

IBE International Bus Expo

Le emissioni degli autobus: una panoramica generale

Roma, 12 dicembre 2013



Le emissioni degli autobus: una panoramica generale

INTRODUZIONE.....	2
LA NORMATIVA	3
GLI INQUINANTI NORMATI.....	3
I METODI DI MISURA.....	4
<i>European Stationary Cycle (ESC)</i>	5
<i>European Transient Cycle (ETC)</i>	7
<i>European Load Response (ELR)</i>	9
LE NORME.....	10
<i>La Direttiva 88/77/CEE: inizio del percorso</i>	10
<i>Direttiva 91/542/CEE: nasce la generazione Euro</i>	11
<i>Direttiva 96/1/CE: una norma di transizione</i>	11
<i>Direttiva 99/96/CE: nuovi limiti e nuovi test</i>	11
<i>Direttiva 2001/27/CE: nessuna nuova indicazione sui limiti di emissione</i>	13
<i>Direttiva 2005/55/CE: nuove disposizioni per i sistemi di controllo delle emissioni e dei sistemi diagnostici di bordo</i>	13
<i>Regolamento 595/2009/CE: la sesta generazione</i>	13
<i>Regolamento 582/2011/CE: armonizzazione dei cicli a livello mondiale</i>	14
L'ANDAMENTO DEI LIMITI DELLE EMISSIONI.....	15
LA TECNOLOGIA	19
I PRINCIPI BASE	19
INTERVENTI A VALLE DEL MOTORE	19
<i>Abbattimento del monossido di carbonio e degli idrocarburi incombusti: il catalizzatore ossidante DOC</i>	19
<i>Sistemi di abbattimento del particolato: i filtri FAP e DPF</i>	20
<i>Riduzione degli NO_x: il ricircolo dei gas di scarico</i>	21
<i>Riduzione degli NO_x: la riduzione selettiva catalitica</i>	22
LE EMISSIONI NELLA REALE CIRCOLAZIONE.....	23
L'IMPOSSIBILITÀ DELLA COMPARAZIONE	23
LE EMISSIONI DEI VEICOLI IN CIRCOLAZIONE	24
CONCLUSIONI.....	27

Introduzione

Con la redazione del Libro Bianco per i trasporti nel 2011 sono state definite le strategie e gli obiettivi da perseguire nel periodo temporale fino al 2050 nel campo dei trasporti, con lo scopo di fornire dei principi da seguire ed attuare nel prossimo macroperiodo. Uno di questi obiettivi è la riduzione progressiva delle emissioni di gas inquinanti prodotti, nell'ambito dei trasporti, dai veicoli, quantificata in una differenza del 60% rispetto al 1990.

Il motivo principale della definizione di questi obiettivi risiede nell'elevato contributo che il trasporto stradale porta all'inquinamento dell'atmosfera. Ad esempio, per quanto riguarda il particolato, la strada immette nell'aria il 17% del totale emesso da tutte le fonti antropiche. Per quanto riguarda altri inquinanti, come composti organici volatili non metanici e gli ossidi di azoto il contributo è ancora più rilevante: 25% per i primi e addirittura il 52% per i secondi.

Dal momento in cui una quota rilevante della totalità delle emissioni prodotte nel campo della mobilità è fornito dai mezzi pesanti che incidono, nell'ordine degli inquinanti appena riportati, per il 15%, 4% e 37% sul totale del trasporto stradale, e considerando che un reale sviluppo di motorizzazioni e veicoli a minor impatto ambientale si persegue solamente con la definizione di restrittivi e cogenti limiti di produzione di sostanze inquinanti, proprio alla fine degli anni ottanta, con l'obiettivo di iniziare un progressivo processo di riduzione delle emissioni, già dunque preventivato in precedenza rispetto al 2011, viene definito il primo gruppo di requisiti di emissione di gas inquinanti, il primo di una lunga serie, che si svilupperà attraverso il susseguirsi delle generazioni Euro, che raggiungeranno, a partire dal 2013, la sesta generazione.

Obiettivo del presente documento, di carattere puramente divulgativo, è fornire, principalmente, una panoramica generale sugli aspetti peculiari che caratterizzano le normative inerenti alle emissioni inquinanti dei veicoli pesanti, focalizzando l'attenzione, in particolare, sui contenuti di queste in termini di limiti di emissioni e scadenze temporali per il rispetto di questi.

Con l'obiettivo di comprendere meglio i contenuti delle normative verranno inoltre forniti gli elementi tecnici principali riguardanti gli inquinanti prodotti da un veicolo pesante, con particolare riferimento a quelli per i quali le normative hanno definito dei limiti, oltre alle prove standardizzate per la misurazione degli stessi.

Verranno anche illustrate le principali tecnologie sviluppate con lo scopo di rispettare i limiti imposti.

In ultimo verrà analizzata, con specifico riferimento al veicolo autobus, l'evoluzione nel tempo delle emissioni nella reale circolazione, rispetto ad ogni inquinante normato.

Essendo il veicolo autobus oggetto del presente documento, tutte le informazioni e nozioni fornite, se non diversamente specificato, saranno riferite a motori Diesel.

La normativa

Prerogativa dei testi normativi è quella di uniformare il processo di ecologizzazione dei veicoli a livello comunitario, motivo per cui la forma giuridica delle disposizioni è quella di regolamento comunitario o Direttiva.

Queste definiscono principalmente tre elementi:

- gli inquinanti sui quali sono applicati i limiti;
- i metodi di misura delle emissioni;
- il valore dei limiti.

Gli inquinanti normati

In generale un motore a combustione interna, che grazie alla combustione di un carburante produce energia meccanica, cioè riesce a mettere in moto delle parti meccaniche, ha come scarto dei gas, molti dei quali sono nocivi per l'ambiente e la salute umana. Per questi due ordini di motivi è nata l'esigenza di porre delle limitazioni alle quantità di questi gas fuoriuscenti dagli scarichi dei veicoli. Risulta però impossibile riuscire ad effettuare un controllo su ognuno di questi, a causa del loro elevato numero e del fatto che spesso sono interdipendenti fra loro. La normativa quindi contempla solamente la riduzione di alcuni, i più importanti in termini di quantità prodotte e di incidenza sulla salute umana e sull'ambiente.

Prima di iniziare ad esporre nel dettaglio l'ambito normativo e tecnico è bene chiarire quali siano gli inquinanti ai quali effettivamente le direttive pongono limitazioni e le cause che concorrono alla loro produzione. Una generica combustione, infatti, se effettuata in condizioni ideali produce come prodotti di scarto anidride carbonica, acqua e calore. In un motore però le condizioni sono ben lontane da essere quelle ideali. Le conseguenze sono appunto i gas inquinanti descritti qua sotto.

- **CO**: monossido di carbonio. Una delle motivazioni per cui questo elemento è presente nello scarico di un generico motore (benzina o Diesel), è che nel cilindro del motore, dove avviene la combustione della miscela aria-combustibile, non c'è sufficiente ossigeno affinché si formi l'anidride carbonica, CO_2 , la quale, come possiamo vedere dalla sua formula, possiede due atomi di ossigeno, uno in più rispetto al monossido di carbonio e quindi necessita di una maggiore quantità di ossigeno per formarsi. La formazione di questo inquinante è però rilevante in particolare nei motori a benzina, nei quali, in generale, si hanno più problemi di disponibilità di ossigeno;
- **NOx**: ossidi di azoto. Si formano perché l'ossigeno alle alte temperature si lega con l'azoto (N), presente nell'aria in una percentuale molto elevata (quasi l'80%). Il risultato di questa reazione non è una sola tipologia di elemento inquinante, ma più possibilità di questi, a seconda di quanti atomi di azoto e ossigeno si legano tra loro. Per questo motivo tale inquinante è indicato generalmente con il nome

“ossidi di azoto”, e la sua formula è generalizzata con il pedice x , avente lo scopo indicare la varietà di possibilità di sostanze che si possono formare durante la combustione.

Gli NO x costituiscono la principale emissione inquinante presente nei gas di scarico di un Diesel;

- *HC*: idrocarburi incombusti totali. Si formano principalmente a causa del fatto che non tutto il combustibile (che è un idrocarburo) riesce a bruciare in maniera corretta, non completando la reazione chimica e non trasformandosi in altri prodotti che non siano idrocarburi.

Le normative più recenti in particolare indicano tre tipologie di valori, una per i motori ad accensione spontanea, cioè diesel, le altre due per quelli ad accensione comandata, cioè a metano o gpl per i veicoli pesanti. Per i motori diesel viene infatti stabilito il valore degli idrocarburi totali (THC), per quelli ad accensione comandata viene stabilito invece il valore dei composti non metanici (NMHC) e del metano stesso (CH $_4$);

- *PM*: particolato. Con il termine globale «particolato» si indica l'insieme di particelle solide e liquide generate nel processo di combustione e portate in sospensione dai gas di scarico. Il particolato viene emesso durante il normale funzionamento di un motore a regime termico. Può essere classificato in base alle dimensioni delle particelle, ma il limite stabilito dalla normativa fa riferimento al particolato totale;

- *Fumo*: particelle sospese nella corrente di scarico di un motore ad accensione spontanea che assorbono, riflettono o rifrangono la luce.

Per quanto riguarda l'anidride carbonica (CO $_2$), non vi sono normative che ne limitano la produzione da parte dei veicoli, a causa del fatto che questa è inversamente proporzionale alla quantità di monossido di carbonio emesso. Infatti, a meno del combustibile consumato, un'auspicabile diminuzione del CO comporta obbligatoriamente un aumento della CO $_2$. Come già accennato, infatti, una delle cause che porta alla formazione di CO è la scarsità di ossigeno. Una delle soluzioni per diminuire questo gas inquinante è quella appunto di fornire una quantità maggiore di ossigeno, in modo tale che durante la combustione non si formi CO ma CO $_2$, risulta quindi estremamente problematico definire un limite per entrambi i gas.

È bene ricordare comunque che l'anidride carbonica è sì in determinate quantità molto nociva per l'ambiente (è il principale gas serra), ma sulla salute umana non ha implicazioni così importanti come quelle derivanti dall'inalazioni degli inquinanti appena descritti.

I metodi di misura

La quantificazione delle emissioni prodotte da un veicolo è una procedura piuttosto complessa, a causa del fatto che queste non sono costanti ma dipendono da una notevole serie di fattori, i cui più importanti sono:

- *Numero di giri del motore:* la velocità con la quale la combustione del carburante avviene all'interno del cilindro influenza molto le emissioni. Se il motore sta "girando piano" vorrà dire che in un medesimo arco di tempo (ad es. un minuto) il numero di combustioni sarà inferiore rispetto al caso in cui il motore "gira veloce". Dato che la combustione non è altro che una reazione chimica tra il combustibile e l'aria che viene introdotta nel cilindro, il tempo in cui essa avviene (stiamo parlando di frazioni di secondo) influenza i prodotti finali della reazione, tra cui troviamo i gas considerati inquinanti;
- *Carico a cui il motore è sottoposto:* inteso come lo sforzo che il motore deve effettuare. Maggiore è lo sforzo necessario, maggiore sarà la potenza da erogare e quindi il combustibile da iniettare dentro i cilindri del motore. In linea teorica dovrebbe aumentare proporzionalmente anche il comburente, cioè l'aria necessaria alla combustione. In pratica non si riesce sempre a far variare i reagenti in modo così correttamente proporzionale e quindi di conseguenza al variare della potenza espressa dal motore cambiano anche le emissioni.

A livello pratico, queste due variabili si riflettono sulle emissioni nella misura in cui durante la circolazione la velocità del motore e la potenza richiesta a questo variano in continuazione a causa della totale aleatorietà nelle caratteristiche di circolazione dell'autobus (velocità, pendenze, accelerazioni, peso variabile, ecc.). Diviene quindi impossibile affermare con certezza quali siano le caratteristiche di emissione di un mezzo perché, appunto, variabili da situazione a situazione.

Per poter confrontare dunque i residui gassosi di un veicolo con quelli imposti dalla normativa sono state standardizzate, a partire dalla terza generazione, delle prove, il cui principio risiede nel far variare, secondo valori fissati, la velocità del motore dello specifico autobus ed il carico (quindi lo sforzo e la potenza) al quale questo è sottoposto.

I valori di emissioni risultanti per autobus sottoposti alla medesima prova saranno confrontabili, sia fra loro che con i limiti indicati nella normativa, proprio perché derivanti dalle stesse condizioni di prova.

Risulta dunque opportuno a questo punto andare ad analizzare brevemente quali siano le caratteristiche delle principali prove.

European Stationary Cycle (ESC)

Questo tipo di prova ha come obiettivo il calcolo delle emissioni dei veicoli pesanti alimentati con diesel. Il test consiste nel far lavorare il motore a tre velocità differenti (velocità A,B,C) ognuna per un certo periodo di tempo, durante il quale viene richiesto al motore un carico, e quindi una potenza costante. Il test si compone di 13 differenti combinazioni di velocità e carichi, come indicato in Tabella 1 e Figura 1.

Modalità numero	Regime motore	Carico percentuale	Fattore di ponderazione	Durata della modalità
1	Minimo	-	0,15	4 minuti
2	A	100	0,08	2 minuti
3	B	50	0,10	2 minuti
4	B	75	0,10	2 minuti
5	A	50	0,05	2 minuti
6	A	75	0,05	2 minuti
7	A	25	0,05	2 minuti
8	B	100	0,09	2 minuti
9	B	25	0,10	2 minuti
10	C	100	0,08	2 minuti
11	C	25	0,05	2 minuti
12	C	75	0,05	2 minuti
13	C	50	0,05	2 minuti

Tabella 1 Sequenza ESC test

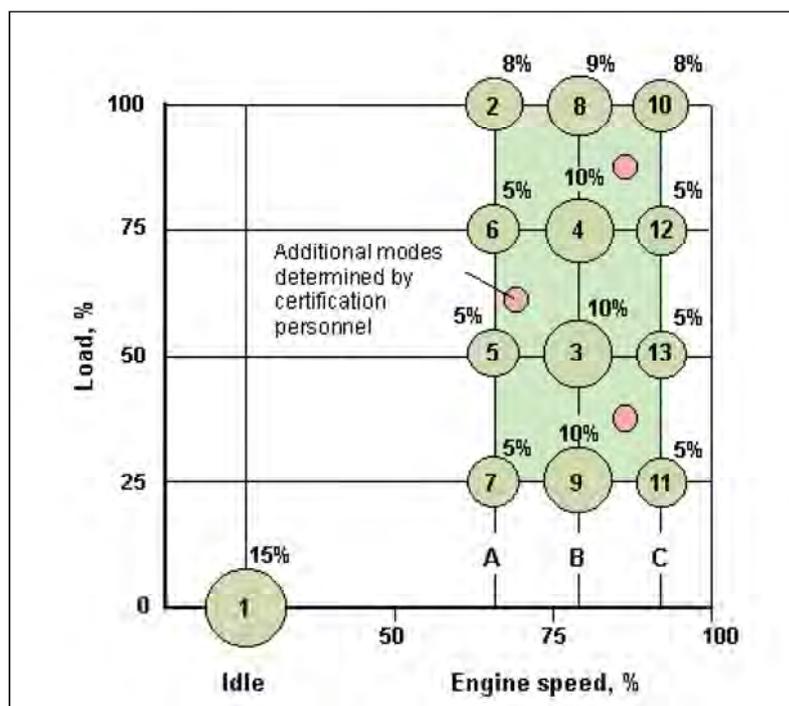


Figura 1 Rappresentazione grafica sequenza ESC test

Per il calcolo delle tre velocità necessarie (A,B,C) si procede come segue:

- Si definisce un alto regime (o velocità) del motore η_{hi} come la più alta velocità del motore alla quale lo stesso eroga il 70% della massima potenza;

- Si definisce un basso regime (o velocità) del motore η_{lo} come la più bassa velocità del motore alla quale lo stesso esprime il 50% della sua massima potenza;
- Si definiscono le velocità A,B,C:
 - $A = \eta_{lo} + 0,25(\eta_{hi} - \eta_{lo})$;
 - $B = \eta_{lo} + 0,50(\eta_{hi} - \eta_{lo})$;
 - $C = \eta_{lo} + 0,75(\eta_{hi} - \eta_{lo})$;

European Transient Cycle (ETC)

A questa tipologia di prova, in aggiunta alla prova ESC, devono essere sottoposti i motori Diesel provvisti di sistemi avanzati post trattamento (come catalizzatori deNO_x e/o trappole antiparticolato il cui principio di funzionamento verrà illustrato più avanti), oltre ai motori a gas, per i quali tale test è invece l'unico utile per la misurazione delle loro emissioni.

La prova differisce in modo sostanziale dalla ESC; infatti, mentre questa è caratterizzata dall'alternarsi di periodi all'interno dei quali la velocità di rotazione del motore e la potenza a questo richiesto rimangono costanti (dai cui il nome Stationary Cycle), la peculiarità della ETC è di essere eseguita facendo variare (Transient) in maniera continuativa le due grandezze in gioco. Questo approccio permette di rappresentare tre differenti condizioni di guida, ognuna della durata di 600 secondi:

- *prima condizione*: rappresenta un stile di guida urbano, con velocità massime di 50 km/h, frequenti fermate, accelerazioni e periodi a regime di rotazione del motore minimo;
- *seconda condizione*: rappresenta uno stile di guida extraurbano, con bruschi momenti di accelerazione. La velocità media è di 72 km/h;
- *terza parte*: rappresenta uno stile di guida tipico di autostrade o strade assimilabili a queste. La velocità media è di 88 km/h.

Il test ha due varianti: considerando la velocità del veicolo oppure quella del motore (che ricordiamo non avere lo stesso andamento a causa della presenza del cambio e delle marce). In Figura 2 l'andamento delle velocità del veicolo, in Figura 3 quella del motore e in Figura 4 l'andamento del carico richiesto.

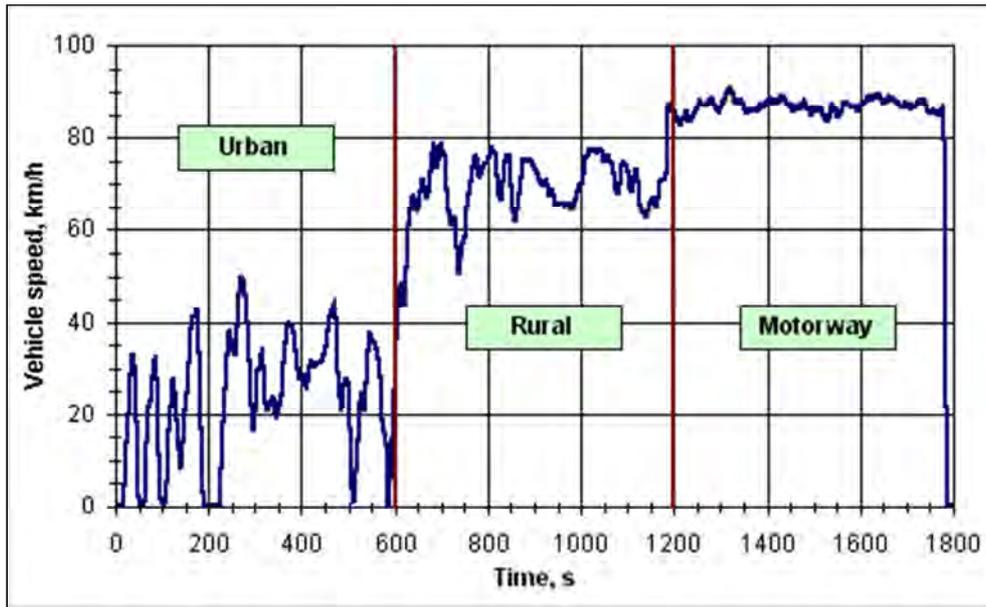


Figura 2 Andamento della velocità del veicolo

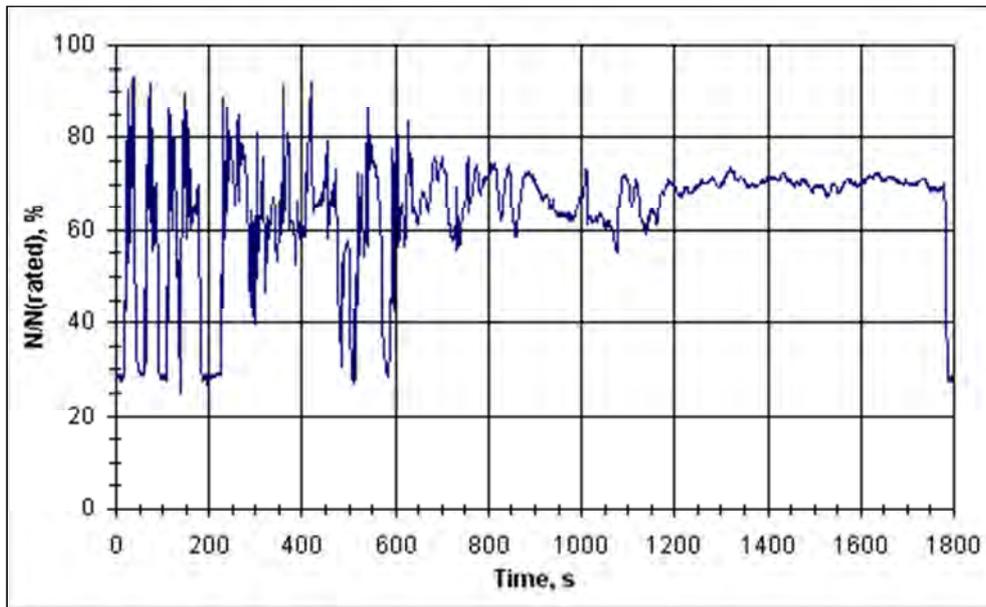


Figura 3 Andamento della velocità del motore

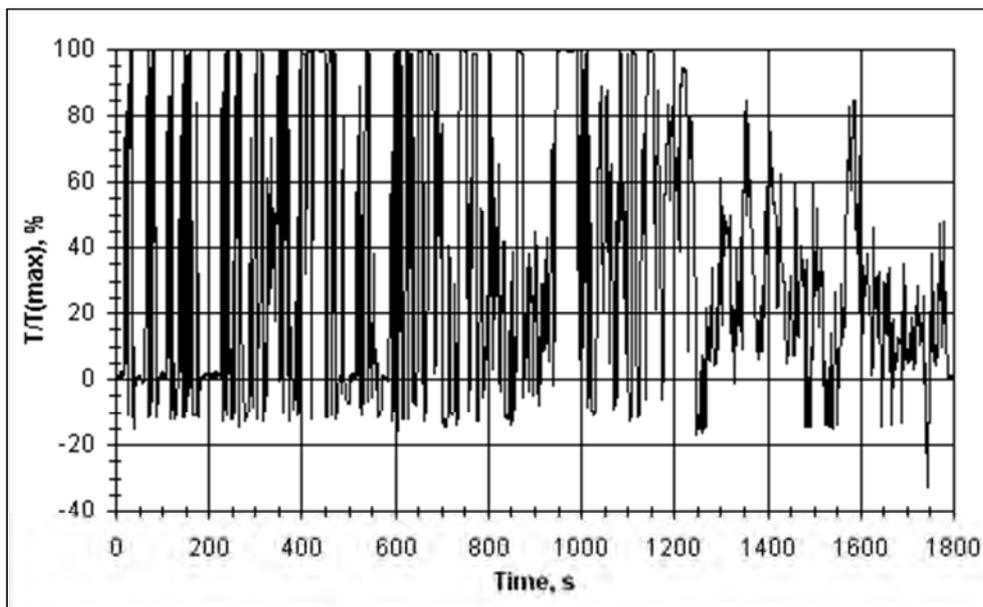


Figura 4 Andamento dello sforzo richiesto al motore

European Load Response (ELR)

Questo tipo di prova ha come scopo la misurazione dell'opacità del fumo emesso dai veicoli. Introdotta insieme all'ESC test, consiste in una sequenza di tre livelli di carico ognuno ripetuto a tre velocità differenti del motore: A (ciclo 1), B (ciclo 2) e C (ciclo 3), seguiti da un quarto ciclo con velocità compresa tra A e C e carico compreso tra il 10% e il 100%, a discrezione dell'ente certificatore. Le velocità sono le medesime calcolate per il test ESC.

In Figura 5 l'andamento della velocità e dei livelli di carico.

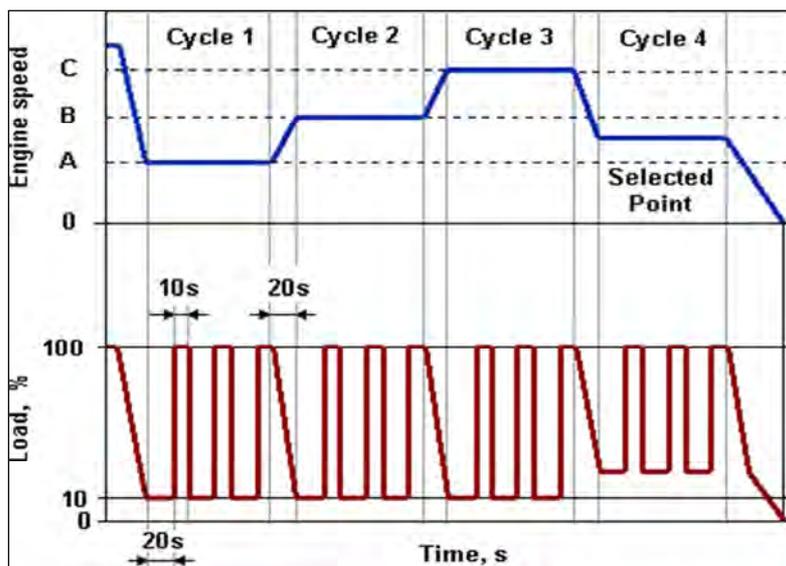


Figura 5 ELR test

I valori sono misurati con una frequenza minima di 20 Hz, in un secondo quindi, devono essere presi almeno 20 valori. Per il calcolo del valore finale del test, cioè dell'opacità del fumo, vengono utilizzati i dati rilevati nel test ai quali vengono applicati degli specifici metodi matematici.

Come precedentemente accennato, tali prove sono state definite nella direttiva che stabiliva i limiti per la terza generazione Euro. Nelle norme precedenti, per quanto concerne i veicoli Diesel, era definito un test molto simile all'ESC, ma con durate degli step di carico e dei loro livelli diverse.

I motori a gas non erano invece contemplati, e quindi non erano previste neanche prove utili alla misurazione delle loro emissioni.

Le norme

Forniti gli elementi generali per comprendere le normative, quali inquinanti contemplati dalle stesse e prove necessarie alla loro misurazione, si può passare ad illustrare il percorso storico-cronologico che ha portato alla definizione della sesta generazione Euro.

La Direttiva 88/77/CEE: inizio del percorso

La prima norma che ha iniziato a porre dei limiti alle emissioni inquinanti dei veicoli è la Dir. 88/77/CEE del 3 dicembre 1987, che regolamentava l'emissione di gas inquinanti prodotti da motori ad accensione spontanea (quindi alimentati con diesel) rivolta ai veicoli con velocità massima di progetto superiore ai 25 km/h, ad esclusione di quelli di categoria M1 (le auto).

La direttiva, come poi tutte quelle che l'hanno succeduta, individuava due fasi di attuazione. La prima, avente nello specifico come termine ultimo il 1° luglio 1988, riguardava l'omologazione e lasciava la possibilità allo stato membro di rifiutarla per quei motori o veicoli che non rispettassero i limiti indicati dalla norma. La seconda fase invece, avente nello specifico come termine ultimo il 1° ottobre 1990, dava le stesse indicazioni, ma riguardava l'immatricolazione, la vendita e la circolazione di nuovi motori o nuovi veicoli.

La direttiva stabiliva limiti solamente a: ossido di carbonio (CO), idrocarburi (HC), ossidi di azoto (NO_x), i cui valori massimi ammessi sono riportati in Tabella 2.

CO (mg/kWh)	HC (mg/kWh)	NO _x (mg/kWh)
11,2	2,4	14,4

Tabella 2 Valori limite Dir. 88/77/CEE

La prova di misurazione dei gas era molto simile alla ESC descritta in precedenza (prevedeva infatti 13 step di carico), perché avente come obiettivo quello di rappresentare le condizioni europee per i veicoli in questione, ma differiva da questa per la percentuale del valore degli step di carico e della loro durata.

Direttiva 91/542/CEE: nasce la generazione Euro

In data 1° ottobre 1991 fu emanata una direttiva, la 91/542/CEE, avente lo scopo di modificare la 88/77/CEE. Le variazioni più importanti apportate sono state la modifica dei limiti di emissione e l'introduzione del limite per il particolato, che non era contemplato nella direttiva precedente.

È la direttiva che dà il via alla genealogia delle generazioni Euro, definendo, in particolare, la prima e la seconda.

Nell'ottica di abbattere le emissioni inquinanti dei veicoli in maniera progressiva, vengono definiti due limiti per ciascun inquinante: con riferimento alla vendita, la messa in circolazione e l'utilizzazione di veicoli nuovi, la data di entrata in vigore del primo limite (Euro I) fu fissata al 1° ottobre 1993, quella del secondo (Euro II) fu fissata al 1° ottobre 1996. In Tabella 3 i limiti.

	CO (mg/kWh)	HC (mg/kWh)	NO_x (mg/kWh)	PM (mg/kWh)
Euro I	4,5	1,1	8,0	0,36
Euro II	4,0	1,1	7,0	0,15

Tabella 3 Limiti di emissione Euro I e II

La direttiva, inoltre, rispetto alla precedente, non lascia la possibilità di non accettare veicoli che non rispettino i limiti suddetti, ma lo vieta.

Direttiva 96/1/CE: una norma di transizione

Tale direttiva, emanata il 22 gennaio 1996, ha modificato ulteriormente la 88/77/CEE. Le modifiche sostanziali però, non hanno riguardato i limiti di emissioni, quanto piuttosto le procedure di accertamento della conformità della produzione industriale di veicoli alle norme.

Tale procedura, inserita già nella 88/77/CEE, è stata aggiornata con la 96/1/CE per tenere conto dei miglioramenti tecnologici nel campo di questo tipo di controlli.

Direttiva 99/96/CE: nuovi limiti e nuovi test

Questa direttiva è di rilevante importanza nel processo di implementazione di veicoli a basse emissioni, in particolare per quattro ordini di motivi:

- definisce tre generazioni Euro (III, IV, V) oltre ad un'altra categoria ulteriormente restrittiva, la EEV, *veicolo ecologico migliorato*, che stabilisce limiti facoltativi;
- definisce tre cicli di prova per la misurazione delle emissioni, ESC, ELR, ETC, precedentemente descritte. Vengono così stabiliti due limiti per ogni inquinante, uno riferito alla misurazione con le prove ESC e ELR (prova che misura il solo fumo), l'altro riferito alla misurazione con il test ETC;

- viene imposto un limite per un nuovo elemento, il fumo, cioè le particelle sospese nella corrente di scarico di un motore diesel che assorbono, riflettono o rifrangono la luce;
- viene resa obbligatoria l'installazione di sistemi diagnostici di bordo (OBD) o di sistemi di misurazione di bordo (OBM) necessari per il controllo delle emissioni gassose in condizioni di esercizio.

Per quanto riguarda i limiti vengono stabiliti, come nelle direttive precedenti, per nuovi motori o nuovi veicoli, due step di entrata in vigore della norma: il primo riferito all'omologazione, il secondo all'immatricolazione, vendita, immissione in circolazione e utilizzazione. Di seguito i termini delle fasi di implementazione dei limiti ed i limiti stessi. È doveroso far notare che non è possibile effettuare un confronto diretto con i valori definiti dalla 88/77/CEE ne tantomeno con le generazioni Euro I ed Euro II a causa del fatto che le prove per la misurazione sono diverse.

- *Euro III*: la data ultima per il primo step è definita al 1° ottobre 2000, quella per il secondo al 1° ottobre 2001. In Tabella 4 i limiti Euro III.

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	Fumo (m ⁻¹)
ESC, ELR	2,1	0,66		5,0	0,10	0,8
ETC	5,45	0,78*	1,6**	5,0	0,16	/

* = idrocarburi non metanici (NMHC) ** = metano (CH₄)

Tabella 4 Limiti di emissione Euro III, cicli ESC, ELR, ETC

- *Euro IV*: la data ultima per il primo step è definita al 1° ottobre 2005, quella per il secondo al 1° ottobre 2006. In Tabella 5 i limiti Euro IV.

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	Fumo (m ⁻¹)
ESC, ELR	1,5	0,46		3,5	0,02	0,5
ETC	4,0	0,55*	1,1**	3,5	0,03	/

* = idrocarburi non metanici (NMHC) ** = metano (CH₄)

Tabella 5 Limiti di emissione Euro IV, cicli ESC, ELR, ETC

- *Euro V*: la data ultima per il primo step è definita al 1° ottobre 2008, quella per il secondo al 1° ottobre 2009. In Tabella 6 i limiti Euro V.

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	Fumo (m ⁻¹)
ESC, ELR	1,5	0,46		2,0	0,02	0,5
ETC	4,0	0,55*	1,1**	2,0	0,03	/

* = idrocarburi non metanici (NMHC) ** = metano (CH₄)

Tabella 6 Limiti di emissione Euro V, cicli ESC, ELR, ETC

- *EEV, veicolo ecologico migliorato*: definisce una categoria ancora più restrittiva delle precedenti, il cui rispetto dei limiti è però facoltativo. In Tabella 7 i valori EEV.

	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	Fumo (m ⁻¹)
ESC, ELR	1,5	0,25		2,0	0,02	0,15
ETC	3,0	0,40*	0,65**	2,0	0,02	/

* = idrocarburi non metanici (NMHC) ** = metano (CH₄)

Tabella 7 I limiti di emissione EEV, cili ESC, ELR, ETC

Direttiva 2001/27/CE: nessuna nuova indicazione sui limiti di emissione

Tale direttiva non impone variazioni per quanto riguarda i livelli di emissione. Le modifiche più importanti alla 88/77/CEE riguardano esclusivamente il processo di omologazione dei veicoli.

Direttiva 2005/55/CE: nuove disposizioni per i sistemi di controllo delle emissioni e dei sistemi diagnostici di bordo

Tale direttiva introduce dei limiti di durabilità (espressa in km o in anni) per i sistemi di controllo delle emissioni, fra i quali compare, ad es., il limite di 500 000 km o sette anni per i veicoli M₃ di categoria III (veicoli destinati al trasporto di persone, aventi più di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima superiore a 5 t, adibito alla solo trasporto di persone sedute).

Per quanto riguarda i sistemi diagnostici di bordo (OBD) vengono stabiliti i valori di emissione superati i quali il sistema OBD deve segnalare il guasto di un sistema di controllo delle emissioni (sistema deNO_x, filtro antiparticolato o combinazione dei due, tecnologie il cui funzionamento verrà spiegato nel capitolo successivo).

La direttiva inoltre abroga tutte le normative precedentemente descritte.

Regolamento 595/2009/CE: la sesta generazione

La definizione dei limiti di emissioni di VI generazione è stata prevista con il regolamento CE n. 595/2009 del 18 giugno 2009 (e modificato dal Reg. 581/2011/CE), che introduce la sesta generazione. La data ultima per il primo step, quindi l'omologazione, è fissata al 1° gennaio 2013, quella del secondo, quindi l'immatricolazione, vendita e messa in circolazione, al 1° gennaio 2014.

Una novità importante che viene prevista dal 595/2009 è l'adeguamento dei cicli di prova stazionaria e transitoria ad una visione più globale, con l'obiettivo di rappresentare con questi non solamente le condizioni di circolazione europee (da cui il nome European Stationary Cycle e European Transient Cycle), ma piuttosto anche la circolazione in altri paesi, quali Canada, Stati Uniti e Giappone. Il nome dei cicli viene dunque modificato in *World Harmonized Stationary Cycle (WHSC)* e *World Harmonized Transient Cycle (WHTC)*.

Da sottolineare che il 595/2009 fornisce limiti di emissioni misurabili con le vecchie ESC ed ETC, annunciando il previsto aggiornamento dei valori una volta stabilito un fattore di correlazione fra i cicli di prova europei e mondiali.

Altra novità è l'inserimento, tra gli inquinanti, dell'ammoniaca.

I valori limite di emissioni definiti dal regolamento 595, quindi riferiti ai cicli europei, sono riportati in Tabella 8.

	CO (g/kWh)	THC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	NH ₃ (ppm)	PM (g/kWh)	Numero di particelle di fumo (#/kWh)
ESC (CI)	1,5	0,13		0,40	10	0,01	/
ETC (CI)	4,0	0,16		0,40	10	0,01	/
ETC (PI)	4,0	0,16*	0,5**	0,40	10	0,01	/

* = idrocarburi non metanici (NMHC) ** = metano (CH₄)

PI = accensione comandata (Positive Ignition), CI = accensione spontanea (Compression Ignition)

Tabella 8 Limiti di emissioni Euro VI, cicli ESC, ELR, ETC

Regolamento 582/2011/CE: armonizzazione dei cicli a livello mondiale

La norma che ha previsto la correlazione tra i cicli europei e quelli mondiali è il regolamento 582/CE. Il testo, con riferimento ai limiti, ne riporta semplicemente i nuovi valori.

	CO (g/kWh)	THC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	NH ₃ (ppm)	PM (g/kWh)	Numero di particelle di fumo (#/kWh)
WHSC (CI)	1,5	0,13		0,40	10	0,01	8 x 10 ¹¹
WHTC (CI)	4,0	0,16		0,46	10	0,01	6 x 10 ¹¹
WHTC (PI)	4,0	0,16*	0,5**	0,46	10	0,01	

* = idrocarburi non metanici (NMHC) ** = metano (CH₄)

PI = accensione comandata (Positive Ignition), CI = accensione spontanea (Compression Ignition)

Tabella 9 Limiti di emissioni Euro VI, cicli WHSC, WHTC

Come si può osservare, le uniche differenze che si hanno in termini di limiti fra le due tipologie di cicli sono sugli ossidi di azoto (NO_x) e sull'introduzione dei valori per il fumo.

Per una miglior chiarezza espositiva, si riporta sinteticamente in Tabella 10 quanto illustrato sino ad ora.

Direttiva	Euro	Tipo test	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)		NO _x (g/kWh)	PM (g/kWh)	NH ₃ (ppm)	Fumo (m ⁻¹)	Step 1	Step 2
88/77/CEE	/	/	11,2	2,4		14,4		/	/	1/7/88	1/10/90
91/542/CEE	I	/	4,5	1,1		8,0	0,36	/	/	1/7/92	1/10/93
	II	/	4,0	1,1		7,0	0,15	/	/	1/10/95	1/10/96
99/96/CE:	III	ESC, ELR	2,1	0,66		5,0	0,10	/	0,8	1/10/00	1/10/01
		ETC	5,45	0,78*	1,6**	5,0	0,16	/	/		
	IV	ESC, ELR	1,5	0,46		3,5	0,02	/	0,5	1/10/05	1/10/06
		ETC	4,0	0,55*	1,1**	3,5	0,03	/	/		
	V	ESC, ELR	1,5	0,46		2,0	0,02	/	0,5	1/10/08	1/10/09
		ETC	4,0	0,55*	1,1**	2,0	0,03	/	/		
	EEV	ESC, ELR	1,5	0,25		2,0	0,02	/	0,15		
		ETC	3,0	0,40*	0,65**	2,0	0,02	/	/		
595/05/CE	VI	ESC (CI)	1,5	0,13		0,40	0,01	10	/	1/1/13	1/1/14
		ETC (CI)	4,0	0,16		0,40	0,01	10	/		
		ETC (PI)	4,0	0,16*	0,5**	0,40	0,01	10	/		
582/05/CE	VI	WHSC (CI)	1,5	0,13		0,40	0,01	10	8x10 ¹¹ #	1/1/13	1/1/14
		WHTC (CI)	4,0	0,16		0,46	0,01	10	6x10 ¹¹ #		
		WHSC (PI)	4,0	0,16*	0,5**	0,46	0,01	10	/		

* = idrocarburi non metanici (NMHC), ** = metano (CH₄), # = misurato in numero di particelle
PI = accensione comandata (Positive Ignition,) CI = accensione spontanea (Compression Ignition)

Tabella 10 Tabella riassuntiva

L'andamento dei limiti delle emissioni

Per una visione chiara dell'andamento dei limiti rispetto alle normative negli anni succedutesi si riporta l'andamento grafico di questi, per ogni inquinante normato.

A causa del fatto che i test fino alla normativa per gli Euro II differiscono da quelli delle normative successive, il confronto è solo dagli Euro III in poi.

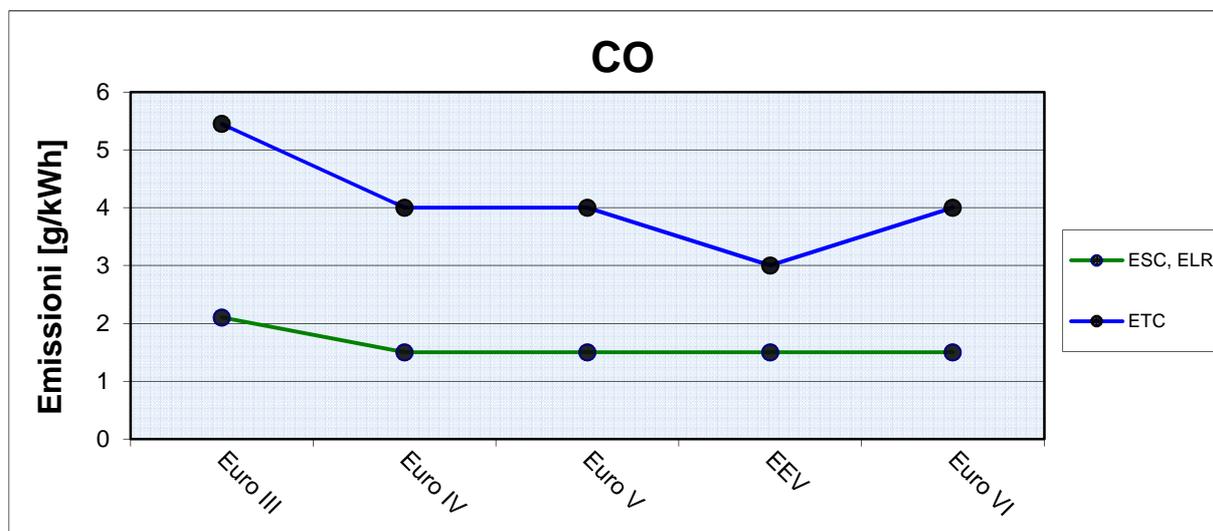


Figura 6 Limiti di emissione di monossido di carbonio

In merito alle emissioni di ossido di carbonio le ultime norme non hanno puntato ad una riduzione sostanziale di queste. Addirittura, per quanto riguarda i cicli ESC ed ELR si ha un aumento del limite per gli Euro VI rispetto ai valori EEV (che ricordiamo non essere cogenti). Per quanto riguarda il ciclo ETC si ha invece che, a parte nel passaggio tra Euro III ed Euro IV, il valore non ha subito ulteriori modifiche.

Uno dei possibili motivi di tale sostanziale invarianza risiede nel fatto che limiti abbastanza stringenti erano stati posti nelle prime norme (88/77/CEE, Euro I ed Euro II).

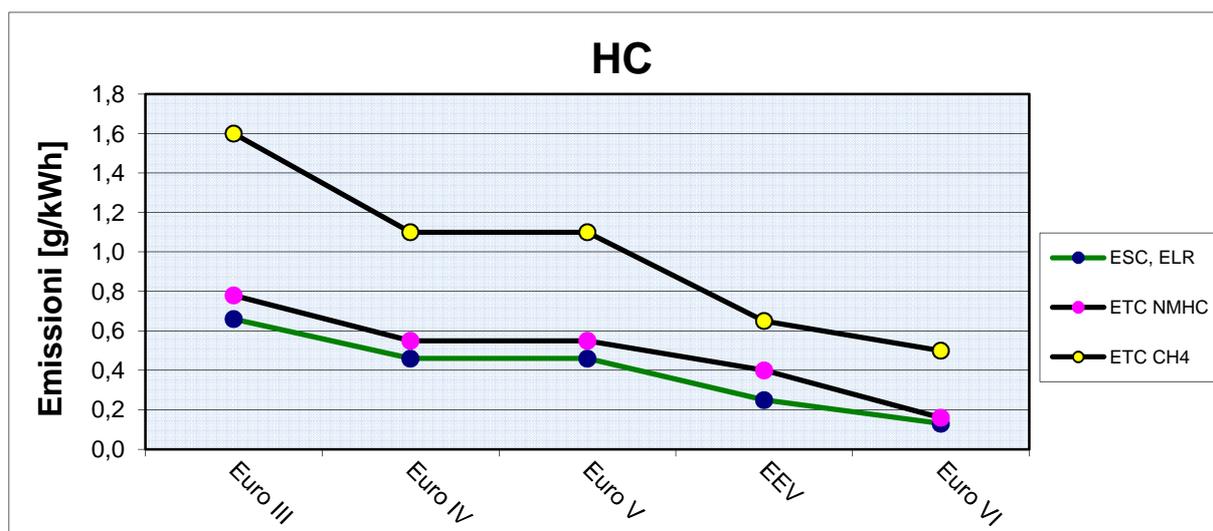


Figura 7 Limiti di emissione di idrocarburi incombusti

Discorso diverso invece riguarda invece gli idrocarburi incombusti. Per ogni tipo di ciclo, compreso l'ETC riguardante il metano, ad esclusione del passaggio tra Euro IV ed Euro V, si ha una diminuzione progressiva delle emissioni di HC.

Da notare come la diminuzione sia stata graduale: non vi è stato mai, infatti, un drastico provvedimento volto a diminuire gli HC; la politica seguita è stata quella di una riduzione passo dopo passo.

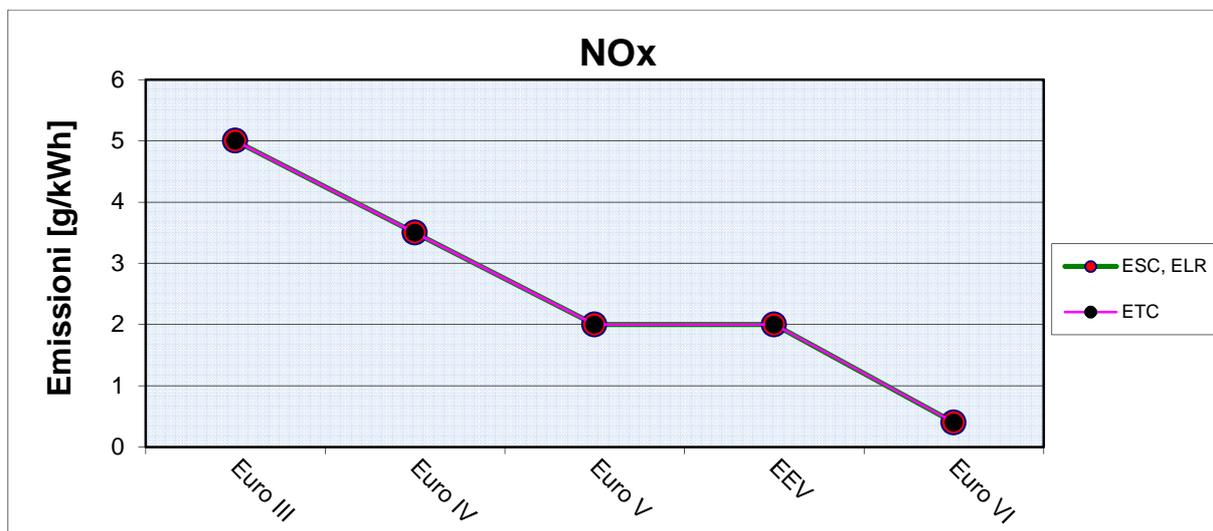


Figura 8 Limiti di emissione di ossidi di azoto

Medesimo discorso vale per gli ossidi di azoto: la decrescita, ad esclusione del passaggio da Euro V ad EEV, è stata graduale, a tal punto di diminuire il limite all'incirca di un 1,5 g/kWh ad ogni norma succedutasi.

Da notare come i valori coincidano per ogni tipologia di ciclo, fatto che comporta la sovrapposizione delle linee nel grafico.

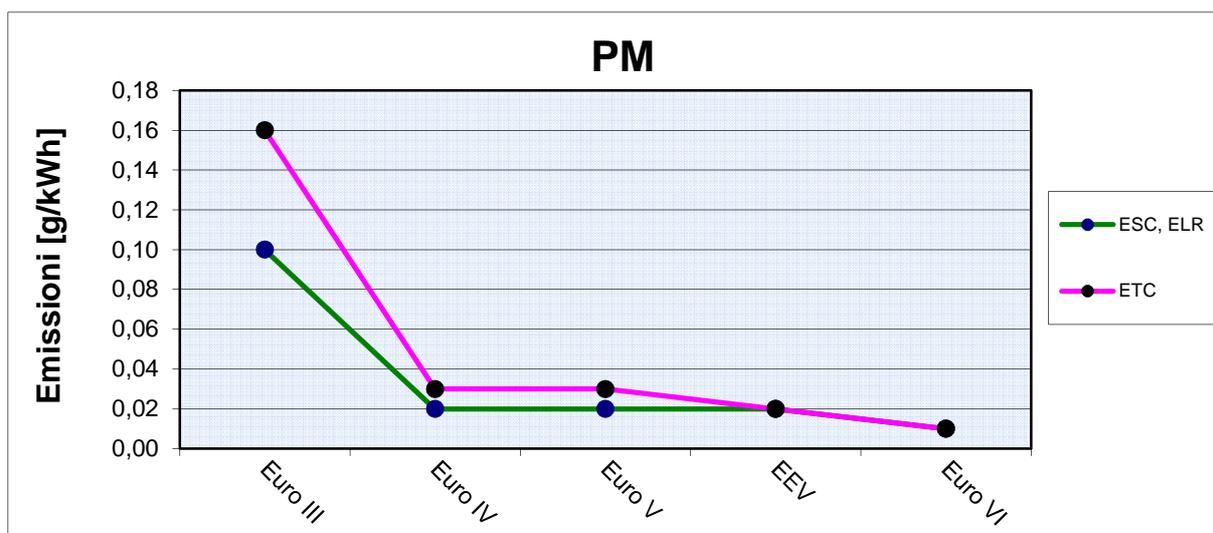


Figura 9 Limiti di emissione di particolato

Se per gli idrocarburi e gli ossidi di azoto la filosofia è stata quella di prevedere una riduzione progressiva dei valori, per il particolato è stata adottata una strategia tendenzialmente opposta. Nel passaggio da Euro III ad Euro IV è stato richiesto infatti un drastico taglio della produzione di particolato, i cui valori si sono poi assestati a valori costanti o comunque poco inferiori nel susseguirsi delle norme.

In generale, comunque, ogni normativa ha avuto come scopo quello di abbattere un inquinante in particolare. Come si può evincere infatti dai grafici appena riportati e dalla Tabella 10 non si hanno mai avute norme che imponevano sostanziali diminuzioni contemporanee di tutti gli inquinanti.

Questo, come sarà illustrato nel prossimo capitolo, dipende sostanzialmente dal fatto che per il taglio di ogni inquinante è necessario un particolare dispositivo, che deve essere sviluppato e previsto sul veicolo. La difficoltà dello sviluppo contemporaneo di più dispositivi, unita con buona probabilità al cercare di non far lievitare i costi dei nuovi modelli dei veicoli stessi, hanno portato quindi a seguire la politica di abbattimento mirato e non generalizzato delle emissioni con le singole norme.

La tecnologia

Come emerso nel capitolo precedente la successione delle normative ha abbassato sempre di più i valori dei limiti di emissione. Risulta utile, quindi, andare a capire quali sono state e sono le possibili soluzioni da adottare per raggiungere gli obiettivi imposti dalle direttive e regolamenti comunitari.

I principi base

Come già illustrato, i gas inquinanti si formano prevalentemente nel motore del veicolo a causa di problemi che si verificano durante la fase di combustione. Inevitabilmente, quindi, la loro diminuzione dovrà passare da un miglioramento di questa.

Negli anni, in tal senso, sono stati fatti enormi progressi. Lo sviluppo dell'elettronica, in particolare, ha permesso di migliorare in maniera sostanziale la regolazione delle quantità di combustibile e comburente (l'aria) necessarie a sviluppare all'interno del cilindro del motore una combustione sempre più vicina a quella ideale.

Agire esclusivamente "a monte" non è però sufficiente. Per quanto infatti siano stati fatti considerevoli passi avanti e i gas inquinanti in uscita dal cilindro siano notevolmente diminuiti, la quota parte di questi sul totale dei gas prodotti durante il lavoro del motore è ancora troppo elevata.

Le principali tecniche attualmente in ausilio alla regolazione diretta sul motore sono di tipo "a valle", che prevedono cioè l'azione direttamente sui gas usciti dal motore stesso. I dispositivi che svolgono questo tipo di azioni sono quindi collocati tra l'uscita del motore e la fine dello scarico, per intercettare i gas prima che si disperdano nell'ambiente.

A causa però dell'elevato numero di sostanze tossiche e della diversa loro natura, non esiste un'univoca soluzione che permetta di risolvere, o comunque, di alleggerire tutti i problemi, ma piuttosto un insieme di queste, specifiche per ogni inquinante.

Nei prossimi paragrafi verranno descritti gli elementi principali di tali tecniche, tutte quante agenti a valle del motore.

Interventi a valle del motore

Gli interventi principali a valle per i motori sono: il catalizzatore ossidante DOC per la diminuzione del monossido di carbonio e degli idrocarburi incombusti, i filtri FAP e DPF per l'abbattimento del particolato, il ricircolo dei gas di scarico e la riduzione catalitica selettiva per la diminuzione degli NO_x.

Abbattimento del monossido di carbonio e degli idrocarburi incombusti: il catalizzatore ossidante DOC

Un sistema efficace per la diminuzione del monossido di carbonio e degli idrocarburi incombusti risulta essere il catalizzatore ossidante DOC (Diesel Oxydation Catalist), che permette l'ossidazione, a seconda del tipo di motore, dal 30% all'80% delle emissioni gassose di HC e dal 40% al 90% di CO. Queste infatti, all'interno del catalizzatore, vengono ossidate andando a formare anidride carbonica, acqua e calore.

Sistemi di abbattimento del particolato: i filtri FAP e DPF

La diminuzione del particolato nei gas uscenti dal veicolo viene effettuata tramite un filtro meccanico, costituito da una serie di canali sulle cui superfici viene intrappolato il particolato (in stato solido), mentre i gas di scarico ne attraversano le pareti porose.

Il problema maggiore di questo tipo di soluzione è che richiede una frequente pulizia del filtro, il cui processo per realizzarla viene detto rigenerazione, che consiste semplicemente nel portare a combustione le sostanze che si sono accumulate nel filtro stesso. La distanza tra una rigenerazione e la successiva dipende dalle condizioni di funzionamento e di uso del veicolo/motore. In base alla tecnica con la quale viene effettuata la rigenerazione possiamo distinguere due tipi sistemi per l'abbattimento del particolato:

- *Filtro antiparticolato (FAP):* la sua caratteristica principale è quella di utilizzare degli additivi per effettuare la rigenerazione. In generale, infatti, per la pulizia del filtro devono essere raggiunte temperature alle quali le normali condizioni di esercizio del veicolo, nella zona dello scarico, non arrivano. Obiettivo degli additivi, è proprio quello di abbassare la temperatura alla quale avviene la combustione del particolato all'interno del filtro. Per far avvenire la combustione del particolato viene immesso nel cilindro, poco prima che i gas escano dallo stesso, una piccola quantità di combustibile, che andrà a bruciare durante il percorso tra il motore ed il filtro antiparticolato. Unitamente al combustibile viene iniettato l'additivo, il quale, come già accennato, abbasserà la temperatura di combustione del particolato intrappolato nel filtro;

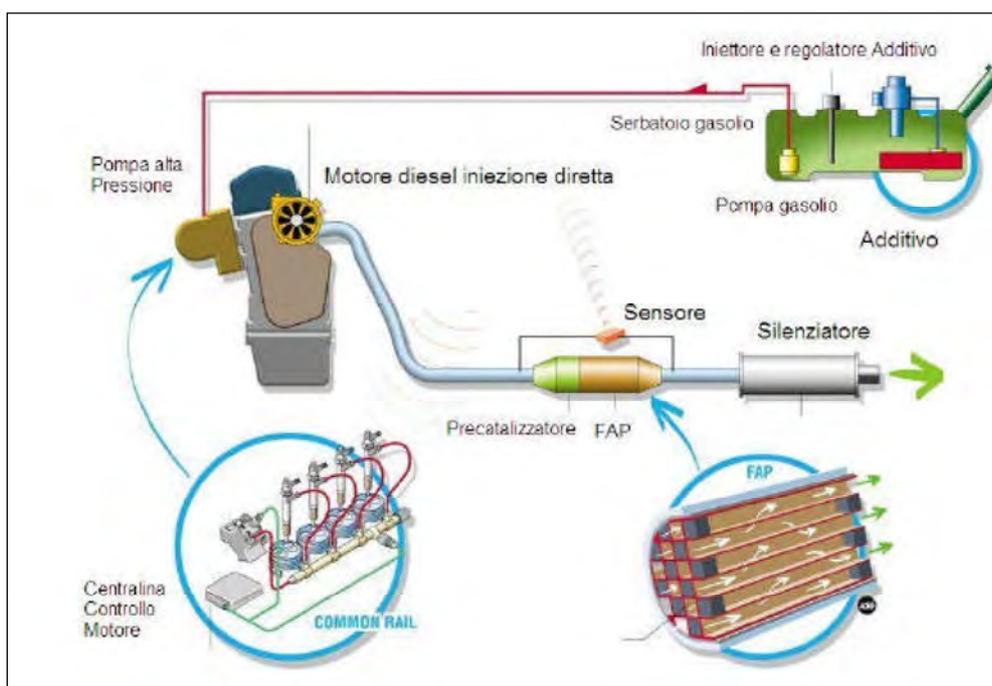


Figura 10 Schema di funzionamento del filtro antiparticolato

- *Diesel Particulate Filter (DPF):* questo tipo di filtro non utilizza additivi perché sfrutta per la rigenerazione una tecnologia in grado di far raggiungere le temperature necessarie per bruciare al particolato accumulato.

Questo obiettivo viene raggiunto effettuando una serie di post-iniezioni, sempre poco prima che i gas escano dal cilindro, con la conseguenza che nel tragitto tra il motore e il cilindro, dove le temperature sono elevate, ed anche nel catalizzatore, avverranno un serie di piccole post-combustioni che alzeranno le temperature dei gas ad un livello tale da far avvenire la combustione del particolato all'interno del filtro.

Riduzione degli NO_x: il ricircolo dei gas di scarico

Il motivo principale per il quale si formano gli ossidi di azoto sono le alte temperature che si vengono a creare nel cilindro e che portano l'ossigeno a legarsi con l'azoto. Un abbassamento di questa temperatura potrebbe comportare dunque dei benefici in termini di produzione di NO_x.

Ed è proprio questa l'idea del sistema di ricircolo dei gas di scarico EGR (Exhaust Gas Recirculation): abbassare la temperatura nella camera di combustione per contrastare il processo di formazione degli ossidi di azoto. Questo obiettivo viene raggiunto immettendo nel cilindro una certa quantità di gas combusti opportunamente raffreddati. La presenza di tali gas, occupandone lo spazio, abbassa la percentuale di ossigeno utile per la combustione, che raggiungerà dunque temperature meno elevate.

Nei motori più vecchi, quelli nei quali il sistema EGR veniva montato in un secondo tempo rispetto all'omologazione del veicolo, si aveva una leggera perdita della potenza erogata. Nei motori nuovi, progettati per lavorare con l'EGR, questo difetto è stato risolto.

In Figura 11 un disegno schematico del processo.

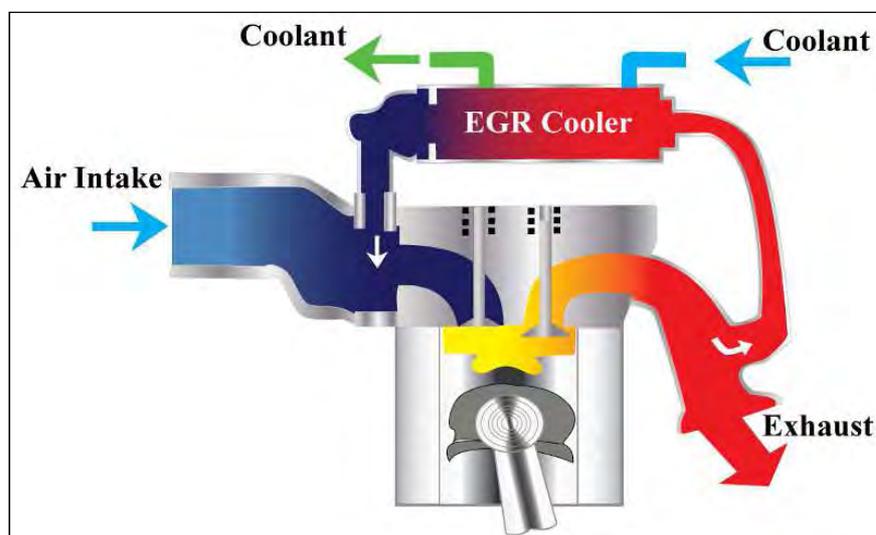


Figura 11 Rappresentazione del funzionamento del sistema EGR

Riduzione degli NO_x: la riduzione selettiva catalitica

Il sistema di riduzione EGR è sicuramente efficace ma non sufficiente ad abbattere in maniera sostanziale gli ossidi di azoto e richiede quindi degli accorgimenti aggiuntivi.

In questa direzione arriva a supporto la riduzione selettiva catalitica, che, sfruttando le caratteristiche di un agente chimico (come, ad es., ammoniaca o urea) trasforma i tanto temuti ossidi di azoto in acqua e normale azoto.

Il sistema di catalizzazione per la riduzione degli NO_x è in generale posto a valle dei sistemi precedentemente descritti per la riduzione di idrocarburi, monossido di carbonio e particolato. Tra questi ed il sistema di riduzione catalitica si trova il dosatore dell'urea o dell'ammoniaca, collegato ad un serbatoio appositamente installato per lo stoccaggio delle stesse.

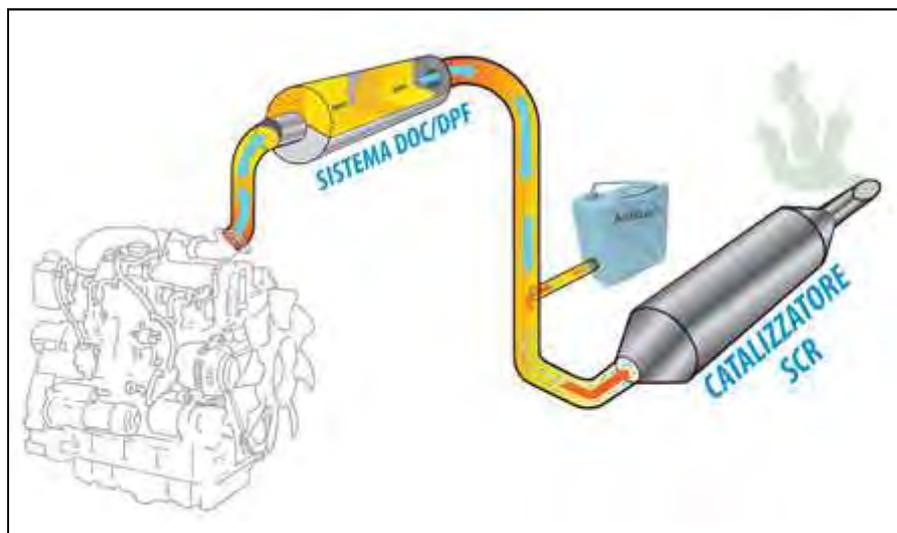


Figura 12 Il sistema di riduzione catalitica selettiva

Le emissioni nella reale circolazione

L'impossibilità della comparazione

Nel secondo capitolo sono state descritte le norme che nel corso degli anni, a partire dall'inizio dei '90, si sono succedute nel campo delle emissioni di fumi inquinanti nel settore dei trasporti, con un occhio particolare ai mezzi pesanti.

I limiti definiti dalle norme ed illustrati nello stesso capitolo hanno, nella quasi totalità dei casi, un andamento decrescente od al più costante rispetto alla successione cronologica delle norme stesse. La loro definizione si è basata sulla ricerca di un trade off che mediasse da un lato le esigenze ambientali e della salute umana per le quali un abbattimento degli inquinanti è tanto migliore quanto più sostanziale e, dall'altro, quelle della tecnologia, per le quali invece ogni riduzione dei limiti è tanto ben accetta quanto più conseguita in tempi ragionevoli.

Il risultato è stato appunto la definizione di più norme che nel corso degli anni ponessero dei limiti cogenti senza i quali nessun costruttore sarebbe invogliato allo sviluppo di tecnologie ambientali, con un occhio però alla capacità dello sviluppo tecnologico stesso.

Risulta interessante quindi andare ad analizzare l'andamento delle emissioni prodotte dai veicoli nelle condizioni normali di circolazione, le quali hanno ovviamente un trend decrescente nel tempo, ma non sempre parallelo a quello dei limiti normati. La loro quantificazione risulta difficoltosa a causa del fatto che, come già spiegato nei capitoli precedenti, variano sensibilmente in base ai fattori principali di circolazione, quali velocità, pendenze, pesi, ecc, in particolare dunque dal tipo di ambiente sede della circolazione: urbano, extraurbano e autostradale. I valori riportati in seguito derivano da valutazioni effettuate mediando tutte queste caratteristiche per un veicolo in ambito urbano.

Inoltre, le condizioni delle varie prove usate in fase di definizione dei limiti (ESC, ETC, ecc), per quanto volte a rappresentare la realtà, differiscono da questa, motivo per il quale non può essere effettuato un confronto diretto tra i limiti delle norme e i valori della circolazione reale.

Altro elemento che rende impossibile la comparazione è la differenza nelle unità di misura utilizzate per uno e l'altro: i primi sono espressi in grammi di inquinante per kilowattora di energia prodotta con il combustibile consumato, i secondi in grammi per km percorso dal veicolo. I primi valori sono dunque indipendenti dalla tipologia di veicolo al quale sono riferiti, i secondi invece dipenderanno invece da questo, nella misura in cui le emissioni chilometriche dipendono anche dai consumi, ulteriore motivo per il quale le due tipologie di valori (norma e circolazione reale) non hanno andamenti identici nel tempo.

Le valutazioni sulle emissioni reali sono state effettuate considerando un autobus da 12 m di classe III (il classico autobus da noleggio a due assi).

Le emissioni dei veicoli in circolazione

Ulteriore elemento di differenza con i valori imposti dalle normative è il fatto che nel caso di quelli che esprimono gli inquinanti nella circolazione reale, le emissioni possono essere comparate a partire dalla classe di veicoli cosiddetti “Conventional”, quelli cioè i cui limiti sono stati definiti dalla direttiva 88/77/CEE. Mentre infatti le norme utilizzano prove per la misurazione degli inquinanti che cambiano dopo la classe Euro III, portando quindi all’impossibilità di un confronto globale, nel caso delle emissioni reali la quantificazione è stata fatta seguendo le stesse ipotesi e quindi è possibile tracciare lo storico complessivo. Nelle figure sottostanti l’andamento degli inquinanti principali: CO, NMVOC (composti organici volatili non metanici), NO_x e particolato.

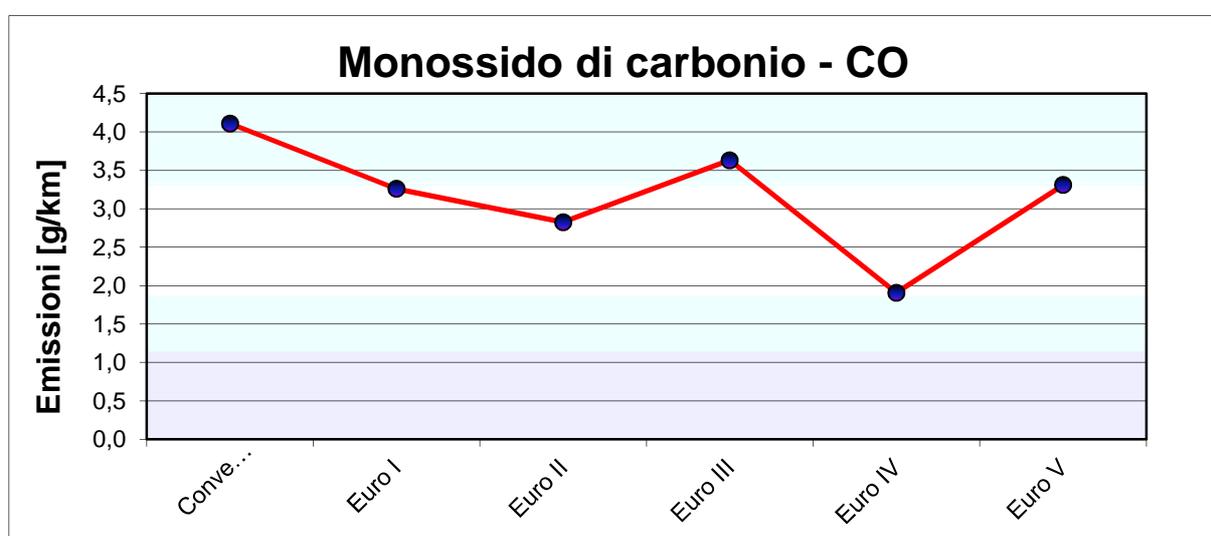


Figura 13 Andamento monossido di carbonio

Come si evince dalla Figura 13 l’andamento delle emissioni di monossido di carbonio è piuttosto altalenante. In una prima fase, culminante con l’Euro II, si ha una sostanziale diminuzione della produzione di CO. Tale andamento è coerente con i limiti imposti dalle norme: riprendendo la Tabella 10, possiamo vedere come infatti proprio le disposizioni succedutesi agli albori del percorso di abbattimento degli inquinanti diano tutte una sostanziale stretta all’immissione di atmosfera di monossido di carbonio.

Nella fase di passaggio da seconda a terza generazione si ha invece un aumento delle emissioni, provocato da una serie di probabili fattori quali, ad es., l’aumento dei consumi del veicolo. L’incremento dei pesi dovuti all’installazione di nuovi sistemi di sicurezza ed accessori volti al miglioramento del comfort, unito alla maggiore richiesta di energia necessaria al loro funzionamento, hanno comportato un aumento del consumo di combustibile.

Nel passaggio alla quarta generazione si ha avuto invece un discreto decremento dell’emissioni, per rientrare nei limiti imposti dalla Direttiva 99/96/CE, sia per quanto riguarda il ciclo di prova ESC sia per quanto riguarda il ciclo di prova ETC.

Con l'avvento degli Euro V si ha avuto di nuovo un'ulteriore inversione di tendenza. Difficile spiegarne il motivo. Sicuramente le due cause che hanno portato un fenomeno simile nel caso degli Euro III giocano un ruolo importante anche in questo caso.

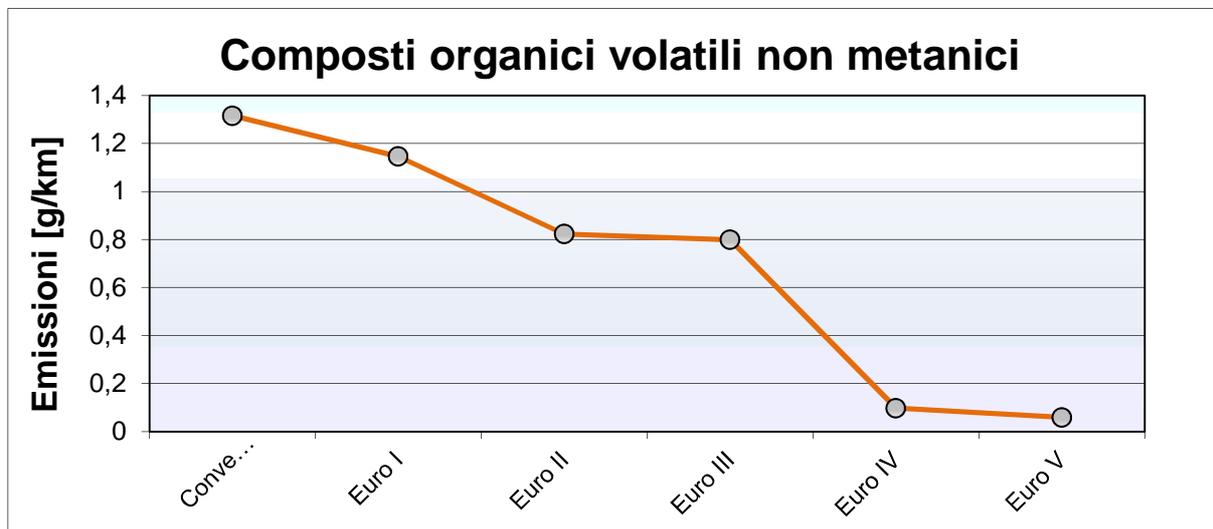


Figura 14 Andamento per i composti organici volatili non metanici

Per i composti organici volatili non metanici l'andamento è diverso. Non si hanno infatti zone in cui l'emissione di questa tipologia di inquinante aumenta. Anche se con velocità che non sono costanti, il trend è sempre decrescente. Da notare però come la diminuzione meno sostanziale si registri proprio nel passaggio tra seconda e terza generazione ed in quello tra quarta e quinta, i medesimi quindi in cui si ha un sensibile aumento del monossido di carbonio. Coincidenza che porta a supporre la somiglianza delle cause, che per il CO comportano un aumento della sua produzione mentre per gli NMVOC una diminuzione della sua decrescita.

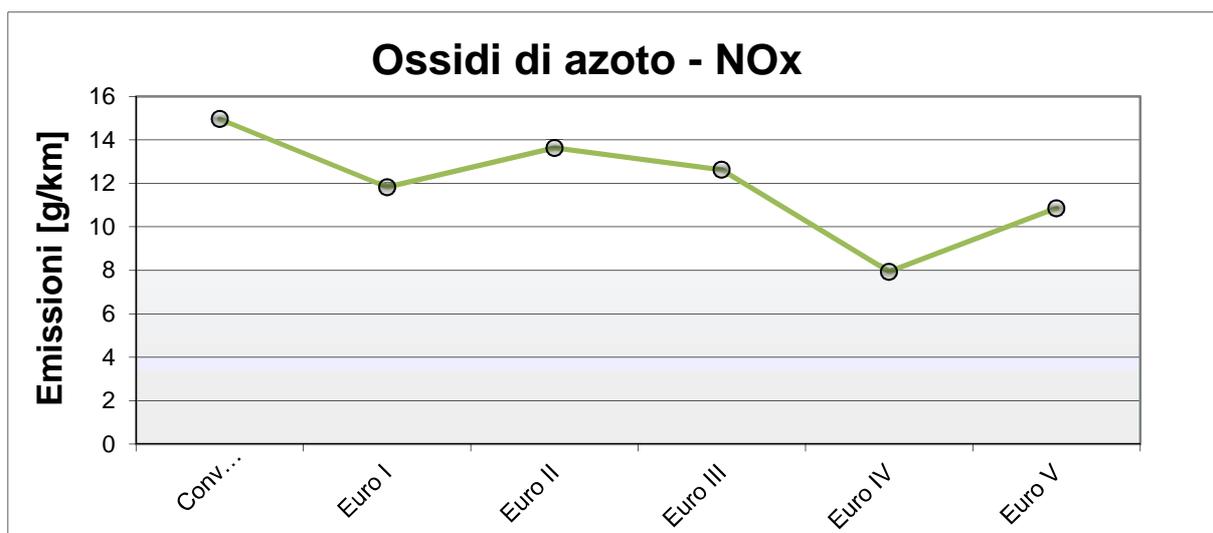


Figura 15 Andamento degli ossidi di azoto

Situazione in parte diversa ed in parte simile al CO si ha per quanto riguarda gli ossidi di azoto. Nell'ultimo tratto del grafico in Figura 15 si può notare come la produzione di questo pericoloso inquinante abbia un aumento. Anche in questo caso la motivazione può essere associata al probabile incremento dei consumi. L'andamento crescente che si riscontra invece nel passaggio da Euro I a Euro II lo si deve principalmente all'assenza di veri e propri sistemi di controllo delle emissioni a valle del motore, sistemi il cui sviluppo è avvenuto alla fine degli anni 90. Risulta dunque che le modalità privilegiate per il raggiungimento degli obiettivi fissati dalle norme prima dell'avvento di tali tecnologie fossero interventi di tipo motoristico. A differenza del controllo a valle, però, le azioni dirette sul motore influiscono su tutti i tipi di inquinanti prodotti. Può verificarsi dunque che per il miglioramento di uno vengano presi provvedimenti che però contemporaneamente ne aumentano un altro. È il fenomeno che presumibilmente si è verificato in questo caso: per tenere sotto controllo altri inquinanti sono stati effettuati interventi che hanno aumentato gli NO_x , non in una quantità tale, comunque, da non rientrare nelle norme.

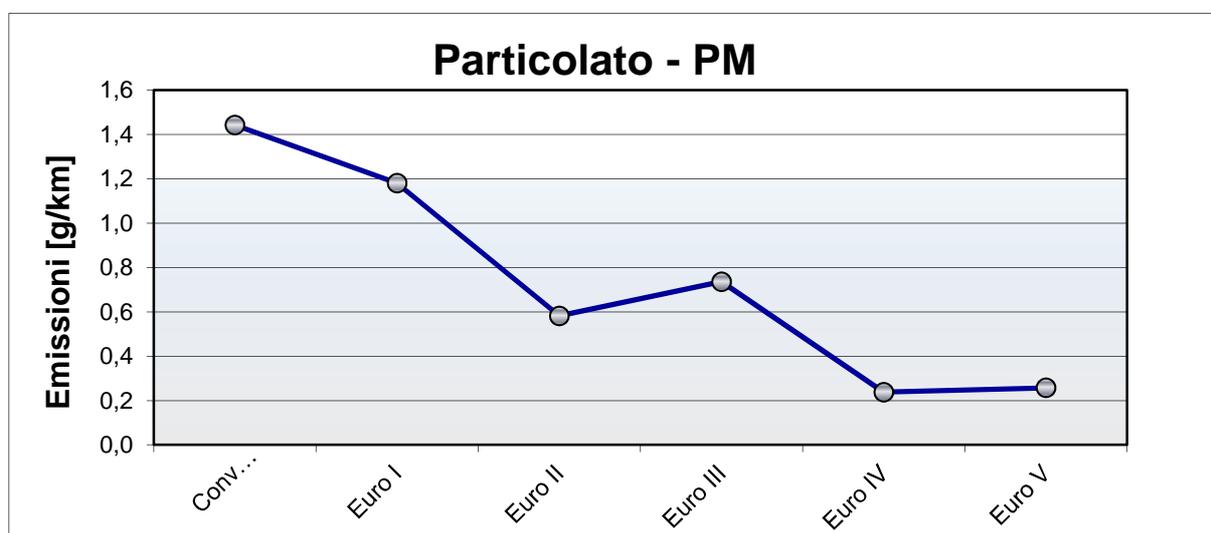


Figura 16 Andamento del particolato

L'andamento della produzione di particolato totale segue invece, a differenza degli ossidi di azoto, il monossido di carbonio. Si ha infatti una sensibile diminuzione della produzione di questo inquinante fino agli Euro II, il cui limite imposto è nettamente inferiore rispetto alla generazione precedente, un aumento tra l'Euro II e l'Euro III, un'ulteriore sensibile diminuzione (raggiunta grazie anche all'installazione di filtri antiparticolato) fra l'Euro III e l'Euro IV e, nell'ultimo tratto, una situazione di sostanziale stallo.

Conclusioni

Dal primo gennaio 2013 il lungo percorso, iniziato alla fine degli anni ottanta con l'obiettivo di ridurre in maniera graduale gli inquinanti immessi nell'atmosfera dai veicoli pesanti, ha fatto un altro passo in avanti. Da quella data infatti non è più possibile l'omologazione per quei veicoli che non rispettano le norme Euro, definite nel corso degli anni dal susseguirsi di apposite disposizioni. Il passo successivo sarà quello, a partire dal primo gennaio 2014, di vietare l'immatricolazione e l'immissione in circolazione a quei veicoli non appartenenti all'ultima generazione Euro.

Il documento prodotto, di puro carattere divulgativo, ha voluto fornire le nozioni principali necessarie ad effettuare un inquadramento generale dell'argomento, passando prima di tutto dal conoscere quali sono le sostanze inquinanti effettivamente normate, ripercorrendo successivamente la storia delle normative con uno sguardo anche alle procedure standardizzate per la misurazione degli inquinanti, illustrando poi le tecnologie che rendono possibile il rispetto delle direttive per poi infine analizzare l'andamento degli inquinanti emessi nella reale circolazione.