

EMMISSIONI INQUINANTI

Inquinamento. I motori aspirano aria dall'atmosfera e vi scaricano i prodotti della combustione, modificandone la composizione e immettendovi particelle e specie chimiche reattive e tossiche. Si ottiene così il risultato di alterare i cicli naturali di produzione e distruzione dei gas presenti nell'atmosfera e di danneggiare con i gas nocivi le forme di vita animale e vegetale. I motori montati sui mezzi di trasporto costituiscono le principali sorgenti di inquinamento atmosferico nelle aree urbane a intenso traffico, specie per gli strati di aria più vicini al terreno. La tabella A dà alcune indicazioni sulle dimensioni del problema riportando, per gli inquinanti regolamentati dalle norme UE, gli effetti principali prodotti e il contributo dato dai mezzi di trasporto, rispetto ai totali scarichi industriali.

Cicli di prova. Il rilievo delle emissioni nocive da parte di un motore può fornire un indice significativo del suo contributo all'inquinamento atmosferico, solo se viene eseguito in situazioni rappresentative del suo reale esercizio. Durante la misura esso deve perciò descrivere un ciclo comprendente diverse condizioni di funzionamento (minimo, regime costante basso e medio, accelerazioni e decelerazioni), le quali si susseguono con ordine, proporzioni e con potenza impiegata tali, quali avvengono nell'effettivo impiego. Per esempio la normativa europea prevede l'esecuzione in laboratorio di un ciclo di guida, rappresentativo di un tipico percorso cittadino a intenso traffico (velocità massima 50 km/h e velocità media 19 km/h), a cui si aggiunge un tratto extraurbano con una punta di velocità fino a 120 km/h. Esso viene effettuato sul *banco dinamometrico a rulli*, preventivamente tarato per simulare gli assorbimenti di potenza previsti dalla curva di utilizzazione del veicolo su strada. Durante il funzionamento del motore sul banco a rulli, i gas scaricati vengono aspirati da una pompa, insieme ad aria dell'ambiente. Si ottiene così una loro diluizione variabile con le condizioni di funzionamento per simulare l'effetto prodotto dall'atmosfera sui gas immessi. Un loro campione diluito viene analizzato per determinare la percentuale di inquinanti presenti e i loro pesi (espressi in g/km) sono quindi confrontati con i limiti prescritti. In tabella B sono riportati i limiti previsti dalla normativa europea per i motori d'autovettura, attualmente in vigore e quelli proposti per il prossimo quinquennio.

Valutazione portata inquinanti immessi nell'atmosfera. Si fa per esempio riferimento a un Diesel per trasporto pesante (turboalimentato e interrefrigerato) di cilindrata totale $V_t = 5,86 \text{ dm}^3$, che sviluppa la potenza $P_e = 170 \text{ kW}$ a $n_p = 2700 \text{ giri/min} = 45 \text{ giri/s}$. Stimata la temperatura $T_m = 330 \text{ K}$ e la pressione $p_m = 0,19 \text{ MPa}$ della carica fresca mandata ai cilindri dal gruppo di sovralimentazione, assunto $R = 287 \text{ J/kg K}$ se ne calcola la densità: $\rho_m = p_m/RT_m = 0,19 \times 10^6 / (287 \times 330) = 2,1 \text{ kg/m}^3$ e quindi la portata d'aria aspirata dal motore: $\dot{m}_a = \lambda_v \rho_m V_t n_p / \varepsilon = 0,85 \times 5,86 \times 2,1 \times 45 / 2 = 225 \text{ g/s}$. A essa si aggiunge il combustibile, trascurando i gas residui, per calcolare la portata in massa di gas scaricati: $\dot{m}_g = \dot{m}_a (1 + \alpha) / \alpha = 225 \times 23 / 22 = 235 \text{ g/s}$. Valutata la densità dei gas di scarico $\rho_g = 0,7 \text{ kg/m}^3$, si calcola la loro portata oraria in volume: $\dot{V}_g = \dot{m}_g / \rho_g = 285 \times 3,6 / 0,7 = 1209 \text{ m}^3/\text{h}$.

Avvalendosi dei valori medi riportati in tabella C, si può stimare la loro composizione: $\text{CO}_2 = 11\%$; $\text{CO} = 0,06\%$; $\text{HC} = 150 \text{ ppm}$; $\text{NO}_x = 1000 \text{ ppm}$; particolato = 100 mg/m^3 e quindi la portata di inquinanti immessi nell'atmosfera, sulla base della composizione ipotizzata: $\dot{V}_{\text{CO}_2} = 1209 \times 0,11 = 133 \text{ m}^3/\text{h}$; $\dot{V}_{\text{CO}} = 1209 \times 0,0006 = 0,72 \text{ m}^3/\text{h}$; $\dot{V}_{\text{HC}} = 1209 \times 150 \times 10^{-6} = 0,18 \text{ m}^3/\text{h}$; $\dot{V}_{\text{NO}_x} = 1209 \times 1000 \times 10^{-6} = 1,21 \text{ m}^3/\text{h}$; $\dot{m}_{\text{particolato}} = 1209 \times 100 = 121 \text{ g/h}$.

A Contributo dei mezzi di trasporto all'inquinamento atmosferico di aree urbane

Inquinante scaricato	Effetto prodotto	Contributo (% totale)
Ossido di carbonio (CO)	Avvelenamento delle cellule	80÷90
Ossido di azoto (NO e NO ₂ =NO _x)	Danni polmonari, smog fotochimico	50÷70
Idrocarburi incombusti (HC)	Azione cancerogena, e mutagenica	60÷80
Particolato	Deposito negli alveoli polmonari	30÷50

B Limite per le emissioni di inquinanti per motori d'autovettura (normativa europea)

Limiti emissioni (g/km)	Inquinante regolato	EURO I (1993) nor. 91/441	EURO II (1997) nor. 94/12	EURO III (2000) proposta	EURO IV (2005) proposta
Motori Otto	CO	2,72	2,20	2,3*	1,00
	HC	—	0,34	0,20	0,10
	HC+NO _x	0,97	—	—	—
	NO _x	—	0,25	0,15	0,08
	CO ₂	—	—	—	120
Motori Diesel	CO	2,72	1,00	0,64	0,50
	HC	—	—	—	—
	HC+NO _x	0,97	0,7 (0,9)	0,56	0,30
	NO _x	—	—	0,50	0,25
	CO ₂	—	—	—	120
	Particolato	0,14	0,08 (0,1)	0,05	0,025

* con nuovo ciclo che include l'avviamento a freddo
() i limiti tra parentesi si riferiscono ai Diesel ad iniezione diretta

C Percentuali tipiche di alcuni costituenti dei gas di scarico

	Composizione	Condizioni di funzionamento:			
		Minimo	Accelerazione	Velocità costante	Decelerazione
Motore ad accensione comandata	Anidride carbonica CO ₂ (%)	9,5	10,5	12,5	—
	Ossido di carbonio CO (%)	0,4	0,2	0,04	—
	Idrocarburi incombusti HC (ppm come C ₁)	400	250	200	200
	Ossidi di azoto NO _x (ppm come NO)	30	400	200	30
Motore diesel per autotrasporto	Anidride carbonica CO ₂ (%)	1,0	11	8	—
	Ossido di carbonio CO (%)	0,15	0,06	0,02	—
	Idrocarburi incombusti HC (ppm come C ₁)	200	150	100	100
	Ossidi di azoto NO _x (ppm come NO)	50	1000	400	50
	Particolato (mg/m ³)	10	100	20	10

