



ARPAT

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale
della Toscana



Elaborazione preliminare dei dati rilevati nel corso della campagna “VADO PULITO” e dei valori di benzene misurati da ARPAT.

- ALLEGATO 1: Proposta di metodologia di verifica dei gas di scarico per veicoli 2 ruote.
- ◆ ALLEGATO 2: Presentazione dei dati in forma grafica.

Aprile 2001

ARPAT

Dipartimento Provinciale di Firenze
Via Ponte alle Mosse, 211
50144 FIRENZE
tel. 055.3206243

ACITOSCANA SERVICE S.R.L.

Sede Legale V.le Amendola, 36 50121 Firenze
Sede Amm.va Via dei Fossi 14/c 59100 Prato
tel. 0574.620706

1. Premessa

Il presente rapporto è stato redatto sulla base dei risultati acquisiti nello svolgimento della campagna volontaria di controllo dei gas di scarico di veicoli 2 ruote, denominata "VADO PULITO", e dei risultati delle misure di benzene, eseguite da ARPAT, su un campione di veicoli partecipanti alla campagna stessa.

Le elaborazioni presentate sono da considerarsi preliminari in quanto è in fase di ultimazione la verifica e la validazione del database delle misure e delle informazioni rilevate. Tuttavia, il definitivo assestamento del database potrà comportare modifiche limitate ai valori di emissione di ossidi di azoto (NO), non trattati nel presente rapporto anche perché scarsamente significativi per veicoli 2 ruote, o potrà interessare sporadici casi anomali, caratterizzati da valori di emissione estremi, non in grado di alterare significativamente il quadro riassuntivo presentato in questo rapporto.

2. Note a commento delle tabelle allegate.

Tabella 1: riassume la quantità di veicoli provati in ogni città, suddivisi per categoria.

Nella maggior parte delle città, l'iniziativa si è svolta nell'arco di tre giorni (tipicamente venerdì-sabato-domenica) durante i quali sono stati verificati 300-400 veicoli. A Milano la partecipazione è stata più contenuta (185 veicoli). A Napoli, l'iniziativa si è svolta per solo due giorni e, di conseguenza, i veicoli provati sono risultati solo 258. A Catania, l'iniziativa si è svolta per quattro giorni e, di conseguenza, i veicoli provati sono risultati ben 672.

In totale, sono stati provati 2860 veicoli 2 ruote.

Tabella 2: riassume la percentuale delle varie categorie di veicoli provati in ogni città e sul campione complessivo.

La categoria "ciclomotori 2 tempi non catalizzati" (ciclomotori 2T noKAT) appare la più rappresentata nelle città Firenze, Bologna, Palermo, Catania e Roma (quota 49 - 67% del totale), seguita dalla categoria "motocicli 4 tempi non catalizzati" (motocicli 4T noKAT - quota 16 - 32% del totale).

Nelle città Milano e Genova si osserva una distribuzione inversa, con prevalenza di motocicli 4T noKAT (41 - 46% del totale).

La categoria "motocicli 2 tempi non catalizzati" (motocicli 2T noKAT) assume la maggior consistenza nelle città Genova e Napoli (31-34% del totale) mentre nelle altre città è meno rappresentata (6-11% del totale).

Del tutto trascurabile appare la presenza di ciclomotori 4 tempi.

L'incidenza di veicoli catalizzati risulta molto limitata a livello di motocicli (2 o 4 tempi) mentre è significativa a livello di ciclomotori 2 tempi, soprattutto nelle città Firenze e Catania (10 - 11% del totale) dove è pari a 15 - 17% della categoria "ciclomotori". Nelle altre città, quest'ultimo indicatore risulta generalmente nel range 8 -11%, con l'eccezione di Roma in cui risulta molto inferiore (circa 3%).

Tabella 3: mostra la distribuzione per classi di cilindrata limitatamente alla categoria motocicli (i ciclomotori hanno cilindrata fino a 50 cc per definizione, con valori tipici 48-50 cc).

I motocicli 2 tempi (catalizzati o meno) ricadono quasi esclusivamente nella categoria da 51-200 cc (le motorizzazioni tipiche sono 125 e 150 cc).

La distribuzione dei motocicli 4 tempi noKAT mostra maggiore dispersione di valori nelle diverse città. Le piccole cilindrato (51-200 cc) rappresentano oltre il 50 % della categoria a Firenze, Bologna, Genova, Napoli e Roma. Nelle città Milano e Palermo appare più rappresentata la classe 501-1000 cc). A Catania le moto di cilindrata piccola equivalgono quelle della classe 501-1000 cc.

La categoria "motocicli 4T KAT" è poco numerosa (1-7 veicoli per città, v. tab. 1), di conseguenza la distribuzione in classi di cilindrata è da considerarsi poco significativa.

Tabella 4: mostra la distribuzione dei veicoli per età (anno di immatricolazione per i motocicli, anno di rilascio del certificato di circolazione per ciclomotori). Per i ciclomotori 2T noKAT, nella maggior parte delle città la maggioranza dei veicoli è relativamente giovane (meno di 4 anni). Nelle città Bologna, Milano e Genova prevalgono i ciclomotori con più di 6 anni. I ciclomotori 2T KAT, ovviamente, sono in uso da non più di un anno. Per i motocicli 2T noKAT si osserva la larga prevalenza di veicoli con oltre 6 anni in tutte le città salvo Genova nella quale si ha sostanziale equilibrio di veicoli con oltre 6 anni e di veicoli con 2-3 anni. Per i motocicli 4T noKAT la generale prevalenza è di veicoli recenti (max 2 anni), con l'eccezione di Milano (circa 1/3 recenti e circa 1/3 con oltre 6 anni) e di Genova (circa 1/3 recenti e circa la metà con 2-4 anni di età). I motocicli 2 o 4 tempi dotati di catalizzatore risultano tutti immatricolati da non oltre 2 anni.

Tabella 5: mostra l'età media dei veicoli, calcolata in base all'anno di immatricolazione per i motocicli e in base alla data di rilascio del certificato di circolazione per i ciclomotori. Si rilevano differenze nell'età del parco provato comprese fra gli estremi 4,3 e 7,3 anni. In cinque città i ciclomotori risultano mediamente più giovani di circa 1-2 anni rispetto ai motocicli. A Bologna, Milano e Roma l'età dei ciclomotori risulta maggiore di 0,5-1,5 anni rispetto ai motocicli. Nella stessa tabella si mostra anche la percorrenza media annuale calcolata come media del rapporto fra la percorrenza chilometrica e l'età di ciascun veicolo. Tenuto conto che l'uso del veicolo 2 ruote può subire sostanziali modifiche nel corso degli anni, si è calcolata anche la percorrenza annuale media per i veicoli più recenti, in particolare quelli immatricolati nel triennio 1997-99. Questi ultimi valori medi, come atteso, risultano superiori a quelli calcolati sull'intero parco provato. Le percorrenze annuali dei veicoli più recenti risultano comprese nel range 2833 Km/anno (ciclomotori di Bologna) e 7114 Km/anno (ciclomotori di Napoli).

Tabella 6: mostra le concentrazioni medie degli inquinanti "normati", ovvero ossido di carbonio (CO) e idrocarburi totali (HC), di anidride carbonica (CO₂) e di ossigeno (O₂) rilevate allo scarico delle varie tipologie di veicoli, ai due diversi regimi di prova (minimo e corrispondente alla velocità 45 Km/h). Non

sono riportati i valori relativi alla categoria "ciclomotori 4T KAT" perché poco rappresentata (2 veicoli).

Si osservi che l'incremento del regime, assieme all'incremento del volume di gas emesso in funzione del numero di giri del motore, determina l'incremento di concentrazione di CO_2 e la riduzione di concentrazione di O_2 . Parallelamente si verifica la riduzione di concentrazione di HC ma non sempre quella di CO.

Tabella 7: mostra la cilindrata media di ciascuna categoria di veicoli e i valori della media aritmetica calcolata, per ciascun parametro, sui valori di concentrazione relativi ai singoli regimi. Non sono riportati i valori relativi alla categoria "ciclomotori 4T KAT" perché non sufficientemente rappresentata (2 veicoli).

Si osservi che le concentrazioni di CO assumono valori compresi in un modesto range per veicoli con motorizzazione sia 2 tempi che 4 tempi (3.0-3.6 % per veicoli catalizzati, 4.2-4.9 % per veicoli non catalizzati).

Le concentrazioni di HC risultano simili per ciclomotori e motocicli con motorizzazione 2 tempi (4107-5134 vpm per i veicoli catalizzati, 6311-6804 vpm per i veicoli non catalizzati) mentre presentano concentrazione inferiore di oltre un ordine di grandezza per motori 4 tempi (205 vpm per veicoli catalizzati, 432-617 vpm per veicoli non catalizzati).

Le concentrazioni di O_2 residuo sono comprese nel range 2,6-5,0% per motorizzazione 4 tempi (catalizzati o non catalizzati) e per motorizzazione 2 tempi catalizzati, mentre risultano a livello 7,2-8,0% per motorizzazioni 2 tempi non catalizzati (motocicli o ciclomotori).

Tabella 8: mostra la variazione percentuale di concentrazione media di CO, CO_2 , HC e O_2 rilevata sui veicoli catalizzati rispetto a quelli non catalizzati della stessa categoria.

Per i gas inquinanti, si osservi che il parco catalizzato presenta emissione di CO mediamente 26-29% inferiore rispetto a quello non catalizzato, indipendentemente dalla tipologia di veicolo e di motorizzazione (ciclomotore, motociclo, 2 o 4 tempi). La riduzione di emissione di HC appare diversificata: nella motorizzazione 2 tempi l'introduzione di catalizzatori produce un decremento del 25 % sui ciclomotori e del 35 % sui motocicli mentre produce un effetto più rilevante nella motorizzazione 4 tempi dove il decremento medio risulta pari al 53%.

Per CO_2 e O_2 , si osservi che l'applicazione del post. combustore catalitico (catalizzatore ossidante) determina andamenti diversificati. CO_2 si incrementa notevolmente (49-54%) per i motori 2 tempi, si incrementa di poco (11%) per i motori 4 tempi. Contemporaneamente si ha la riduzione proporzionale di O_2 . Si tratta di un andamento atteso in quanto conseguente alla combustione di HC e CO contenuti nei gas di scarico con produzione di CO_2 e contestuale decremento di O_2 . Nel caso dei motori 2 tempi, il processo è più rilevante sotto l'aspetto quantitativo a causa del maggior contenuto di HC.

Tabella 9: mostra le concentrazioni medie di benzene rilevate allo scarico di un campione di veicoli esaminati nella campagna VADO PULITO. Per chiarezza di esposizione, si riportano anche i valori di concentrazione di HC relativi agli specifici veicoli utilizzati per il rilevamento di benzene, valori determinati nell'ambito della stessa campagna VADO PULITO.

Si osservi che, come per il parametro HC, la differenza di concentrazione fra i due regimi è praticamente nulla nel caso della motorizzazione 4 tempi (su veicoli catalizzati o meno), mentre è rilevante nel caso della motorizzazione 2 tempi (su veicoli catalizzati o meno).

Si osservi anche che il tasso percentuale di benzene sull'intera categoria di HC assume valori maggiori allo scarico dei veicoli catalizzati (da 2,8% a 4,1% come media dei due regimi per i 2 tempi, da 5,8% a 8,7% come media dei due regimi per i 4 tempi). Si tratta di un fenomeno noto, causato dalla maggiore stabilità e da reazioni di formazione del benzene nei processi di combustione che si realizzano sul catalizzatore. Il fatto che risulti incrementato il tasso percentuale non necessariamente implica l'incremento assoluto di emissione che, invece, è da calcolare come prodotto del tasso percentuale per la concentrazione residua di HC totali.

Tabella 10: mostra la riduzione percentuale media di concentrazione di benzene (e di HC) ai due diversi regimi e rispettiva media aritmetica, rilevata sul campione di veicoli catalizzati rispetto a quelli non catalizzati con motorizzazione 2 o 4 tempi, utilizzati per il rilevamento di tale inquinante.

Si osservi che le riduzioni di concentrazione di HC risultano sostanzialmente analoghe a quelle calcolate per l'intero parco esaminato nella campagna VADO PULITO.

Per quanto concerne il benzene, il parco catalizzato 4 tempi presenta emissione ridotta mediamente del 20% rispetto al non catalizzato, mentre sul parco catalizzato 2 tempi la riduzione rispetto al non catalizzato è mediamente del 4%.

3. Comparazione 2 tempi/4 tempi.

L'esame delle tabelle 7 e 9 consente di valutare le differenze nella emissione di inquinanti allo scarico di veicoli dotati di motore 2 tempi e 4 tempi senza post combustore catalitico.

In prima approssimazione, la concentrazione di CO non mostra differenze sostanziali che risultano mediamente comprese nel range 4,2-4,9%.

Estremamente rilevante appare la differenza di concentrazione per la classe HC totali, a livello di circa 400 vpm per il 4 tempi (600 vpm nel caso di ciclomotori, ma si tenga conto della scarsa numerosità del campione prova) e di 6000-7000 vpm per il 2 tempi, ovvero circa 15 volte superiore.

Molto evidente risulta anche la differenza per il benzene, a livello di circa 25 vpm per il 4 tempi e di circa 160 vpm per il 2 tempi, ovvero 6-7 volte superiore.

4. Comparazione catalizzati/non catalizzati.

L'esame delle tabelle 8 e 10 consente di valutare le differenze nella emissione di inquinanti allo scarico di veicoli dotati di dispositivo idoneo a favorire l'ossidazione di CO e di HC (catalizzati) con quelli privi di tale dispositivo.

In prima approssimazione, l'introduzione del catalizzatore porta ad una riduzione di concentrazione di CO analoga per i motori 2 o 4 tempi ma piuttosto modesta, nell'ordine del 25-30% (si tenga conto che sulle auto a benzina l'efficacia del catalizzatore supera 80%).

Effetto analogo è riscontrabile per HC sui motori 2 tempi, mentre effetto maggiore, nell'ordine del 50%, viene rilevato per le motorizzazioni 4 tempi.

Per il benzene, a causa della stabilità termodinamica di questa molecola e delle reazioni di formazione, l'efficacia del post combustore catalitico si dimostra quasi nulla nel caso dei motori 2 tempi (<10%) e piuttosto limitata nel caso dei motori 4 tempi (mediamente nell'ordine del 20%).

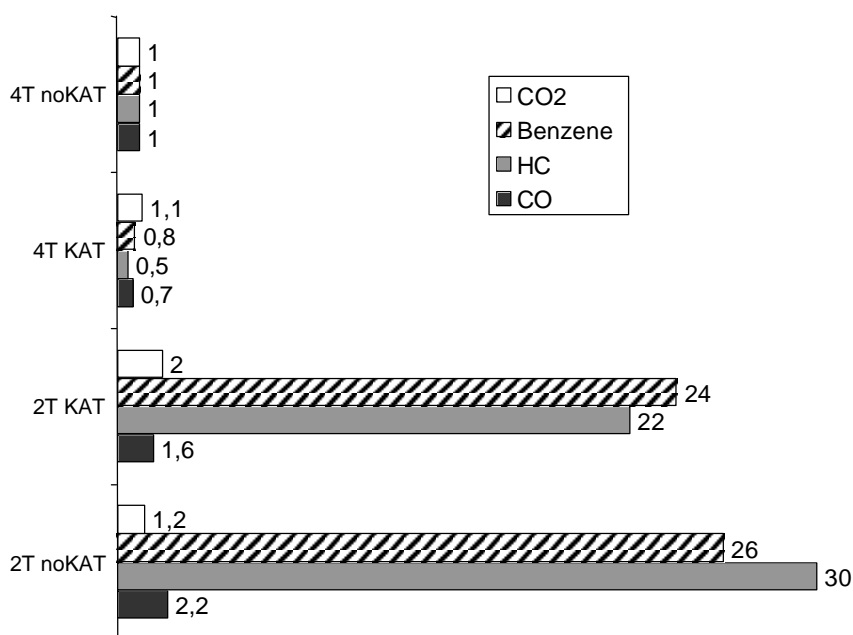
5. Comparazione fra tipologia di veicoli 2 ruote.

Il parametro correttamente utilizzabile per il confronto fra veicoli a motore sul piano delle emissioni inquinanti è il cosiddetto "fattore di emissione". Tale parametro, normalmente espresso in massa di inquinante per chilometro percorso, viene usualmente determinato attraverso misure al banco durante l'esecuzione di un ciclo di prova.

Nel corso della campagna VADO PULITO sono stati acquisiti i dati di concentrazione (espressi in volume di inquinante per volume di gas di scarico) a due punti fissi (minimo e regime corrispondente alla velocità 45 Km/h). Non è possibile da questi calcolare i fattori di emissione. Tuttavia, le misure di concentrazione costituiscono elemento di confronto utile a livello indicativo. In particolare, in considerazione del fatto che il volume di gas di scarico è in funzione della cilindrata e della frequenza delle fasi di scarico (una ogni giro del volano per motori 2 tempi, una ogni due giri del volano per motori 4 tempi) e che altre variabili possono considerarsi poco significative anche perché con effetto opposto (differenza di regime di rotazione del motore nei punti di prova, coefficiente di riempimento del cilindro), è possibile correlare il livello di emissione di ciascuna tipologia di veicolo su base comparativa della massa di inquinante emesso (prodotto di concentrazione per volume di gas di scarico) rispetto ad un tipo di veicolo/motore assunto a riferimento.

Nella figura successiva si mostra il risultato della comparazione, valido a parità di cilindrata, distinto per inquinante e costruito attribuendo valore unitario al livello di emissione del veicolo medio 4 tempi non catalizzato.

Comparazione della massa di emissione



Si osservi che la massa di CO emessa, tenuto conto anche dell'approssimazione della valutazione, è sostanzialmente simile per veicoli con e senza catalizzatore, 2 o 4 tempi. Il motore 2 tempi vale 1,6 o 2,2 motori 4 tempi noKAT, rispettivamente con scarico catalizzato e non catalizzato, mentre il 4 tempi catalizzato vale 0,7.

Per la massa di HC e di benzene, la situazione appare drasticamente diversa: Il motore 2 tempi vale, sostanzialmente, 20-30 motori 4 tempi, con differenze modeste nel caso di veicoli catalizzati.

Per quanto concerne CO₂, si tenga conto che l'applicazione del post combustore catalitico comporta aumento di emissione in quanto tale dispositivo viene applicato proprio per completare la trasformazione del carburante non combusto (HC) o parzialmente combusto (CO) in modo da ridurre la concentrazione degli inquinanti. Il prodotto principale delle reazioni che avvengono nel motore e sul catalizzatore, ambedue di combustione, è CO₂ anche se nel primo caso può essere considerata come indice di buon rendimento (perché relativa alla quota di carburante convertita in lavoro meccanico) mentre nell'altro è indice di buon abbattimento degli inquinanti ma anche di perdita di efficienza (perché relativa alla quota di carburante non convertito in lavoro meccanico).

Anche nel caso di CO₂, come per CO, la quantità emessa non è molto diversa per veicoli con e senza catalizzatore, 2 o 4 tempi. Il motore 2 tempi vale 2 o 1,2 motori 4 tempi noKAT, rispettivamente con scarico catalizzato e non catalizzato, mentre il 4 tempi catalizzato vale 1,1.

6. Controllo dei gas di scarico.

Una delle finalità della campagna VADO PULITO attiene l'individuazione della migliore procedura da utilizzare per la verifica dei gas di scarico, sia in sede di revisione periodica che di controllo ai fini del rilascio dell'eventuale "bollino" (analogamente a quanto avviene per le auto). Con il termine "migliore" si intende la procedura che, pur conservando validità tecnica, non richieda tempi e attrezzature particolarmente onerosi.

In buona sostanza si tratta di scegliere il regime a cui eseguire la prova e il parametro di riferimento da misurare.

Il rapporto allegato al presente documento (*ALLEGATO 1*) illustra, in base agli esiti della sperimentazione condotta, le motivazioni tecniche che inducono a suggerire il rilevamento di CO₂ al regime corrispondente alla velocità 45 Km/h o dello stesso ordine di grandezza.

In sintesi, le motivazioni di questa opzione sono:

- ♦ il regime 45 Km/h è più rappresentativo dell'uso del veicolo
- ♦ il parametro CO₂ contiene la maggiore informazione sullo stato di manutenzione del motore e sulla integrità dello scarico

E' evidente che, contrariamente al caso delle verifiche su CO (o su HC), l'esito della prova è tanto migliore quanto maggiore è il livello di CO₂.

7. Considerazioni riassuntive.

La consistenza e la distribuzione del parco di veicoli 2 ruote provato nella campagna VADO PULITO, l'esito delle misure dirette sui gas di scarico (eseguite da ACITOSCAN SERVICE s.r.l) e delle rilevazioni di benzene (eseguite da ARPAT a margine della campagna stessa), consentono di esprimere le seguenti considerazioni:

A) i motori 2 tempi, a parità di cilindrata e trascurando gli effetti delle altre variabili, hanno una capacità inquinante, in termini flusso di massa di HC e di benzene, 20-30 volte superiore ai 4 tempi;

B) l'effetto della catalizzazione è modesto per CO su motori 4 tempi e 2 tempi e per HC su motori 2 tempi (riduzioni dell'ordine del 30%), migliore per HC su motori 4 tempi (riduzione dell'ordine di 50%); per benzene, l'effetto è modesto su motori 4 tempi (riduzione dell'ordine del 20%) e quasi trascurabile su motori 2 tempi (riduzione dell'ordine del 4%);

C) la migliore procedura di controllo dei gas di scarico di veicoli 2 ruote consiste nel rilevamento di CO₂ al regime corrispondente alla velocità di 45 Km/h (o dello stesso ordine di grandezza).

Legenda:

- 2T, 4T = 2 tempi, 4 tempi
- KAT, noKAT = catalizzato, non catalizzato (per catalizzato si intende un veicolo dotato di dispositivo idoneo a favorire l'ossidazione di HC e di CO nello scarico)
- CO% = concentrazione di ossido di carbonio espressa in % (volume/volume)
- CO₂% = concentrazione di anidride carbonica espressa in % (volume/volume)
- HC vpm = concentrazione di idrocarburi totali espressa in vpm (volume per milione)
- O₂% = concentrazione di ossigeno espressa in % (volume/volume)
- cc = centimetri cubici (unità di misura della cilindrata)
- benzene vpm = concentrazione di benzene espressa in vpm (volume per milione)

Tab. 1 = quantità dei veicoli provati per città e per categoria.

CITTA'	Firenze	Bologna	Milano	Genova	Palermo	Catania	Napoli	Roma	TOTALE
PERIODO	22-24/IX	29/IX-1/X	6-9/X	13-15/X	20-22/X	27-30/X	14-15/XI	10-12/XI	
VEICOLI PROVATI	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°	N°
<i>Ciclomotori 2T noKAT</i>	165	226	65	75	198	367	71	219	1386
<i>Ciclomotori 2T KAT</i>	34	24	8	6	18	67	7	8	172
<i>Ciclomotori 4T noKAT</i>	2	3	0	0	2	1	0	0	8
<i>Ciclomotori 4T KAT</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Motocicli 2T noKAT</i>	22	39	19	101	47	62	89	18	397
<i>Motocicli 2T KAT</i>	6	6	7	8	9	15	6	4	61
<i>Motocicli 4T noKAT</i>	88	57	84	132	129	159	82	75	806
<i>Motocicli 4T KAT</i>	4	4	2	4	7	1	3	3	28
<i>Totale 2T noKAT</i>	187	265	84	176	245	429	160	237	1783
<i>Totale 2T KAT</i>	40	30	15	14	27	82	13	12	233
<i>Totale 4T noKAT</i>	90	60	84	132	131	160	82	75	814
<i>Totale 4T KAT</i>	6	4	2	4	7	1	3	3	30
<i>Totale 2T</i>	227	295	99	190	272	511	173	249	2016
<i>Totale 4T</i>	96	64	86	136	138	161	85	78	844
<i>Totale ciclomotori</i>	203	253	73	81	218	435	78	227	1568
<i>Totale motocicli</i>	120	106	112	245	192	237	180	100	1292
<i>Totale veicoli</i>	323	359	185	326	410	672	258	327	2860

Tab. 2 = distribuzione percentuale dei veicoli provati per città e per categoria.

		CITTA'	Firenze	Bologna	Milano	Genova	Palermo	Catania	Napoli	Roma	MEDIA
<i>Veicolo</i>	<i>motore</i>	<i>scarico</i>	%	%	%	%	%	%	%	%	%
<i>Ciclomotori</i>	<i>2 tempi</i>	<i>noKAT</i>	50	62	35	23	49	55	28	67	49
		<i>KAT</i>	11	7	4	2	4	10	3	2	6
	<i>4 tempi</i>	<i>noKAT</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0
		<i>KAT</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Motocicli</i>	<i>2 tempi</i>	<i>noKAT</i>	7	11	10	31	11	9	34	6	14
		<i>KAT</i>	2	2	4	2	2	2	2	1	2
	<i>4 tempi</i>	<i>noKAT</i>	27	16	46	41	32	24	32	23	28
		<i>KAT</i>	1	1	1	1	2	0	1	1	1
		<i>totale</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tab. 3 = distribuzione percentuale dei motocicli provati di ciascuna categoria per classe di cilindrata.

Motore	scarico	CITTA'	Firenze	Bologna	Milano	Genova	Palermo	Catania	Napoli	Roma	MEDIA
		classe di cilindrata (cc)	%	%	%	%	%	%	%	%	%
2 tempi	noKAT	51-200	91	100	100	99	100	100	98	94	98
		201-500	9	0	0	1	0	0	2	6	2
		501-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	KAT	51-200	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		201-500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		501-1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		>1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 tempi	noKAT	51-200	53	53	25	68	23	40	51	59	46
		201-500	7	28	20	18	22	20	22	29	20
		501-1000	35	19	49	14	48	39	27	12	32
		>1000	5	0	6	0	7	1	0	0	2
	KAT	51-200	50	100	50	25	29	100	34	0	43
		201-500	50	0	0	50	0	0	33	67	25
		501-1000	0	0	0	25	71	0	33	33	28
		>1000	0	0	50	0	0	0	0	0	4

Tab. 4 = distribuzione percentuale dei veicoli provati di ciascuna categoria per anno di immatricolazione.

			CITTA'				Firenze	Bologna	Milano	Genova	Palermo	Catania	Napoli	Roma	MEDIA
veicolo	motore	scarico	anno immatric.	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ciclomotori	2 tempi	noKAT	fino a 1994	29	42	44	40	32	30	28	32	34			
			1995 e 1996	27	25	17	27	25	20	27	28	24			
			1997 e 1998	39	28	28	25	37	34	37	33	33			
			1999 e 2000	5	5	11	8	6	16	8	7	9			
		KAT	fino a 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1995 e 1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1997 e 1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1999 e 2000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	4 tempi	noKAT	fino a 1994	0	34	0	0	0	0	0	0	0	13		
			1995 e 1996	50	0	0	0	0	0	0	0	0	13		
			1997 e 1998	0	33	0	0	0	100	0	0	0	25		
			1999 e 2000	50	33	0	0	100	0	0	0	0	49		
		KAT	fino a 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1995 e 1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1997 e 1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1999 e 2000	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100		
motocicli	2 tempi	noKAT	fino a 1994	50	54	42	62	68	58	56	55	58			
			1995 e 1996	14	5	5	17	15	14	7	22	12			
			1997 e 1998	18	26	53	17	6	15	18	6	18			
			1999 e 2000	18	15	0	4	11	13	19	17	12			
		KAT	fino a 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1995 e 1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1997 e 1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1999 e 2000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	4 tempi	noKAT	fino a 1994	23	19	37	17	29	27	23	12	24			
			1995 e 1996	6	7	13	8	8	9	7	12	8			
			1997 e 1998	24	26	19	45	22	17	18	23	25			
			1999 e 2000	47	48	31	30	41	47	52	53	43			
		KAT	fino a 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1995 e 1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1997 e 1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
			1999 e 2000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		

Tab. 5 = età media e percorrenza annuale media di tutti i veicoli provati, percorrenza annuale media dei veicoli immatricolati nel triennio 1997-99.

città	Veicolo	età media (anni)	percorrenza media annuale totale (Km/anno)	percorrenza media annuale per immatricolati 1997-98-99 (Km/anno)
Bologna	ciclomotori	7,3	1952	2833
	motocicli	5,9	3285	4400
	tutti	6,8	2325	3355
Firenze	ciclomotori	4,3	3385	3391
	motocicli	5,0	3657	5143
	tutti	4,6	3511	4008
Milano	ciclomotori	6,2	2240	3987
	motocicli	5,7	3750	3684
	tutti	5,8	3202	3805
Genova	ciclomotori	6,2	2157	3488
	motocicli	6,8	4483	5231
	tutti	6,7	3925	4904
Palermo	ciclomotori	5,1	2955	4502
	motocicli	6,7	3492	5717
	tutti	5,9	3428	5019
Catania	ciclomotori	4,9	3478	4322
	motocicli	6,1	3763	4643
	tutti	5,3	3603	4400
Napoli	ciclomotori	5,0	6128	7114
	motocicli	6,9	3659	7001
	tutti	6,3	4266	7040
Roma	ciclomotori	5,3	3963	5652
	motocicli	4,4	4570	6276
	tutti	5,0	4145	5852
Media	ciclomotori	5,4	3136	4299
	motocicli	6,1	3927	5315
	tutti	5,7	3539	4730

Tab. 6 = concentrazioni medie rilevate allo scarico a due regimi, per categoria di veicoli.

veicolo	motore	scarico	n.	regime	CO %	CO ₂ %	HC vpm	O ₂ %
ciclomotori	2 tempi	KAT	172	45 Km/h	3,6	10,1	3391	3,8
				minimo	3,7	8,2	6876	6,3
		noKAT	1386	45 Km/h	5,5	7,9	4140	5,0
				minimo	4,3	4,2	9468	11,1
	4 tempi	KAT	2	45 Km/h	Dati statisticamente non significativi			
				minimo				
		noKAT	8	45 Km/h	6,7	10,3	503	0,9
				minimo	3,0	10,6	735	4,3
motocicli	2 tempi	KAT	61	45 Km/h	2,9	11,3	2487	2,8
				minimo	3,4	10,3	5726	3,8
		noKAT	397	45 Km/h	4,0	9,6	3333	4,2
				minimo	4,9	4,4	9288	10,2
	4 tempi	KAT	28	45 Km/h	3,4	11,8	187	1,7
				minimo	2,6	10,3	223	4,6
		noKAT	806	45 Km/h	4,4	11,0	316	2,1
				minimo	3,9	9,1	548	4,9

Tab. 7 = cilindrata media e concentrazioni medie rilevate allo scarico, per categoria di veicoli.

Veicolo	motore	scarico	Cilindrata media (cc)	CO %	CO ₂ %	HC vpm	O ₂ %
Ciclomotori	2 tempi	KAT	50	3,6	9,1	5134	5,0
		noKAT		4,9	6,1	6804	8,0
	4 tempi	KAT		Dati statisticamente non significativi			
		noKAT					
Motocicli	2 tempi	KAT	138	3,2	10,8	4107	3,3
		noKAT	144	4,5	7,0	6311	7,2
	4 tempi	KAT	405	3,0	11,0	205	3,1
		noKAT	385	4,2	10,1	432	3,5

Tab. 8 = variazione di concentrazione media rilevata allo scarico di veicoli catalizzati rispetto a non catalizzati, per categoria di veicoli.

<i>Veicolo</i>	<i>motore</i>	<i>CO</i>	<i>CO₂</i>	<i>HC</i>	<i>O₂</i>
<i>Ciclomotori</i>	<i>2 tempi</i>	- 26 %	+ 49 %	- 25 %	- 37 %
	<i>4 tempi</i>	Dati statisticamente non significativi			
<i>Motocicli</i>	<i>2 tempi</i>	- 29 %	+ 54 %	- 35 %	- 54 %
	<i>4 tempi</i>	- 28 %	+ 11 %	- 53 %	- 11 %

Tab. 9 = concentrazioni di HC e di benzene rilevate allo scarico dei veicoli provati da ARPAT.

<i>motore</i>	<i>scarico</i>	<i>Veicoli n.</i>	<i>regime</i>	<i>Benzene vpm</i>	<i>HC vpm</i>	<i>Rapporto Benzene/HC %</i>
<i>2 tempi</i>	<i>KAT</i>	9	<i>45 Km/h</i>	81	2138	4.4
			<i>minimo</i>	221	5690	3.8
			<i>media</i>	151	3914	4.1
	<i>noKAT</i>	9	<i>45 Km/h</i>	83	3216	2.6
			<i>minimo</i>	235	8119	3.1
			<i>media</i>	159	5167	2.8
<i>4 tempi</i>	<i>KAT</i>	10	<i>45 Km/h</i>	22	240	9.2
			<i>minimo</i>	18	218	8.2
			<i>media</i>	20	229	8.7
	<i>noKAT</i>	11	<i>45 Km/h</i>	25	431	5.8
			<i>minimo</i>	25	429	5.8
			<i>media</i>	25	430	5.8

Tab. 10 = variazione di concentrazione, ai singoli regimi di prova e in media, per benzene e HC rilevata allo scarico di veicoli catalizzati rispetto a non catalizzati.

<i>Motore</i>	<i>regime</i>	<i>benzene</i>	<i>HC</i>
<i>2 tempi</i>	<i>45 Km/h</i>	- 6 %	- 30 %
	<i>Minimo</i>	- 2 %	- 34 %
	<i>media</i>	- 4 %	- 32 %
<i>4 tempi</i>	<i>45 Km/h</i>	- 28 %	- 49 %
	<i>Minimo</i>	- 12 %	- 44 %
	<i>media</i>	- 20 %	- 47 %

ALLEGATO 1

Proposta di metodologia di verifica dei gas di scarico per veicoli 2 ruote.

Daniele Grechi (ARPAT - Dipartimento di Firenze)

A seguito delle misure condotte nell'ambito della campagna VADO PULITO, è possibile individuare la migliore metodologia di prova da adottare per la verifica dei gas di scarico di veicoli 2 ruote.

1. Scelta del regime.

Il confronto fra le misure degli inquinanti (CO e HC totali) e di CO₂ consente di evidenziare che fra i valori rilevati ai due diversi regimi (minimo e 45 Km/h) non sussiste correlazione o che questa è molto scarsa (v. figure 1-6). Tuttavia, per CO₂ il coefficiente di correlazione (R^2) è comunque migliore (v. tabella 1).

Tab. 1 = Correlazione fra le misure al minimo e a 45 Km/h: valori di R^2

parametro	Motociclo 4T noKAT	Ciclomotore 2T noKAT
CO	0,0863	0,0912
HC	0,1667	0,1615
CO ₂	0,3573	0,2181

Si tratta di un dato atteso, considerato che il carburatore è dotato di circuiti indipendenti a seconda che la farfalla sia chiusa (minimo) o aperta (con gradualità in funzione dell'azionamento della manopola del gas).

Inoltre, la coerenza delle misure di CO₂ a 45 Km/h è più elevata rispetto a quelle al minimo. Il coefficiente di variabilità risulta (v. elaborazioni ACI, versione 5:

- ◆ 24% a 45 Km/h per motorizzazione 2T e 4T,
- ◆ 49% al minimo per motorizzazione 2T,
- ◆ 36% al minimo per motorizzazione per motorizzazione 4T.

In pratica ciò suggerisce che la verifica delle emissioni dovrebbe comprendere sia la prova al minimo sia almeno un'altra ad un regime accelerato, al fine di controllare la regolazione della carburazione in ambedue i casi.

Se deve essere scelto un unico regime di prova, si ritiene più rappresentativo quello diverso dal minimo sia perché più frequente sia perché generatore, di norma, di più elevato flusso di massa di inquinante (inteso come prodotto della concentrazione per il volume dei gas di scarico).

Nella normativa tecnica europea si riscontrano altri casi in cui si adotta un regime di prova diverso dal minimo:

- ♦ per la misura di fumosità allo scarico dei motori ad accensione spontanea (diesel);
- ♦ per la misura di CO e la verifica di λ allo scarico di motori ad accensione comandata, dotati di catalizzatore e controllo della carburazione.

2. Scelta del parametro.

L'individuazione del parametro che racchiude la maggiore informazione circa il corretto funzionamento del motore può essere condotta valutando la correlazione fra le misure di CO₂ vs HC e vs CO, rispetto a quelle di CO vs CO₂ e vs HC, , al regime 45 Km/h. Dagli elaborati ACI (versione 5.) si desumono i coefficienti di correlazione (R^2) sintetizzati in tabella 2.

Tab. 2 = Correlazione fra le misure di CO₂, CO e HC a 45 Km/h: valori di R^2

Regressione lineare	Motociclo 4T noKAT	Ciclomotore 2T noKAT
CO ₂ vs HC	0,68	0,90
CO ₂ vs CO	0,75	0,84
CO vs HC	0,14	0,16

Si osservi che la misura di CO₂ è ben correlata alle misure sia di HC che di CO per i motori 2 tempi e discretamente correlata per i motori 4 tempi. La correlazione CO vs HC è, invece, molto scarsa per ambedue le tipologie di motori.

Non appare congruo utilizzare il parametro CO_{corretto} per la verifica delle correlazioni, in quanto determinato tramite eliminazione di una variabile (la diluizione o comunque la concentrazione di O₂ residuo) alla quale sono soggetti nella stessa misura anche CO₂ e HC (v. punto 3).

3. Uso del parametro CO_{corretto}.

Le norme tecniche prevedono l'uso del parametro CO_{corretto} al posto della misura di CO nel caso in cui la somma dei valori di CO e di CO₂, espressi in % v/v, risulti inferiore a 15.

Questa indicazione vale per i gas di scarico dei motori 4 tempi ad accensione comandata che equipaggiano veicoli 4 ruote.

Il coefficiente numerico 15 costituisce il valore massimo teorico della somma delle concentrazioni di CO+CO₂, espresse in % volume/volume, riscontrabile in gas di scarico con concentrazione di O₂ pari a zero. La misura di CO_{corretto} consente di verificare indirettamente l'efficienza di combustione anche quando i gas di scarico siano soggetti a diluizione, ad esempio quando il terminale di scarico non sia integro. E' evidente che, in tal caso, anche CO₂ e HC subiscono lo stesso grado di diluizione.

Per verificare la correlazione fra l'emissione di CO e quella di CO₂ e di HC, non è congruo utilizzare il parametro CO_{corretto} che, rispetto a CO, è artificialmente

privato di un grado di libertà. Poiché la dispersione dei valori di CO_{corretto} può essere inferiore a quelle dei valori di CO (proprio per il fatto che viene fissata una variabile agente su di essi, ovvero la concentrazione di O_2), anche la correlazione fra le misure di CO_{corretto} e quelle di CO_2 e di HC risulta, in genere, migliore della analoga correlazione ottenuta con le misure di CO. E' tuttavia evidente che si tratta di un artefatto matematico senza riscontro in un reale fenomeno chimico-fisico.

Per quanto concerne il valore di riferimento utile al calcolo di CO_{corretto} , mentre nel caso di motorizzazione 4 tempi è consolidato e accettato il coefficiente 15 (valore massimo teorico per la somma di $CO+CO_2$ espressi in % v/v), per la motorizzazione 2 tempi occorre considerare che, anche nel regolare e ottimale funzionamento, la fase di scarico è contestuale alla fase di aspirazione della miscela carburante fresca. L'effetto risultante, come è noto, è la perdita miscela carburante fresca allo scarico nell'ordine del 20-25% e un tenore di O_2 libero dei fumi circa 4-5%, più elevato del range 0-1% normalmente riscontrato sui 4 tempi. Contemporaneamente, il tenore di CO_2 si riduce a circa il 12%, per effetto della diluizione intrinseca dei gas di scarico. Ne consegue che il valore di riferimento da adottare per l'eventuale calcolo di CO_{corretto} per motori 2 tempi dovrebbe essere 12, congruamente correlato al tenore di O_2 residuo (4-5%) tecnologicamente inevitabile.

Nel caso di veicoli 2 tempi dotati di efficiente post combustore allo scarico, il coefficiente di riferimento per il calcolo di CO_{corretto} , ammesso che abbia validità in relazione al fatto che non vi è un dispositivo di regolazione stechiometrica della miscela, dovrebbe essere 15.

Questi dati "teorici" trovano conferma nelle misure effettuate.

Nella tabella 3 si riassumono i valori riportati nelle elaborazioni ACI (versione 5.). In particolare si evidenziano i valori centrali della classe più rappresentata, relativi alle concentrazioni di CO, CO_2 e O_2 al regime 45 Km/h per motocicli 4T noKAT, ciclomotori 2T noKAT e KAT.

Si osservi che per 4T noKAT si hanno valori di $CO+CO_2$ e di O_2 che confermano le modalità di calcolo previste per le auto con motore ad accensione comandata. Per 2T noKAT si riscontrano valori di $CO+CO_2$ pari a 12 con O_2 pari a 5. Per 2T KAT si hanno valori di $CO+CO_2$ e di O_2 analoghi, presumibilmente per la scarsa efficienza del post combustore.

Tab. 3 = Concentrazioni di CO, CO_2 e O_2 al regime 45 Km/h: valore centrale della classe più popolata (da elaborati ACI, vers. 5).

Parametro	MOTO 4T noKAT	CICLO 2T noKAT	CICLO 2T KAT
CO %	3	5	3
CO_2 %	>12	7	9
$CO+CO_2$ %	>15	12	12
O_2 %	1	5	5

Quanto sopra conduce a ritenere possibile l'uso del parametro CO_{corretto} per la verifica delle emissioni di veicoli 2 ruote con motorizzazione 4 tempi, similmente al caso delle auto con motore ad accensione comandata, ma non

congruo per la verifica delle emissioni di motori 2 tempi, soprattutto se calcolato in riferimento al coefficiente pari a 10.

4. Considerazioni finali

Esaminati i dati acquisiti nella campagna VADO PULITO e visti gli esiti delle elaborazioni presentati nei paragrafi precedenti, appare ragionevole ritenere che la metodologia più efficace per la verifica dei gas di scarico di veicoli 2 ruote debba comportare la misura di CO₂ al regime di 45 Km/h, da confrontare con un valore minimo di soglia da stabilire.

Le valutazioni tecniche che orientano verso questa soluzione attengono a:

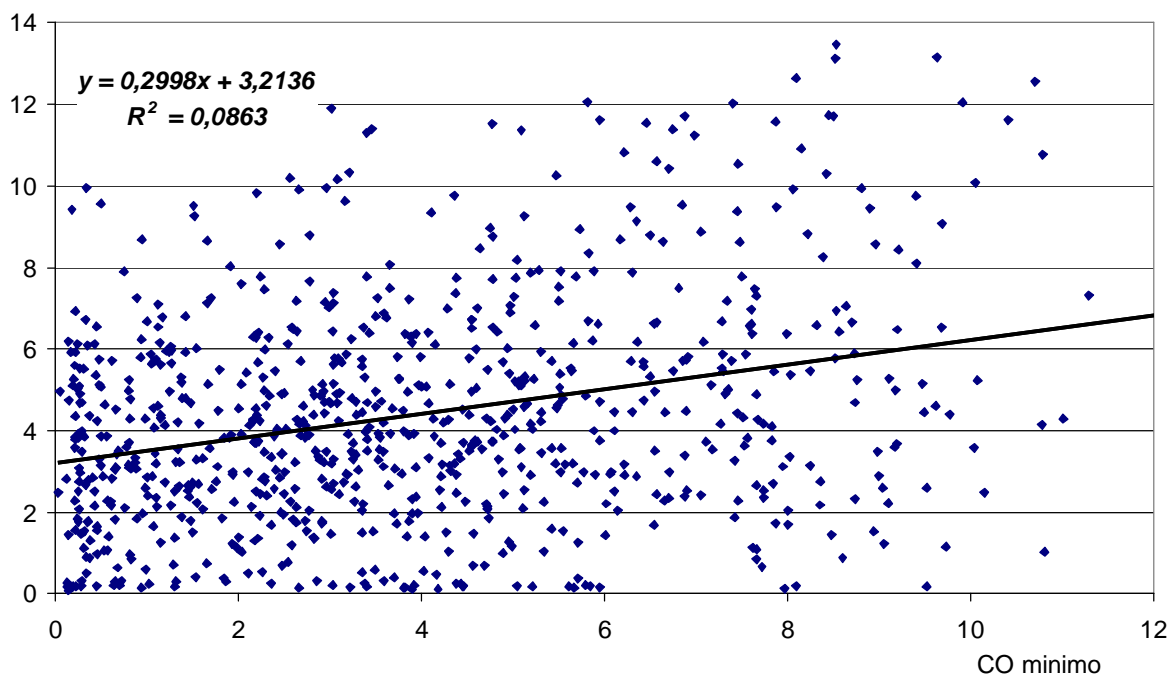
- ◆ maggiore rappresentatività del livello di emissione;
- ◆ maggiore coerenza dei valori (minore dispersione).

Questa opzione comporterebbe anche altri vantaggi quali:

- ◆ omnicomprensività rispetto ad altre caratteristiche tecniche del veicolo (l'esito positivo della verifica implica non solo la corretta carburazione e la massimizzazione del rendimento ma anche, ad esempio, l'integrità dello scarico);
- ◆ maggiore aderenza alla finalità del controllo (verifica del buono stato di manutenzione e di efficienza) evitando la fissazione di limiti fiscali su parametri quali CO e HC non normati a livello di omologazione

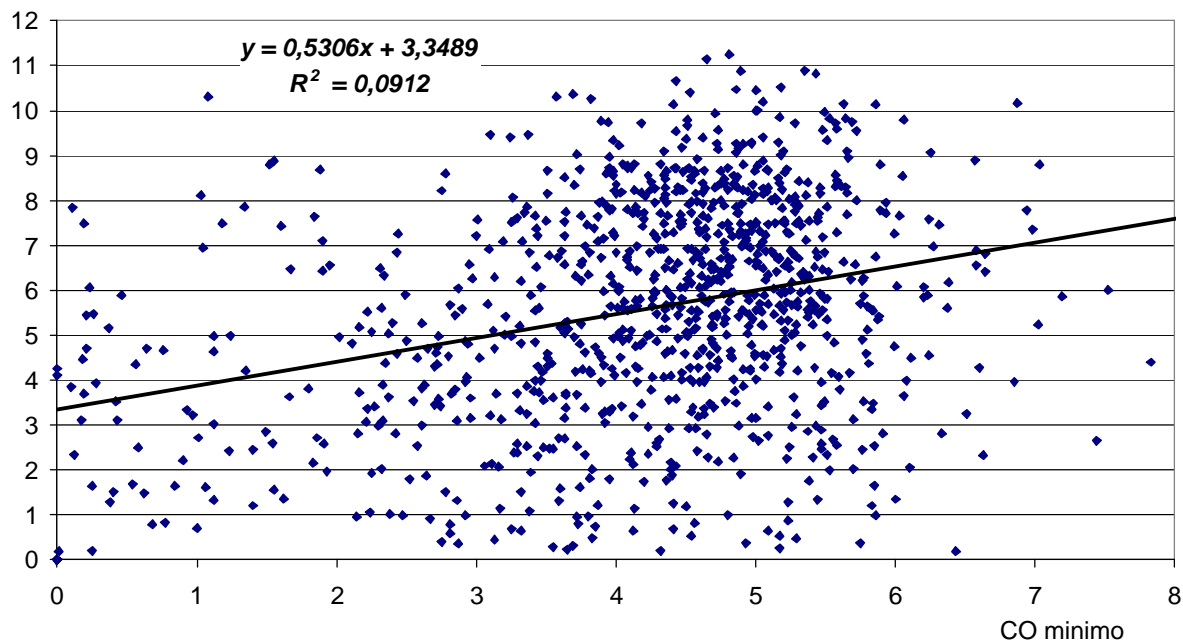
CO 45 Km/h

Fig. 1 = MOTOCICLI 4T noKAT: regressione lineare fra CO min e CO 45 Km/h.



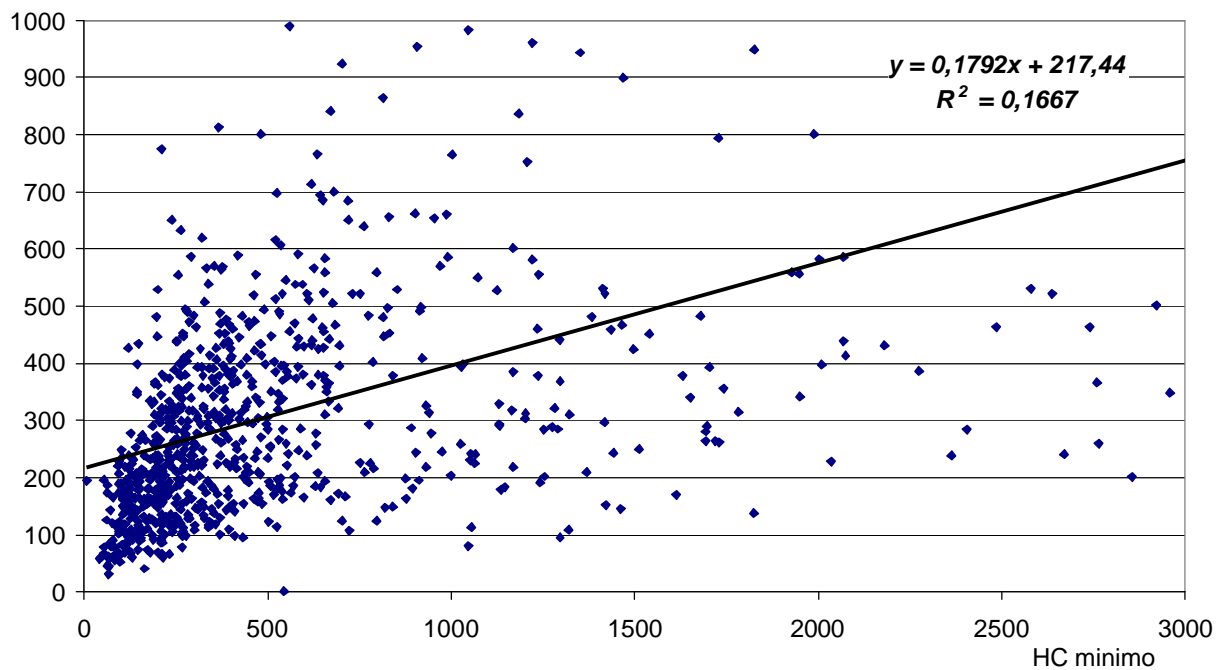
CO 45 Km/h

Fig. 2 = CICLOMOTORI 2T noKAT: regressione lineare fra CO min e CO 45 Km/h
(n. 1000 campioni).



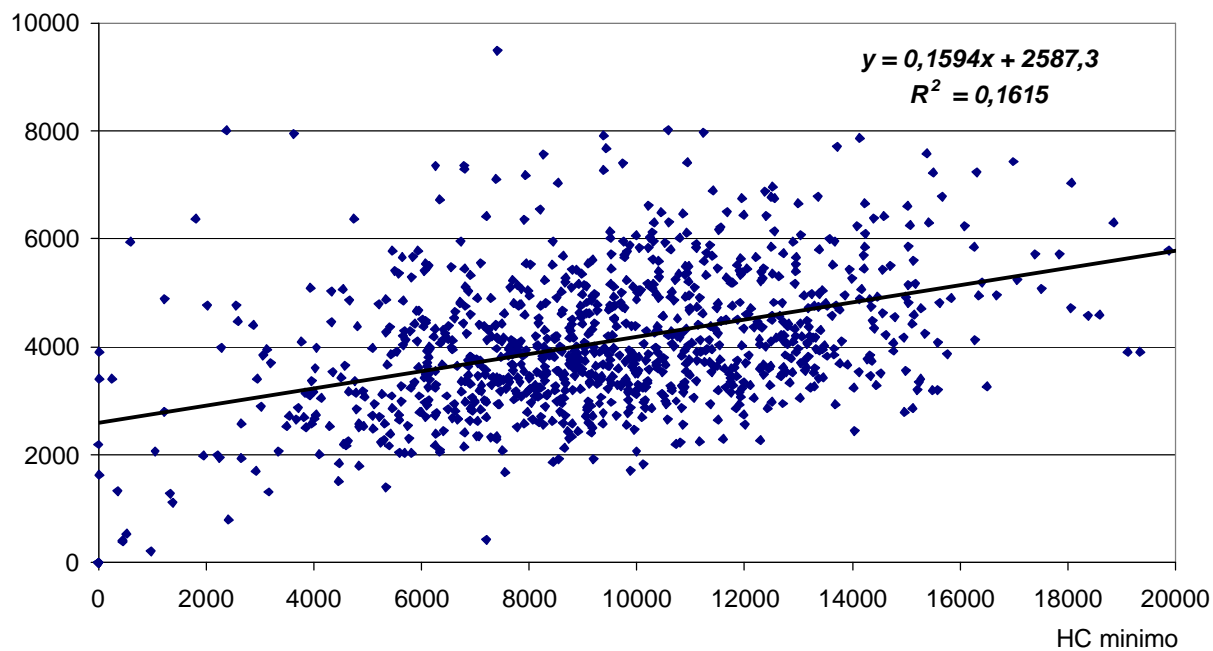
HC 45 Km/h

Fig. 3 = MOTOCICLI 4T noKAT: regressione lineare fra HC min e HC 45 Km/h.

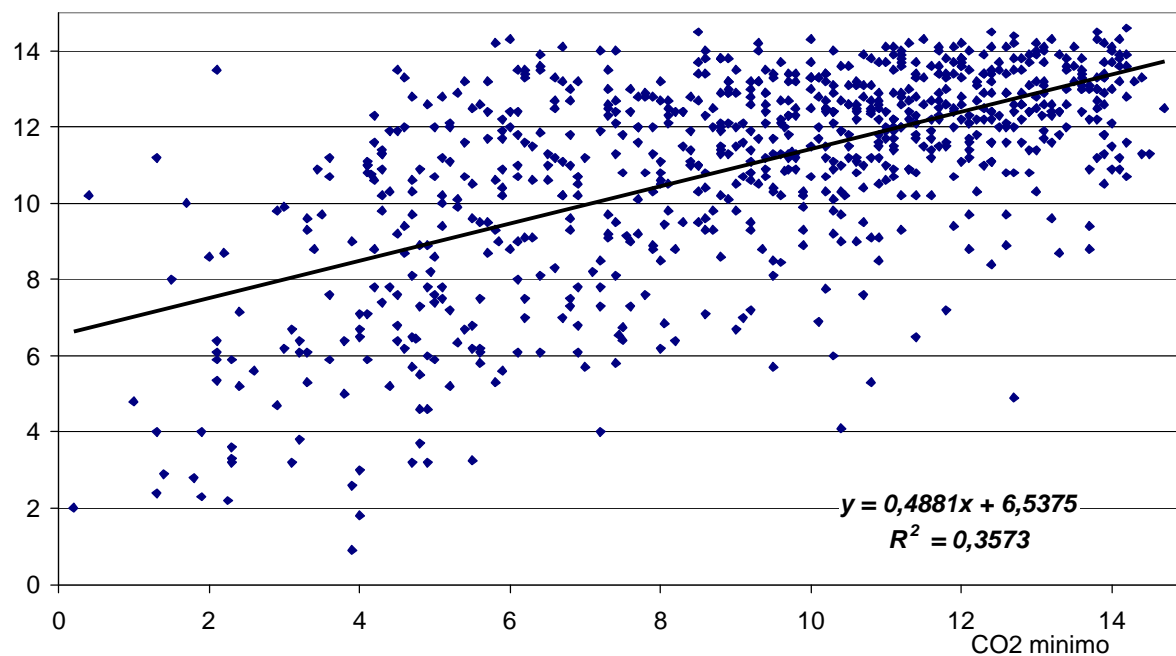


**Fig. 4 = CICLOMOTORI 2T noKAT: regressione lineare fra HC min e HC 45 Km/h
(n. 1000 campioni).**

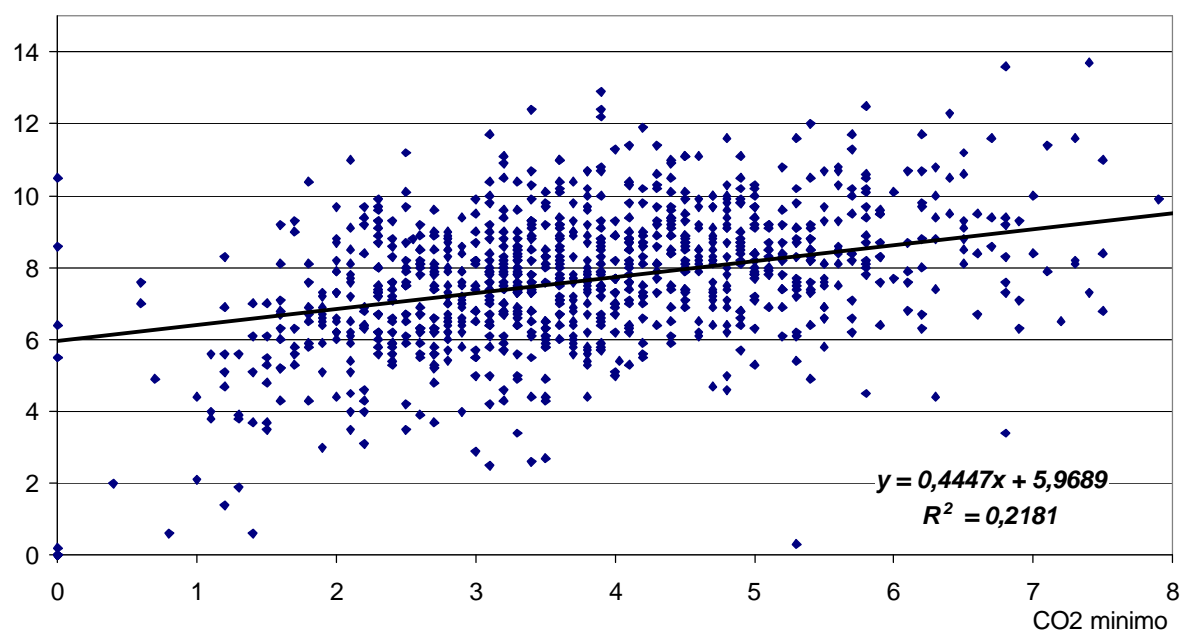
HC 45 Km/h



CO2 45 Km/h **Fig. 5 = MOTOCICLI 4T noKAT: regressione lineare fra CO2 min e CO2 45 Km/h.**



CO2 45 Km/h **Fig. 6 = CICLOMOTORI 2T noKAT: regressione lineare fra CO2 min e CO2 45 Km/h (n. 1000 campioni).**

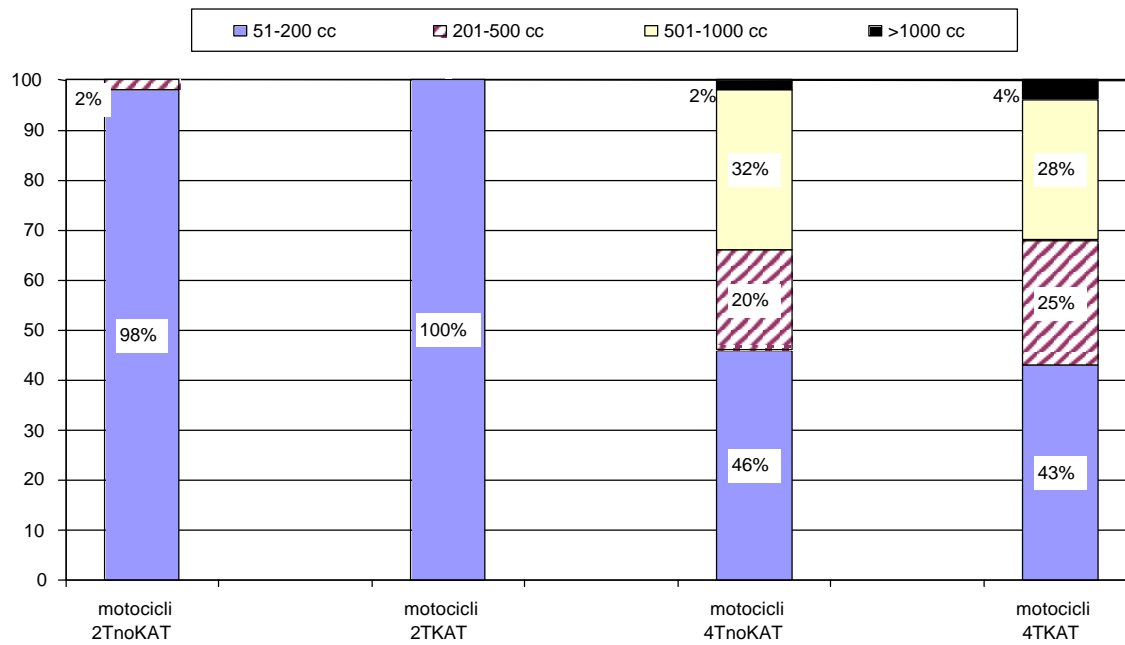


ALLEGATO 2

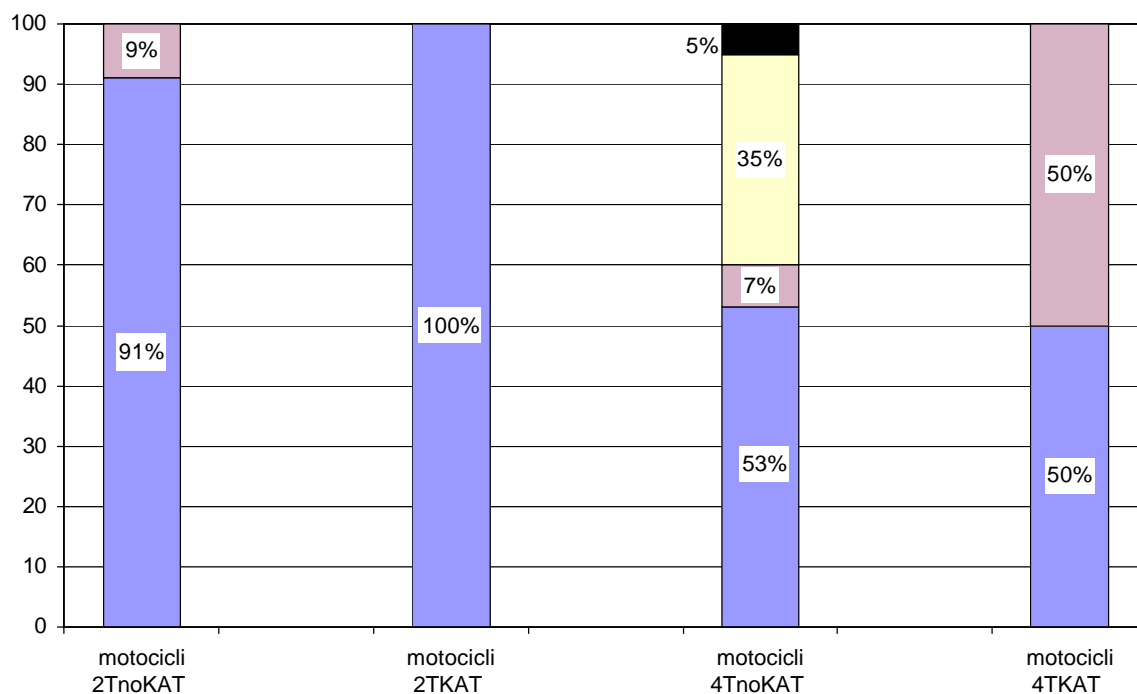
RACCOLTA DI GRAFICI:

- ◆ motocicli: distribuzione per classi di cilindrata (nazionale e per città)
- ◆ ciclomotori e motocicli: distribuzione per tipologia di veicolo catalizzato o non catalizzato (nazionale e per città)
- ◆ ciclomotori e motocicli: età media (nazionale e per città)
- ◆ ciclomotori e motocicli: percorrenza annuale media (nazionale e per città)
- ◆ ciclomotori e motocicli: percorrenza annuale media per veicoli messi su strada nel triennio 1997-99 (nazionale e per città)
- ◆ emissione di CO: confronto delle concentrazioni medie allo scarico
- ◆ emissione di CO₂: confronto delle concentrazioni medie allo scarico
- ◆ emissione di HC: confronto delle concentrazioni medie allo scarico
- ◆ emissione di BENZENE: confronto delle concentrazioni medie allo scarico
- ◆ emissioni inquinanti: confronto veicoli catalizzati/non catalizzati

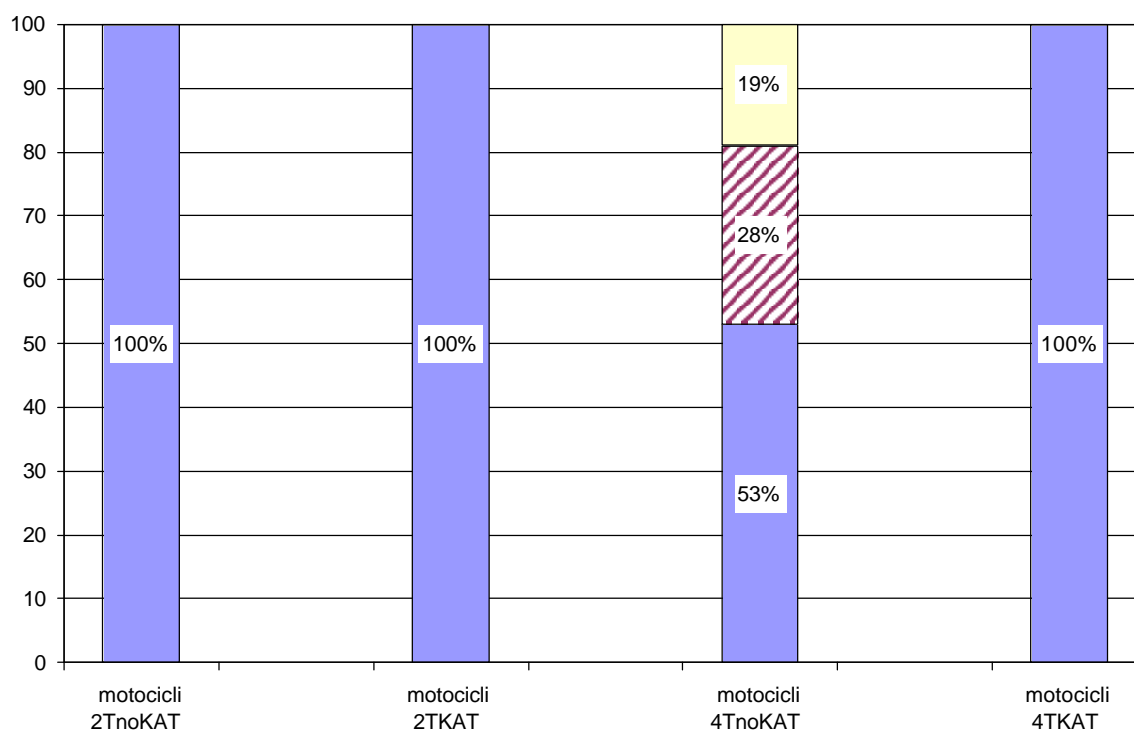
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA NAZIONALE**



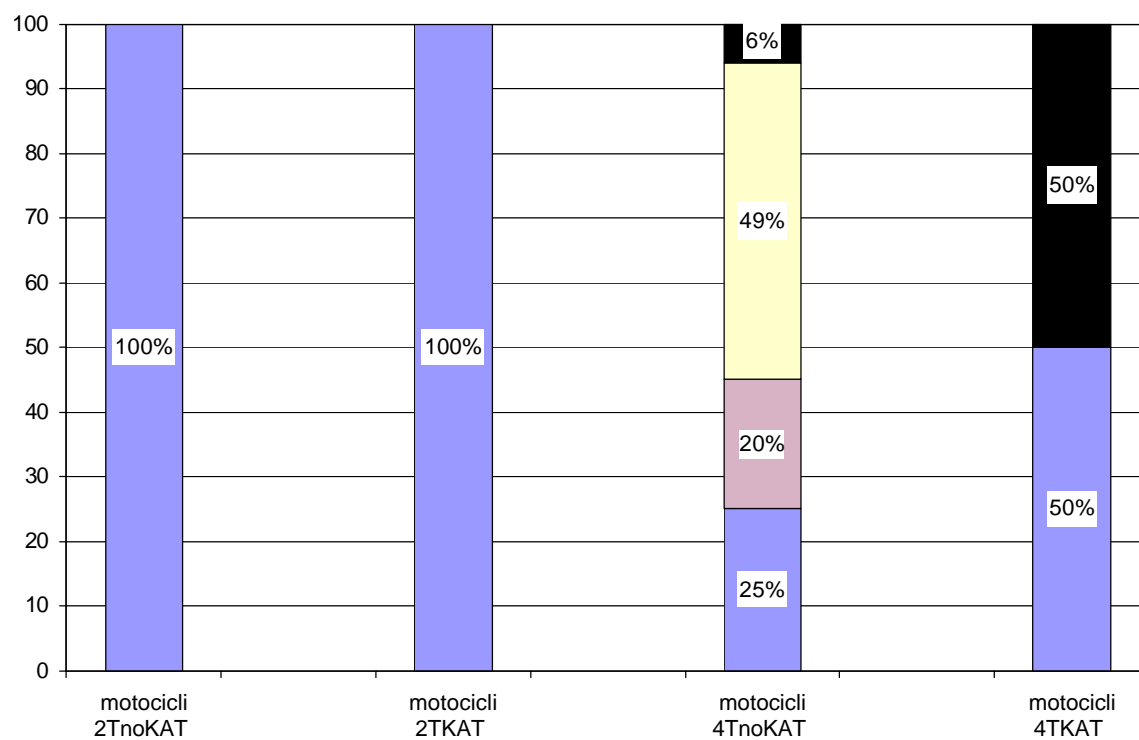
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI FIRENZE**



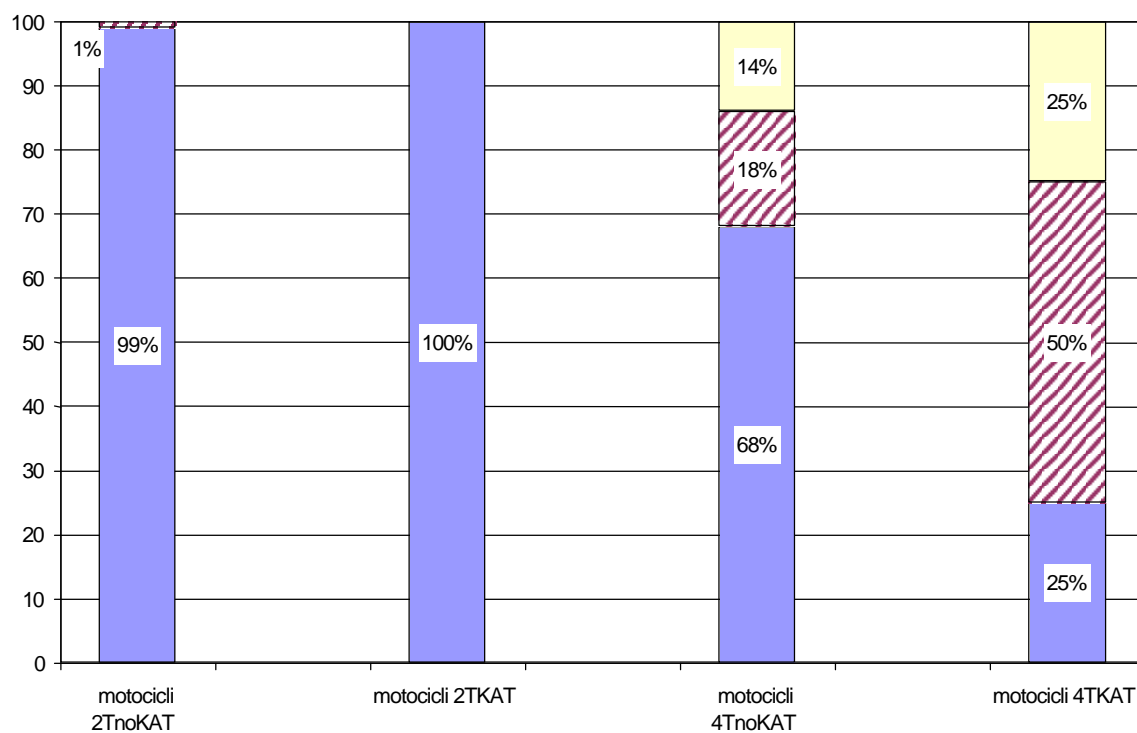
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI BOLOGNA**



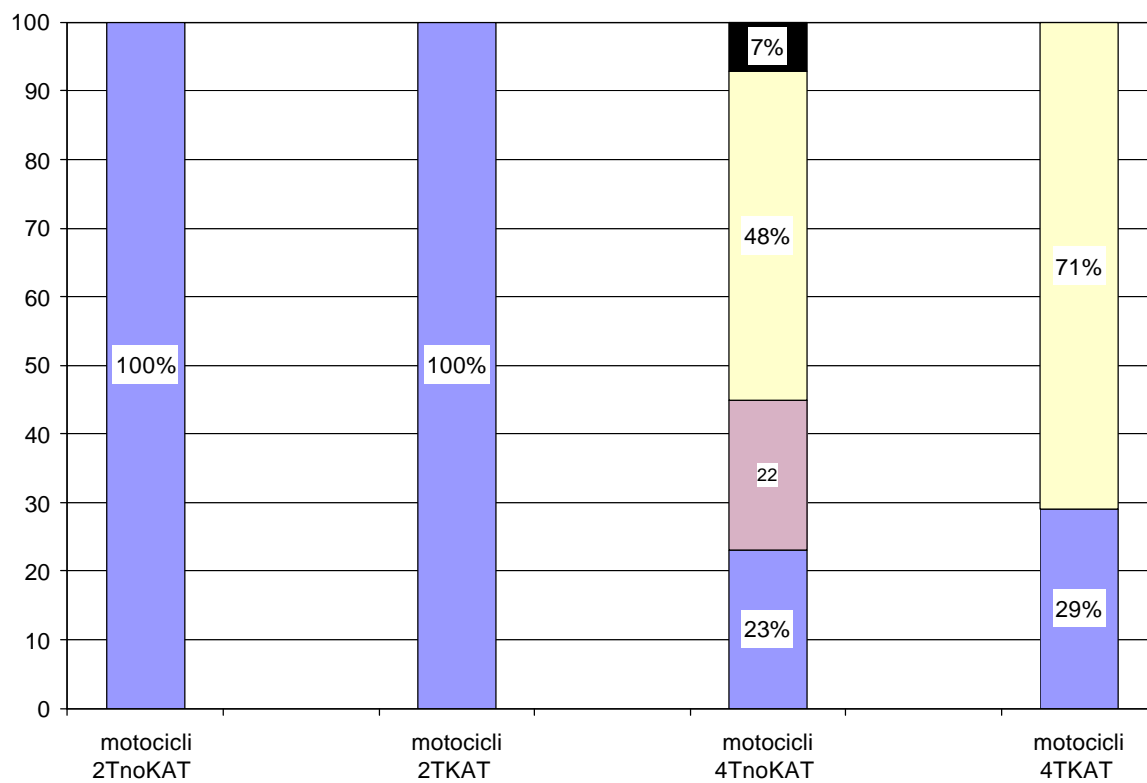
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI MILANO**



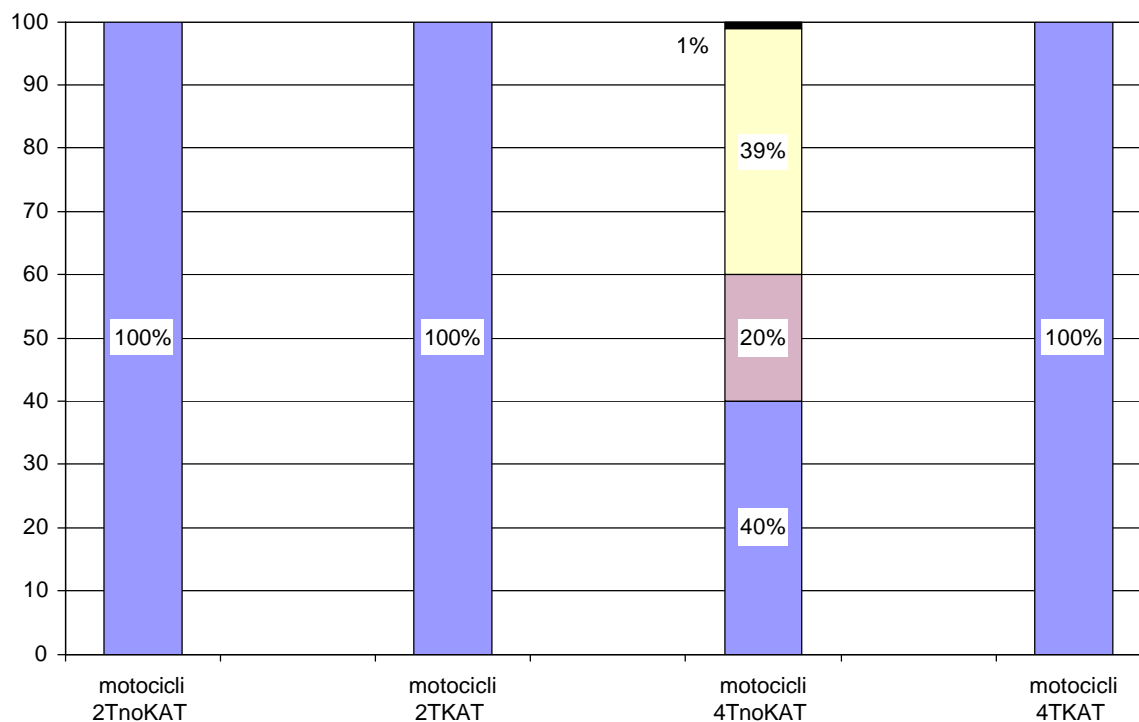
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI GENOVA**



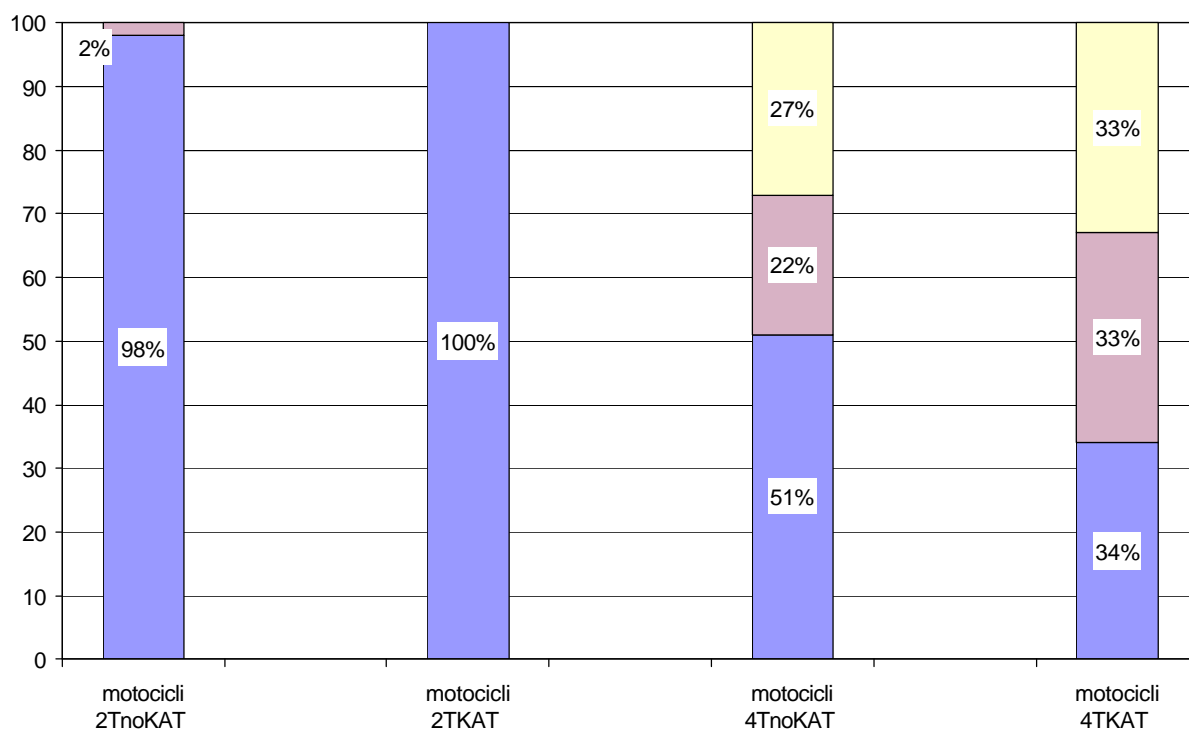
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI PALERMO**



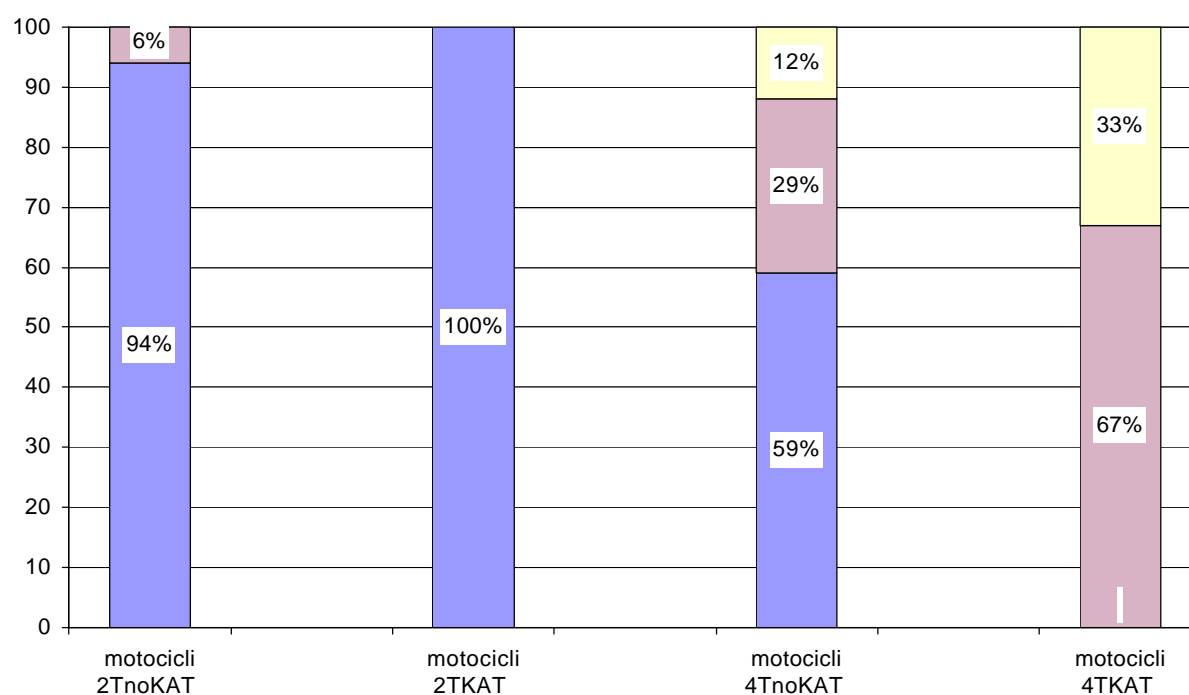
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI CATANIA**



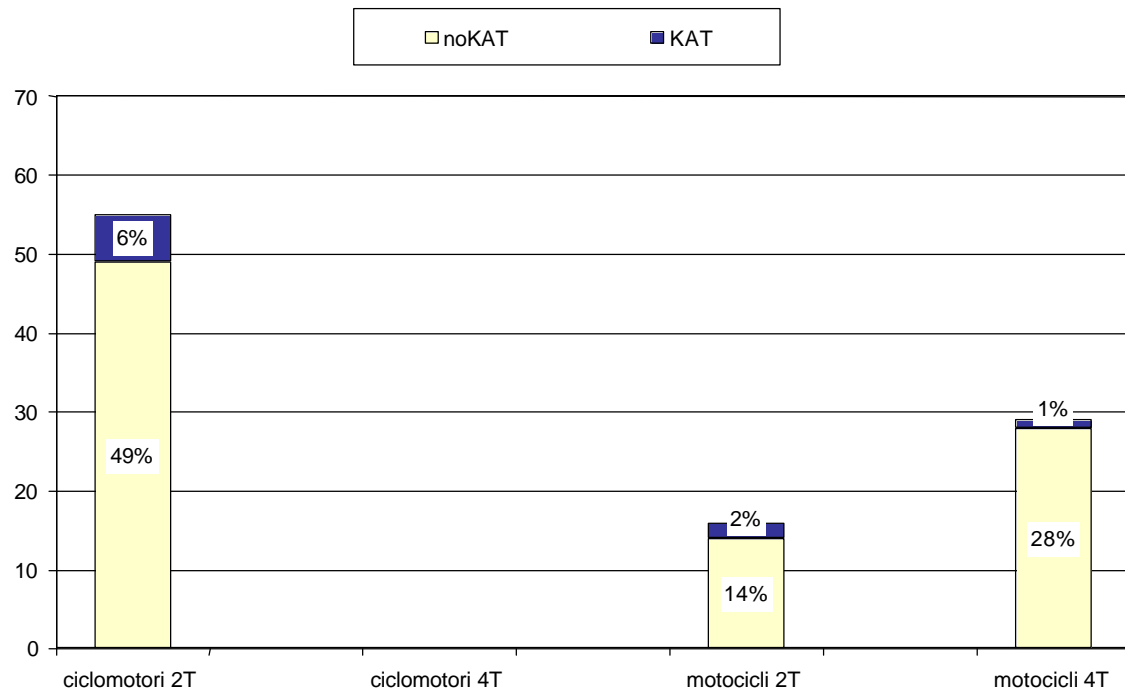
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI NAPOLI**



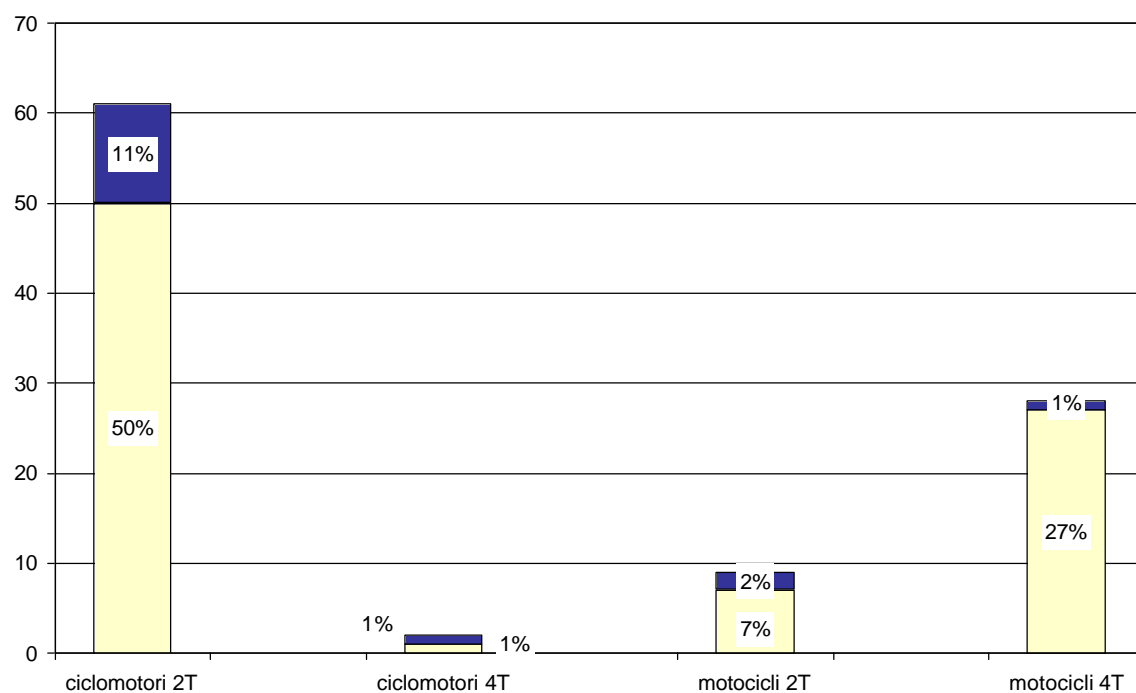
**MOTOCICLI: Distribuzione per classi di cilindrata.
MEDIA DI ROMA**



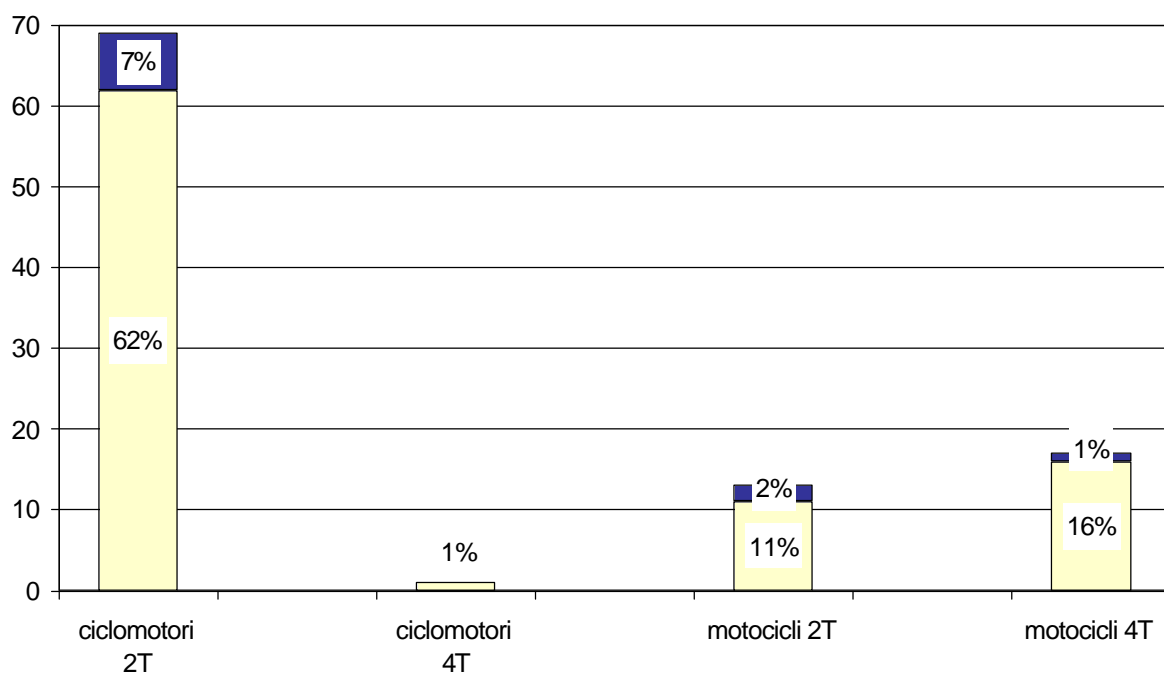
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
MEDIA NAZIONALE**



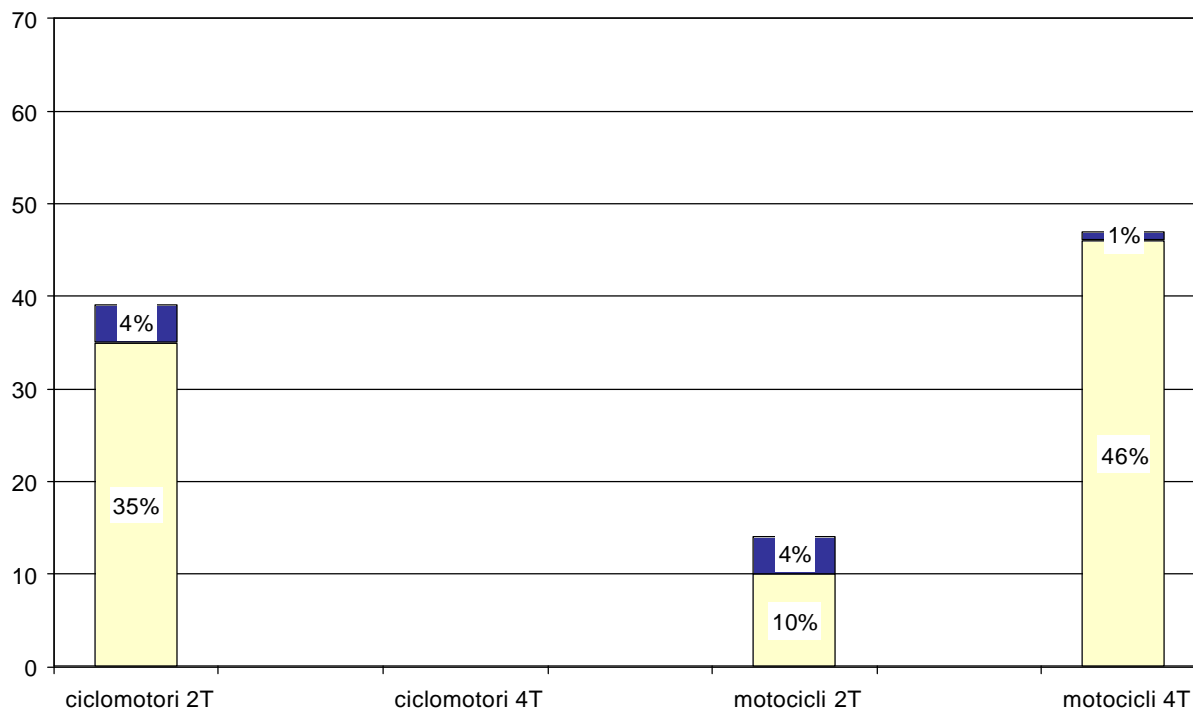
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
FIRENZE**



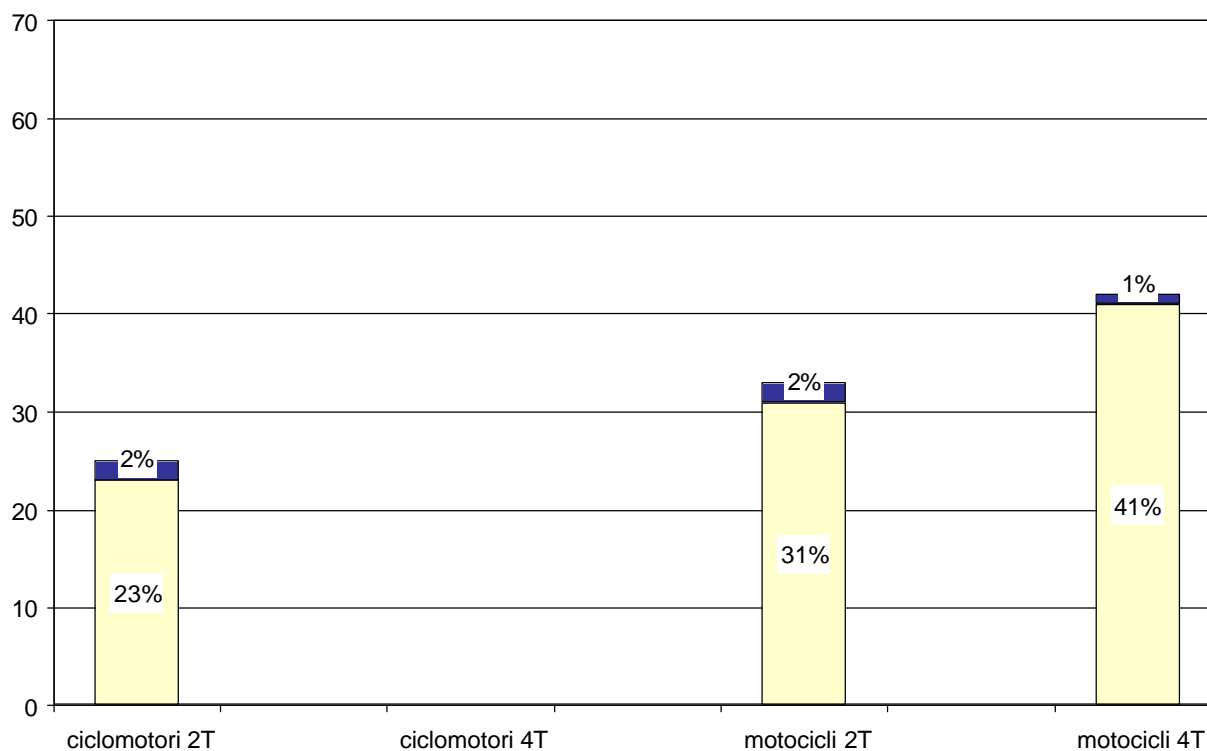
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
BOLOGNA**



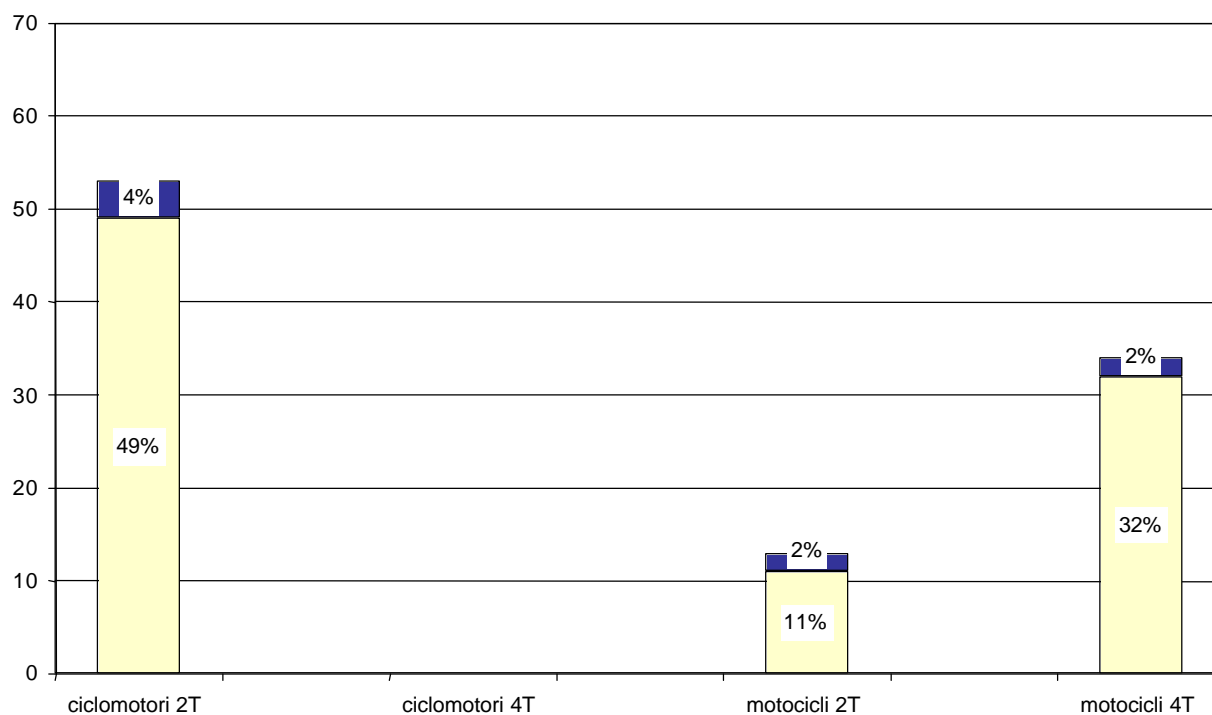
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
MILANO**



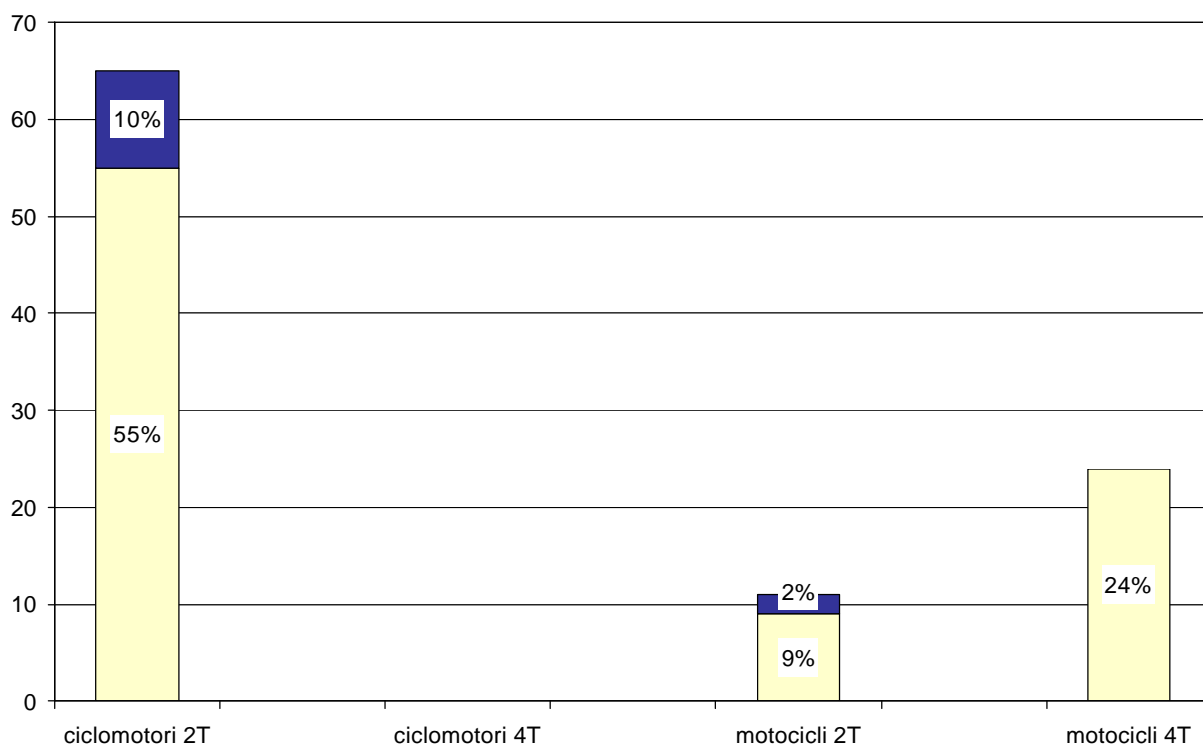
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
GENOVA**



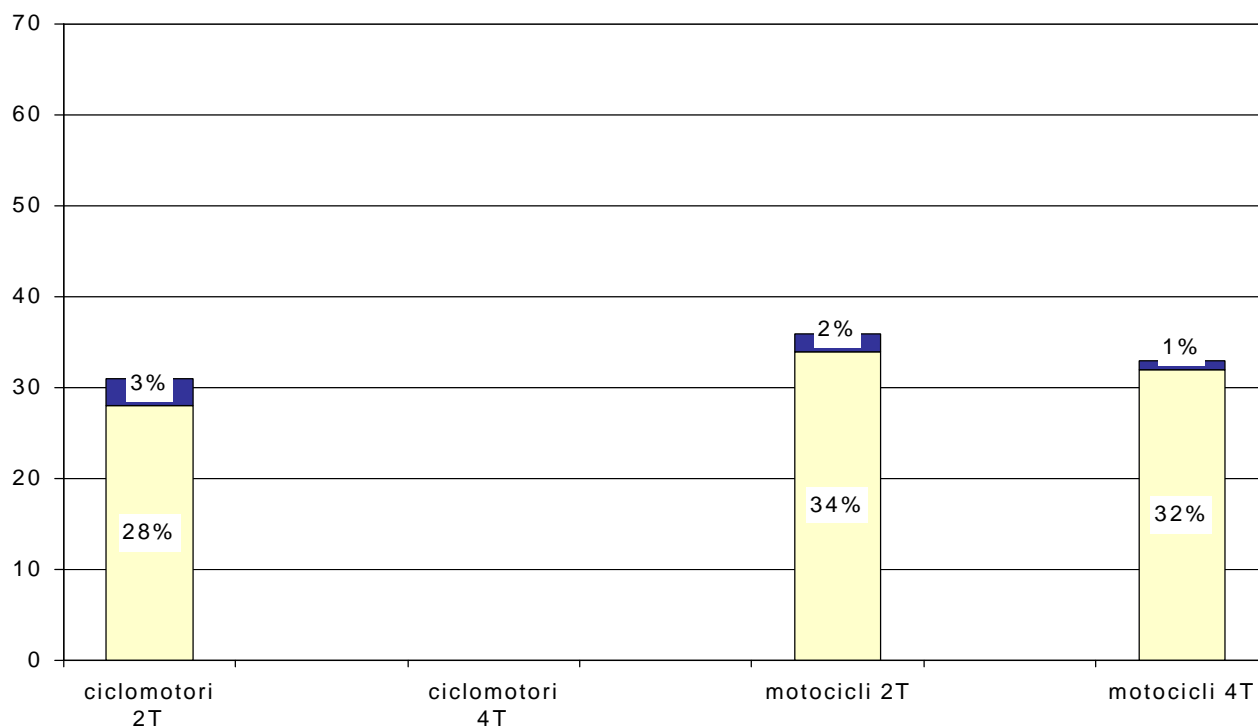
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
PALERMO**



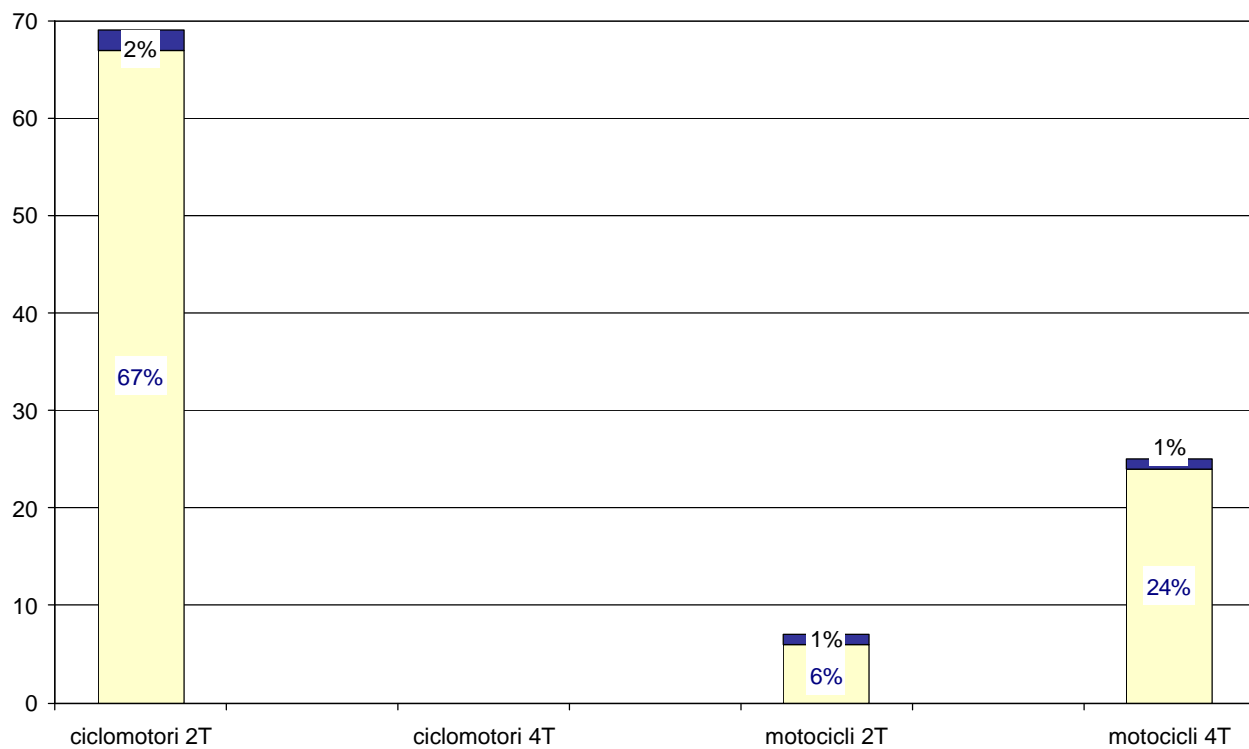
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
CATANIA**



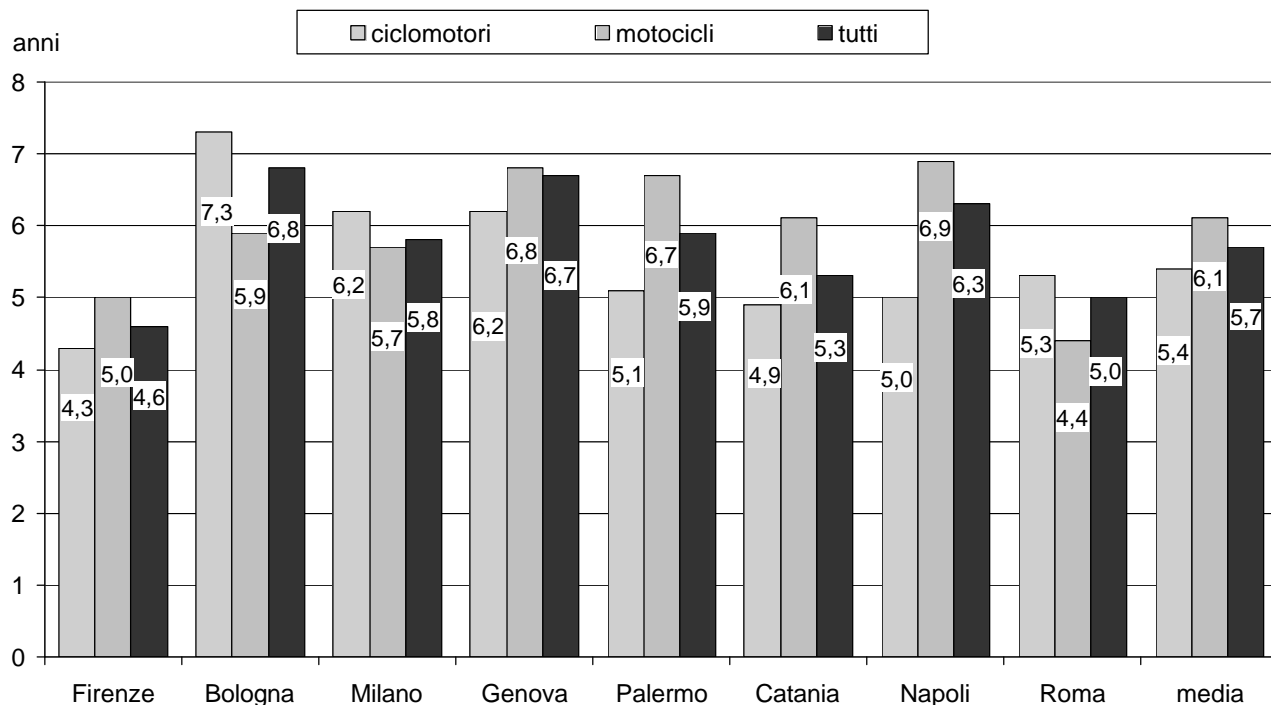
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
NAPOLI**



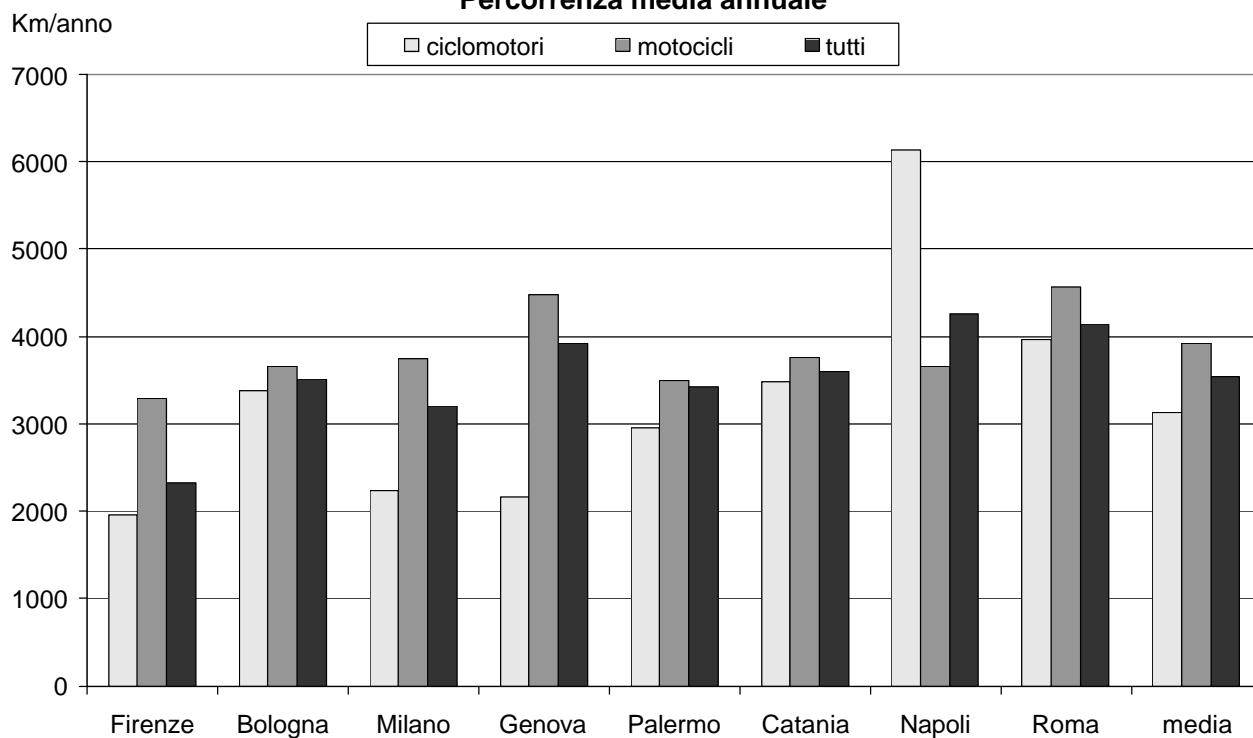
**Distribuzione per tipologia di veicolo.
ROMA**

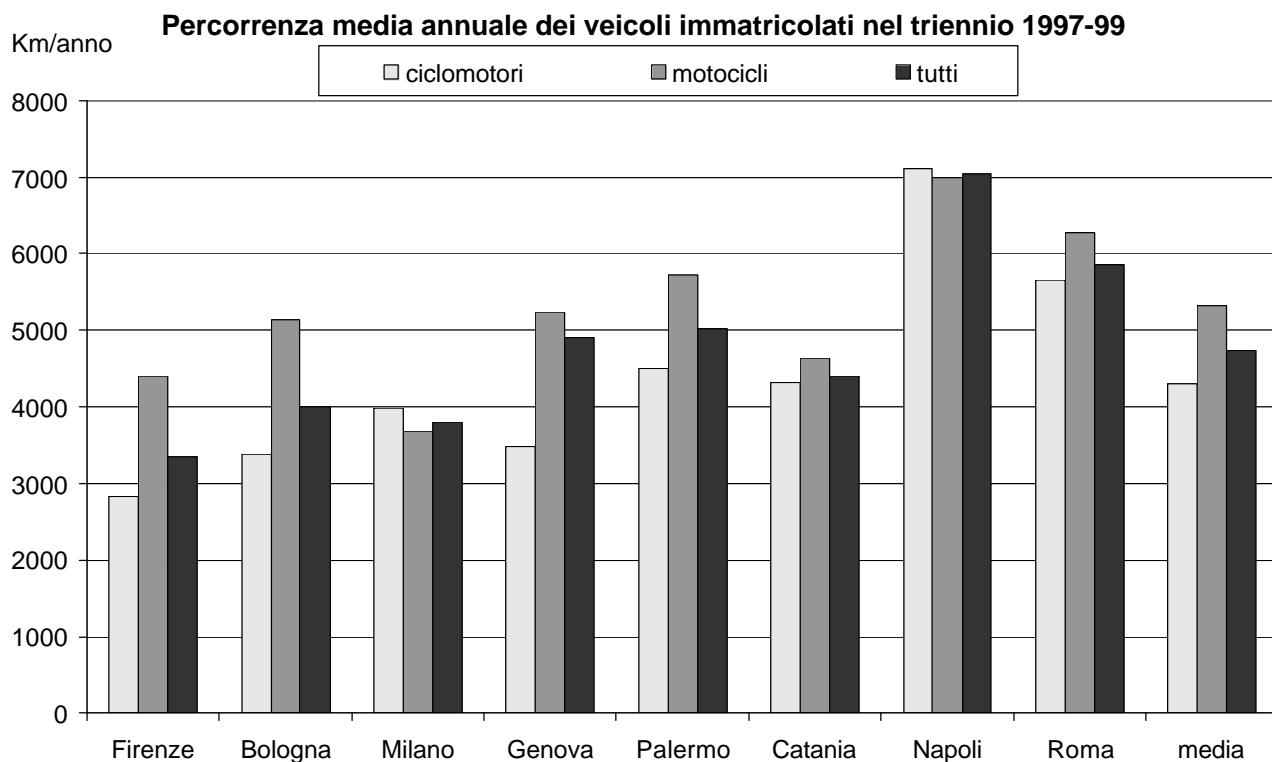


Età media dei veicoli

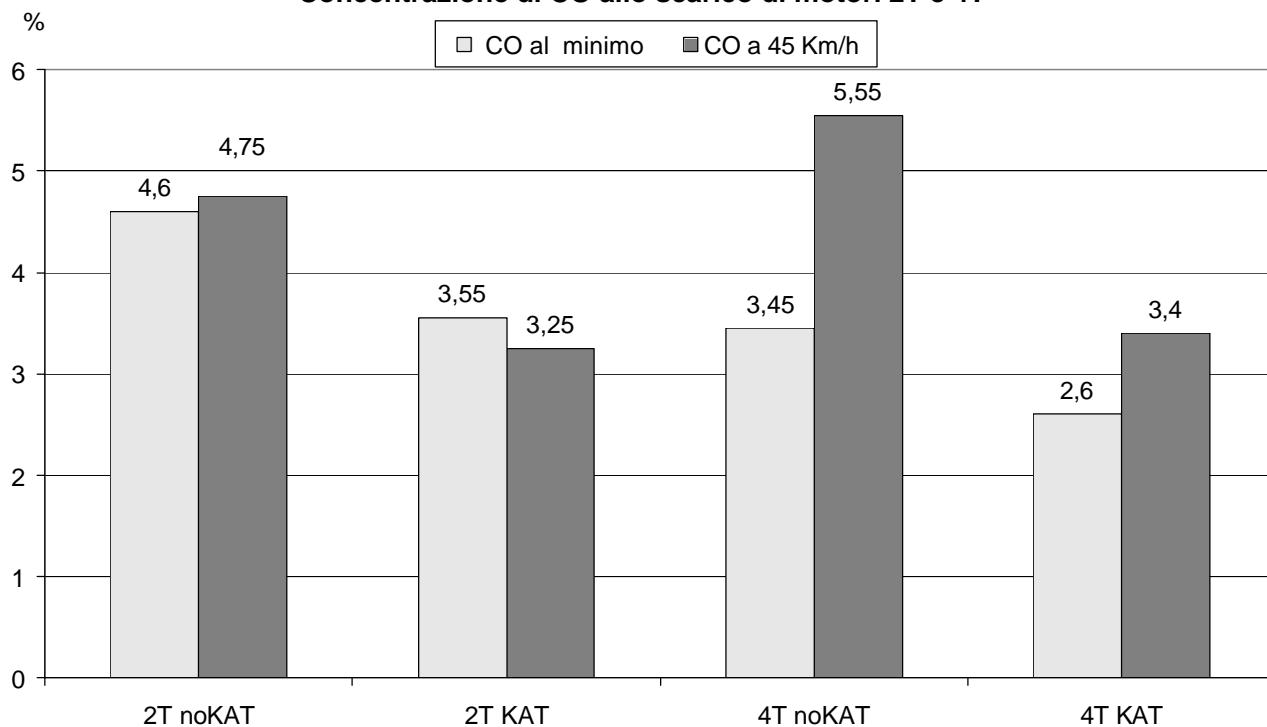


Percorrenza media annuale

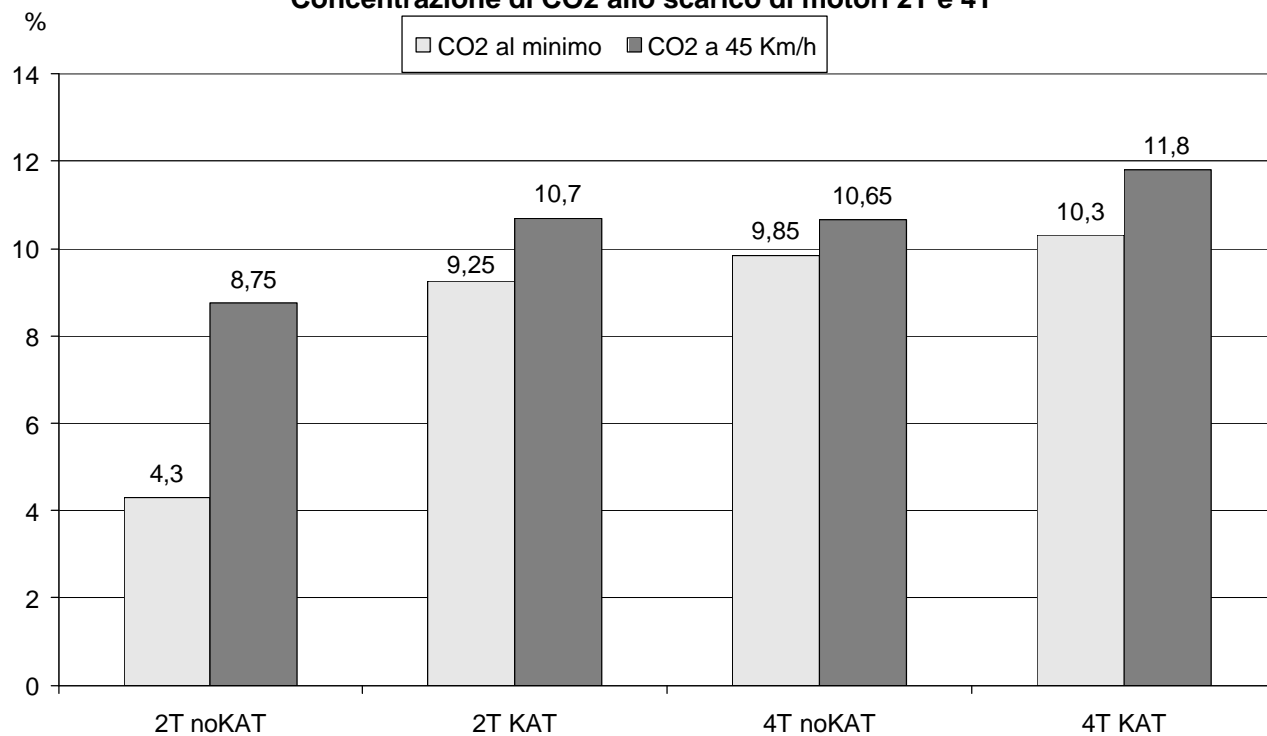




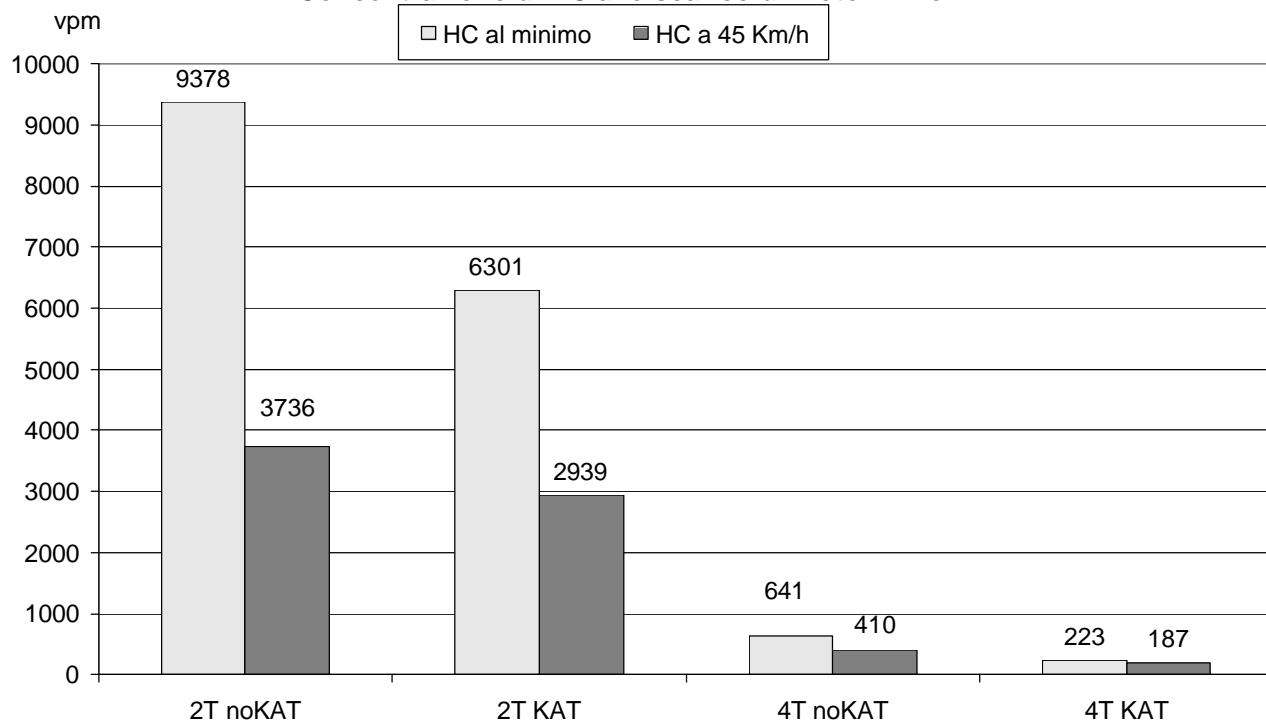
Concentrazione di CO allo scarico di motori 2T e 4T



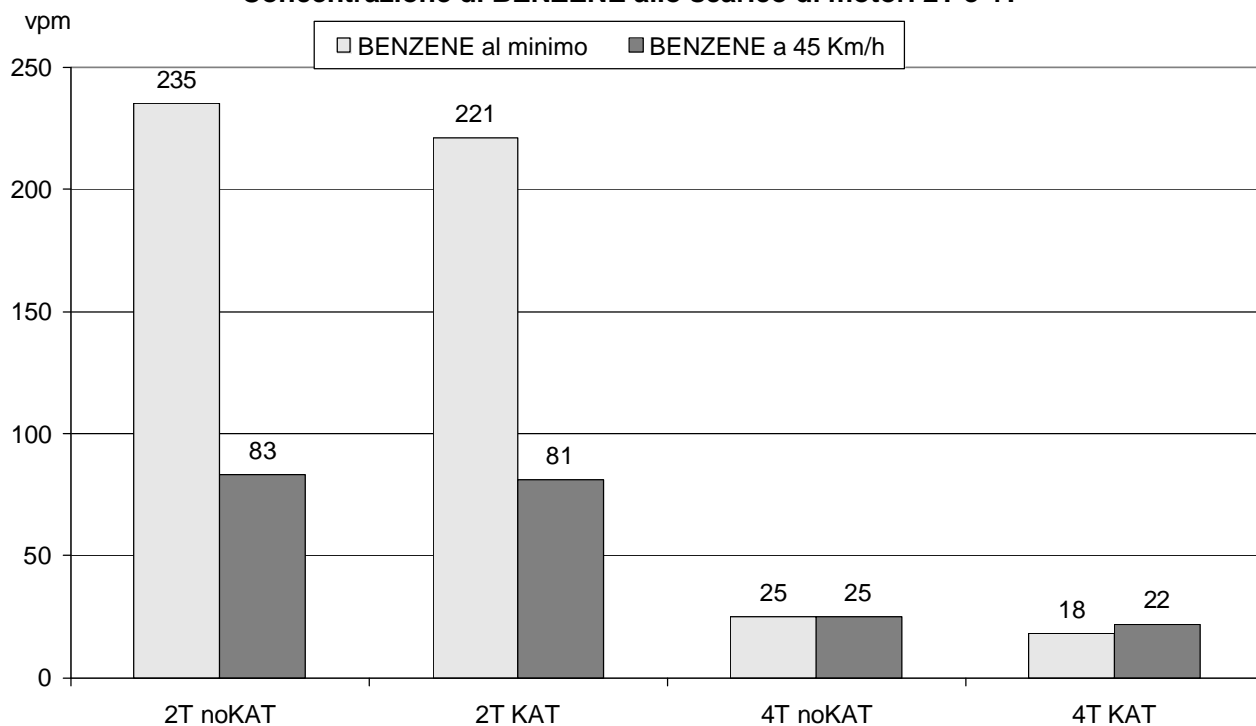
Concentrazione di CO2 allo scarico di motori 2T e 4T



Concentrazione di HC allo scarico di motori 2T e 4T



Concentrazione di BENZENE allo scarico di motori 2T e 4T



**Riduzione di concentrazione degli inquinanti allo scarico di veicoli catalizzati
rispetto ai non catalizzati**

