	57
Specifiche tecniche .....	58
Panorama giuridico .....	58

La Legislazione europea .....	58
Il quadro normativo nazionale .....	58
4.1.4.1 Gas serra e biodiesel .....	59
4.1.5 GPL e Metano .....	60
Caratteristiche chimico-fisiche del GPL .....	63
Origine del GPL, produzione e distribuzione .....	63
Il GPL in Italia .....	64
Il GPL in Europa .....	64
Il GPL e l'Ambiente .....	64
Il GPL e la sicurezza .....	65
Caratteristiche chimico-fisiche del Metano .....	66
Riserve certe di gas naturale .....	66
Il Metano e l'Ambiente .....	67
4.1.6 Conclusioni .....	67
<b>4.2 Emissione da risolleamento .....</b>	<b>69</b>
Descrizione .....	69
Possibilità tecniche di intervento .....	69
Monitoraggio .....	69
Rimozione .....	71
<b>4.3 Abbattimento passivo degli inquinanti .....</b>	<b>74</b>
4.3.1 Superfici fotocatalitiche .....	74
Basi teoriche .....	75
Parte sperimentale .....	76
Risultati .....	77
Conclusioni .....	78
<b>4.4 Emissione da riscaldamento .....</b>	<b>79</b>
4.4.1 Emissioni dirette .....	79
4.4.1.1 Generatori di calore alimentati a biomassa solida .....	81
4.4.2 Cogenerazione .....	82
Vantaggi della cogenerazione .....	82
Micro/piccola cogenerazione .....	83
<b>4.5 Emissioni industriali .....</b>	<b>86</b>
4.5.1 Premessa .....	86
4.5.2 Direttiva IPPC .....	86
4.5.3 Centrali Turbogas .....	89
4.5.4 Selective Catalytic Reduction (SCR) .....	91
Descrizione della tecnica .....	91
Vantaggi e svantaggi della tecnica .....	92
Considerazione sui costi di un SCR .....	94
<b>4.6 Emissione da cantiere .....</b>	<b>100</b>
4.6.1 Contributo ai livelli di inquinamento da particolato dovuto ad attività di cantiere .....	101
Possibilità tecniche di intervento .....	102
Monitoraggio e valutazione .....	102
Rimozione .....	103
<b>4.7 Emissioni atmosferiche da trasporto navale .....</b>	<b>104</b>
4.7.1 Emissioni atmosferiche provocate dalle navi, nuove proposte .....	106
<b>5. MISURE NON TECNICHE .....</b>	<b>107</b>
<b>5.1 Gestione della mobilità .....</b>	<b>107</b>

5.1.1	Scopo ed obiettivi.....	107
5.1.2	Considerazioni chiave per la valutazione delle misure non-tecniche .....	108
5.1.3	Valutazione di possibili scenari non tecnici.....	108
<b>5.2</b>	<b>Limitazioni del traffico parziali e totali .....</b>	<b>108</b>
5.2.1	Efficacia dei provvedimenti di limitazione del traffico .....	108
<b>5.3</b>	<b>Limitazioni della velocità.....</b>	<b>110</b>
	Introduzione .....	110
5.3.1	Metodica.....	110
	Volumi di traffico.....	111
5.3.2	Risultati .....	113
5.3.3	Conclusioni .....	115
<b>5.4</b>	<b>Misure fiscali .....</b>	<b>115</b>
5.4.1	Scopo ed obiettivi.....	115
5.4.2	Considerazioni chiave per la valutazione degli strumenti fiscali.....	116
5.4.3	Valutazione di potenziali scenari fiscali .....	116
<b>5.5</b>	<b>Ispezione e manutenzione (I&amp;M).....</b>	<b>117</b>
5.5.1	Scopo ed obiettivi.....	117
5.5.2	Lo stato dell'arte .....	117
5.5.3	Test di I&M.....	117
5.5.4	Valutazione di possibili scenari di programmi di I&M .....	119
5.5.5	Problemi a lungo termine – migliorare l'efficacia dei controlli e dello schema del “controllo tecnico” .....	119
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>120</b>
6.1	Motivazione normativa.....	120
6.2	Ipotesi di intervento per il traffico.....	121
<b>INDICE</b>	.....	<b>123</b>