

**Collaborative Research Project for  
Air Pollution Reduction in Lombardy Region  
(2006- 2010)**

**Executive Summary**  
(Italian)

**July 2011**



## **WP1**

# **Identification of air pollution origin Source apportionment**

 <p><b>Regione Lombardia</b></p>	<p>Collaborative Research Project for Air Pollution Reduction in Lombardia (2006- 2010)</p>	 <p><b>JRC</b> EUROPEAN COMMISSION</p>
---	---	---

## Ridurre l'inquinamento dell'aria nella Regione Lombardia: Sorgenti di particelle fini e ozono

di Bo R. Larsen

Le particelle fini e l'ozono sono abbondanti nell'aria che respiriamo e sono importanti per la qualità dell'aria, ma quali sono le loro sorgenti?

In questa sintesi proverò a dare risposte a questa domanda e a dimostrare che i risultati della nostra ricerca indicano chiaramente che il trasporto su strada è responsabile di metà dell'inquinamento dell'aria nella regione Lombardia per quanto riguarda il particolato e l'ozono.

Il particolato è una miscela complessa di particelle microscopiche che sono piccole abbastanza da penetrare in profondità nei polmoni delle persone e che sono state associate a gravi effetti sulla salute a corto e lungo termine come asma, malattie cardio-respiratorie, e cancro ai polmoni.

Per proteggere la salute dei cittadini, la legislazione italiana regola la concentrazione delle particelle nell'aria secondo la Direttiva Europea 2008/50/EC. Le particelle con diametro inferiore a 10 micron sono chiamate PM<sub>10</sub> e la loro concentrazione giornaliera non deve superare il valore di 50 µg/m<sup>3</sup> per più di 35 giorni all'anno. Inoltre, la loro concentrazione annuale deve rimanere sotto i 40 µg/m<sup>3</sup>.

La concentrazione annuale di particelle ancora più piccole e potenzialmente più dannose, PM<sub>2.5</sub>, non deve superare i 25 µg/m<sup>3</sup> - un valore che entrerà in vigore come limite di legge dal 2015. I limiti per il PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> sono regolarmente superati nell'intera Pianura Padana a causa della sfavorevole combinazione della presenza di sorgenti importanti e di speciali condizioni meteorologiche che ostacolano la dispersione di inquinanti nell'aria.

Sebbene nelle ultime due decadi le Regioni della Pianura Padana abbiano investito apprezzabilmente nella mitigazione dell'inquinamento dell'aria e nonostante la concentrazione della maggior parte dei contaminanti sia diminuita, rimangono ancora problemi per il PM<sub>10</sub> e l'ozono. Anzi, i livelli nella Pianura Padana rimangono ancora tra i più alti d'Europa. Nel 2006, la Regione italiana Lombardia ha iniziato un progetto di 5 anni per la riduzione dell'inquinamento dell'aria in Lombardia in collaborazione con il Centro Comune di Ricerca (CCR), Ispra. Uno degli aspetti principali di questa collaborazione scientifica era una migliore comprensione delle sorgenti di particolato ambientale e di ozono.

I PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> consistono di frammenti solidi secchi, nuclei solidi con copertura liquida e goccioline e variano largamente in forma, dimensione, e composizione chimica. Le particelle possono essere costituite da molti materiali differenti come metalli, ceneri, polveri minerali del suolo e composti chimici associati, che da un lato sono responsabili delle proprietà tossiche, dall'altro ci permettono di ottenere informazioni preziose sulla provenienza delle particelle. Si può dire che il PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> trasportano un'impronta chimica delle loro sorgenti.

Nelle pagine seguenti darò una panoramica dei risultati sulla ripartizione delle sorgenti che abbiamo ottenuto da queste impronte chimiche ed elencherò conclusioni importanti per la progettazione di efficienti politiche di abbattimento. Ho fornito dettagliate descrizioni scientifiche del nostro approccio al problema in nove rapporti tecnici, che sono disponibili su richiesta.

## **Come abbiamo usato le impronte chimiche per identificare e quantificare le sorgenti?**

L'inverno lombardo e' caratterizzato da prolungati periodi di bassa temperatura con venti molto deboli e inversione termica delle masse d'aria. Queste condizioni intrappolano gli inquinanti dell'aria a livello del suolo, dove noi respiriamo, e rendono l'inverno il periodo dell'anno con di gran lunga le piu' alte concentrazioni di particolato. Percio' qualsiasi strategia per la mitigazione dell'inquinamento dell'aria deve essere progettata per essere efficace durante l'inverno.

Durante gli inverni del 2007 e del 2009 abbiamo raccolto piu' di 1500 campioni di particolato ambientale da 10 siti distribuiti sulla regione Lombardia. I dieci siti sono stati selezionati insieme all'Agenzia Regionale di Prevenzione Ambientale (ARPA) della Lombardia come rappresentativi tipici dell'inquinamento urbano nelle citta' di Milano, Brescia, Bergamo, Saronno, Mantova, Cantu' e Sondrio. Questi siti sono stati confrontati con siti rurali di fondo vicino a Lodi e Pavia. Le concentrazioni medie durante le campagne di misura erano di  $92 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per il  $\text{PM}_{10}$  (2007) and  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per il  $\text{PM}_{2.5}$  (2009), che sono livelli tipici di episodi prolungati di inquinamento durante questo periodo dell'anno.

L'impronta chimica del particolato raccolto e' stata analizzata nei laboratori del CCR, dell'Universita' di Milano, e dell'Universita' Milano-Bicocca. Dopo un minuzioso controllo di qualita' sulle concentrazioni chimiche misurate nei campioni, e' stata costruita una banca dati con circa 60000 dati di concentrazione e incertezze associate.

Le impronte chimiche delle sorgenti di inquinamento sono state ottenute in collaborazione con l'ARPA per mezzo di analisi di emissioni da trasporto su strada, combustione di legna a uso residenziale, combustione di biomassa all'aperto, polvere stradale, e risospensione del suolo. Impronte chimiche aggiuntive sono state ottenute da una banca dati del CCR sulle emissioni da gas di scarico per un'ampia gamma di veicoli e motori, sorgenti industriali/energetiche e riscaldamento residenziale. Le impronte chimiche sono state anche pubblicate nella letteratura scientifica internazionale per molte sorgenti che troviamo in Lombardia (p.es. produzione di cemento e combustione di oli carburanti). Queste impronte sono state utilizzate a fini di confronto.

Sofisticati modelli matematici sono stati usati per separare la combinazione di impronte chimiche nei campioni di  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  dai dieci siti. Speciali procedure di convoluzione, conosciute come ripartizione delle sorgenti, ci hanno permesso di riconoscere le impronte chimiche individuali dalle fonti di inquinamento della regione e di stimare il contributo di ogni sorgente per mezzo del bilancio di massa chimica. Questo approccio, che abbiamo utilizzato con successo anche in altri progetti internazionali, e' stato testato con successo dalle agenzie di protezione ambientale e dagli scienziati di tutto il mondo ed e' riconosciuto come "stato dell'arte".

## **Quali sorgenti di particelle fini abbiamo identificato in Lombardia?**

Le sorgenti che hanno un impatto sulla qualita' dell'aria in Lombardia durante l'inverno possono essere divise in due categorie, primarie e secondarie. Le particelle sospese nell'aria si possono originare da una varieta' di sorgenti stazionarie o mobili (particolato primario) o si possono formare nell'atmosfera a seguito di trasformazione di inquinanti dell'aria gassosi (aerosol secondario).

Si e' trovato che il particolato primario in Lombardia deriva principalmente da attivita' umane. Questo tipo di attivita' comprendono il trasporto su strada, l'incorporazione nell'aria della polvere stradale, la combustione di legno e carburanti fossili e processi industriali come la produzione di cemento e le attivita' di costruzione e demolizione. Anche le sorgenti naturali possono contribuire al problema complessivo del particolato, come il suolo/sabbia/polvere portati dal vento, ma e' stato dimostrato che sono di minore importanza in Lombardia durante l'inverno.

Mentre e' risaputo che i veicoli emettono particelle dal tubo di scarico, e' forse meno chiaro che essi emettono anche quantitativi significanti di composti gassosi che sono convertiti in atmosfera in particelle note come particelle secondarie. Le sorgenti di particelle secondarie giocano un ruolo significativo nella Pianura Padana e proprio come le sorgenti di particelle primarie esse sono collegate principalmente alle attivita' umane come i processi di combustione e le operazioni in agricoltura. I piu' importanti precursori di particolato secondario in questa regione sono i composti gassosi NOx, ammoniaca, e SOx. Questi contaminanti dell'aria sono emessi direttamente nell'atmosfera e si trasformano rapidamente in particelle sotto forma di nitrati, ammonio e solfati. Confrontati con NOx, ammoniaca e SOx, i composti organici volatili come ad esempio gli idrocarburi sono di importanza minore in questa regione e stagione. Ho riassunto di seguito i nostri risultati delle campagne invernale 2007-2009.

- Il trasporto su strada (traffico) e' la piu' importante sorgente per il particolato primario nella regione Lombardia. Comprende lo scarico dei motori, l'usura di freni e pneumatici e la polvere stradale risospesa. Le emissioni primarie da trasporto su strada contribuiscono durante l'inverno col 23-26%, in media per tutte le stazioni di misura, alla massa di PM<sub>10</sub> (2007), e col 17-22 % alla massa di PM<sub>2.5</sub> (2009). Inoltre devono essere inclusi i contributi secondari del trasporto su strada che ammontano a un addizionale 20-25%.
- L'aerosol secondario e' la frazione maggiore del particolato in Lombardia e durante l'inverno contribuisce con il 33-47% alla massa del PM<sub>10</sub> (2007) e con il 41-57 % alla massa del PM<sub>2.5</sub> (2009). Come spieghero' piu' avanti, l'aerosol secondario non trasporta impronte chimiche dalle sorgenti. Tuttavia, siamo stati capaci di stimare l'impatto delle sorgenti secondarie sul PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> combinando il nostro approccio di ripartizione delle sorgenti con dati ufficiali di emissioni dei precursori di aerosol secondari.
- Il riscaldamento residenziale a legna e' la terza sorgente per ordine di importanza durante l'inverno e contribuisce in media per tutte le stazioni con l'11-13 % alla massa del PM<sub>10</sub> (2007) e con il 12-19% alla massa del PM<sub>2.5</sub> (2009).
- I risultati di ripartizione delle sorgenti della stazione Valtellina (Sondrio) differiscono leggermente da quelli nella Pianura Padana. In inverno in Valtellina, la combustione della legna da' contributi significativamente maggiori (37-51 % della massa del PM<sub>10</sub> (2007); 25-43% della massa del PM<sub>2.5</sub> (2009)) e le sorgenti secondarie danno contributi significativamente inferiori (16-30 % della massa del PM<sub>10</sub> (2007); 9-29% della massa del PM<sub>2.5</sub> (2009)).
- Le altre sorgenti sono minori e locali, come la risospensione del suolo, produzione di cemento, riscaldamento residenziale tramite olio combustibile e lo spargimento di sale sulle strade.

Come ho spiegato nell'introduzione, abbiamo pianificato di utilizzare le risorse disponibili in questo progetto per un'ampia copertura geografica sulla regione Lombardia e perciò abbiamo focalizzato la nostra attenzione sul periodo dell'anno che più soffre di inquinamento da particolato. Comunque, al fine di dare un'ampia stima per l'intero calendario annuale, abbiamo estrapolato i dati di PM<sub>10</sub> stagionale ottenuti nella stazione urbana di fondo di Milano (inverno, estate, autunno - 2007) a tutte le stazioni della Pianura Padana.

Combinando i dati di ripartizione delle sorgenti con quelli INEMAR (INventario di Emissioni in Aria) per le emissioni gassose, stimiamo che su base annua il maggior indiziato dell'inquinamento da PM<sub>10</sub> nella regione Lombardia è il trasporto su strada, che contribuisce con il 47 ± 9% in massa (scarico dei motori inclusi i contributi di aerosol secondario da parte di emissioni di gas dell'azoto e biossidi dello zolfo, usura di freni e pneumatici e polvere stradale risospesa). I contributi da altre fonti principali sono gli aerosol secondari da produzione industriale ed energetica compresi la combustione del metano a uso residenziale (20 ± 3%), combustione di legna e biomassa (10 ± 3%) e aerosol secondari dall'agricoltura (9 ± 3%).

### **Quali sono le principali sorgenti di ozono in Lombardia?**

L'ozono è un inquinante nocivo che si forma in atmosfera in un modo simile all'aerosol secondario attraverso reazioni foto-chimiche dei precursori. Tali reazioni sono più efficienti durante l'estate, la primavera e l'inizio dell'autunno. Nell'atmosfera urbana l'ozono deriva da composti organici volatili e Nox emessi da attività antropogeniche simili a quelle responsabili delle particelle secondarie. I valori limite a breve e lungo termine stabiliti dalla Direttiva EU 2002/3/EC per proteggere la salute umana sono regolarmente superati nella Pianura Padana.

Nel contesto di questo progetto e in collaborazione con l'ARPA abbiamo condotto nove campagne di misura dei precursori dell'ozono nella Pianura Padana in siti che rappresentano un'ampia gamma di problematiche legate all'inquinamento dell'aria, dalle stazioni di misura in aree remote a quelle su strade urbane. Le campagne erano focalizzate nel periodo dell'anno quando l'inquinamento da ozono è al suo massimo. Per identificare le sorgenti e stimare il loro potenziale impatto sull'inquinamento da ozono abbiamo usato l'approccio dell'impronta chimica con input la banca dati sulle impronte delle sorgenti (MEGAVOC 2.0) costruita per la Regione Lombardia.

I nostri risultati hanno concluso che cinque sorgenti erano responsabili per circa il 90% delle emissioni dei precursori organici dell'ozono. In ordine di importanza, *i*) emissioni di gas di scarico da veicoli diesel e benzina; *ii*) emissioni evaporative principalmente da veicoli a benzina, *iii*) gas naturale non completamente combusto e fughe di componenti del gas naturale dalla rete di distribuzione – incluse le stazioni di compressione; *iv*) emissione di isoprene e terpenoidi dalla vegetazione; e *v*) idrocarburi generati dalla combustione incompleta di legna per il riscaldamento residenziale e dalla combustione di biomassa agricola.

Il contributo dello scarico dei veicoli spiega il 30-35% dei precursori organici dell'ozono nelle stazioni remote e di fondo e il 40-45% nell'ambiente urbano. Quando il potenziale di formazione fotochimica dell'ozono da scarico di veicoli è tenuto in considerazione, i nostri dati indicano che le emissioni da questa sorgente sono responsabili del 50-80% della formazione dell'ozono atmosferico in tutti i siti investigati.



## **Quali sono le implicazioni dei nostri risultati sulle strategie di abbattimento dell'inquinamento dell'aria?**

La nostra ricerca ha mostrato che per affrontare l'inquinamento da particolato e ozono nella regione Lombardia, devono essere progettate strategie di abbattimento che inevitabilmente intervengano sul trasporto su strada e sulle emissioni gassose di NOx dall'industria, dalla produzione di energia, e dalla combustione di gas naturale.

La forte componente secondaria del particolato e l'interdipendenza dell'inquinamento nell'intera Pianura Padana, a causa delle particolari condizioni meteorologiche, implicano che solo poco puo' essere guadagnato da misure di mitigazione locale e di breve termine come i blocchi del traffico ad-hoc durante picchi di inquinamento o restrizioni al traffico in zone confinate delle citta'. Strategie coordinate di abbattimento su larga scala e a lungo termine sono richieste.

L'abbattimento delle emissioni dei trasporti attraverso il rinnovo del parco veicoli (Euro 5 per veicoli leggeri, Euro 6 per quelli pesanti) e' essenziale, ma puo' non essere sufficiente per ridurre l'inquinamento da particolato sotto i limiti per il PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>. Con le tecnologie di trattamento degli scarichi disponibili oggi, una riduzione delle emissioni di particolato e' accompagnata da un aumento delle emissioni di NOx, che a sua volta implica un aumento vertiginoso delle concentrazioni di particelle secondarie in atmosfera. Oltretutto, rinnovare il parco veicoli non influisce su due caratteristiche significative delle emissioni da trasporto su strada, vale a dire l'usura di freni/pneumatici e la risospensione della polvere stradale dovuta al traffico. Si prevede che sia necessaria una riduzione del parco veicoli (numero di veicoli e/o numero di chilometri percorsi).

L'applicazione del divieto gia' esistente in Pianura Padana riguardo la combustione inefficiente di legna per il riscaldamento residenziale puo' ridurre la concentrazione annuale media di particolato fino a 5 µg/m<sup>3</sup>. L'implementazione di un divieto sulla combustione di biomassa/legna in Valtellina avrebbe un effetto piu' accentuato che non in Pianura Padana e sarebbe un passo significativo verso l'abbattimento del benzo(a)pirene, che eccede ogni anno il limite EU di 1 ng/m<sup>3</sup>.

La mia riconoscenza va alla buona collaborazione tra il CCR e l'ARPA durante questo progetto di cinque anni e agli importanti contributi scientifici dei colleghi del JRC, dell'ARPA e delle universita' di Milano. Sono convinto che i nostri risultati saranno utili per la progettazione di nuovi ed efficienti schemi per la riduzione dell'inquinamento dell'aria in Lombardia.

Ispra, 15 Aprile, 2011,

Bo Richter Larsen

 <b>Regione Lombardia</b>	Collaborative Research Project for Air Pollution Reduction in Lombardia (2006- 2010)	 <b>JRC</b> EUROPEAN COMMISSION
---	--	---

# **WP2**

## **Transport Emission Abatement Technological Options**



# Abbattimento delle emissioni da trasporto

## Opzioni tecnologiche

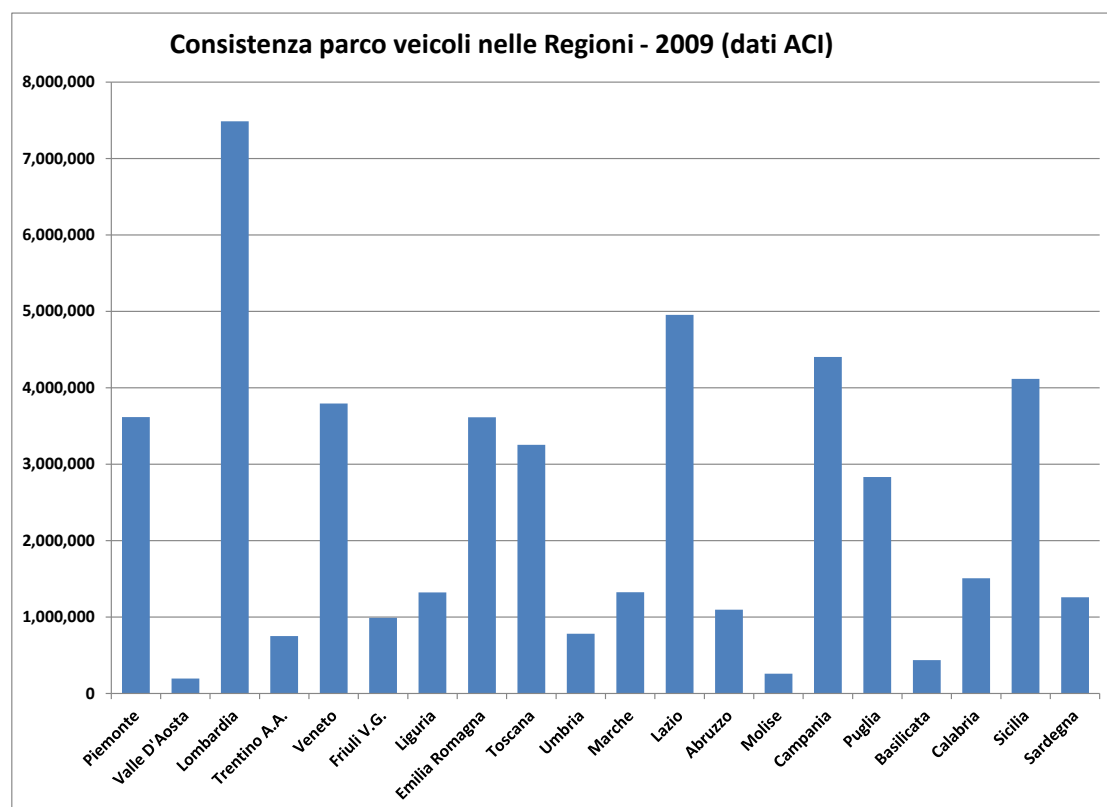
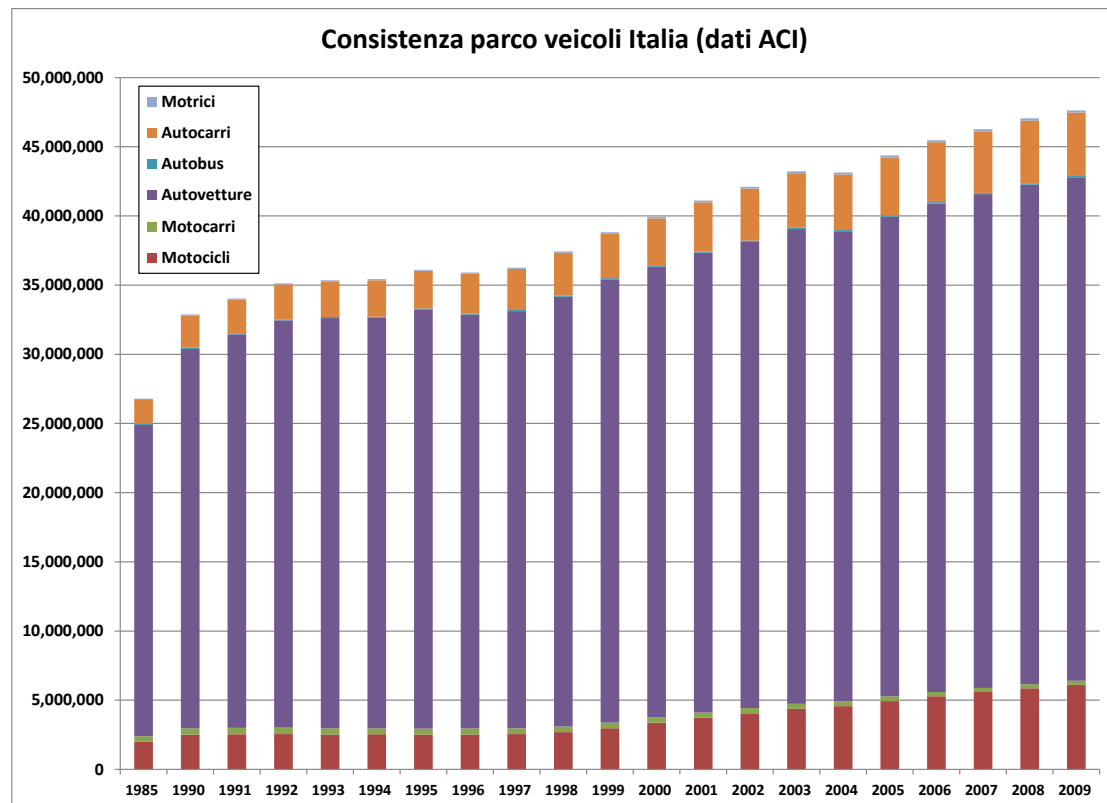
Giorgio Martini

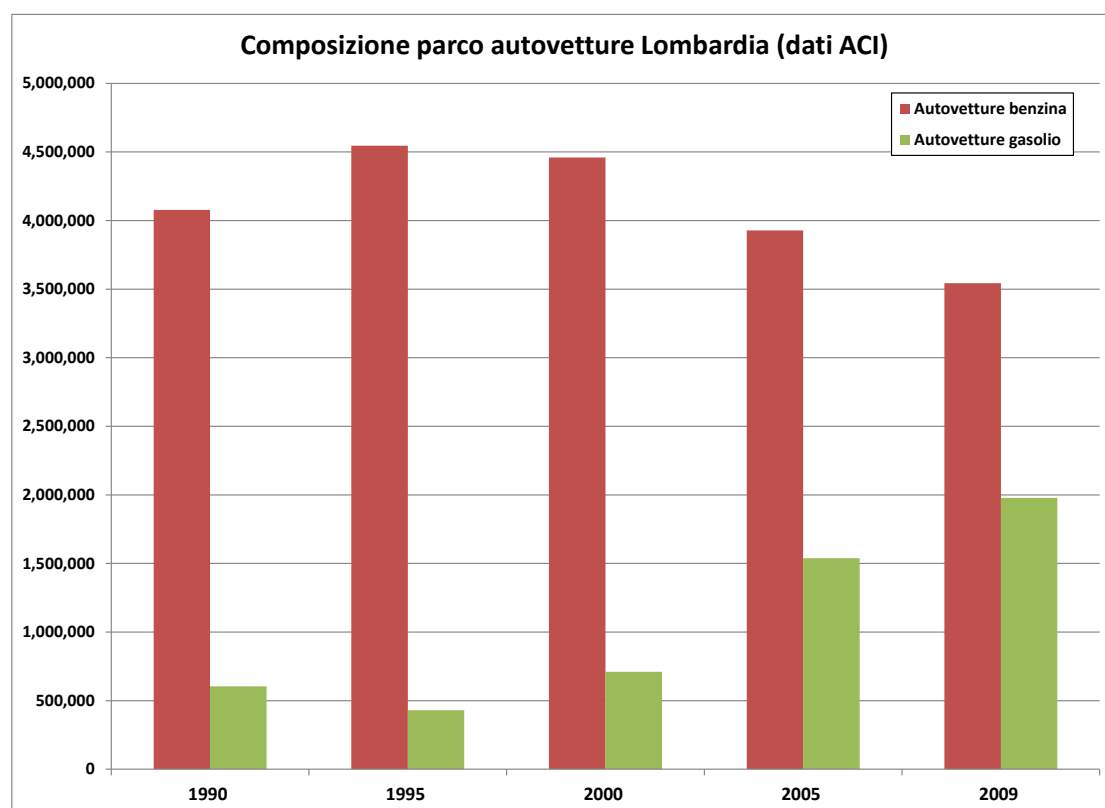
### Introduzione

L'obiettivo del WP2 "Abbattimento delle emissioni da trasporto - Opzioni tecnologiche" era non solo quello di valutare le diverse soluzioni tecnologiche disponibili sul mercato per ridurre le emissioni da traffico ma anche di fornire un quadro piu' dettagliato e realistico delle diverse tipologie di veicoli in termini di impatto sulla qualita' dell'aria.

Dagli studi condotti emerge una realta' molto variegata e di non facile interpretazione soprattutto perche' appare spesso difficile trarre conclusioni aventi carattere di validita' generale dal momento che moltissimi sono i parametri che vanno a influire sulle emissioni su strada dei veicoli. Le reali condizioni di impiego del veicolo, il traffico, lo stile di guida e altre condizioni al contorno quali quelle atmosferiche influiscono in modo decisivo sulle emissioni dei veicoli rendendo in molti casi priva di reale rappresentativita' la classificazione dei veicoli e dei motori in base alla normativa vigente riguardante le emissioni inquinanti. In altre parole, non sempre la reale gerarchia dei veicoli in termini di emissioni inquinanti rispecchia quella ufficiale dettata dai livelli di omologazione (per esempio Euro 3, 4, 5...). Cio' e' dovuto anche ad una carenza della normativa attuale che comporta una netta differenza fra le prestazioni ambientali di veicoli e motori misurate in laboratorio rispetto a quelle che sono poi le reali emissioni su strada. Questo problema e' oramai noto al legislatore che sta infatti predisponendo una serie di misure complementari che mirano a controllare in modo sempre piu' efficace le emissioni reali dei veicoli. I benefici di queste nuove norme non saranno pero' di immediata fruizione perche' legati al ricambio del parco veicolare.

Inoltre, una essenziale chiave di lettura per l'interpretazione non solo dei dati raccolti nelle varie campagne di misura ma anche del panorama tecnologico attuale e' la fondamentale differenza fra emissioni nocive per la salute dell'uomo e le emissioni clima-alteranti. E' infatti emerso in modo sempre piu' evidente che in generale la riduzione delle sostanze tossiche contenute nei gas di scarico non si accompagna ad una riduzione dei gas ad effetto serra e viceversa. Al contrario, molto spesso soluzioni tecnologiche che consentono di abbattere gli inquinanti nocivi determinano un aumento dei consumi e quindi delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Analogamente, veicoli con basse emissioni nocive presentano frequentemente emissioni di CO<sub>2</sub> superiori ad altre tecnologie "meno pulite". Ad esempio, se le auto a benzina convenzionali presentano oggi livelli di emissioni molto bassi esse non riescono ancora a reggere il confronto sul piano della efficienza e quindi delle emissioni di CO<sub>2</sub> con i veicoli diesel, i quali presentano invece ancora delle criticita' soprattutto per certi inquinanti.





Infine, va sempre tenuta in debita considerazione l'evoluzione del parco autoveicoli. Nei diagrammi che seguono si riporta la consistenza e l'evoluzione del parco veicoli in Italia a partire dal 1985, la consistenza del parco veicoli nelle regioni italiane ed infine la composizione del parco autovetture in regione Lombardia.

Come mostrato dal primo grafico, il numero complessivo di veicoli in Italia cresce costantemente dal 1985 ed e' oggi vicino alle 50,000,000 di unita'. E' pertanto chiaro che il miglioramento tecnologico dei veicoli e la riduzione delle emissioni inquinanti imposta dalle normative europee e' almeno parzialmente compensato dall'aumento del numero di veicoli. Cio' nonostante e' indubbio che la qualita' dell'aria nelle nostre citta' sia migliorata proprio grazie all'introduzione di veicoli sempre meno inquinanti. E' altrettanto chiaro che anche veicoli con inquinamento vicino allo zero non risolvono comunque il problema dell'approvvigionamento di combustibili per tale parco di veicoli nonche' quello delle emissioni di CO<sub>2</sub> che sono direttamente collegate al consumo di combustibile e quindi ai chilometri annui percorsi.

Il secondo grafico mostra invece come la Regione Lombardia abbia il parco autovetture piu' consistente in Italia. Ovviamente cio' e' anche legato alla consistenza della popolazione ma e' evidente che in questa Regione il contributo alle emissioni del traffico e' senz'altro importante.

Infine, il terzo diagramma mostra l'evoluzione della composizione del parco autoveicoli nella Regione Lombardia. Si può vedere come la situazione attuale sia drasticamente diversa rispetto agli anni '90 quando le autoveicoli benzina costituivano la stragrande maggioranza del parco. Oggi le autoveicoli diesel rappresentano invece circa il 36% del parco con un numero di veicoli più che raddoppiato rispetto al 1990. Considerando che rispetto alle auto benzina i veicoli diesel hanno emissioni di particolato ed NOx nettamente superiori, non è strano che questi siano gli inquinanti oggi più critici.

Seguono alcune considerazioni in forma di domanda/risposta che cercano di riassumere quanto emerso dalla ricerca nel campo delle emissioni inquinanti da traffico.

## 1. Quali sono le emissioni da traffico?

Le sostanze contenute nei gas esausti dei veicoli a motore potenzialmente pericolose per la salute umana sono moltissime. La normativa europea prevede però limiti di emissione solo per quattro classi di inquinanti diversi:

- Gli idrocarburi incombusti (HC) totali: sono costituiti da una miscela di composti organici volatili fra cui molti sono tossici e perfino cancerogeni come, ad esempio, il benzene. Gli idrocarburi incombusti contribuiscono anche alla formazione dello smog e dell'ozono, con ulteriori conseguenze negative sulla salute umana.
- Il monossido di carbonio (CO): un composto che è letale per l'uomo se raggiunge concentrazioni troppo elevate.
- Gli ossidi di azoto (NOx): oltre ad essere irritanti per le vie respiratorie, gli ossidi di azoto contribuiscono alle piogge acide, alla formazione di ozono e di aerosol secondario. Quest'ultimo contribuisce in modo significativo al PM10, ed in certe condizioni ne rappresenta la frazione principale.
- Il particolato (PM): si tratta di particelle aventi tipicamente un nucleo carbonioso su cui sono condensati idrocarburi incombusti pesanti. Si definisce anche particolato primario perché emesso direttamente dai veicoli e contribuisce interamente al PM10. Le particelle emesse da un motore a combustione interna hanno infatti dimensioni medie intorno ai 100 nanometri, cioè 100 volte inferiori al limite superiore del PM10 che include particelle fino ad un diametro di 10 micron. Per quanto riguarda il particolato primario oggi esistono due limiti di emissione diversi: il primo limite è basato sulla massa totale raccolta su filtro standard (fibra di vetro e teflon) che durante la prova di emissione è mantenuto ad una temperatura inferiore ai 52 °C. In tale caso per particolato si intende tutto ciò che condensa sul filtro di misura nelle condizioni di temperatura suddette ed è misurato per pesata. Il secondo limite, introdotto a partire da Euro 5 è basato sul numero totale di particelle solide aventi un diametro equivalente superiore a 23 nm. Il numero di particelle è misurato con un contatore di particelle a condensazione che è posto dopo un sistema di campionamento e trattamento del campione costituito da due stadi di diluizione e da un evaporatore che ha il compito di eliminare le particelle volatili.



Gli inquinanti appena citati vengono denominati in gergo tecnico “regolamentati” proprio perché oggetto di precise norme emanate dalla Unione Europea.

Gli altri inquinanti che non sono oggetto di una normativa specifica vengono denominati “non regolamentati” ma non per questo sono meno pericolosi. E’ dunque importante prendere in considerazione anche questi (per esempio il benzene, le emissioni di idrocarburi poliaromatici, le aldeidi,...) nella valutazione di determinate soluzioni tecnologiche per la riduzione delle emissioni.

Va detto che il particolato primario emesso allo scarico non è l’unico contributo del traffico al particolato che si trova nell’aria ambiente. Alcuni dei composti emessi dal motore in forma gassosa o di vapore, una volta diluiti nell’aria e dopo complessi processi chimico-fisici (“gas-to-particle” conversion) danno origine ad aerosol definiti secondari perché si formano in atmosfera in un secondo momento rispetto all’emissione. Ad esempio, lo zolfo presente nel combustibile (anche se oggi il problema è fortemente ridimensionato essendo lo zolfo nei combustibili limitato a 10 ppm) può dare origine a solfati che poi possono condensare e dare origine ad aerosol. Gli stessi ossidi di azoto, emessi in forma gassosa, possono reagire in atmosfera con l’ammoniaca dando origine a nitrato d’ammonio e formare aerosol inorganico. Dati recenti hanno messo in evidenza che gli aerosol secondari possono rappresentare la maggioranza del PM10 nei periodi di alta concentrazione in aria di tale inquinante.

Un ultimo contributo al PM10 proveniente dal traffico è la polvere che si trova sulla strada risolleata dalle auto che passano (“risospensione”) e quella proveniente dalla usura dei pneumatici e dei freni. Queste polveri definite “non-exhaust” hanno ovviamente una composizione ed una distribuzione granulometrica (dimensioni medie decisamente superiori) completamente diversa rispetto alle particelle emesse dal motore. Quest’ultimo contributo del traffico rimarrebbe pressoché inalterato perfino sostituendo completamente il parco auto attuale con veicoli ad emissioni zero quali quelli elettrici. Né per l’aerosol secondario né per il particolato “non-exhaust” esistono limiti di emissione.

Accanto agli inquinanti di cui sopra, pericolosi per la salute umana, vi sono altre composti che pur non essendo direttamente pericolosi per l’uomo rappresentano un problema per l’ambiente. Il più conosciuto di questi composti è l’anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) che è uno dei gas ad effetto serra (cioè in grado di schermare il calore riemesso dalla Terra e di conseguenza di far aumentare la temperatura ambientale) ed è emessa in quantitativi direttamente proporzionali al consumo di carburante. Accanto alla CO<sub>2</sub> vi sono altri gas ad effetto serra emessi dal veicolo che addirittura hanno un potenziale di riscaldamento globale superiore alla CO<sub>2</sub>. E’ il caso per esempio del metano (o gas naturale) o dell’N<sub>2</sub>O. Tuttavia la quantità di CO<sub>2</sub> emessa da un motore è decisamente superiore rispetto a questi altri gas ed è per questo motivo che è stata introdotta una nuova normativa europea per limitare le emissioni di CO<sub>2</sub> dalle automobili. Questa nuova normativa pone limiti alle emissioni CO<sub>2</sub> intesi come media di flotta (in altre parole potranno ancora circolare delle Ferrari che hanno consumi ed emissioni di CO<sub>2</sub> molto elevate purché vi siano abbastanza altri veicoli a basse emissioni che le compensino).

Putroppo spesso le soluzioni ottimali per ridurre i gas ad effetto serra non coincidono con le soluzioni che permettono di minimizzare le emissioni inquinanti.

## 2. Cosa vuol dire che un veicolo e' Euro 1, 2, 3, 4 o 5?

Con il termine Euro X convenzionalmente si indicano i diversi step normativi introdotti dalla Unione Europea per limitare le emissioni da traffico.

Va innanzitutto detto che esistono differenti norme per le diverse categorie di veicoli ed i livelli di emissione non sono gli stessi (Euro 1 per i motocicli non e' uguale all'Euro 1 per automobili...).

Per i motocicli i primi limiti furono introdotti nel 1999 (Euro 1) ed attualmente siamo ad Euro 3. Per i ciclomotori (con motore < 50 cc) siamo invece fermi all'Euro 2. E' in preparazione la nuova normativa che introdurrà nuovi limiti e nuove procedure di prova.

Per le autovetture ed i veicoli commerciali leggeri l'Euro 1 entro' in vigore nel 1992 a cui sono poi seguiti l'Euro 2 (1996), l'Euro 3 (2000) e l'Euro 4 (2005). Dal 2009 e' entrato in vigore l'Euro 5.

La differenza fra uno step normativo e l'altro non si ferma solo ai valori numerici dei limiti di emissione, in genere piu' stringenti, ma spesso riguarda anche la procedura di prova. Ad esempio, nel passare da Euro 2 ad Euro 3 per le autovetture si modifico' il ciclo di guida. Anche gli inquinanti soggetti ai limiti possono variare: ad esempio, fino all'Euro 5 le emissioni di particolato erano limitate solo per le autovetture diesel mentre con Euro 6 anche le auto a benzina dovranno rispettare un limite sulla massa e numero di particelle.

Va inoltre detto che al momento esiste ancora una differenza del valore numerico dei limiti fra auto benzina e gasolio. In particolare per le auto diesel il valore massimo ammissibile per gli ossidi di azoto (NOx) e' ancora piu' alto che non per le auto benzina. Con i prossimi step normativi a partire da Euro 6 si andrā pero' sempre di piu' verso limiti unici applicabili a qualunque tecnologia.

Per quanto riguarda i veicoli pesanti, convenzionalmente si usa un modo leggermente differente per far riferimento ai diversi step normativi. Al posto del numero arabo si usa infatti il numero romano (Euro III, Euro IV, Euro V,...).

Attualmente e' in vigore l'Euro V ma sono gia' stati approvati i nuovi limiti Euro VI che entreranno in vigore prossimamente (a partire dal 2013).

Una differenza sostanziale fra la normativa per veicoli leggeri e quella per veicoli pesanti e' il fatto che mentre nel primo caso la prova di emissioni si effettua sul veicolo intero nel secondo la prova e' limitata al solo motore. Questo perche' tipicamente nel settore veicoli pesanti lo stesso motore puo' equipaggiare un numero molto alto di diverse tipologie di veicoli con allestimenti fra loro diversissimi.

Le nuove normative Euro 6 ed Euro VI, che sono gia' in parte approvate ed in parte ancora in discussione soprattutto per quanto riguarda alcuni aspetti tecnici relativi alla implementazione delle norme, hanno l'obiettivo soprattutto di porre rimedio a tutta una serie di carenze della normativa esistente che sono la principale causa della spesso grande differenza fra le emissioni misurate in laboratorio e quelle che si hanno in condizioni di reale utilizzo.

### 3. Quanto inquina un motociclo?

Se paragonati ad una autovettura a benzina di ultima generazione, i motocicli, soprattutto se di vecchia costruzione e con motore a due tempi, hanno emissioni inquinanti nettamente più elevate. Ciò è soprattutto vero per i piccoli motocicli dotati di motore di 50 cc.

Questo è dovuto ad una combinazione di fattori:

- Mentre le prime norme per ridurre l'inquinamento delle autovetture risalgono agli anni '70 e nel 1993 si sono di fatto rese obbligatorie le marmitte catalitiche con l'introduzione dei limiti di emissione denominati Euro 1, per i mezzi a due ruote la prima normativa sulle emissioni è stata introdotta solo nel 1999. Di conseguenza la tecnologia per il controllo delle emissioni nei motocicli è ancora ad un livello inferiore rispetto a quello delle autovetture.
- Un elevatissimo numero di scooter in circolazione in Italia e ancora molti di quelli in vendita sono equipaggiati con motori a due tempi. Tale tecnologia riesce a coniugare semplicità costruttiva e bassi costi ad elevate prestazioni e per questo resta ancora oggi la soluzione preferita da molti costruttori per i piccoli ciclomotori (cilindrata di 50 cc) e per i piccoli utensili a motore (rasa erba, motoseghe, decespugliatori,...). Tuttavia i motori a due tempi, per loro caratteristiche intrinseche, hanno tipicamente emissioni di idrocarburi incombusti e di particolato decisamente più elevate dei motori a quattro tempi sebbene abbiano emissioni di ossidi di azoto nettamente inferiori.
- Anche se il motociclo è equipaggiato con un motore a quattro tempi, le sue emissioni non possono certo rivaleggiare con quelle di un'autovettura o anche di una moto di ultima generazione che sia equipaggiata con una marmitta catalitica, un sistema di post-trattamento dei gas esausti capace di abbattere gli inquinanti pericolosi per la salute umana di ben oltre il 90%. Un motociclo con motore a quattro tempi non dotato di marmitta catalitica può infatti essere paragonato, in termini di emissioni inquinanti, ad una autovettura degli anni '80, prima cioè che venisse reso obbligatorio l'uso del catalizzatore.

Fortunatamente, come già avvenuto per le autovetture, lo sviluppo tecnologico sta contribuendo in maniera determinante a ridurre progressivamente le emissioni dei motocicli. Con l'introduzione di normative ancora più severe nei prossimi anni i motocicli raggiungeranno prestazioni ambientali del tutto paragonabili a quelli delle più moderne autovetture.

E' comunque possibile ridurre le emissioni anche dal parco motociclistico esistente adottando alcune semplici misure. In particolare, la configurazione originale del motociclo non va alterata. Rimuovere il dispositivo che limita la velocità nei ciclomotori o modificare/sostituire alcune componenti per aumentare le prestazioni del motociclo comporta un aumento notevolissimo delle emissioni tossiche. Inoltre le emissioni dei motocicli, sia a due che a quattro tempi, dipendono dal rapporto aria/combustibile, cioè dalle proporzioni in cui aria e benzina vengono miscelati dal

carburatore. Se la benzina è in eccesso rispetto all'aria comburente, la combustione non sarà ottimale e si avranno alte emissioni di idrocarburi incombusti e monossido di carbonio nonché consumi più alti. Una carburazione corretta consente di ridurre le emissioni e di risparmiare riducendo i consumi. Infine è importante mantenere efficiente il motociclo. Attraverso controlli periodici è possibile ridurre emissioni e consumi oltre rendere il mezzo più affidabile.

#### **4. Perché il motore a due tempi ha emissioni di idrocarburi incombusti e di particolato così elevate?**

Nel motore a due tempi, lo scarico dei prodotti di combustione e l'immissione della miscela fresca avvengono contemporaneamente durante la cosiddetta fase di lavaggio. Poiché il condotto di scarico è ancora aperto quando la miscela fresca entra nel cilindro, parte della benzina incombusta sfugge inevitabilmente attraverso lo scarico e viene emessa assieme ai gas esausti.

Inoltre nel motore a due tempi l'olio lubrificante, necessario a proteggere le parti meccaniche dall'usura, partecipa direttamente al processo di combustione.

Nei motori a due tempi di concezione più vecchia l'olio era direttamente miscelato alla benzina in proporzioni variabili e all'epoca era possibile acquistare la "miscela" olio/benzina direttamente al distributore in pompe dedicate.

Oggi invece i motocicli a due tempi hanno un serbatoio separato per l'olio lubrificante e sono dotati di un miscelatore che provvede ad aggiungere l'olio alla benzina nella quantità stabilita dal costruttore.

L'olio lubrificante, rispetto alla benzina, ha un punto di ebollizione molto più elevato, tipicamente superiore ai 300 °C e di conseguenza evapora con molta più fatica una volta immesso in camera di combustione. La presenza di olio lubrificante in forma liquida in camera di combustione è responsabile delle alte emissioni di particolato di questo tipo di motori, emissioni che infatti sono prevalentemente costituite da olio lubrificante incombusto.

Esistono in commercio oli lubrificanti per motori a due tempi espressamente formulati per ridurre le emissioni di particolato denominati appunto oli a bassa fumosità. Lubrificanti a base totalmente o parzialmente sintetica rientrano in genere in questa categoria. Il costo un po' più alto di questi oli è compensato non solo da migliori prestazioni ma soprattutto da emissioni più basse e quindi da un minor rischio per la salute.

#### **5. Quanto inquina una autovettura? Quali sono le autovetture meno inquinanti?**

Le autovetture di ultima generazione presentano indubbiamente vantaggi notevoli dal punto di vista ambientale se confrontati a veicoli di tecnologia più vecchia ma è necessario fare dei distinguo sia in funzione dell'inquinante specifico che della tecnologia del motore.

Per quanto riguarda le emissioni inquinanti allo scarico regolamentate dai vari standard Euro (cioè HC, CO, NOx e particolato), le auto con motore a benzina di

ultima generazione presentano in genere livelli estremamente bassi, spesso al di sotto del fondo ambientale. Quest'ultima affermazione è valida ovviamente una volta che il catalizzatore (o marmitta catalitica) ha raggiunto la piena efficienza. Tale dispositivo permette infatti di abbattere con estrema efficacia tutte le emissioni gassose inquinanti ma solo una volta che è stata raggiunta la temperatura ottimale di funzionamento. Le pur limitate emissioni inquinanti di questi veicoli sono infatti emesse per la stragrande maggioranza durante la fase che immediatamente segue l'avviamento a freddo del motore mentre una volta che motore e catalizzatore sono caldi le concentrazioni di inquinanti nei gas di scarico divengono bassissime (e come si diceva prima, spesso inferiori al fondo ambientale). Nelle quasi totalità delle auto moderne il catalizzatore è oggi montato a ridosso del collettore di scarico per minimizzare la durata della fase di riscaldamento. Ovviamente la durata di tale fase (che tipicamente va da qualche decina di secondi a qualche centinaio di secondi) dipende anche dalle condizioni ambientali (più bassa è la temperatura ambientale più lunga la fase di riscaldamento del catalizzatore). Il catalizzatore è chiamato anche a tre vie perché in grado di abbattere contemporaneamente CO, HC e NOx. Di fatto, il catalizzatore completa la combustione convertendo HC e CO in CO<sub>2</sub> utilizzando l'ossigeno presente nella molecola degli ossidi di azoto che vengono a loro volta convertiti in N<sub>2</sub>. Per poter ottenere questa reazione è però necessario che la combustione sia attentamente controllata ed in particolare che il rapporto aria/combustibile sia quanto più vicino al valore stechiometrico (valore di  $\lambda=1$ ). In altre parole non deve esserci ossigeno libero nei gas di scarico. Ovviamente il catalizzatore non riduce per nulla le emissioni di CO<sub>2</sub> e non è in grado di controllare le emissioni di particolato che in alcuni motori a benzina sono significative. In particolare, i motori benzina ad iniezione diretta (cioè in cui il carburante è iniettato direttamente nella camera di combustione) presentano emissioni di particelle nettamente superiori ai motori benzina tradizionali collocandosi a metà strada rispetto a questi ultimi ed i motori diesel.

Le emissioni di particolato (o di particelle) rappresentano infatti uno dei principali problemi che affliggono i motori diesel insieme alle emissioni di NOx. In aggiunta il motore diesel, operando in eccesso d'aria, non può purtroppo fare affidamento sulla grande efficienza della marmitta catalitica. Infatti HC e CO vengono in questo caso preferenzialmente ossidati utilizzando l'ossigeno libero presente nel gas di scarico e pertanto gli NOx non possono essere abbattuti nella marmitta catalitica a tre vie come avviene nei motori benzina stechiometrici. Questo fa sì che se da una parte le emissioni di HC e CO sono molto basse già in partenza e perfino più basse dei veicoli benzina catalizzati, dall'altra le emissioni di ossidi di azoto sono molto elevate. Le emissioni di particolato sono invece soprattutto imputabili al fatto che il gasolio viene iniettato in forma liquida, seppure ad altissima pressione e a formare goccioline finissime, direttamente nella camera di combustione alla fine della fase di compressione della sola aria. Questo comporta la formazione e la combustione di una miscela disomogenea gasolio/aria che ha come conseguenza la formazione di particelle carboniose che derivano soprattutto dal surriscaldamento del nucleo ancora liquido delle goccioline.

Tuttavia le emissioni di particolato vengono oggi controllate con estrema efficienza dai filtri antiparticolato che sono in grado di raggiungere efficienze superiori al 90-95%. Rimangono invece ancora alte le emissioni di NOx anche nei veicoli Euro 5.

Questo e' soprattutto vero per le emissioni reali su strada che troppo spesso sono diverse dalle emissioni misurate in laboratorio.

In sintesi, se si guarda alle emissioni inquinanti regolamentate, i veicoli benzina oggi risultano avvantaggiati dalla disponibilita' di un sistema di abbattimento estremamente efficace quale la marmitta catalitica mentre restano ancora problemi da risolvere per i diesel. In particolare resta la criticita' degli ossidi di azoto ancora troppo alti.

Tuttavia, se si parla di gas ad effetto serra ed in particolare di emissioni di CO<sub>2</sub>, il diesel rimane oggi ancora il motore piu' efficiente e con i piu' bassi consumi anche in confronto a soluzioni avanzate come i veicoli ibridi. Pertanto la spinta verso una dieselizzazione del parco veicoli per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> globali ha ancora senso purché si risolvano i problemi di emissioni inquinanti che tuttora affliggono il diesel.

## 6. Quanto inquinano i veicoli pesanti?

Nel settore dei veicoli pesanti l'attenzione sui consumi e' molto piu' alta che non nel caso delle autovetture dal momento che il costo del combustibile rappresenta una voce importante per gli autotrasportatori e per essi puo' fare la differenza fra l'essere o meno competitivi sul mercato.

Quanto sopra ha due conseguenze principali: la predominanza assoluta del diesel a dimostrazione ulteriore della efficienza di questo motore, ed il fatto che i costruttori cercano di ottimizzare i motori per i consumi.

Nei motori diesel sfortunatamente esiste una relazione inversa fra consumi ed emissioni di NO<sub>x</sub>: piu' si cerca di minimizzare il consumo piu' alte sono in genere le emissioni di NO<sub>x</sub>. Quindi, al di la' delle emissioni di particolato che sono ovviamente molto significative come in tutti i motori diesel, i veicoli pesanti sono spesso caratterizzati da alte emissioni di NO<sub>x</sub>.

Purtroppo per la ragione suddetta ed altre ragioni che verranno spiegate piu' in dettaglio nel punto seguente, le emissioni reali di NO<sub>x</sub> non si sono ridotte della stessa misura di cui si e' inasprito il rispettivo limite di emissione. Questo ha come conseguenza che perfino veicoli recentissimi rispondenti alla normativa Euro V hanno emissioni reali di NO<sub>x</sub> che non si discostano di molto da quelli di veicoli di vecchia tecnologia Euro III o perfino Euro II. Questo e' particolarmente vero in citta' dove il sistema di abbattimento degli NO<sub>x</sub> che e' stato installato sulla maggioranza di veicoli Euro IV ed Euro V (SCR, Selective Catalytic Reduction) non funziona a causa delle temperature dei gas di scarico troppo basse (vedi punto 5.1). Tale sistema sembra invece funzionare a dovere nelle condizioni operative tipiche dei trasporti a lungo raggio (percorsi prevalentemente autostradali).

Diverso e' invece il discorso per il particolato. Le emissioni si sono ridotte in modo significativo nei veicoli di ultima generazione e sostanzialmente annullate in tutti quei veicoli che gia' montano il filtro antiparticolato che sara' di fatto obbligatorio a partire da Euro VI.

In sintesi, in attesa dei veicoli Euro VI che si spera permettano di fare un deciso passo in avanti, i veicoli pesanti attualmente sul mercato presentano nella maggioranza dei casi emissioni di NOx reali ancora troppo elevati. Questo fa sì che i benefici per la qualità dell'aria per quanto riguarda concentrazioni di NOx e aerosol secondario risultino assai più limitati di quanto ci si sarebbe aspettato.

Ma esistono alternative presenti a tali veicoli? Innanzi tutto va detto che non tutti i veicoli Euro V si comportano come descritto sopra ed alcuni hanno mostrato una buona capacità di controllare le emissioni di NOx anche in condizioni di reale utilizzo anche se è difficile identificare questi veicoli senza prove eseguite ad-hoc su strada (un confronto sui dati di omologazione non darebbe informazioni aggiuntive dal momento che tutti rispettano gli stessi limiti di emissione...).

Possono i veicoli a metano rappresentare una valida alternativa? Il Centro Comune di Ricerca ha confrontato mezzi pesanti Euro V (nel caso specifico mezzi per la raccolta dei rifiuti) alimentati a gasolio (senza filtro) con mezzi sempre Euro V ma a metano. La tecnologia dei due mezzi è ovviamente molto diversa: i veicoli a metano montano un motore ad accensione comandata (ciclo Otto) con catalizzatore a tre vie a cui è affidato il compito di controllare le emissioni. I veicoli diesel erano invece equipaggiati con il sistema SCR per abbattere gli NOx. I risultati hanno mostrato come i mezzi a metano abbiano emissioni di NOx e particolato (quelle più critiche) nettamente inferiori rispetto al motore diesel ma come era logico aspettarsi emissioni di CO2 più elevate data la maggior efficienza del motore diesel. In particolare eclatante è risultata la differenza in termini di emissioni di NOx: i mezzi diesel, per il mancato funzionamento del sistema di abbattimento degli NOx nelle condizioni di guida tipiche dei mezzi di raccolta dei rifiuti, hanno evidenziato emissioni di questo inquinante fino a 10 volte superiori rispetto al mezzo a metano. Anche le emissioni di idrocarburi incombusti totali sono risultate più alte per il mezzo a metano ma va tenuto presente che questi di fatto consistono quasi esclusivamente di metano che non è pericoloso per l'uomo.

Tali dati farebbero pensare che il motore a metano sia la soluzione ottimale per l'uso in condizioni di guida urbane per minimizzare le emissioni inquinanti pericolose per l'uomo. Questo oggi è probabilmente ancora vero ma anche qui non è possibile generalizzare. Ulteriori prove condotte su mezzi a metano fra loro del tutto simili ma prodotti da costruttori diversi hanno mostrato differenze enormi in termini di emissioni inquinanti quando provati su cicli che riproducevano le condizioni di utilizzo reali.

La conclusione che si può dunque trarre da queste prove è che per quanto riguarda i mezzi pesanti non esiste una soluzione ottimale valida per tutti gli impieghi.

In effetti per ogni tipologia di impiego esiste una soluzione migliore che però non è facile da identificare a priori poiché la strategia del motore definita dal costruttore ha una influenza fondamentale sulle emissioni inquinanti in condizioni di reale utilizzo. Alcune società soprattutto che svolgono attività di interesse pubblico (come appunto la raccolta dei rifiuti), hanno già cominciato ad introdurre nei criteri di selezione dei nuovi veicoli prove condotte ad-hoc su strada per valutare le effettive emissioni inquinanti. Oggi grazie a sistemi di misura portatili questo è possibile, relativamente

semplice e poco costoso e potrebbe essere un approccio da seguire per minimizzare le emissioni inquinanti dai mezzi pesanti.

## **7. Per quale motivo le emissioni dei veicoli misurate in laboratorio e quelle reali su strada possono differire anche di molto?**

Purtroppo e' oramai ampiamente dimostrato che in moltissimi casi le emissioni effettive dei veicoli utilizzati su strada in condizioni di traffico reale sono decisamente superiori a quelle misurate in laboratorio secondo la procedura di prova prescritta dalla normativa europea. Questo e' vero soprattutto per alcuni inquinanti ed in particolare per l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e per gli ossidi di azoto nel caso dei veicoli diesel.

Tutti i consumatori hanno prima o poi verificato quanto l'autovettura acquistata abbia consumi non in linea con quanto dichiarato dal costruttore. Cio' e' un fatto ormai ampiamente noto essendo tra l'altro stato ripreso e diffuso da molti riviste specializzate. La differenza fra i consumi dichiarati (che sono misurati in fase di omologazione del veicolo) e quelli reali influisce naturalmente in modo diretto sulle emissioni di CO<sub>2</sub> che pertanto risultano quasi sempre superiori ai valori di omologazione. Cio' dipende proprio da come viene eseguita l'omologazione del veicolo: secondo la procedura corrente il veicolo viene posizionato su un banco a rulli che ne simula la resistenza all'avanzamento nell'esecuzione di un ben preciso ciclo di guida standardizzato. Al termine della prova, che dura circa venti minuti per una percorrenza totale di undici chilometri, si misurano le emissioni regolamentate ed i consumi (questi ultimi sono in realta' calcolati dalle emissioni stesse: conoscendo la quantita' totale di CO<sub>2</sub>, CO e HC emesse dal veicolo e la composizione del combustibile e' facile risalire al consumo mediante un semplice bilancio di massa del carbonio). Una prima ragione della discrepanza fra valori di consumo misurati nella prova e quelli reali e' legata al fatto che durante il test legislativo tutti i sistemi accessori (condizionatore, fari,...) sono spenti e quindi non consumano energia. La seconda ragione e' dovuta a come e' determinata la resistenza all'avanzamento del veicolo: anche in questo caso c'e' una ben precisa procedura standard che pero' lascia ampi margini di manovra al costruttore per minimizzare i valori di resistenza all'avanzamento che di fatto risulteranno non pienamente rappresentativi di quelli reali. La terza ragione e' legata al ciclo di prova: in aggiunta al fatto che il ciclo di guida europeo denominato NEDC (New European Driving Cycle) e' piuttosto blando va tenuto presente che essendo fisso e sempre uguale il costruttore puo' ottimizzare il motore proprio per questo ciclo.

Al di la' di limitati casi eclatanti che pur si sono verificati di veicoli in grado di riconoscere il ciclo di prova e di adottare strategie di funzionamento specifiche per rispettare i limiti di emissione, in generale il costruttore tende a regolare il motore per ottenere il miglior compromesso fra emissioni e consumi proprio sul ciclo di guida. Al di fuori delle condizioni operative coperte dal ciclo di guida legislativo, non essendo piu' obbligato a tenere conto delle emissioni, il costruttore tende invece a privilegiare altri aspetti quali i consumi o la guidabilita' del veicolo o ancora le prestazioni. Pertanto se su strada, nel normale utilizzo del veicolo, il motore si trova ad operare in



condizioni piu' o meno lontane da quelle del ciclo di prova le emissioni inquinanti o i consumi possono discostarsi in modo importante dai valori che sono stati registrati nella prova di omologazione. Nelle prove condotte dal Centro Comune di Ricerca con sistemi portatili di misura delle emissioni (PEMS), si e' potuto accertare che perfino veicoli Euro 5, quindi rispondenti alla normativa attualmente in vigore, hanno emissioni su strada di varie volte superiori ai limiti di legge. Questo, come gia' anticipato, e' soprattutto vero per i veicoli diesel e per gli ossidi di azoto. Infatti, gli ossidi di azoto si formano nel motore per la reazione fra l'azoto e l'ossigeno contenuti nell'aria comburente e dipendono in modo esponenziale dalla temperatura massima raggiunta in camera di combustione. Questa e' la ragione per cui vi e' generalmente una relazione inversa fra gli NOx ed i consumi e le altre emissioni inquinanti (HC, CO e PM). Infatti piu' si migliora la combustione (con riduzione di consumi e altri inquinanti) piu' alta e' la temperatura raggiunta nel cilindro e quindi maggiore la produzione di NOx. Quindi, se al di fuori del ciclo si privilegiano i consumi e' naturale che gli ossidi di azoto aumentino significativamente.

Lo stesso problema e forse ancor piu' pronunciato lo si ha con i veicoli pesanti. La normativa attuale prevede l'omologazione del solo motore che poi puo' essere installato su diverse tipologie di veicoli (dall'autobus urbano al TIR per trasporti a lungo raggio). Anche in questo caso il motore, installato su un banco prova, viene esercitato secondo un ciclo di prova definito dalla normativa. Questo ciclo dovrebbe essere rappresentativo delle conduzioni tipiche di utilizzo del motore ma cio' ha due conseguenze:

- Innanzi tutto un ciclo di prova tipico fa riferimento a condizioni di prova medie e quindi per definizione non copre condizioni di prova estreme. Ad esempio, un camion per la raccolta della spazzatura ha condizioni operative peculiari (bassissima velocita' medie, frequenti stop&go, percorrenze di poche centinaia di metri fra un stop e l'altro) che non sono assolutamente contemplate dal ciclo di prova.
- Come per le autovetture, l'esistenza di un ciclo di prova standard permette al costruttore di ottimizzare determinati parametri (tipicamente le emissioni inquinanti) sul ciclo mentre al di fuori di questo possono essere ottimizzati altri parametri (tipicamente i consumi che sono molto importanti nel caso dei veicoli pesanti).

Analogamente a quanto gia' visto per le autovetture, questa situazione porta ad emissioni di ossidi di azoto reali (NOx) che assai frequentemente sono molto superiori a quelle misurate nella prova di omologazione. Le prove condotte dal Centro Comune di Ricerca hanno evidenziato come in termini di emissioni reali di NOx non ci sia stato un decremento corrispondente alle riduzioni dei relativi limiti di emissione dei diversi step Euro.

Particolarmente eclatante e' il caso dei veicoli Euro IV ed Euro V. A causa dei limiti di emissione sempre piu' bassi per gli NOx, non essendo piu' possibile rispettare il limite solo attraverso una opportuna regolazione del motore, per questi veicoli si e' resa necessaria l'introduzione di sistemi di post-trattamento dei gas esausti per l'abbattimento dei NOx.

Il sistema prescelto dalla maggioranza dei costruttori e' l'SCR (Selective Catalytic Reduction) che prevede l'iniezione di urea nei gas di scarico. Ad alta temperatura

l'urea si decompone in ammoniaca che va a reagire con gli NOx in un catalizzatore opportuno. Questo sistema, largamente usato anche negli impianti fissi, ha potenzialmente una efficienza notevole, anche superiore al 90%.

Questa alta efficienza ha altresì consentito ai costruttori di ottimizzare la combustione per migliorare i consumi, cosa che in genere comporta un aumento degli ossidi di azoto come già descritto precedentemente.

Il limite dell'SCR è che per poter funzionare in modo adeguato la temperatura dei gas di scarico deve essere superiore ad un certo valore che è di circa 250 °C. Al di sotto si avrebbero dei problemi legati anche ad una non efficiente decomposizione dell'urea e quindi l'SCR non viene proprio attivato quando la centralina del motore registra temperature inferiori.

La conseguenza di ciò è che se le condizioni operative del motore sono tali che la temperatura dei gas di scarico non supera i 250 °C, l'SCR non entra mai in funzione con il risultato di alti valori di NOx allo scarico. Prove condotte su strada dal Centro Comune di Ricerca su veicoli Euro V (dotati di SCR) per la raccolta della spazzatura operanti nel centro di Milano hanno evidenziato come i valori di NOx possano raggiungere valori tipici di veicoli addirittura Euro II-Euro III. Al contrario, quando questi veicoli viaggiano a velocità relativamente elevate (per esempio in tangenziale per tornare al deposito) l'SCR opera in piena efficienza e gli NOx sono tenuti sotto controllo.

Lo stesso discorso può valere per gli autobus urbani Euro IV e V che operano in condizioni non lontane da quelle dei mezzi per la raccolta dei rifiuti.

In conclusione, oggi la maggioranza dei veicoli pesanti Euro IV ed Euro V non dà significativi vantaggi in termini di emissioni di NOx in confronto a veicoli di più vecchia tecnologia (Euro II-III) soprattutto se impiegati in ambito urbano. Diverso è invece il discorso per le emissioni di particolato: l'adozione di sistemi di iniezione ad altissima pressione e di sofisticati sistemi elettronici di controllo della iniezione hanno permesso di ridurre in modo importante le emissioni di particolato. Se poi il veicolo adotta il filtro antiparticolato le emissioni divengono realmente trascurabili.

Il problema sopra discusso è ormai ben noto al legislatore. Viene generalmente indicato con il nome di emissioni fuori ciclo (off-cycle emissions) o emissioni reali (real world emissions).

Sono attualmente in discussione delle nuove misure che dovrebbero essere inserite nella normativa Euro 6 e Euro VI proprio per evitare che le emissioni reali si discostino troppo da quelle misurate nella prova legislativa. Queste misure potrebbero essere basate sull'impiego di mezzi di misura portatili per valutare le emissioni in condizioni di reale utilizzo o anche mediante l'adozione di cicli di prova generati in modo casuale per evitare che il costruttore possa ottimizzare il motore per il ciclo.

## 8. Quale è il ruolo dei combustibili alternativi?

Spesso con il termine combustibile alternativo si intendono combustibili che dovrebbero ridurre le emissioni in virtù delle loro caratteristiche. Più correttamente il termine alternativo si dovrebbe applicare solo a quei combustibili che vanno a sostituire in toto od in parte i combustibili tipicamente usati per autotrazione (gasolio e benzina) a prescindere dall'effetto sulle emissioni.

In effetti i problemi cui si cerca di rispondere sono due e ben distinti:

- Il settore trasporti dipende per il 98% circa dal petrolio che come e' ben noto e' soggetto a fluttuazioni di prezzo notevoli anche a causa di fattori geopolitici non direttamente legati al mercato. In altre parole il settore trasporti e' fra i piu' esposti al rischio di crisi di varia natura e, in prospettiva, ai problemi legati alla riduzione della produzione di petrolio causa esaurimento risorse. Si ha cioe' un problema di sicurezza di approvvigionamento energetico.
- I combustibili convenzionali, gasolio e benzina, sono combustibili fossili che bruciati danno luogo ad emissioni importanti di CO<sub>2</sub> (il settore trasporti e' l'unico che vede queste emissioni ancora in forte crescita) e a tutta una serie di inquinanti pericolosi per l'uomo.

I combustibili alternativi propriamente detti sono importanti per differenziare le fonti di energia e per risolvere/mitigare il problema di sicurezza di approvvigionamento energetico. Fra i principali combustibili alternativi rientrano i combustibili gassosi (natural gas compresso ed idrogeno i principali) ed i biocombustibili. Questi combustibili possono avere anche degli effetti positivi sulle emissioni ma come vedremo questo aspetto sta divenendo sempre piu' secondario.

Se invece l'obiettivo e' ridurre le emissioni inquinanti pericolose per l'uomo, accanto ad alcuni dei combustibili alternativi sopra citati vi sono anche i cosiddetti combustibili riformulati o a ridotto impatto ambientale, cioe' gasoli e benzine con una composizione ottimizzata per ridurre le emissioni. Spesso questi ultimi possono essere perfino piu' efficaci nell'abbattimento delle emissioni di alcuni "combustibili alternativi". Infatti va sempre tenuto presente che i veicoli convenzionali sono ottimizzati per funzionare con gasolio e benzina e quindi impiegando combustibili con proprieta' che si discostano in modo importante da questi si possono avere sgradite sorprese sulle emissioni.

Va inoltre considerato che i veicoli di ultima generazione possiedono sistemi di abbattimento delle emissioni estremamente efficienti e quindi la composizione del combustibile giuoca un ruolo sempre piu' limitato se non del tutto trascurabile nel determinare le emissioni inquinanti. La qualita' del combustibile resta invece importante per garantire il corretto funzionamento di questi sofisticati sistemi di controllo delle emissioni.

Cio' nonostante un combustibile in grado di dare anche limitati benefici in termini di emissioni inquinanti ha un indiscutibile vantaggio rispetto a soluzioni tecnologiche seppure risolutive: l'ampia disponibilita' alle stazioni di servizio di un tale ipotetico combustibile consentirebbe infatti di usufruire del beneficio sulle emissioni in modo pressoché immediato mentre nel secondo caso un importante frazione del parco veicoli circolante deve essere rimpiazzata con auto dotate di tali soluzioni tecnologiche prima che il beneficio divenga significativo.

Analizzando in dettaglio i principali combustibili alternativi e riformulati si possono trarre le seguenti conclusioni:

- **Metano (o CNG, compressed natural gas)**

Il metano presenta indubbi vantaggi rispetto ai combustibili convenzionali in quanto la sua è la molecola di idrocarburo più semplice. La combustione del metano risulta dunque particolarmente pulita e in particolare mancano dai gas di scarico tutti quei composti potenzialmente pericolosi che derivano dalla combustione incompleta di idrocarburi più complessi. Nel caso del metano gli idrocarburi incombusti sono prevalentemente costituiti da metano stesso che non è tossico ma è comunque un gas ad effetto serra. Tuttavia, oggi un'auto a metano non dà grandi vantaggi in termini di emissioni inquinanti rispetto ad un'auto a benzina di ultima generazione e questo per una serie di motivi:

- Spesso nelle auto a metano il motore si avvia funzionando a benzina e dopo poche decine di secondi l'alimentazione passa automaticamente a metano. Questo comporta che fra un'auto benzina ed una auto a metano non vi siano sostanziali differenze poiché la maggior parte delle emissioni viene emessa nei primissimi secondi con il catalizzatore freddo cioè quando entrambi i motori stanno bruciando benzina.
- Come si è visto, le auto a benzina di ultima generazione hanno emissioni bassissime ed il vantaggio che deriva utilizzando il metano è molto limitato in ogni caso. Tra l'altro, poiché il metano è molto difficile da ossidare, il catalizzatore delle auto che nascono per funzionare a metano deve essere più attivo e quindi ha un carico di metalli preziosi nettamente superiore a quello delle auto benzina normali.
- Vi è una netta differenza fra auto progettate per bruciare metano ed auto a benzina convertite per funzionare a metano. Le prime sono ottimizzate in ogni componente per funzionare con tale combustibile mentre le seconde impiegano kit di conversione che convertono a metano motori nati per funzionare a benzina. In genere questi kit sono però ben progettati e ben funzionanti e quindi in grado di mantenere basse le emissioni inquinanti anche se il motore ed il catalizzatore non sono progettati per il metano. Tuttavia spesso succede che l'installatore o non installa correttamente l'impianto oppure volutamente altera dei parametri con l'obiettivo principale di estendere l'autonomia del veicolo con un pieno di gas. In effetti le misurazioni condotte dal Centro Comune di Ricerca hanno evidenziato che molto spesso auto convertite a metano hanno emissioni nettamente più alte del modello originale a benzina e questo è soprattutto vero per gli NOx.

In conclusione, il metano è oggi considerato un importante combustibile alternativo la cui principale valenza risiede nella possibilità di sostituire facilmente i combustibili convenzionali (riducendo quindi la dipendenza dal petrolio) e in significativi vantaggi per ciò che riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto alle auto a benzina. Di gran lunga meno significativi invece i vantaggi in termini di emissioni inquinanti se come termine di paragone si prendono le auto a benzina di ultima generazione.

- ***Gas petroliferi liquefatti (LPG)***

Vale sostanzialmente il discorso fatto per il metano salvo che questo combustibile, essendo un derivato dal petrolio, non riduce la dipendenza da tale fonte energetica.

- ***Biocombustibili***

Il dibattito sui combustibili che derivano da biomasse e' accesissimo soprattutto per quanto riguarda l'impatto sull'ecosistema e sul settore alimentare. Oggi e' comunemente accettato il fatto che non tutti i biocombustibili rappresentino un vantaggio per l'ambiente ed anzi che alcuni abbiano conseguenze molto negative per esso. Proprio per questo motivo l'Unione Europea ha introdotto dei criteri di sostenibilita' cui devono soddisfare i biocombustibili per evitare che creino piu' problemi di quanti ne risolvino. I biocombustibili devono quindi garantire una riduzione minima delle emissioni di CO<sub>2</sub> del 35% e non avere effetti deleteri sull'ambiente. Tipico e' l'esempio dell'olio di palma: in determinate zone del pianeta si e' proceduto al disboscamento sistematico per creare enormi coltivazioni di palme da olio con gravi danni all'ambiente e alla biodiversita' e pertanto il biodiesel derivante da questa materia prima e' assolutamente bandito dalla nuova normativa. Oggi si tende sempre piu' a considerare i biocombustibili di prima generazione (sostanzialmente biodiesel e bioetanolo) come delle soluzioni non ottimali e piuttosto problematiche e si guarda con speranza ai cosiddetti biodiesel di seconda generazione che dovrebbero essere meno critici grazie a nuovi processi produttivi o all'impiego di altri tipi di biomassa (ad esempio piante non edibili come la jatropha o le alghe).

Come detto i biodiesel di prima generazione commercialmente maturi sono sostanzialmente due: il biodiesel e l'acool etilico (o etanolo). Va aggiunto inoltre il biogas per il quale valgono le considerazioni fatte per il gas naturale.

- Il biodiesel viene prodotto attraverso un processo chimico chiamato trans-esterificazione a partire da oli vegetali quali quello di colza, di girasole, di soia, di palma etc. Il biodiesel non e' dunque l'olio vegetale che invece danneggerebbe in modo irreparabile il motore. Nel motore il biodiesel brucia senza problemi con effetti sulle emissioni che dipendono soprattutto dalla quantita' di biodiesel miscelato al gasolio. Sotto il 10% di biodiesel gli effetti sulle emissioni sono molto limitati e tendono a divenire del tutto trascurabili al diminuire della percentuale. Aumentando la percentuale di biodiesel, si cominciano a notare invece effetti sempre piu' significativi sulle emissioni che raggiungono il loro massimo con il biodiesel puro. Tipicamente il biodiesel riduce in modo significativo le emissioni di particolato ma aumenta quelle di ossidi di azoto e di alcuni altri inquinanti non regolamentati come le aldeidi. Questi effetti sono principalmente dovuti alla presenza dell'ossigeno nella molecola di biodiesel. Inoltre con alte percentuali di biodiesel le emissioni del motore freddo aumentano in modo importante e cio' e' dovuto alla temperatura di ebollizione del biodiesel molto piu' alta se confrontata con il gasolio standard. In conclusione, il vantaggio principale del biodiesel, piu' che

per gli effetti sulle emissioni inquinanti, risiede nel fatto che proviene da una fonte rinnovabile e potrebbe avere alcuni benefici sulle emissioni di CO<sub>2</sub> se viene considerato l'intero ciclo (il cosiddetto bilancio dal pozzo alla ruota, well-to-wheels). Infatti il biodiesel bruciando riemette, molto approssimativamente, la CO<sub>2</sub> che le piante hanno assorbito dalla atmosfera. Questi benefici sono legati alla quantità globale di biodiesel utilizzato indipendentemente dalla percentuale in cui viene aggiunto al gasolio. Di conseguenza, ad oggi, il modo migliore di utilizzare il biodiesel (la cui disponibilità è limitata e copre una piccola frazione del fabbisogno annuo di gasolio) è di spalmarlo nel gasolio standard a percentuali inferiori al 10% tenendo anche conto che i costruttori hanno più volte detto che le ultime tecnologie diesel non possono sopportare più del 7% di biodiesel. In tal modo si mantengono inalterati i benefici legati alla produzione di biodiesel (fonte rinnovabile ed effetti sulla CO<sub>2</sub>) mentre divengono insignificanti sia gli effetti positivi ma anche quelli negativi sulle emissioni inquinanti.

- Il bioetanolo può essere prodotto da un ampio spettro di biomasse (dal legno ai cereali, dalla canna da zucchero alle vinacce) ed è potenzialmente un buon combustibile per i motori benzina. Tuttavia, come il biodiesel anche il bioetanolo ha effetti sia positivi che negativi sulle emissioni inquinanti. La presenza dell'ossigeno nella molecola favorisce una combustione più completa con riduzione di alcuni inquinanti (soprattutto CO, HC e particolato) ma determina l'aumento di alcuni composti non regolamentati quali le aldeidi. Inoltre l'etanolo aggiunto a basse percentuali alla benzina (5-10%) determina un aumento della volatilità della benzina stessa con potenziali effetti negativi sulle emissioni evaporative. Le emissioni evaporative derivano sia dalle operazioni di rifornimento (il serbatoio dell'auto viene aperto e l'immissione di liquido nel serbatoio è accompagnata dalla fuoriuscita di un'eguale quantità di vapori) che dal sistema di alimentazione del veicolo. Infatti, lasciando ad esempio l'auto al sole nel periodo estivo, le temperature all'interno del serbatoio possono raggiungere valori elevati con generazione di elevate quantità di vapori di benzina. In assenza di contromisure questi vapori sfuggirebbero in atmosfera dallo sfiato del serbatoio. Per evitare ciò tutte le auto moderne benzina sono dotate di una trappola a carboni attivi posta sullo sfiato del serbatoio che ha il compito di evitare la fuga dei vapori di benzina. La trappola viene poi ripulita aspirando parte dell'aria comburente attraverso la stessa durante la marcia del veicolo ed in tal modo i vapori sono bruciati nel motore. Sfortunatamente l'etanolo ha un impatto negativo su tale sistema in quanto tende a disattivare almeno parzialmente il carbone attivo. Inoltre l'etanolo aumenta la permeabilità della plastica di cui sono fatti il serbatoio e le altre parti del sistema di alimentazione determinando un aumento della quantità di benzina che permea all'esterno. Per questi motivi negli Stati Uniti, dove l'uso dell'etanolo è molto diffuso, la normativa sulle emissioni evaporative impone

l'adozione di determinate misure tecnologiche (ad esempio trappole piu' grandi e serbatoi a bassa permeabilita') per risolvere o limitare i problemi suddetti. Una soluzione alternativa per utilizzare il bioetanolo e' quella di ricorrere a miscele contenenti oltre il 70-80% di etanolo (tipicamente indicate con le sigle E75 o E85) che pero' richiedono veicoli appositamente progettati (i "flexible fuel vehicles"). Questa soluzione e' quella scelta dal Brasile dove la canna da zucchero consente di produrre enormi quantita' di etanolo mentre in Europa e' piuttosto popolare solo in Svezia.

In conclusione, i biocombustibili di prima generazione non sono esenti da problemi ed ammesso che diano vantaggi in termini di CO2 nel loro ciclo produttivo (e questo e' tutt'altro che scontato), non vanno intesi come delle soluzioni per ridurre le emissioni inquinanti ma solo come un modo per ridurre la dipendenza del settore trasporti dal petrolio.

- ***Combustibili riformulati***

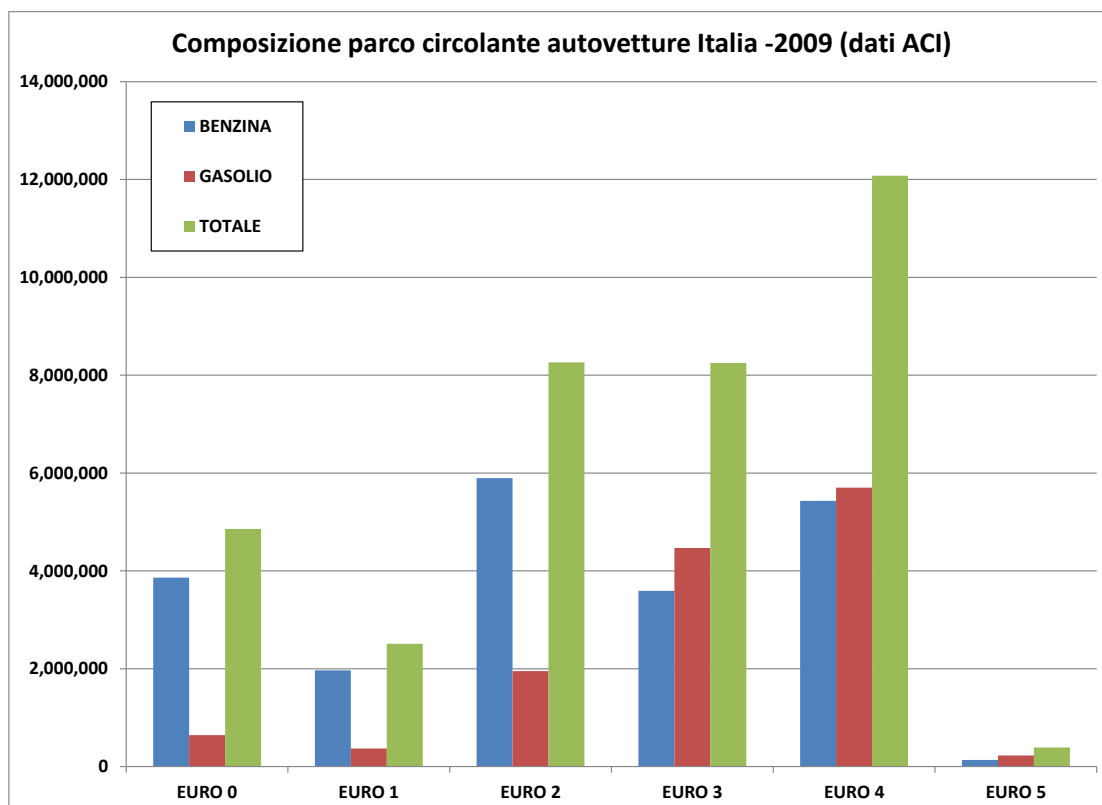
Sotto questo termine si raggruppano tutta una serie di combustibili convenzionali che attraverso opportune modifiche alla composizione o per aggiunta di additivi possono portare ad una riduzione delle emissioni regolamentate o di alcuni composti non regolamentati. Ad esempio, utilizzando una benzina priva di aromatici si ridurranno fortemente le emissioni di benzene e di altri composti aromatici potenzialmente tossici. E' questa la scelta che ad esempio e' stata fatta in Svizzera per gli utensili a mano con motore a combustione (seghe a motore, rasaerba, etc). E' ovvio che cio' e' stato possibile dato il ridotto volume di combustibile utilizzato per questo fine e che questo non puo' essere esteso all'autotrazione (non ci sarebbe semplicemente sufficiente prodotto a soddisfare il fabbisogno). Inoltre come, piu' volte accennato, nei veicoli di ultima generazione la qualita' della benzina o del gasolio e' pressoché ininfluenza sulle emissioni per la estrema efficienza dei sistemi di abbattimento delle emissioni. Laddove pero' il parco circolante e' dominato da veicoli di vecchia generazione alcuni combustibili riformulati potrebbero portare dei significativi vantaggi (che in termini percentuali sono non paragonabili a quelli di alcune soluzioni tecnologiche) che potrebbero essere goduti fin da subito senza dover aspettare il rinnovo del parco, cosa che rappresenta il principale limite delle soluzioni tecnologiche.

Le emulsioni gasolio/acqua determinano da esempio notevoli riduzioni del particolato ma questa soluzione e' idonea solo nei motori pesanti di vecchia tecnologia. Alcuni additivi organo-metallici a base di ferro o cerio si sono dimostrati in grado di ridurre in modo significativo (fino ad alcune decine di punti percentuali) le emissioni di particolato ma non e' ancora oggi ben chiaro se c'e' un rischio o meno per la salute associato alle ceneri generate dagli additivi stessi (tipicamente ossidi del metallo utilizzato).

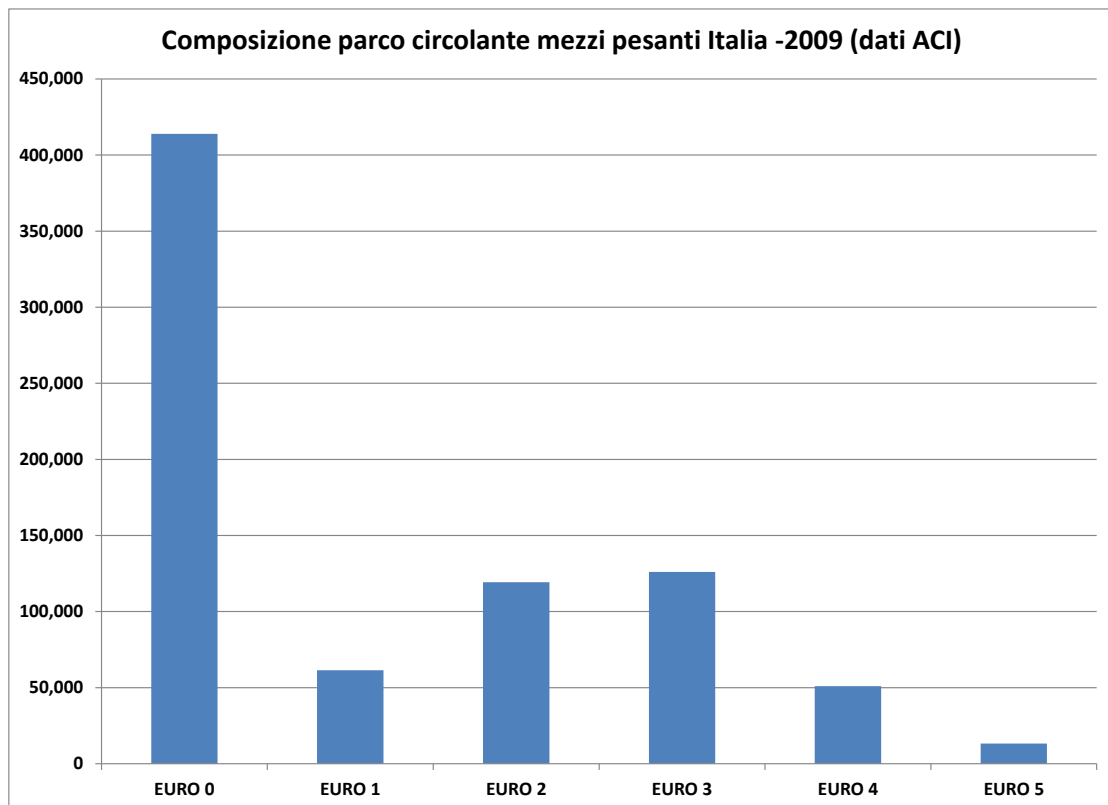
Gasoli a ridotto contenuto di idrocarburi poliaromatici e con altre proprieta' migliorate (es. numero di cetano) possono dare benefici significativi soprattutto se utilizzati nelle flotte urbane.

## 9. Cosa si puo' fare per ridurre le emissioni del parco circolante?

Come detto piu' volte, i veicoli di ultima generazione hanno senz'altro emissioni piu' ridotte (seppure con la notevole eccezione degli ossidi di azoto nel caso dei diesel). Tuttavia il parco circolante e' costituito da un numero rilevantissimo di veicoli di vecchia tecnologia come i due diagrammi seguenti mostrano molto chiaramente.







E' evidente che con il procedere del rinnovo del parco automobilistico le emissioni nella loro totalita' diminuiranno ma la velocita' di questa diminuzione dipende dal tasso di rinnovo del parco circolante.

Esiste la possibilita' di ridurre le emissioni dai veicoli piu' vecchi per accelerare la diminuzione delle emissioni?

Vi sono alcune possibilita' ma piuttosto limitate:

- Utilizzo di combustibili riformulati. Questo punto e' stato gia' discusso (vedi domanda 8)
- Manutenzione dei veicoli. L'avere dei veicoli in buona efficienza e' condizione essenziale per evitare emissioni troppo elevate. Troppo spesso si vedono veicoli seguiti da nuvole nere indice di un non corretto funzionamento di qualche componente del motore. L'adozione di misure come il controllo annuale dei gas di scarico (bollino blu ad esempio) vanno certamente in questa direzione ma diviene critico il fattore controllo sia del veicolo sia delle officine che rilasciano il certificato che talvolta non operano in modo corretto.
- Stile di guida. Adottando particolari stili di guida, quali ad esempio evitare brusche accelerazioni, anticipare quanto piu' possibile le frenate per renderle piu' dolci, passare alla marcia piu' alta non appena possibile, spegnere i motori se in coda per lungo tempo, rispettare i limiti di velocita', controllare frequentemente la pressione dei pneumatici, etc. puo' contribuire significativamente alla riduzione delle emissioni e soprattutto dei consumi con benefici anche economici per il guidatore.

- Sistemi “retrofit”. Con il nome “retrofit” si intendono dispositivi in grado di ridurre tutte o alcune emissioni. Tuttavia la possibilità di applicare sistemi retrofit è molto limitata dal fatto che senza una regolazione del motore opportuna l’efficienza sarebbe comunque molto bassa. Ad oggi, l’unico sistema che garantisce risultati di rilievo sulle emissioni di particolato è il filtro antiparticolato che verrà approfonditamente discusso in una sezione dedicata. Non esistono invece al momento retrofit per gli ossidi di azoto (alcune compagnie stanno sviluppando sistemi SCR retrofit ma con i limiti che sono stati spiegati più sopra in caso di guida in ambiti urbani). Assolutamente inutili invece tanti altri dispositivi come quelli basati su campi elettromagnetici o su altri sistemi di pre-trattamento del combustibile.

## 10. Il filtro antiparticolato funziona davvero?

Il nome generico filtro antiparticolato fa riferimento ad una nutrita schiera di sistemi diversi che però si basano sullo stesso principio: filtrare meccanicamente i gas di scarico.

Esistono due tipi fondamentali di filtri: i filtri cosiddetti aperti e i filtri chiusi (o wall-flow).

I filtri aperti sono di diversa foggia e materiale (schiume metalliche, lamiere con disegni opportuni, etc) ma hanno in comune il fatto di filtrare solo una parte dei gas di scarico. La loro efficienza è in genere piuttosto limitata (dal 15 al 60% nel migliore dei casi) e ci sono molti dubbi sul loro corretto funzionamento nel lungo termine. Per questi motivi la normativa europea, che a partire da Euro 5 ed Euro VI obbliga i costruttori a installare i filtri antiparticolato su tutti i veicoli diesel di nuova omologazione, ha di fatto escluso l’uso dei filtri aperti (lo stesso approccio è stato seguito negli Stati Uniti ed in Giappone).

I filtri chiusi invece hanno la caratteristica di essere costituiti da una matrice ceramica porosa in cui sono ricavati dei canali a fondo cieco. Una volta entrati in uno di questi canali i gas di scarico sono forzati ad attraversare i setti porosi che li separano dai canali adiacenti per raggiungere, dopo molti attraversamenti, canali che sono in comunicazione con l’esterno all’altra estremità del filtro. In tal modo, i gas saranno emessi in atmosfera solo dopo aver attraversato per molte volte le pareti porose dei canali con il risultato di aver rimosso le particelle carboniose con una efficienza che è altissima, perfino quasi del 100%. Questo è vero per tutte le classi dimensionali delle particelle, da quelle finissime di alcuni nanometri a quelle di qualche centinaio di nanometri.

Ovviamente, dopo un certo periodo di funzionamento del motore il filtro si intasa e va ripulito, cosa a cui provvede la centralina stessa del motore avviando opportune operazioni. In genere la rigenerazione consiste in una iniezione aggiuntiva di gasolio tale da innalzare la temperatura dei gas di scarico ed innescare la combustione del materiale carbonioso raccolto nel filtro. La combustione in genere dura diversi minuti per concludersi dopo che il materiale carbonioso è stato convertito quasi totalmente in CO<sub>2</sub> (le emissioni di particolato sono dell’ordine di alcuni milligrammi al km mentre le emissioni di CO<sub>2</sub> sono tipicamente ben oltre i 100 g/km; pertanto la conversione di particolato in CO<sub>2</sub> non modifica in modo sostanziale le emissioni totali di tale gas). Durante la rigenerazione si registra un aumento di parecchie volte del numero di particelle che però resta di gran lunga inferiore al numero di particelle

emesse da un motore senza filtro. Inoltre, tale aumento del numero di particelle che è molto limitato nel tempo avvenendo solo durante la rigenerazione, va mediato con le emissioni che si registrano nell'intervallo fra due rigenerazioni che tipicamente è di parecchie centinaia se non di migliaia di chilometri. In conclusione, anche includendo le particelle emesse durante la rigenerazione del filtro, le emissioni di un veicolo dotato di tale sistema sono estremamente più basse rispetto a quelle di un motore senza filtro. Esiste una prova molto semplice per convincersi di ciò: passare un dito nel tubo di scappamento di un veicolo dotato di filtro antiparticolato che abbia percorso migliaia di o addirittura centinaia di migliaia di chilometri.

Il filtro antiparticolato può essere installato anche su veicoli non predisposti all'origine per esso. Alcune compagnie hanno sviluppato infatti sistemi che possono essere impiegati su qualunque tipo di mezzo essendo dotati di un sistema di rigenerazione indipendente dalla centralina del motore. Va però detto che se questo è di relativamente facile implementazione su veicoli pesanti o su veicoli commerciali, tecnicamente è molto più complesso farlo su autoveicoli leggeri oltre che economicamente meno vantaggioso (il costo del sistema potrebbe arrivare a superare il valore dell'autovettura...). È questo il motivo per cui al momento le campagne di retrofit con filtri antiparticolato hanno riguardato quasi esclusivamente i mezzi pesanti.

Per quanto riguarda la durata del filtro antiparticolato, essendo questo basato su una azione prettamente di tipo meccanico, di fatto conserva la sua efficienza ed efficacia per l'intera vita del veicolo. I malfunzionamenti intesi come ridotta efficienza sono legati a rotture meccaniche del filtro vuoi a seguito di urti vuoi a causa di shock termici estremi. In effetti la difettosità dei filtri antiparticolato è molto bassa e quasi insignificante.

Diverso è invece il problema che ha riguardato soprattutto le prime generazioni di veicoli leggeri dotati di filtro antiparticolato. Su questi veicoli si sono avute spesso situazioni di intasamento del filtro e quindi di spegnimento del motore a causa della mancata rigenerazione del filtro. Ciò si verifica soprattutto nei casi di marcia condotta predominantemente in condizioni di traffico urbano, con velocità medie ridotte e basse temperature allo scarico. In queste condizioni può verificarsi la condizione per cui anche con avvio della procedura di rigenerazione attiva non si raggiungano le temperature necessarie ad innescare la combustione del particolato raccolto nel filtro. Queste situazioni dovrebbero divenire sempre meno frequenti via via che la tecnologia viene ottimizzata.

Un argomento spesso sollevato per criticare i filtri antiparticolato è la ipotizzata generazione di particelle più fini, cioè di dimensioni inferiori con rischi più rilevanti per la salute umana.

In realtà il filtro non è certo una sorta di frullatore che riduce le dimensioni delle particelle. Come già detto il filtro è in grado di fermare con elevatissima efficienza tutte le particelle solide indipendentemente dalla loro dimensione. Quello che invece il filtro non può fare è fermare le sostanze in fase vapore. Il fenomeno che si è osservato in determinate condizioni nei motori equipaggiati con filtro antiparticolato, e che può aver creato il malinteso di cui sopra, è un forte aumento delle particelle

ultrafini di natura volatile a seguito della nucleazione dei composti in fase vapore. La spiegazione del fenomeno e' la seguente:

- I gas di scarico provenienti da un motore diesel sono una miscela di gas, vapori di idrocarburi incombusti e particelle carboniose solide generate in camera di combustione. Lungo il tubo di scarico e nel momento in cui i gas vengono emessi in atmosfera, via via che la temperatura cala e poi via via che i gas si diluiscono con l'aria una volta emessi, avvengono tutta una serie di processi chimico-fisici. Per quanto riguarda le particelle solide queste tendono ad interagire e ad unirsi fra loro formando complesse strutture dalla forma piu' svariata. Al decrescere della temperatura i vapori invece tendono a condensare e questo avviene soprattutto sulla superficie delle particelle carboniose. In assenza di filtro dunque le particelle emesse saranno costituite da piu' o meno grossi agglomerati di piccole sferule di materiale carbonioso ricoperti da idrocarburi pesanti condensati quali ad esempio i poliaromatici. Inalando queste particelle i composti chimici presenti (adsorbiti) sulla loro superficie saranno veicolati all'interno dei polmoni.
- Quando invece vi e' la presenza del filtro antiparticolato, le particelle solide vengono fermate dal filtro antiparticolato e dunque i vapori che prima condensavano sulla loro superficie non hanno piu' tale substrato sui cui condensare (essere adsorbiti). I vapori, superando indenni il filtro antiparticolato, diluendosi con aria all'uscita del tubo di scarico subiscono un brusco calo della temperatura e pertanto puo' accadere, soprattutto in certe condizioni, che nucleino andando a formare minutissime goccioline. Queste particelle vengono definite volatili perche' se soggette a riscaldamento evaporano di nuovo. Quale sia il potenziale effetto di queste minutissime goccioline sulla salute e' ancora molto dibattuto come dibattuta e' anche la loro composizione: c'e' chi dice che non sono assolutamente un problema rilevante essendo soprattutto costituite da acqua e da solfati mentre invece c'e' chi sostiene che sono prevalentemente costituite da idrocarburi pesanti e che sono il motivo per cui la tossicita' dei gas di scarico dei motori diesel non diminuisce in modo proporzionale all'abbattimento delle emissioni di particolato. E' comunque assolutamente chiaro che queste goccioline non sono formate dal filtro ma sono dovute a composti che in assenza di filtro ci sarebbero comunque e che anzi sarebbero piu' efficientemente veicolati all'interno del nostro organismo dalle particelle solide.

In realta' non vi e' dubbio che un'auto con filtro antiparticolato sia sempre da preferire ad un'auto senza filtro. Se si puo' essere d'accordo sul fatto che il filtro antiparticolato non rappresenta la misura perfetta e definitiva per l'abbattimento delle emissioni di particolato e' pero' indubbiamente vero che oltre ad essere la miglior tecnologia disponibile son benpochi i dispositivi di abbattimento che possono rivaleggiare con esso in termini di efficienza. Non per nulla tutto il mondo si sta dotando di una normativa che rende obbligatori i filtri antiparticolato sui veicoli diesel di nuova omologazione.

I filtri antiparticolato potrbbero presto essere obbligatori anche su alcuni veicoli a benzina ed in particolare su quelli equipaggiati con motore ad iniezione diretta. Questi motori hanno emissioni in temini di numero di particelle non lontanissime da quelle

dei diesel e si sta ora discutendo quale valore limite introdurre per essi. Se il limite sarà lo stesso che nell'Euro 5 è stato introdotto per i veicoli diesel, quasi certamente i costruttori dovranno far ricorso a filtri sviluppati appositamente per questi motori.

## **11. Quale è l'impatto sulle emissioni di modifiche ("chip tuning") alla centralina elettronica del veicolo?**

Spesso proprietari di auto, soprattutto diesel, si rivolgono a tecnici specializzati in grado di ri-programmare la centralina elettronica che gestisce il motore per aumentare le prestazioni del veicolo.

Questa pratica, oltre a non essere consentita dalla legge, è molto dannosa sia per il motore che per l'ambiente.

La centralina elettronica è oggi il vero cervello del veicolo che fornisce al motore tutta una serie di istruzioni sulla base del valore di parecchi parametri fra cui posizione dell'acceleratore (che non è più meccanico), condizioni operative del motore, analisi dei gas di scarico (sonda Lambda), temperature varie, etc.

Il costruttore regola il motore registrando nella centralina elettronica strategie che cercano il miglior compromesso fra diverse esigenze: rispettare i limiti di emissione, minimizzare i consumi, assicurare una buona guidabilità del veicolo, garantire l'integrità di alcune componenti, migliorare la sicurezza del guidatore.

Per questo motivo nella centralina ci sono, ad esempio, anche dei limiti alla massima potenza erogabile, alla velocità di incremento del numero di giri e della potenza, etc. Rimuovendo questi blocchi si possono facilmente guadagnare dallo stesso motore diverse decine di cavalli vapore in più come pure rendere molto più brucianti le accelerazioni. Le prove condotte al Centro Comune di Ricerca hanno messo in evidenza che oltre ad un significativo impatto sulla guidabilità tale da rendere difficile all'operatore perfino l'esecuzione del ciclo di prova, queste pratiche determinano un sensibilissimo aumento delle emissioni. Nel caso dei diesel questo è soprattutto vero per gli ossidi di azoto che divengono assolutamente fuori controllo.

È dunque evidente che questa pratica è assai negativa per l'ambiente e pericolosa in tutti i sensi per l'uomo.

## **12. Auto elettriche ed auto ad idrogeno: sono davvero la soluzione definitiva?**

Il sistema trasporti è ancora oggi troppo dipendente dal motore a combustione interna e dai combustibili fossili. L'Unione Europea ha fissato quale obiettivo di ridurre del 60% rispetto ai valori 1990 le emissioni di CO<sub>2</sub> dal settore trasporti entro il 2050. Questo può essere ottenuto solo sviluppando tecnologie alternative non basate su combustibili fossili.

Dopo che per alcuni anni grandi speranze erano state riposte sull'auto a idrogeno a celle a combustibile, la tecnologia alternativa che al momento appare più a portata di mano è l'auto elettrica.

Tuttavia ci sono ancora grossi problemi da risolvere e non solo di natura tecnica come ad esempio l'accettazione di tale tecnologia da parte dei consumatori. In particolare l'auto elettrica è ancora oggi non competitiva rispetto ad un'auto convenzionale in

termini soprattutto di autonomia. Le auto elettriche che cominciano ad apparire sul mercato hanno autonomie di qualche centinaio di chilometri in condizioni che devono ancora essere ben investigate (ad esempio, quale è l'effetto della temperatura ambiente sull'autonomia delle auto elettriche? ) a fronte di tempi di ricarica della batteria che sono di alcune ore. Nulla di paragonabile agli oltre mille chilometri che è possibile fare con un pieno di gasolio che a sua volta richiede qualche minuto. Ci si aspetta che nei prossimi anni possano essere sviluppate nuove batterie più performanti mentre nel frattempo la tecnologia elettrica si diffonderà soprattutto nella forma di veicoli ibridi, cioè che combinano un motore termico con uno elettrico ed una batteria. Questa non può che essere una soluzione ponte dal momento che le auto ibride, a fronte di complessità, peso e costi superiori, non danno significativi vantaggi in termini di efficienza rispetto a un buon diesel soprattutto se l'uso non è limitato alle aree urbane.

L'altro aspetto fondamentale da investigare è l'impatto delle auto elettriche sulla rete di distribuzione dell'energia elettrica. È ovvio che al momento la rete non è progettata perché milioni di veicoli si connettano più o meno contemporaneamente ad essa per ricaricare le batterie. È anche vero però che si aprono scenari nuovi come la possibilità di utilizzare i veicoli come sistemi di stoccaggio della energia elettrica generata con fonti rinnovabili (il grosso problema di queste fonti è infatti la non coincidenza della produzione di energia con la richiesta).

Tutto ciò è però condizionato alla abbondante disponibilità di energia elettrica generata senza (o con basse) emissioni di CO<sub>2</sub>. In altre parole, bruciare carbone o petrolio per generare energia elettrica per poter alimentare le auto elettriche non è un grande passo avanti (almeno per quanto riguarda il problema del riscaldamento globale) a meno che non si sia in grado di sequestrare le emissioni di CO<sub>2</sub> dalle centrali elettriche (possibilità al momento ancora remota).

Se si guarda invece all'auto ad idrogeno gli orizzonti temporali si allungano decisamente. Dopo alcuni entusiasmi iniziali ci si è resi conto che troppi sono ancora i problemi da risolvere prima di una produzione di massa. Innanzitutto vale sempre la pena ricordare che l'idrogeno non è una fonte di energia ma è un vettore che deve essere prodotto con uno dei processi oggi disponibili (elettrolisi dell'acqua, steam reforming, etc..). Anche in questo caso per risolvere davvero il problema delle emissioni di CO<sub>2</sub> dal settore trasporti è necessaria un'ampia disponibilità di energia prodotta senza emissioni di CO<sub>2</sub>.

Inoltre le celle a combustibile hanno ancora costi e prestazioni non adeguate e l'infrastruttura per la distribuzione dell'idrogeno è tutta da costruire.

Oggi nessuno parla più di auto ad idrogeno disponibile in tempi brevi a meno di innovazioni tecnologiche imprevedibili.

Di certo auto elettriche e ad idrogeno risolverebbero il problema dell'inquinamento atmosferico da traffico. Tuttavia, se non si risolvono i complessi problemi di approvvigionamento energetico per la produzione di energia elettrica o idrogeno il problema dell'inquinamento verrà semplicemente spostato o non risolto come nel caso delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

## **WP3**

# **Air Quality Monitoring**





## **Attività di controllo della qualità e analisi della rappresentatività spaziale delle misure di particolato fine nella rete di monitoraggio della Regione Lombardia**

C. A. Belis  
Commissione Europea  
Centro Comune di Ricerca  
Istituto per l'ambiente e la Sostenibilità  
Unità Cambio Climatico e Qualità dell'Aria

Il particolato é costituito da una miscela di centinaia di composti con diverse caratteristiche fisiche e chimiche, i quali subiscono anche processi diversi durante le fasi di emissione, trasporto e deposizione. Per esempio, variazioni di temperatura e umidità durante la raccolta del particolato possono modificare sostanzialmente il campione alterandone le caratteristiche che si vogliono studiare (massa, composizione chimica, ecc). Il campionamento su filtro e la pesata del particolato sono tuttora una sfida nel campo scientifico e per tanto non è possibile attendersi una elevata accuratezza nelle reti di monitoraggio di routine. Proprio per valutare e limitare le fonti d'incertezza è necessario armonizzare i metodi di misura e verificare i risultati attraverso il confronto con metodi di riferimento. Le direttive europee prevedono l'applicazione dei metodi di riferimento emanati dal Comitato Europeo di Normalizzazione (CEN). Le citate direttive permettono alle reti di monitoraggio di avere uno scarto rispetto ai metodi di riferimento del 25%. Questo è il valore di riferimento che verrà utilizzato in questo documento per valutare le prestazioni degli strumenti.

La principale conclusione di questo studio è che le performance osservate nella rete di monitoraggio della Regione Lombardia sono confrontabili con quelle osservate in altri paesi europei. Lo studio ha individuato punti di perfezionamento che possono essere affrontati in un'ottica di miglioramento continuo la qualità del dato.

Allo scopo di garantire tale miglioramento continuo della qualità delle misure e promuovere lo sviluppo tecnologico della rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Regione Lombardia sono state condotte campagne di interconfronto posizionando affianco delle stazioni di monitoraggio strumentazione di riferimento gestite dal Centro Comune di Ricerca di Ispra (CCR). I risultati dettagliati sono riportati in apposite relazioni tecniche.

Nelle stazioni di monitoraggio si utilizzano comunemente analizzatori automatici che applicano metodi diversi da quello di riferimento ma che in cambio consentono di avere a disposizione dati in tempo reale gestiti in modo automatico. Tuttavia per garantire che questa strumentazione fornisca dati accurati si realizzano verifiche con strumenti che rispettano il metodo di riferimento ma che richiedono una gestione più gravosa.

Nel corso di questo progetto di collaborazione tra CCR e Regione Lombardia si è proseguito nella collaborazione nell'ambito del controllo di qualità tra CCR e Regione Lombardia, che risale agli anni 90, con la realizzazione di nove campagne congiunte. Ai dati raccolti sono state applicate tecniche statistiche per verificarne la consistenza. Vale a dire la comparabilità tra i valori ottenuti nelle diverse campagne e la dispersione dei dati intorno alla media. In questa verifica si è riscontrata una buona consistenza dei dati. In generale, la performance degli analizzatori della Rete lombarda è confrontabile con quella riscontrata in un programma di controllo di qualità coordinato dal CCR che ha coinvolto 18 paesi europei utilizzando la stessa tecnica e gli stessi strumenti di riferimento.

Nel presente studio le maggiori anomalie sono state riscontrate nella campagna di Busto Arsizio – 2007. Le stesse sono state messe in relazione alle limitazioni della versione dell'analizzatore ENVIRONMENT MP101 utilizzato, causa la mancanza di un sistema di riscaldamento della sonda di campionamento. Peraltro, un numero maggiore di dati durante tale campagna avrebbe consentito di trarre conclusioni più robuste al riguardo.

Escludendo quest'ultima campagna, il rapporto medio tra le misure ottenute dalla rete di monitoraggio e quelli del CCR nelle diverse campagne di misura varia da un minimo di 0.92 ad un massimo di 1.05. I citati valori rientrano in un intervallo d'incertezza accettabile in base ai criteri citati sopra.

Da un'altra verifica effettuata dal CCR sulle prestazioni degli strumenti raggruppati per tipologia, risulta che due tipi di analizzatori (OPSIS SM200 e TEOM FDMS) rispettano i criteri di qualità durante le prove.

Nel corso dello studio sono stati condotti dei test che hanno confermato che le condizioni di immagazzinamento e trasporto dei filtri campionati dal CCR non hanno alterato in modo significativo l'accuratezza delle misure (contributo inferiore a 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

La raccolta di misure sulla qualità dell'aria richiede importanti risorse umane ed economiche. Allo scopo di sfruttare al massimo le informazioni fornite dalle reti di monitoraggio e stimare le concentrazioni laddove non ci sono misure è importante conoscere la rappresentatività spaziale delle misure prodotte. Questo consentirebbe, inoltre, di migliorare la definizione dei provvedimenti per il contenimento dell'inquinamento e l'ottimizzazione della copertura spaziale delle reti di misura. Il metodo sviluppato si basa su tecniche statistiche per l'analisi di dati spaziali conosciute come il nome di geostatistica. In particolare, vengono messi a confronto la distanza tra i punti di misura e la differenza delle concentrazioni. Allo scopo di testare il metodo è stata condotta una campagna nella città di Varese installando durante le ore lavorative 16 postazioni temporanee di misura di PM<sub>2.5</sub> contemporaneamente. Queste misure hanno consentito di valutare la variabilità spaziale delle concentrazioni di PM<sub>2.5</sub> in una giornata con condizioni favorevoli all'accumulo degli inquinanti. Le postazioni di misura sono state scelte accuratamente per rappresentare nel modo più omogeneo possibile tutta la città collocando al centro dell'area di studio la stazione di

monitoraggio di via Copelli. Il metodo ha mostrato risultati positivi ai test per verificare la robustezza nei confronti della variazione del numero e tipologia di siti e all'utilizzo di diversi modelli statistici (analisi di sensitività). L'analisi dei dati raccolti ha evidenziato la presenza nella città di Varese di un gradiente di concentrazioni crescenti nella direzione nord-est sud-ovest probabilmente determinato dall'assetto della viabilità e dall'orografia. In base alle informazioni raccolte, la stazione in questione sarebbe rappresentativa delle concentrazioni di PM<sub>2.5</sub> misurate nelle ore diurne in un'area di 2 km e quindi adatta a descrivere in modo accettabile l'andamento del PM<sub>2.5</sub> in tutta l'area urbana. Tuttavia, per una valutazione completa della variabilità nel tempo sarebbe necessario ripetere il test in diverse condizioni atmosferiche. Si conclude esprimendo una valutazione positiva su questa prima applicazione del metodo sviluppato il quale potrebbe essere esteso ad altre aree.

 <b>Regione Lombardia</b>	Collaborative Research Project for Air Pollution Reduction in Lombardia (2006- 2010)	 <b>JRC</b> EUROPEAN COMMISSION
---	--	---

# **WP4**

## **Integrated Assessment**

## Assessment integrato di WP4

P. Thunis, P. Dilara

**L'obiettivo di WP4 e' stato quello di sviluppare e valutare vari scenari di emissione ed i corrispondenti effetti sui livelli di inquinamento atmosferico in Lombardia, al fine di supportare i processi legislativi che mirano ad ottimizzare le strategie di riduzione dell'inquinamento atmosferico in un modo economicamente efficace e solido. L'approccio adottato in WP4 e' stato basato su 1) la compilazione e lo screening dei dati disponibili per gli inventari e le proiezioni delle emissioni, 2) l'identificazione di potenziali lacune ed il riempimento di tali lacune dove possibile, 3) l'applicazione di diversi modelli Europei d'avanguardia per la qualita' dell'aria sulla pianura Padana e 4) lo sviluppo di un innovativo software integrato per l'assessment dei modelli calibrato per applicazioni su scala regionale come supporto alle Autorita' della regione Lombardia.**

**Questi aspetti sono evidenziati in questo sommario esecutivo.**

### **Inventari e scenari di emissione sulla pianura Padana.**

Uno dei principali obiettivi di questo WP e' stato quello di produrre inventari di emissione di alta qualita' sull'intero dominio della pianura Padana, disaggregato tramite un'allocatione spaziale su una griglia di 3x3 km<sup>2</sup>. Tali inventari di emissione erano necessari per una corretta assegnazione delle emissioni da utilizzare poi nei modelli atmosferici applicati nell'esercizio POMI (vedi sotto). Molto lavoro e' stato dedicato alla ricerca dei datasets piu' avanzati, riempiendo le lacune esistenti e facendo le assunzioni piu' appropriate. I dati utilizzati sono stati ricavati dal database regionale per le emissioni INEMAR, l'inventario nazionale per le emissioni (APAT), ed il database per gli inventari delle emissioni UNECE/EMEP. Priorita' e' stata data al piu' dettagliato database INEMAR e solo in presenza di lacune queste sono state colmate da uno o piu' databases aggregati (APAT e EMEP). L'intero processo, insieme con i controlli di qualita', e' stato automatizzato tramite un programma chiamato PEGASUS, che e' stato consegnato alla regione Lombardia alla conclusione del progetto. Studi particolari sono stati svolti su questioni relative ad emissioni con un'elevata incertezza, come per esempio il consumo di legna per uso domestico ed il contributo del piano per la raccolta dei rifiuti nella citta' di Milano. Infine e' stata compiuta un'analisi sui piani della qualita' dell'aria basata sui dettagliati inventari di emissione preparati per l'anno base e sono stati prodotti degli scenari emissivi per la massima riduzione tecnicamente fattibile e i piani per la qualita' dell'aria a livello regionale. Tutti questi scenari sono stati usati come input per i modelli dell'esercizio POMI.

### **POMI: esercizio di inter-confronto tra modelli per lo studio della qualita' dell'aria sulla pianura Padana.**

Il JRC ha organizzato e coordinato un esercizio di inter-confronto tra modelli sulla pianura Padana (POMI) al fine di studiare i cambiamenti della qualita' dell'aria in area



urbana così come viene predetta da diversi modelli atmosferici di dispersione in risposta a cambiamenti emissivi. POMI ha riguardato in particolare i livelli ambientali di ozono e di particolato atmosferico.

Poiché le stime relative all'impatto sulla salute richiedono informazioni sull'esposizione a lungo termine ai vari inquinanti, così come definito nelle direttive dell'Unione Europea, la metodologia adottata in POMI è stata basata su simulazioni a lungo termine con una risoluzione temporale oraria. Attraverso l'uso di una serie di modelli europei d'avanguardia, l'esercizio POMI ha permesso di arrivare ad alcune importanti conclusioni.

**Nonostante i continui miglioramenti, i modelli per la qualità dell'aria presentano ancora difficoltà nel catturare, sulla pianura Padana, i principali processi chimici.**

Nell'ambito del progetto POMI molta attenzione è stata posta da parte dei gruppi di modellistica alla raccolta e preparazione di dati di input di alta qualità (emissioni, dati di monitoraggio...). Nonostante questi sforzi e sebbene i modelli mostrino risultati relativamente buoni per quanto riguarda l'ozono, essi continuano ad avere difficoltà nel riprodurre i livelli di concentrazione di PM10 misurati sulla pianura Padana. Questa sottostima è particolarmente evidente durante la stagione invernale ed è dovuta principalmente alla sottostima delle frazioni coarse e organica del PM (come dedotto dalle misure effettuate presso il sito di Ispra). Un fattore chiave che spiega parzialmente questa sottostima è la meteorologia che, nonostante gli sforzi compiuti per migliorarla, non raggiunge standard di qualità sufficienti per le simulazioni di qualità dell'aria. Il problema principale riguarda la sovrastima della velocità del vento su tutta la pianura Padana ma anche altri fattori, come un bias sistematico di temperatura, possono influenzare i risultati. I tests effettuati utilizzando una tecnica di nudging con le osservazioni meteorologiche sono promettenti e complessivamente migliorano la qualità dei risultati.

**I modelli predicono che i livelli di PM10 si ridurrebbero dal 5% al 10% nel 2012 con la corrente legislazione e dal 15% al 20% se i nuovi Piani per la Qualità dell'Aria fossero applicati.**

Una transizione dalle condizioni del caso base nel 2005 al 2012 quando tutta l'attuale legislazione approvata sarà applicata (in riferimento a CLE) ridurrebbe la media annuale delle concentrazioni di PM10 dal 5% al 10% con i massimi impatti previsti su Piemonte, Trentino e Lombardia. Tuttavia le riduzioni relative sono molto vicine tra loro in queste tre regioni. Per quanto riguarda l'O<sub>3</sub>, si avrebbe un lieve aumento del 5%-10% dovuto agli abbattimenti delle emissioni di NO<sub>x</sub>.

Lo scenario emissivo "Piano per la Qualità dell'Aria del 2012" simula l'applicazione delle misure di abbattimento decise nel 2008 sulla base degli strumenti legislativi regionali allora esistenti. Le misure di abbattimento considerate al top di quelle già incluse nello scenario CLE influenzano soprattutto i settori del trasporto e dell'energia. Per il settore trasporto era stato previsto un piano di rinnovo molto ambizioso, che prevede la sostituzione dei veicoli pre-euro3 ed in taluni casi dei veicoli pre-Euro4 (per macchine diesel e a gasolio) con macchine di nuova generazione. Per il settore energia era stata assunta un'altrettanto importante



introduzione sul mercato di sistemi di generazione rinnovabili ed una migliore efficienza di edifici e dispositivi elettronici. Gli scenari AQP 2012 per altre regioni non sono stati considerati. L'applicazione dell'AQP 2012 condurrebbe ad una riduzione di circa il 15%-20% dei livelli medi annuali di PM10 mentre non ci sarebbe nessuno beneficio ulteriore in termini di concentrazioni medie di O3. Sebbene non ci sia alcun miglioramento per i livelli di concentrazione di O3, i modelli indicano una riduzione nel numero di giorni al di sopra della soglia di 120  $\mu\text{g m}^{-3}$  ma le risposte dei modelli per questi indicatori di soglia sono caratterizzate da un'alta variabilita'.

**I livelli di PM10 nella regione Lombardia hanno soprattutto origine locale (circa il 70%) mentre gli impatti di tipo inter-regionale e trans-frontaliero sono minimi.**

Se tutte le emissioni antropogeniche in Lombardia fossero spente, le concentrazioni annuali di PM10 si ridurrebbero dal 65% al 75%, in accordo con tutti i modelli di qualita' dell'aria partecipanti all'esercizio POMI. Le concentrazioni di PM10 si ridurrebbero anche nelle regioni confinanti dal 25% al 30% in Piemonte e Trentino. Alcuni tests di sensitivita' indicano anche che lo spegnimento di tutte le sorgenti emissive antropogeniche nella pianura Padana porterebbe ad una riduzione di circa il 95% delle concentrazioni di PM10 durante la stagione invernale.

**Mentre i modelli di qualita' dell'aria mostrano un'alta variabilita' in termini di livelli di PM10 e O3, le loro risposte relative agli scenari di emissione sono molto piu' consistenti.**

In POMI viene ipotizzato che il range delle risposte prodotte dai diversi modelli sia rappresentativo dell'incertezza dovuta alla nostra limitata conoscenza dei processi fisici e chimici considerati nei modelli di qualita' dell'aria. Come dato di fatto, tale incertezza rimane grande quando i modelli tendono a catturare e riprodurre la situazione attuale del 2005, soprattutto per il particolato atmosferico.

E' comunque interessante notare che i modelli mostrano risultati simili in termini di riduzioni medie in percentuale e questo resta vero per tutti gli scenari, sebbene alcuni modelli mostrino una piu' alta sensitivita' a particolari processi (per esempio la rappresentazione dei processi che coinvolgono i COV biogenici).

**E' necessaria una migliore rappresentazione della meteorologia al fine di aumentare la qualita' delle predizioni dei modelli sulla pianura Padana, ma anche altre questioni possono essere considerate rilevanti.**

E' necessario ancora un maggior sforzo al fine di migliorare la modellistica meteorologica sulla pianura Padana per poter ottenere un dataset di input sufficientemente dettagliato per i modelli di qualita' dell'aria. Le simulazioni effettuate con il modello meteorologico MM5 mostrano che la performance del modello migliora in modo evidente in termini di velocita' del vento quando viene incluso il nudging delle misure al suolo. Inoltre anche le performance dei modelli di qualita' dell'aria migliorano in termini di concentrazione di PM, specialmente in prossimita' delle aree urbane metropolitane. Il nudging delle osservazioni rappresenta percio' un passo importante per il miglioramento delle performance dei modelli.

L'aumento del numero delle stazioni di misura per il PM (e soprattutto PM<sub>2.5</sub>) aiuterà sicuramente ad identificare meglio in futuro le aree critiche. Anche un numero maggiore di siti per l'analisi di speciazione del particolato sarebbe estremamente utile. Le incertezze negli inventari di emissione, soprattutto quelle relative al consumo di legna sono molto alte e necessitano di essere studiate per migliorare il margine di confidenza nei risultati dei modelli.

**Per aiutare le autorità regionali, le informazioni sulle concentrazioni atmosferiche e sull'esposizione umana sono state unite, tramite l'uso di in una singola struttura, alle informazioni sul potenziale tecnologico e altre misure che possono essere usate per ridurre le concentrazioni degli inquinanti e i costi di abbattimento delle emissioni.**

Il software RIAT (Regional Integrated Assessment Tool) è stato sviluppato parallelamente ad altri strumenti internazionali già esistenti (RAINS, RAINS-Italy) per aiutare le autorità regionali a stimare i costi effettivi per le misure di abbattimento delle emissioni. RIAT è stato specificatamente pensato per trattare le specificità regionali dell'area della Lombardia e fornisce agli utenti una valida alternativa all'analisi di scenario, che richiede molto tempo.

Diversi modelli per l'Assessment Integrato (IAM) sono stati sviluppati su scala Europea nell'ambito di negoziazioni internazionali come il protocollo di Goteborg sotto la UN/ECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution. In tale contesto il modello IAM RAINS/GAINS dello IIASA è stato usato per calcolare modi efficienti dal punto di vista dei costi per ridurre le emissioni e soddisfare un ampio target EU per ben precisi indicatori di qualità dell'aria (per esempio acidificazione, aerosol troposferici, particolato primario e secondario). Questi modelli a scala Europea sono stati adattati per un uso nazionale al fine di affrontare gli impegni fissati dalla National Emission Ceiling directive (NECD) (per esempio RAINS-Italy sviluppato da ENEA e descritto in D'Elia et al., 2009). Questi modelli, che sono basati su un approccio simile a quelli su scala Europea, possono inoltre essere utilizzati per ottimizzare le riduzioni emissive regionali in un dato paese.

Una versione di RIAT calibrata per applicazioni locali e regionali è stata sviluppata per la Regione Lombardia con lo scopo di identificare le policy locali più efficienti al fine di ridurre l'ozono troposferico ed il particolato, in conformità con le leggi nazionali ed internazionali per la qualità dell'aria. Nello stesso tempo esso tiene conto delle specificità locali in termini di emissioni, meteorologia e costrizioni tecnologiche, finanziarie e sociali.

Successivamente all'ottimizzazione RIAT fornisce costi, emissioni ed impatti sull'ambiente. Il sistema offre all'utente la possibilità di esplorare soluzioni ottimizzate e fornisce, per ognuna di esse, una lista completa di misure che costituiscono una strategia di ottimizzazione (set di misure di abbattimento).