

MOTORI A DUE TEMPI-CICLOMOTORI.

P. Picini - ENEA Ente per le Nuove tecnologie l'Energia e l'Ambiente

G. Zamboni – Internal Combustion Engines Group (ICEG), Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti – Università di Genova

DEFINIZIONE DI CICLOMOTORE

I veicoli equipaggiati con motore a combustione interna vengono classificati sia in base al loro utilizzo che in base alla loro massa. In base alla classificazione ONU-ECE nella categoria ciclomotori sono compresi i veicoli a due ruote (categoria L1), veicoli a tre ruote (categoria L2) e veicoli a quattro ruote (categoria L6), aventi una velocità massima per costruzione non superiore a 45 km/h e caratterizzati:

- 1) nel caso dei veicoli a due ruote, da un motore:
 - la cui cilindrata è inferiore o uguale a 50 cm³ se a combustione interna, oppure
 - la cui potenza nominale continua massima è inferiore o uguale a 4 kW per i motori elettrici;
- 2) nel caso dei veicoli a tre ruote, da un motore:
 - la cui cilindrata è inferiore o uguale a 50 cm³ se ad accensione comandata, oppure
 - la cui potenza massima netta è inferiore o uguale a 4 kW per gli altri motori a combustione interna,
 - oppure la cui potenza nominale continua massima è inferiore o uguale a 4kW per i motori elettrici;
- 3) nel caso di veicoli a quattro ruote con massa a vuoto inferiore o pari a 350 kg, esclusa la massa delle batterie per i veicoli elettrici, da un motore:
 - la cui cilindrata è inferiore o pari a 50 cm³ per i motori ad accensione comandata; o
 - la cui potenza massima netta è inferiore o uguale a 4 kW per gli altri motori a combustione interna; o
 - la cui potenza nominale continua massima è inferiore o uguale a 4 kW per i motori elettrici.

NORMATIVE PER I CICLOMOTORI.

Fino al 1992 non esistevano direttive comunitarie in tema di emissioni per l'omologazione dei veicoli a due ruote e nemmeno le norme nazionali prendevano in considerazione le emissioni inquinanti presenti nei gas di scarico di tali veicoli. La sola norma disponibile in materia era il **regolamento ECE-ONU n° 47**, che risale al 1981. Detto regolamento, adottato in base all'Accordo Internazionale di Ginevra del 20 marzo 1958, stabiliva norme comuni per l'omologazione dei ciclomotori soltanto a carattere facoltativo. Nel regolamento, valido per veicoli a due o tre ruote con peso inferiore ai 400 kg e cilindrata inferiore a 50 cc, erano previsti limiti solamente per le emissioni di CO e HC (vedi Tab. I).

Tabella I: Limiti alle emissioni previsti dal regolamento ECE 47

Regolamento ECE-47				
Tipo di veicolo	2 ruote		3 ruote	
	CO [g/km]	HC [g/km]	CO [g/km]	HC [g/km] [
Conformità all'omologazione	8,0	5,0	15,0	10,0
Conformità alla produzione	9,6	6,5	18,0	13,0

La direttiva 97/24/CE

Il 30 giugno 1992 è stata emanata la **direttiva 92/61/CEE** relativa alle procedure di omologazione dei veicoli a 2 e 3 ruote, ma le norme obbligatorie sulle emissioni sono state promulgate solo 5 anni dopo con la **direttiva 97/24/CE** pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee del 18 agosto 1997, che rinviava al 1999 l'entrata in vigore obbligatoria delle misure contro l'inquinamento. Le prove da eseguire per l'omologazione, così come previsto dal regolamento ECE-47, sono di due tipi:

Tipo I: simulazione sul banco a rulli di un ciclo di guida urbano

Tipo II: controllo delle emissioni di CO con motore al minimo, da eseguirsi immediatamente dopo la prova di tipo I.

Prova di tipo I per i ciclomotori

Il ciclo elementare di guida urbano per i ciclomotori è descritto in Tabella II e rappresentato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**1. L'intera prova di omologazione consiste nell'eseguire otto cicli elementari in successione (figura 2): i primi quattro sono effettuati per il condizionamento del motore mentre nei secondi quattro viene effettuato il campionamento dei gas di scarico con la stessa metodologia utilizzata per le autovetture; i limiti alle emissioni, pertanto, sono riferiti alla sola parte a "caldo" del ciclo.

Tabella II: Successioni delle varie fasi della prova di Tipo I

Fase	Acceleraz.	Velocità	Durata Fase	Durata ciclo
	[m/s²]	[km/h]	[s]	[s]
Minimo	0	0	8	8
Accelerazione	tutto gas	Da 0 al max	57	65
Velocità Costante	tutto gas	Max		
Decelerazione	-0.56	Da max a 20		
Velocità Costante	0	20	36	101
Decelerazione	-0.93	Da 20 a 0	6	107
Minimo	0	0	5	112

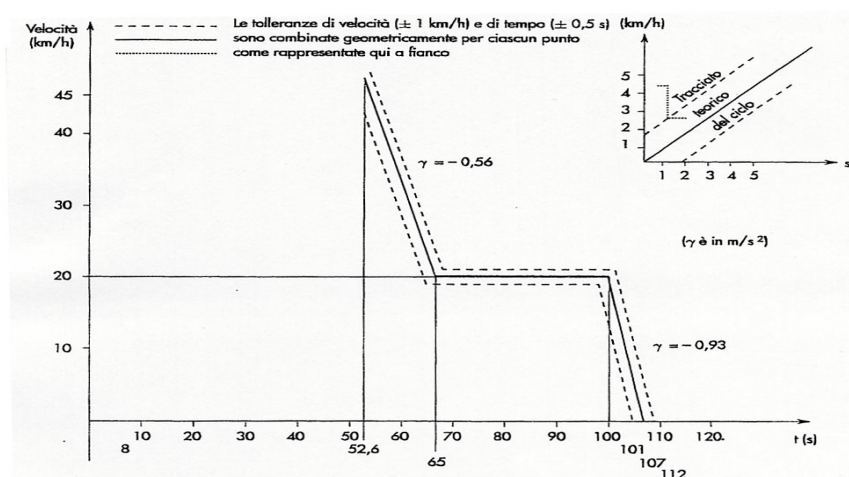


Figura 1: Rappresentazione del ciclo elementare di funzionamento su banco a rulli previsto per la prova di tipo I per i ciclomotori.

I limiti da rispettare con la prova di tipo I, riportati in Tabella III, sono diversi per ciclomotori a 2 o 3/4 ruote e; analogamente a quanto avvenuto per le autovetture, non sono più previsti limiti differenziati per l'omologazione e la conformità alla produzione.

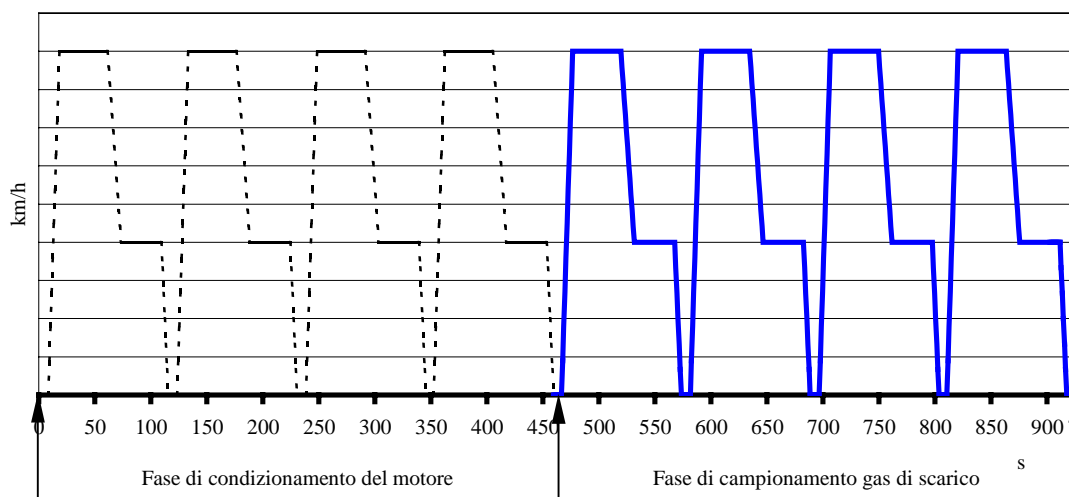


Figura 2: Rappresentazione del ciclo di funzionamento su banco a rulli previsto per la prova di tipo I per i ciclomotori.

Tabella III: Limiti alle emissioni dei ciclomotori previsti dalla direttiva 97/24/CE

Direttiva 97/24/CE				
Categoria ciclomotore	Fase I (EURO I)		Fase II (EURO II)	
	Entrata in vigore 17.06.1999		Entrata in vigore 17.06.2002	
	CO [g/km]	HC + NO _x [g/km]	CO [g/km]	HC + NO _x [g/km]
Ciclomotori a 2 ruote	6	3	1	1,2
Ciclomotori a 3 o 4 ruote	12	6	3,5	1,2

Prova di tipo II per i ciclomotori

Nella prova di tipo II per i ciclomotori è previsto il controllo delle emissioni di CO ed HC con il motore al minimo: attualmente non sono prescritti limiti, ma semplicemente una registrazione dei valori misurati.

Future normative.

La Commissione Europea sta predisponendo nuovi limiti alle emissioni (EURO III) da sottoporre al Consiglio Europeo. Nei documenti in preparazione non sono previste riduzioni per i limiti alle emissioni gassose, ma viene proposto di estendere la fase di campionamento anche ai primi quattro cicli elementari del ciclo di omologazione includendo quindi anche la parte a “freddo” del ciclo. La durabilità dei sistemi di controllo delle emissioni verrà probabilmente fissata a 10.000 km e ciò servirà a garantire, almeno fino al chilometraggio previsto, l'efficienza del catalizzatore.

Non sono previsti limiti alle emissioni di PM.

L'introduzione della fase Euro III comporterà per i costruttori la scelta tra il motore a 2 tempi ad iniezione diretta ed il motore a 4 tempi, soluzione per ora poco diffusa, ma su cui qualche costruttore ha già puntato nonostante l'incremento dei costi¹.

TECNOLOGIE MOTORISTICHE ED EMISSIONI

La tecnologia dei motori a due tempi offre innegabili vantaggi sia in termini di semplicità costruttiva che in termini di potenza specifica: a parità di cilindrata, un motore a due tempi può teoricamente erogare una potenza doppia di un analogo motore a quattro tempi; in realtà il vantaggio è limitato a circa il 50 – 60% in più, a causa dei diversi valori del rapporto di compressione effettivo. I motori a 2T hanno rappresentato la scelta usuale per i ciclomotori ed i motocicli (per cilindrata inferiori a 200 – 250 cm³) sino all'applicazione della Direttiva Europea 97/24/CE sulle emissioni allo scarico di questi veicoli. Con l'entrata in vigore della direttiva, mentre nel caso dei motocicli si è assistito ad un passaggio quasi completo ai motori a 4T, per i ciclomotori è stato possibile rispettare i limiti imposti (vedi Tabella III) modificando le tarature dei motori e introducendo, ove necessario, soluzioni o dispositivi quali l'iniezione diretta di benzina, l'iniezione di aria secondaria ed i catalizzatori ossidanti.

Emissioni a caldo degli inquinanti normati (CO, HC, NO_x)

Le motivazioni di tale sviluppo a fronte dell'evoluzione della normativa sono legate al funzionamento dei propulsori a 2 tempi, che comportano emissioni decisamente superiori a quelli dei motori a quattro tempi, sia per il CO (a causa dell'utilizzazione di miscele ricche per coadiuvare la lubrificazione) sia, soprattutto, per gli HC: i motori 2T presentano, infatti, il fenomeno del corto circuito della carica, che provoca la fuoriuscita dal cilindro di miscela fresca direttamente allo scarico, nel momento in cui le luci di lavaggio e di scarico sono contemporaneamente aperte. Sono invece molto contenute le emissioni di NO_x, in quanto i motori 2T presentano un EGR naturale (dovuto alla miscelazione dei gas di scarico con la carica fresca nella fase di lavaggio) che comporta minori temperature nel cilindro e quindi una più ridotta formazione di questo inquinante. Relativamente ai consumi ed alle conseguenti emissioni di CO₂, è chiaro che la minore massa del veicolo ed il minore carico trasportato comportano consumi di combustibile e quindi emissioni inferiori ad altre tipologie di veicoli.

Nella tabella IV sono riportati i fattori di emissione a caldo² di alcune tipologie veicolari calcolati per una velocità media tipica della guida in ambito urbano (fonte: database COPERT III).

¹ Il costo dei ciclomotori varia da 1000 a 2700 €, diversi costruttori offrono una decina di modelli di ciclomotori equipaggiati con motore a 4 tempi, il cui costo varia dal 10 al 20% in più (200 – 300 €) rispetto alla versione con motore a 2 tempi; il range di costo dei modelli a 4T è compreso tra 1250 e 2300 Euro

Dall'esame dei dati è possibile desumere come i ciclomotori a due tempi, anche nelle versioni Euro II, emettono una quantità di HC, per chilometro percorso in ambito urbano, di poco inferiore ad una autovettura Euro I (cc<1400) e circa 20 volte superiore ad una analoga autovettura a benzina Euro IV.

Emissioni a caldo di alcuni inquinanti non normati (PM, benzene)

Anche se la normativa non prevede limiti alle emissioni di PM, il tipo di tecnologia motoristica ed il particolare sistema di lubrificazione del motore (l'olio di lubrificazione viene immesso direttamente nella camera di combustione insieme alla miscela aria-carburante) causano notevoli emissioni di questo inquinante. Questo aspetto è stato oggetto di specifiche ricerche solo negli ultimi anni e, se per i ciclomotori pre Euro I ed Euro I i fattori di emissione a caldo di PM possono ritenersi sufficientemente affidabili (vedi tabella V), resta aperto il problema della stima delle emissioni di PM dai ciclomotori Euro II. Infatti, per questa tipologia di ciclomotori i dati sperimentali a disposizione, oltre ad essere estremamente limitati, sono molto variabili (si oscilla tra qualche mg/km per i motori due tempi tradizionali con catalizzatore ossidante ed iniezione di aria secondaria a circa 100 mg/km per i motori due tempi ad iniezione e catalizzatore ossidante) e non sono, pertanto, sufficienti a definire un fattore di emissione a caldo sufficientemente solido (vedi tabella VI). In particolare sono necessarie ulteriori conferme sperimentali dei livelli di emissione dei motori ad iniezione diretta.

Tabella IV - Fattori di emissione a caldo di alcune tipologie veicolari.

	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	Velocità media (km/h)
Autovetture a benzina cc<1400				
ECE 15/04 (Pre Euro I)	13,2	2,0	1,5	25
91/441/CEE (Euro I)	3,8	0,3	0,4	25
94/12/CEE (Euro II)	2,6	0,07	0,1	25
98/69/CE Fase A (Euro III)	2,3	0,05	0,09	25
98/69/CE Fase B (Euro IV)	1,3	0,01	0,05	25
Motocicli 4 tempi cc<250				
Pre Euro I	24,0	1,9	0,1	25
97/24/CE (Euro I)	7,1	0,8	0,2	25
2002/51/CE (Euro II)	n.d	n.d	n.d	25
Ciclomotori 2 tempi cc<50				
Pre Euro I	15,0	9,0	0,03	25
97/24/CE Fase I (Euro I)	7,5	0,4	0,03	25
97/24/CE Fase II (Euro II)	1,5	0,2	0,01	25

Fonte: L. Ntziachristos e al., COPERT III Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport: Methodologies and Emission Factors (Version 2.1) October 2000.

² Per emissione a caldo si intende la quantità (g) di un determinato inquinante emessa da un veicolo quando il motore ha raggiunto le condizioni di stabilità termica e/o il dispositivo di post-trattamento dei gas di scarico (marmitta catalitica) ha raggiunto la temperatura di funzionamento ottimale

Tabella V – PM: fattori di emissione a caldo di alcune tipologie veicolari

Autovetture diesel cc<2000*	PM (g/km)	Velocità media (km/h)
Pre Euro I	0,26	25
91/441/CEE (Euro I)	0,09	25
94/12//CEE (Euro II)	0,09	25
98/69/CE Fase A (Euro III)	0,06	25
98/69/CE Fase B (Euro IV)	0,04	25
Ciclomotori 2 tempi cc<50**		
Pre Euro I	0,20	
97/24/CE Fase I (Euro I)	0,03	
97/24/CE Fase II (Euro II)	?	

*Fonte: L. Ntziachristos e al., COPERT III Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport: Methodologies and Emission Factors (Version 2.1) October 2000.

**Fonte: Autori vari. Vedi tabella VI o consulta: <http://www.inventaria.sinanet.apat.it/ept/>

Tabella VI – Ciclomotori: rassegna dei fattori di emissione di PM a caldo.

Ciclomotori	2 tempi					4 tempi
	Pre Euro I	Euro I		Euro II		Pre Euro I
	Carburatore No Kat	Carburatore Kat	Iniezione diretta No Kat	Kat + i.a.s.	Iniez. diretta +Kat	Carburatore No Kat
	mg/km	mg/km		mg/km		mg/km
ENEA 2001 Ciclo ECE-47	172	43				
ENEA - COMUNE di ROMA 2005 Ciclo ECE-47	133	26		6	101	
	175	17				
	221	46				
SSC-ANCMA Ciclo ECE-47	226	69	25			19
RICARDO- ACEM Ciclo ECE-40 modificato		41	12			
JRC-Ispra Ciclo ECE -47	167	19	25			
JRC-Ispra Ciclo ECE -40	147	16	17			
LABECO- REGIONI Cicli reali di guida	295	14				9
	211					
CNR Istituto Motori Napoli Ciclo ECE-47 (media 4 ciclomotori)	214					
Media	196	28		6	101	14

Emissioni a freddo

Le emissioni a freddo³ hanno un notevole impatto sulla qualità dell'aria dei centri abitati in quanto esse avvengono prevalentemente in ambito urbano. Quelle dovute ai ciclomotori, pur se ridotte rispetto ai propulsori a benzina utilizzati sui veicoli leggeri, risultano comunque consistenti. Allo stato attuale, però, le informazioni relative a questo argomento sono decisamente limitate sia per quanto riguarda le emissioni gassose regolamentate, soprattutto CO ed HC, che per quanto riguarda le emissioni di PM e benzene.

Relativamente alle emissioni di PM in alcuni studi sperimentali, peraltro non sistematici, è emerso che per i ciclomotori pre Euro I le emissioni a freddo possono arrivare a circa 300 mg/km mentre per i 2T tradizionali con catalizzatore ossidante possono superare i 100 mg/km. Per le altre tecnologie motoristiche (iniezione diretta con e senza catalizzatore ossidante, catalizzatore ossidante e iniezione secondaria) i dati disponibili sono ancora più scarsi e contraddittori e non permettono, al momento, di fornire valori di emissioni attendibili. Per quanto riguarda i ciclomotori motorizzati 4 tempi non sono disponibili dati sperimentali.

Conoscenze più approfondite sulle emissioni a freddo dei motocicli in generale e dei ciclomotori in particolare, sono assolutamente necessarie visto l'utilizzo quasi esclusivamente urbano di questi veicoli.

Efficienza dei catalizzatori

Fino ad oggi non appare sufficientemente garantita l'efficienza del catalizzatore posto allo scarico di un motore 2T sia nelle modalità di impiego sul campo (il rapporto aria-combustibile dovrebbe essere pari o comunque prossimo a quello stechiometrico per garantire un'efficienza elevata, specifica che richiederebbe l'utilizzazione di sistemi di controllo non proponibili, a livello di costo, su questa tipologia di propulsori) sia nel mantenimento della funzionalità al crescere della percorrenza (legata, ad esempio, ai quantitativi di lubrificante utilizzato, alla formazione di depositi, ecc.).

Motorizzazione 4T rispetto a 2T

Inquinanti normati:

Per quanto riguarda gli inquinanti normati, le emissioni di HC dei motori a 4T risultano notevolmente inferiori a quelle dei 2T in quanto non si verifica il fenomeno del corto circuito della carica tipico dei motori 2T. Anche le emissioni di CO dovrebbero risultare inferiori (si possono utilizzare miscele più "magre" in quanto non è necessario integrare la lubrificazione).

Per gli NO_x si può prevedere un incremento: l'unico dato disponibile, riferito a veicolo Euro I, evidenzia un fattore di 200 mg/km paragonabile a quelli delle auto a benzina Euro I e II.

Inquinanti non normati

Per quanto attiene alle emissioni di PM dei ciclomotori con motorizzazione a due tempi si è già detto in precedenza; per i ciclomotori 4 tempi, anche se esistono pochissimi dati specifici (Tab.VI), si può ritenere che le emissioni di questo inquinante non si discostino molto da quelle degli altri veicoli a benzina 4T (motocicli ed autovetture passeggeri) che oscillano tra i 5 ed 10 mg/km.

Le emissioni di benzene, in prima approssimazione, sono proporzionali a quelle di HC totali e quindi valgono le considerazioni precedentemente esposte.

³ Per emissione a freddo si intende la quantità (g) di un determinato inquinante emessa da un veicolo dall'accensione del motore fino al raggiungimento delle condizioni di stabilità termica del motore e/o al raggiungimento della temperatura di funzionamento ottimale del dispositivo di post-trattamento dei gas di scarico (marmitta catalitica). Le emissioni a freddo dipendono principalmente dalla percentuale di percorrenza effettuata con il motore a freddo, che a sua volta dipende sia dalla tecnologia veicolare che dalla temperatura ambiente.

Consumi ed emissioni di CO₂

La motorizzazione 4T presenta consumi ed emissioni di CO₂ inferiori del 30-40% rispetto alla motorizzazione 2T.

Manomissione

E' pratica diffusissima la manomissione del motore per aumentarne le prestazioni. Tale operazione è relativamente semplice sui propulsori a 2 tempi, talvolta già predisposti per le modifiche ed in grado di sviluppare potenze ben superiori a quelle necessarie per procedere alla velocità massima stabilita dal codice. In queste condizioni il comportamento in termini di emissioni è ben differente da quello misurato nella fase di omologazione e di questo bisogna tenere conto nella definizione dei fattori di emissione e nel calcolo dei relativi inventari. Come già evidenziato, i motori 4 tempi erogano potenze sensibilmente inferiori e quindi, oltre ad essere probabilmente più complessa, l'eventuale manomissione non consente incrementi elevati di prestazioni e velocità.

In estrema sintesi, la motorizzazione 4T risulta intrinsecamente più pulita e quindi più affidabile e molto meno suscettibile di pratiche di manomissione.

Motorizzazione 2T ad iniezione diretta rispetto a 2T

Non sono disponibili dati consolidati: l'applicazione dell'iniezione diretta è finalizzata ad eliminare il cortocircuito della carica e, di conseguenza, l'emissione di HC dovrebbe risultare notevolmente ridotta, così come i consumi di combustibile. Rimane invece da verificare il comportamento in termini di emissioni di PM, come già evidenziato in precedenza.

CONCLUSIONI

Sulla base delle considerazioni precedenti, è ipotizzabile che i ciclomotori possano contribuire significativamente all'inquinamento atmosferico, in particolare in ambito urbano e soprattutto nel caso di HC e PM. In effetti alcune stime confermano questa ipotesi, evidenziando come ai ciclomotori si possano attribuire quote consistenti di emissioni di idrocarburi e particolato, dovute soprattutto ai veicoli pre Euro (cioè immatricolati prima del 17/06/99), classe che presenta elevati fattori di emissione di queste due specie. Allo stato attuale è però necessario sottolineare come le informazioni di base sui ciclomotori (numero e percorrenza annua) sono limitate e soggette a forte incertezza: per quanto riguarda il primo aspetto, la mancanza di un Registro Nazionale impedisce di avere l'informazione relativa al parco immatricolato, che costituisce il riferimento per la valutazione del parco circolante. Per ovviare a ciò, si ricorre al confronto di diverse fonti (Conto Nazionale dei Trasporti, APAT, ANCM, ecc.) che consentono però una stima a livello nazionale, lasciando aperti i problemi relativi alla valutazione del numero riferito ad ambiti locali (regionale, provinciale o comunale) ed alla ripartizione del valore complessivo tra le diverse classi normative (pre Euro, Euro I ed Euro II) e tra le diverse tipologie costruttive (motori a 2 o 4 tempi, con iniezione diretta o alimentazione tradizionale, con catalizzatore o senza, ecc.). Riguardo invece alle percorrenze, i dati disponibili presentano differenze notevoli (da 2 – 3000 km a 6000 km all'anno) e sono anche discordi relativamente alla dipendenza dall'età del veicolo: alcuni studi evidenziano infatti una minore utilizzazione dei veicoli più vecchi (e quindi più inquinanti), altri invece forniscono dati indipendenti da questo parametro.

E' chiaro che solamente un approfondimento di questi problemi, (percorrenze annue, composizione del parco circolante, fattori di emissione a caldo, fattori di emissione a freddo, ecc.) consentirà di valutare correttamente il contributo dei ciclomotori all'inquinamento atmosferico e di pianificare azioni mirate a limitare l'utilizzo dei veicoli più datati ed incentivare, se necessario ed opportuno, la diffusione e l'uso di quelli meno inquinanti.

INCENTIVI

Periodicamente vengono erogati incentivi per l'acquisto di veicoli di tecnologia più recente. L'ultimo accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ed ANCMA, siglato nell'aprile 2005 e divenuto operativo il 20/05/05, stabiliva un contributo di 250 € per un budget complessivo di 2.5 milioni di €, per l'acquisto di veicoli Euro II, senza obbligo di rottamazione di un vecchio veicolo. Tale tipo di accordo ha indubbiamente immesso sul mercato ciclomotori più "puliti", ma non ha tolto dalla circolazione molti di quelli vecchi e più inquinanti.