

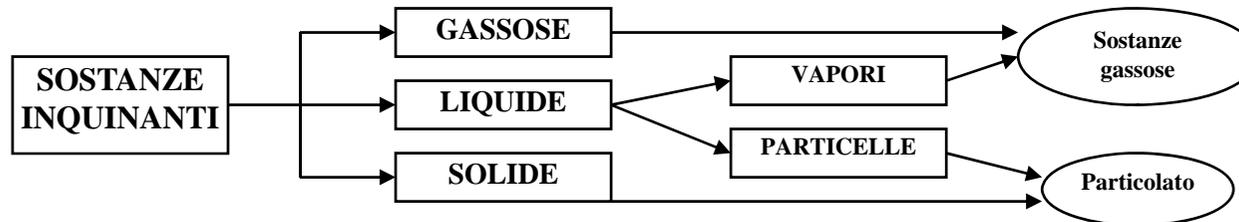
INQUINAMENTO ATMOSFERICO DA TRAFFICO VEICOLARE

- ❑ **SOSTANZE INQUINANTI EMESSE;**
- ❑ **MODELLI PER LA STIMA DELLE MISSIONI;**
- ❑ **MODELLI DI PROPAGAZIONE.**

I grafici e le tabelle relative ai fattori di emissione ed ai modelli di emissione, presenti nelle successive slides, sono tratte da una presentazione effettuata dall'ing. Maria Vittoria Prati dell'ISTITUTO MOTORI del CNR.

LE SOSTANZE INQUINANTI

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLO STATO FISICO



CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA GENESI

INQUINANTI PRIMARI: Emessi direttamente dalle sorgenti

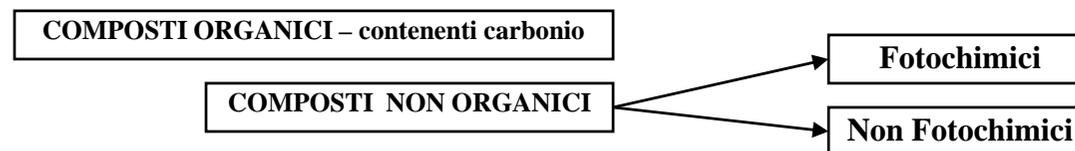
INQUINANTI SECONDARI: Si formano a seguito di reazioni chimiche tra gli inquinanti primari

CLASSIFICAZIONE IN BASE AL COMPORTAMENTO CHIMICO

INQUINANTI INERTI: Non suscettibili di partecipare a reazioni (in condizioni tipiche di esistenza dell'atmosfera)

INQUINANTI SECONDARI: Suscettibili di partecipare a reazioni (in condizioni tipiche di esistenza dell'atmosfera)

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA COMPOSIZIONE CHIMICA



LE SOSTANZE INQUINANTI

PRINCIPALI INQUINANTI PRODOTTI DAL FUNZIONAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO

- ❖ MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)
- ❖ ANIDRIDE CARBONICA (CO₂)
- ❖ IDROCARBURI (HC): non metanici (NMHC) e quelli policiclici aromatici (IPA)
- ❖ COMPOSTI ORGANICI nella forma di articolato (PTS)
- ❖ OSSIDI DI AZOTO (NO_x)
- ❖ OZONO (O₃) E GLI ALTRI INQUINANTI FOTOCHIMICA;
- ❖ OSSIDI DI ZOLFO (SO_x);
- ❖ PIOMBO E SUOI COMPOSTI

MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)- Gas incolore e inodore dannoso per l'uomo poiché si combina con l'emoglobina del sangue riducendone la capacità di trasporto dell'ossigeno. Fonte principale di tale inquinante sono i veicoli stradali (generato dalla combustione di sostanze organiche). La sua concentrazioni in corrispondenza di una strada presenta una forte variabilità spaziale (valori massimi in asse alla strada). Pronunciata variabilità in funzione delle condizioni atmosferiche (notevole influenza della presenza del vento, che tende a ridurne l'entità, e a carattere stagionale).

LE SOSTANZE INQUINANTI

PRINCIPALI INQUINANTI PRODOTTI DAL FUNZIONAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO

ANIDRIDE CARBONICA (CO₂) – Gas normalmente presente nell’atmosfera, pur non essendo considerato un’inquinante in senso proprio, è responsabile dell’effetto serra che determina l’aumento della temperatura del pianeta.

GLI IDROCARBURI (HC) – Composti organici costituiti da atomi di carbonio e idrogeno (classificati in base alla composizione ponderale dei componenti). Principali problemi derivanti dalla presenza di idrocarburi:

- Partecipano ai processi di formazione dello smog fotochimico (prendono parte solo gli idrocarburi reattivi RHC – difficili da individuare vengono considerati tali tutti tranne il metano)
- Gli idrocarburi aromatici (**C_nH_{2n+6}**) agiscono direttamente e negativamente su varie componenti dell’ecosistema (p.e. sono cancerogeni per l’uomo).

NOME	Formula Bruta	Peso Molecolare
Benzene	C ₆ H ₆	78.11
Toulene	C ₇ H ₈	92.13
Orto-xilene	C ₈ H ₁₀	106.16
Meta-xilene	C ₈ H ₁₀	106.16
Para-xilene	C ₈ H ₁₀	106.16
Etilbenzene	C ₈ H ₁₁	106.16
Para-cimene	C ₁₀ H ₁₆	134.21
Difenile	C ₁₂ H ₁₂	154.2
Difenilmetano	C ₁₃ H ₁₄	168.2
Stirene	C ₁₄ H ₁₅	104.14

LE SOSTANZE INQUINANTI

PRINCIPALI INQUINANTI PRODOTTI DAL FUNZIONAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO

PARTICOLATO – Per sostanza in sospensione o aerosol si intende una qualsiasi sostanza (eccetto l'acqua) presente in forma di particelle solide o liquide in sospensione nell'atmosfera (dimensione > delle scale molecolari $0.001\mu\text{m}$). La caratterizzazione del particolato richiede la specifica della sua concentrazione, della dimensione (diametro equivalente) della composizione chimica.

Dimensione: decine di Ångstroms ($1\text{Å}=10^{-10}\text{ m}$) <Dimensione< qualche centinaio di micrometri ($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{ m}$)

Fine $D < 2.5\mu\text{m}$

Grossolano $D > 2.5\mu\text{m}$

Caratteristiche generali

Polveri ($D > 1\mu\text{m}$) particelle solide prodotte da meccanismi di disgregazione dei materiali

Fumi ($D > 1\mu\text{m}$) particelle solide prodotte dalla condensazione di sostanze precedentemente allo stato di vapore

Caligine ($D > 1\mu\text{m}$) costituita da un miscuglio di acqua inquinanti e polveri

Foschie ($D > 1\mu\text{m}$) sospensioni liquide costituite da particelle di acqua fluttuanti o precipitanti verso il basso

OSSIDI DI AZOTO – È un elemento chimico essenziale alla vita di tutti gli organismi. I processi di combustione di diversi tipi di sostanze in presenza di aria causano l'ossidazione dell'azoto atmosferico e la produzione di ossidi di azoto sotto forma gassosa. Gli ossidi di azoto indicati con la sigla **NOX** (**NO₂**, **NO₃**, ecc.) sono tra gli inquinanti ritenuti maggiormente pericolosi:

- ✓ responsabili dello smog fotochimico,
- ✓ irritante polmonare,
- ✓ provoca effetti dannosi sulle piante.

LE SOSTANZE INQUINANTI

PRINCIPALI INQUINANTI PRODOTTI DAL FUNZIONAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO

OZONO (O₃) - Gas incolore dall'odore pungente normalmente presente nell'aria atmosferica. I problemi di inquinamento dell'aria da ozono sono legati al significativo incremento che la concentrazione di questo gas subisce in zone immediatamente prossime al suolo a causa dei fenomeni di formazione dello smog fotochimico, di cui è importante costituente. La formazione di avviene attraverso un processo di reazione chimica molto complesso (fotolisi del biossido di azoto causata dall'energia solare e soprattutto ossidazione dell'NO dovuta alle molecole di idrocarburi). L'ozono è dannoso per l'uomo e le altre specie animali in quanto: è un irritante polmonare, riduce le funzioni dei polmoni ed aumenta la vulnerabilità dell'organismo nei confronti delle infezioni dell'apparato respiratorio. E inoltre tossico per alcune specie vegetali e dannoso per alcuni materiali

ALTRI COMPOSTI FOTOCHIMICI - Le complesse reazioni di formazione dello smog fotochimico (a cui partecipano principalmente gli ossidi di azoto e gli idrocarburi volatili) producono, oltre all'ozono, un gran numero di altri composti organici: Acido nitrico, idrocarburi ossidati e nitrati (perossiacetilnitrato PAN) che causano irritazione agli occhi e danni alla vegetazione.

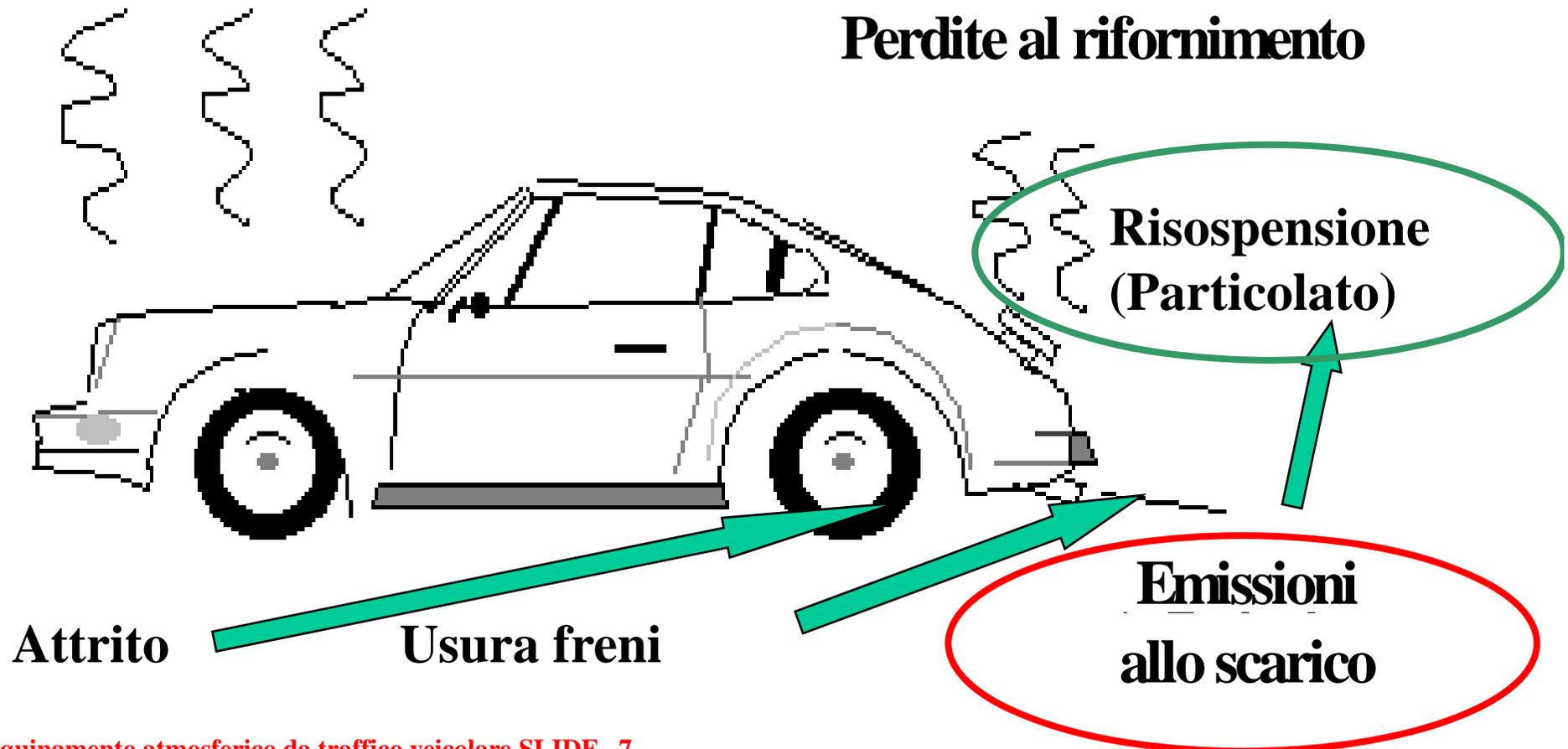
OSSIDI DI ZOLFO - Diversi composti dello zolfo sono legati al ciclo biologico dell'ecosistema terrestre non però l'**anidride solforosa (SO₂)** che è invece un tipico prodotto di emissione dei processi di combustione. L'anidride solforosa è un gas incolore dall'odore pungente che ha proprietà **irritanti** ed attualmente considerato uno dei maggiori inquinanti (come anche gli altri **ossidi dello zolfo SOX**). Tali sostanze sono inoltre **corrosive** di alcuni materiali e sono tra le principali cause delle **piogge acide**. L'emissione di sostanze sulfuree è in minima parte correlata alle infrastrutture di trasporto.

COMPOSTI DEL PIOMBO - È un metallo pesante dagli effetti tossici per l'uomo. La principale causa della presenza di composti di piombo nell'atmosfera è connessa alla combustione nei veicoli.

Fonti di emissioni da veicolo

• Emissioni evaporative

emissioni in marcia,
sono le normali perdite evaporative che si verificano
durante la marcia del veicolo.



INQUINANTI PRINCIPALI DA VEICOLI

INQUINANTI GIA' REGOLAMENTATI

[g/km]

OSSIDO DI CARBONIO

CO

OSSIDI DI AZOTO

NO_x

IDROCARBURI INCOMBUSTI

HC

PARTICOLATO CARBONIOSO

PM

INQUINANTI IN CORSO DI REGOLAMENTAZIONE

[g/km]

ANIDRIDE CARBONICA

CO₂

per il 2005 145 g/km CO₂

per il 2010 120 g/km CO₂

INQUINANTI NON REGOLAMENTATI

[mg/km]

ANIDRIDE SOLFOROSA

SO₂

BENZENE

C₆H₆

COMPOSTI ORGANICI VOLATILI

VOC

ALDEIDI, PM5, PM2.5.....

INQUINANTI NON REGOLAMENTATI

[mg/km]

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

IPA

INQUINANTI NON REGOLAMENTATI

[ng/km]

DIOSSINE

PCDD

STRATEGIE PER IL CONTENIMENTO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Normative sulla qualità dell'aria

Il recente D.M. 2 aprile 2002 n. 60 reca il “Recepimento della Direttiva 1999/30/CE concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della Direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio ed aggiorna i limiti in atmosfera degli inquinanti citati

VALORI LIMITE STABILITI DA D.M. 60/2002

Tabella 3. Valori Limite e margini di tolleranza per il biossido di zolfo. FONTE: D.M. 60/2002.

Valori Limite e margini di tolleranza per il biossido di zolfo SO₂				
Finalità	Periodo di mediazione	Valore Limite (µg/m ³)	Margine di tolleranza	Data obiettivo
Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	350 Da non superare più di 24 volte per un anno civile	42.9% all'entrata in vigore della Direttiva 99/30/CE. Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una % annua costante per raggiungere lo 0% al 1°/1/2005	1° gennaio 2005
Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	125 Da non superare per più di 3 volte nell'anno civile	nessuno	1° gennaio 2005
Valore limite per la protezione degli ecosistemi	Anno civile e inverno (dal 1°/10 al 31/3)	20	Nessuno	19 luglio 2001

Tabella 5. Valori Limite e margini di tolleranza per il Monossido di Carbonio CO.
FONTE: D.M. 60/2002.

Valori Limite e margini di tolleranza per il Monossido di Carbonio CO				
Finalità	Periodo di mediazione	Valore Limite (mg/m ³)	Margine di tolleranza	Data obiettivo
Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera su 8 ore	10	6 mg/m ³ Entro il 13 dicembre 2000 con una riduzione il 1° gennaio 2003 ed ogni 12 mesi successivi di 2 mg/m ³ per raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005

STRATEGIE PER IL CONTENIMENTO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

**Normative sui limiti alle emissioni di inquinanti da fonti
fisse e mobili e definizione di linee guida di carattere
tecnologico per il contenimento delle emissioni:**

- *limiti Euro I, II, III e IV per autovetture;*
- *limiti Euro I, II, III per ciclomotori e motocicli;*
- *limiti Euro I, II, III, IV e V per mezzi pesanti*

LIMITI DI EMISSIONE PER AUTOVETTURE

(DA PROVA DI TIPO I)

		•EURO I •Direttiva 91/441 •dal 1/7/1992	•EURO II •Direttiva 94/12 •dal 1/1/1996	•EURO III •Direttiva 98/69 •dal 1/1/2000	•EURO IV •Direttiva 98/69 •dal 1/1/2005
		•g/km	•g/km	•g/km	•g/km
•BENZINA	•CO	•2.72	•2.2	•2.3	•1.0
	•HC	•-	•-	•0.20	•0.1
	•NO _x	•-	•-	•0.15	•0.08
	•HC+NO _x	•0.97	•0.5	•-	•-
•DIESEL	•CO	•2.72	•1.0	•0.64	•0.50
	•NO _x	•-	•-	•0.50	•0.25
	•HC+NO _x	•0.97	•0.7	•0.56	•0.30
	•TPM	•0.14	•0.08	•0.05	•0.025
•% RIDUZIONE •rispetto ai limiti EURO I		•-	•Tra il 30-60%	•Tra il 60-80%	•Oltre l'80%

**QUALITA' DEI
COMBUSTIBILI**

**TIPOLOGIA E
TECNOLOGIA
DEL MOTORE E
DEL VEICOLO**

**DISPOSITIVI DI
POST-
TRATTAMENTO**

**RIDUZIONE DELLE
EMISSIONI
INQUINANTI DA
VEICOLI**

CONSISTENZA DEL PARCO VEICOLARE ITALIANO (2000)

AUTOVETTURE:	32.500.000
MOTOCICLI:	3.380.000
MOTOCARRI:	390.000
AUTOBUS:	88.000
AUTOCARRI:	3.400.000
MOTRICI:	116.000
CICLOMOTORI:	6.200.000
ALTRO:	800.000
TOTALE:	47.000.000 circa

Valutazione emissioni veicolari

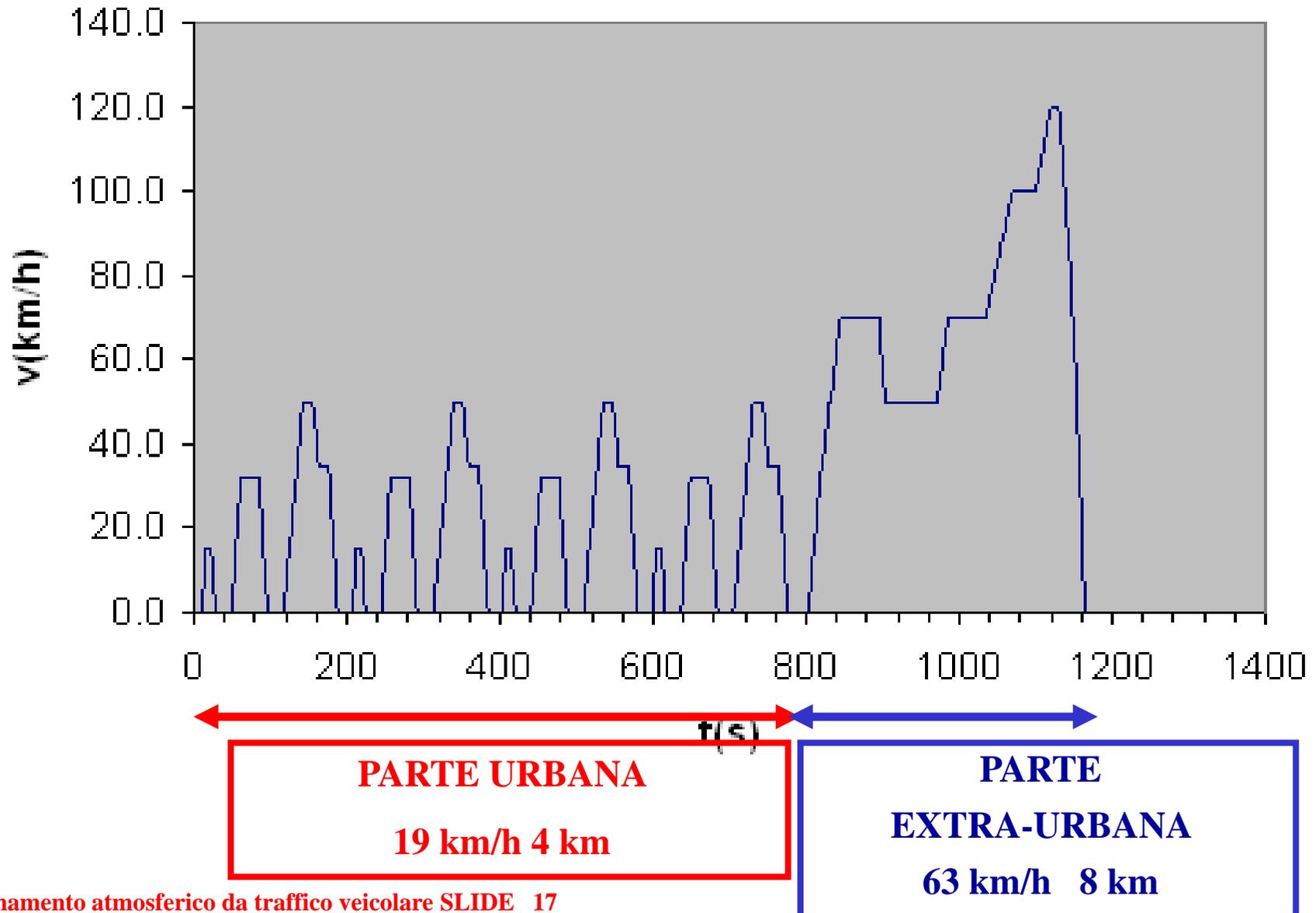
- valutazione delle emissioni inquinanti su ciclo di riferimento con misura “*ponderale*” di tali emissioni (Prova di Tipo I)...g/km
- Misure basate su rilievi delle emissioni in “*volume*” o in assenza di carico stradale, che però non sono rappresentative dell’effettivo potere inquinante dei veicoli (Prova di Tipo II)...% vol

VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI VEICOLARI

Per la valutazione del contributo emissivo dei veicoli circolanti sono necessari dei fattori di emissione valutati durante l'utilizzo reale del veicolo e non quelli ottenuti durante le prove di omologazione.

Infatti i comportamenti di guida su strada differiscono da quelli seguiti durante l'effettuazione di cicli "studiati" per l'omologazione del veicolo.

NEDC NEW EUROPEAN DRIVING CYCLE



Una valutazione mediante monitoraggio continuo direttamente "alla fonte" di emissione è realizzabile solo per alcune categorie di sorgenti come, ad esempio, i grandi impianti di combustione.

Altrimenti è necessario ricorrere a rilevazioni campionarie, spaziali e temporali, quindi con un carico di costi, tempo e organizzazione, che può essere affrontato solo in casi particolari e/o situazioni locali.

In generale è più opportuno e vantaggioso adottare metodologie di stima statistica delle emissioni, basate sulla conoscenza dei processi tecnologici e naturali, sull'utilizzo di indicatori statistici demografici ed economici consolidati e aggiornati periodicamente, nonché su dati e metodologie aggiornati e validati dalla comunità scientifica internazionale.

Cosa è un fattore di emissione?

Quantità di sostanza inquinante emessa riferita a un determinato processo produttivo, espressa in termini di massa inquinante emessa rapportata alla massa di prodotto o di materia prima impiegata o ad altri parametri idonei a rappresentare il settore produttivo in esame:

gCO/kWh **gCO/kgcombustibile** **gCO/Nm³**
gCO/s **gCO/km** **gCO/km*passaggero trasportato**

Chi sono gli utilizzatori dei fattori di emissione dei veicoli?

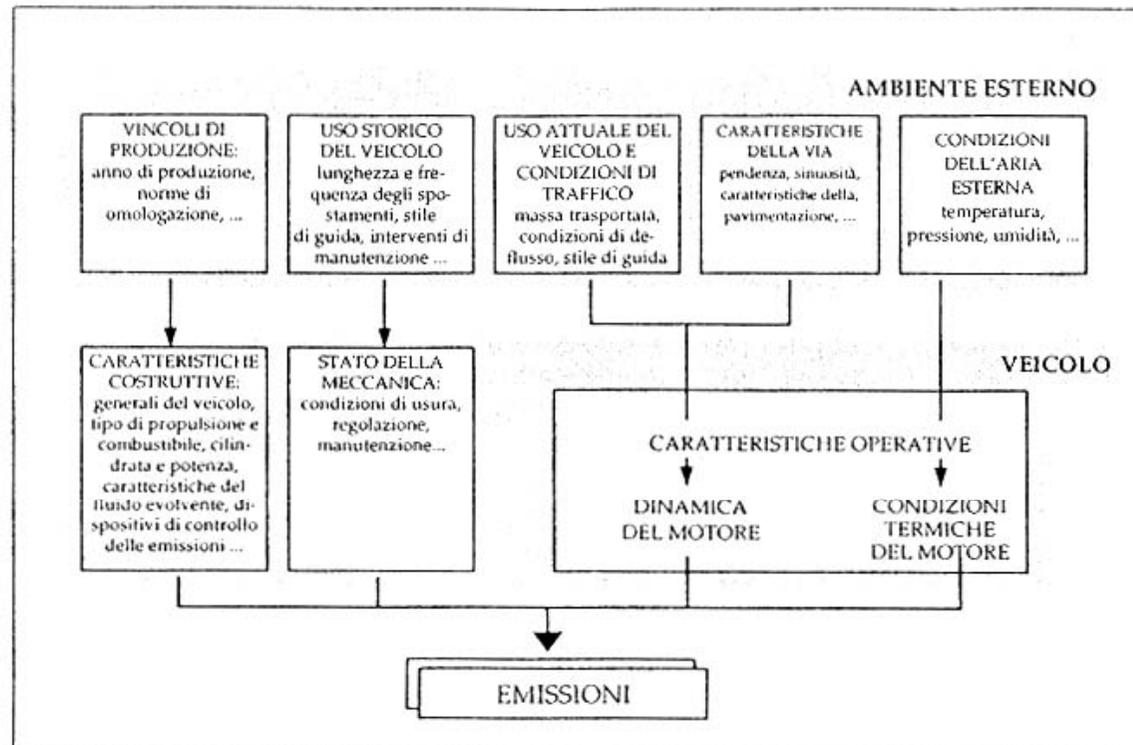
- autorità locali (valutazione di provvedimenti, piani energetici ambientali.....)
- Autorità nazionali (inventari emissioni e stima percentuali di riduzione di inquinanti con diversi scenari di sviluppo)
- Chi utilizza modelli di dispersione di inquinanti in atmosfera per le analisi di VIA;
- Chi utilizza modelli per la stima in tempo reale delle emissioni da traffico
- Etc...etc

LO STUDIO DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER LE INFRASTRUTTURE STRADALI - INQUINAMENTO ATMOSFERICO

B2) PRODUZIONE DI ELEMENTI NOCIVI - MODELLI DI EMISSIONE

B2) DIFFUSIONE DEGLI ELEMENTI PRODOTTI - MODELLI DI DISPERSIONE

FATTORI CHE INFLUENZANO LE IMISSIONI

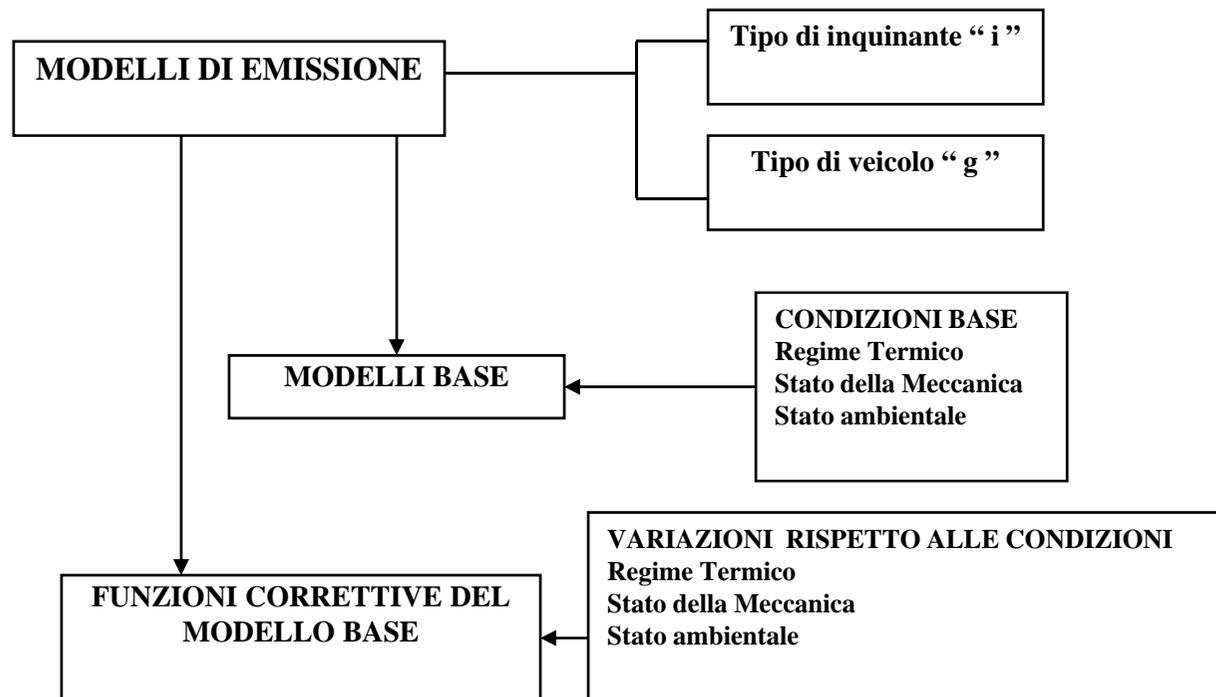


LO STUDIO DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER LE INFRASTRUTTURE STRADALI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

MODELLI DI EMISSIONE

Formulazione matematica delle relazioni esistenti tra le emissioni inquinanti dei veicoli a motore e alcune delle variabili che influenzano le emissioni stesse.

Dei parametri che influenzano le emissioni è necessario individuare quelli di cui tenere conto.



LO STUDIO DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER LE INFRASTRUTTURE STRADALI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

MODELLI DI EMISSIONE



MODELLI DINAMICI

MODELLI DINAMICI - FUNZIONI BASE: per inquinante, per categoria veicolare, modo cinematico (rango di variazione di velocità e accelerazione)

$$e^{i,g} = e_{base}^{i,g} + e_p^{i,g} + e_T^{i,g} + e_M^{i,g}$$

$$\frac{d}{dt} e_{base}^{i,g,m}(t) = f_{base}^{i,g,m}(v(t), a(t)) \quad [g / s \cdot \text{veic.}] \quad \Rightarrow \quad e_{base}^{i,g,m} = \int_T f_{base}^{i,g,m}(v(t), a(t)) \cdot dt \quad [g / \text{veic.}] \quad (\text{modo cinematico } m)$$

$$e_{base}^{i,g} = \sum_{m=1}^{n_m} \int_T f_{base}^{i,g,m}(v(t), a(t)) \cdot dt \quad [g / \text{veicolo}] \quad (\text{intero ciclo composto da } n \text{ modi cinematici})$$

Incremento dovuto alla pendenza	Incremento dovuto al funzionamento a freddo	Incremento dovuto alle condizioni di stato della meccanica
$e_p^{i,g} = \sum_{k=1}^{n_p} \int_0^{t_k} f_p^{i,g}(p, v(t)) \cdot dt$	$e_T^{i,g} = \int_0^{t_{reg}} f_T^{i,g}(t) \cdot dt$	$e_M^{i,g}$

LO STUDIO DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER LE INFRASTRUTTURE STRADALI INQUINAMENTO ATMOSFERICO

MODELLI DI EMISSIONE DINAMICI

EMISSIONI DOVUTE AL FLUSSO VEICOLARE

$$\varepsilon^i = \sum_{g=1}^{n_g} c_g \cdot N \cdot \left(e_{base}^{i,g} + e_p^{i,g} + \gamma_{tr} \cdot e_T^{i,g} + e_M^{i,g} \right) \quad [\text{g / ora}]$$

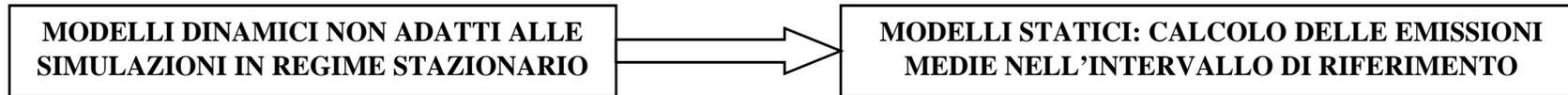
ALCUNI MODELLI DI EMISSIONE DINAMICI PROPOSTI

Automobile Exhaust Emission Modal Analysis Model (EPA)	CDOH (Colorado department)	CALINE4 (California Department of Transportation)	MODEM Progetto DRIVE: INRETS (Francia), TRRL (Gran Bretagna), TUV (Germania)
---	----------------------------------	--	--

MODELLO MODEM: Il modello di emissione sviluppato sulla base dei dati rilevati non è esplicitato attraverso una funzione matematica di regressione ma in modo discreto, in forma matriciale (variabili dipendenti velocità istantanea e prodotto velocità istantanea accelerazione istantanea)

LO STUDIO DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PER LE INFRASTRUTTURE STRADALI - INQUINAMENTO ATMOSFERICO

MODELLI DI EMISSIONE STATICI



IL CALCOLO DELLE EMISSIONI STATICHE: si fonda sulla dimostrazione che sebbene l'influenza sui profili istantanei di emissione delle proprietà puntuali dei cicli di guida sia notevole, i fattori totali di emissione sono invece esprimibili con una certa approssimazione in funzione dell'unico parametro rappresentato dalla velocità media del moto

Individuazione delle variabili indipendenti di tipo statico da utilizzare nei modelli matematici per il calcolo delle emissioni

$$\delta E_{base}^{i,g}(v_m) \quad [\text{g} / \text{veic. km}]$$

$$\delta E^i = \sum_{g=1}^{n_g} c_g \left(\delta E_{base}^{i,g}(v_m) + \delta E_T^{i,g}(v_m, x_1, x_2, \dots, x_n) + \delta E_p^{i,g}(p) + \delta E_M^{i,g} + \delta E_{ev}^{HC,g}(v_m, x_1, x_2, \dots, x_n) \right) \quad [\text{g} / \text{veic. km}]$$

$$Q_L(v_m, T, p, f) = E(v_m, T, p) \cdot \frac{1}{1000 \cdot 3600} \cdot f \quad [\text{g} / \text{m} \cdot \text{sec}]$$

Incremento dovuto alla pendenza	Incremento dovuto al funzionamento a freddo	Incremento dovuto alle condizioni di stato della meccanica	Incremento da emissioni evaporative per idrocarburi volatili
$\delta E_p^{i,g}(p)$	$\delta E_T^{i,g}(v_m, x_1, x_2, \dots, x_n)$	$\delta E_M^{i,g}$	$\delta E_{ev}^{HC,g}(v_m, x_1, x_2, \dots, x_n)$

ALCUNI MODELLI DI EMISSIONE STATICI PROPOSTI

MOBILE (USA)	FREQ (USA)	CORINAIR – COPERT III
--------------	------------	------------------------------

MODELLI PER LA STIMA DEI FATTORI DI EMISSIONE DA MEZZI DI TRASPORTO

- 1) Lo studio dei fattori di emissione per il trasporto è iniziato negli anni '70. I metodi che sin da allora sono stati sviluppati dipendono dalla quantità e dal tipo di dati disponibili sulle emissioni.**
- 2) Le misure per la stima dei fattori di emissione sono eseguite riproducendo su un banco a rulli un ciclo di guida reale, mentre le emissioni del veicolo sono raccolte ed analizzate.**
L'accuratezza delle relazioni che vengono fuori dall'esecuzione di più cicli a diversa velocità dipende fortemente da quanto, sia il veicolo sia il ciclo di guida, si avvicinino alla realtà. Bisogna a tal proposito notare che i cicli di guida di omologazione sono stilizzati differendo molto dal reale modo di guidare. Inoltre quando si parla di un ciclo avente una certa velocità media non si fa riferimento ad un determinato ciclo, ma questa velocità media può essere ottenuta con diversi cicli aventi tutti la stessa durata ma diversi profili di velocità.
- 3) Questa osservazione ha fatto scaturire l'esigenza di caratterizzare un ciclo oltre che dalla velocità media anche da altre variabili che definiscono la quantità di variazioni della velocità e/o la situazione di traffico. Quindi per ogni inquinante, per ogni situazione di traffico e per ogni veicolo è possibile stimare i fattori di emissione.**
- 4) Significative differenze esistono tra i valori delle emissioni forniti dai differenti modelli di emissione utilizzati negli ultimi anni (COPERT, HBFA e MODEM).**

MODELLI

MODELLO CONTINUO IN FUNZIONE DELLA VELOCITA' MEDIA

Copert II e III

[Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport] ,
Sviluppato ed ampiamente utilizzato nell'Unione Europea
ed inserito nella metodologia CORINAIR.

Il programma è gratuitamente scaricabile dal sito:<http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>

Il modello Copert può fornire stime su nove inquinanti e/o **gas serra**:

- Monossido di carbonio (CO),
- Ossidi di azoto (NO_x),
- Ossidi di zolfo (SO_x),
- Composti Organici Volatili Non Metanici (COVNM),
- Particolato (PM).
- **Anidride carbonica (CO₂) (GWP=1),**
- **Metano (CH₄) (GWP=25 a 100 anni),**
- **Protossido di azoto (N₂O) (GWP=320 a 100 anni),**
- **Ammoniaca (NH₃)**

Inoltre può stimare sette metalli pesanti: cadmio, cromo, rame, nickel, piombo, selenio e zinco.

GWP = Potenziale di riscaldamento globale

fattori di emissione

Le emissioni per ogni inquinante sono un valore totale, somma delle emissioni a caldo, a freddo e del contributo evaporativo:

$$E_{\text{totale}} = E_{\text{a caldo}} + E_{\text{a freddo}} + E_{\text{evaporativE}}$$

$E_{\text{a freddo}}$: Si evidenzia che il contributo della partenza a freddo, in ambito urbano è rilevante per percorsi medi di 12 km e minori.

EMISSIONI EVAPORATIVE

emissioni giornaliere, associate con la variazione giornaliera della temperatura ambiente che comporta l'espansione dei vapori di benzina nel serbatoio via via che la temperatura esterna aumenta. Senza un sistema di controllo, parte del vapore viene ventilato in atmosfera. Durante la notte, quando la temperatura ambiente diminuisce, i vapori si comprimono ed aria fresca viene richiamata dall'esterno attraverso la valvola di ventilazione. Quindi si abbassa la concentrazione degli idrocarburi nella fase vapore sopra la benzina liquida e ciò comporta una addizionale evaporazione.

emissioni allo spegnimento, causate dal calore latente del motore (al momento dello spegnimento) e del sistema di scarico che a loro volta causano l'evaporazione del carburante rimasto nel sistema di alimentazione.

emissioni in marcia, sono le normali perdite evaporative che si verificano durante la marcia del veicolo.

Tutti e tre i tipi di emissioni evaporative dipendono essenzialmente dalla temperatura esterna, dalle sue variazioni, dalla volatilità della benzina e dalle caratteristiche del veicolo.

Fattori di emissione

	Emissioni a caldo	Emissioni a freddo	Emissioni evaporative (solo COVNM)
Autovetture a benzina	SI	SI	SI
autovetture diesel	SI	SI	NO
veicoli commerciali leggeri benzina	SI	SI	SI
veicoli commerciali leggeri diesel	SI	SI	NO
bus e veicoli commerciali pesanti (solo diesel)	SI	NO	NO
ciclomotori (<50 cc)	SI	NO	SI
motocicli (>50 cc)	SI	NO	SI

L'applicazione di questo programma prevede sia la conoscenza di dati complessivi del parco veicolare che dati di flusso.

E' necessario quindi valutare e reperire informazioni sui seguenti parametri di ingresso, per poter *effettuare* la stima:

- A. il parco veicolare e la sua distribuzione;**
- B. le percorrenze annue nell'ambito urbano (inventario);**
- C. le condizioni di guida (v media);**
- D. il consumo totale di carburante (inventario);**
- E. le temperature medie mensili;**
- F. i fattori di emissione per ogni tipologia di veicolo;**
- G. altri parametri (i.e. fattore di carico, ecc).**

CATEGORIA COPERT	NOME COPERT	INTERVALLO VALIDITÀ EU	INTERVALLO VALIDITÀ ITALIA
Auto passeggeri a benzina (< 2,5 t)	PRE ECE	Fino al 1971	Immat. fino al 31.03.1973
	ECE 15 00/01	Dal 1972 al 1977	Immat. fino al 31.09.1978
	ECE 15 02	Dal 1978 al 1980	Immat. fino al 31.12.1981
	ECE 15 03	Dal 1981 al 1985	Immat. fino al 31.12.1984
	ECE 15 04	Dal 1985 al 1992	Immat. fino al 31.12.1992
	EURO I (1)	Dal 1992 al 1996	Immat. dal 01.01.1993 al 31.12.1996
	EURO II (2)	Dal 1997 al 2000	Immat. dal 01.01.1997 al 31.12.2000
	EURO III (3)	Dal 2000 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
EURO IV	Oltre il 2005	Nd.	
Auto passeggeri Diesel (< 2,5 t)	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.06.1994
	EURO I (1)	Dal 1992 al 1996	Immat. dal 01.07.1994 al 31.12.1996
	EURO II (2)	Dal 1996/97 (4) al 2000	Immat. dal 01.01.1997 al 31.12.2000
	EURO III (5)	Dal 2000 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	EURO IV	Oltre il 2005	Nd.
Auto passeggeri a GPL (< 2,5 t)	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 31.12.1992
	Successivamente al 31.12.1992 stessa ripartizione che per le auto a benzina		
Commerciali leggeri a Benzina (< 3,5 t complessive)	Convenzionali	Fino al 1993	Immat. fino al 30.09.1994
	EURO I (6)	Dal 1993 al 1997	Immat. dal 01.10.1994 al 30.09.1998
	EURO II (7)	Dal 1997 al 2001	Immat. dal 01.10.1998
	EURO III (8)	Dal 2001 al 2006	Nd.
	EURO IV	Oltre il 2006	Nd.
Commerciali leggeri diesel (< 3,5 t complessive)	Come per i veicoli commerciali leggeri a benzina		
Commerciali pesanti a benzina (9) (> 3,5 t)	Convenzionali	Tutti i veicoli esistenti della categoria	Tutti i veicoli esistenti della categoria
Commerciali pesanti diesel (< 7,5 t)	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.09.93
	EURO I (10)	Dal 1993 al 1995	Immat. dal 01.10.1993 al 30.09.1997
	EURO II	Dal 1996 al 2000	Immat. dal 01.10.1997 al 31.12.2000
	EURO III (11) – COM(1997)	Dal 2001 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	Euro IV – COM(1998)	Dal 2006 al 2008	Nd.
	Euro V - COM(1998)	Oltre il 2008	Nd.
Commerciali pesanti diesel (tra 7,5 e 16 t)	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.09.93
	EURO I	Dal 1993 al 1995	Immat. dal 01.10.1993 al 30.09.1997
	EURO II	Dal 1996 al 2000	Immat. dal 01.10.1997 al 31.12.2000
	EURO III – COM(1997)	Dal 2001 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	Euro IV – COM(1998)	Dal 2006 al 2008	Nd.
	Euro V - COM(1998)	Oltre il 2008	Nd.
Commerciali pesanti diesel (tra 16 e 32 t)	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.09.93
	EURO I	Dal 1993 al 1995	Immat. dal 01.10.1993 al 30.09.1997
	EURO II	Dal 1996 al 2000	Immat. dal 01.10.1997 al 31.12.2000
	EURO III – COM(1997)	Dal 2001 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	Euro IV – COM(1998)	Dal 2006 al 2008	Nd.
	Euro V - COM(1998)	Oltre il 2008	Nd.

Commerciali pesanti diesel (> 32 t)	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.09.93
	EURO I	Dal 1993 al 1995	Immat. dal 01.10.1993 al 30.09.1997
	EURO II	Dal 1996 al 2000	Immat. dal 01.10.1997 al 31.12.2000
	EURO III – COM(1997)	Dal 2001 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	Euro IV – COM(1998)	Dal 2006 al 2008	Nd.
	Euro V - COM(1998)	Oltre il 2008	Nd.
Autobus urbani	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.09.93
	91/542/EEC Stadio 1	Dal 1993 al 1995	Immat. dal 01.10.1993 al 30.09.1996
	91/542/EEC Stadio 2	Dal 1996 al 2000	Immat. dal 01.10.1997 al 31.12.2000
	EURO III – COM(1997)	Dal 2001 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	Euro IV – COM(1998)	Dal 2006 al 2008	Nd.
	Euro V - COM(1998)	Oltre il 2008	Nd.
Autobus extraurbani	Convenzionali	Fino al 1992	Immat. fino al 30.09.93
	91/542/EEC Stadio 1	Dal 1993 al 1995	Immat. dal 01.10.1993 al 30.09.1996
	91/542/EEC Stadio 2	Dal 1996 al 2000	Immat. dal 01.10.1997 al 31.12.2000
	EURO III – COM(1997)	Dal 2001 al 2005	Immat. dal 01.01.2001
	Euro IV – COM(1998)	Dal 2006 al 2008	Nd.
	Euro V - COM(1998)	Oltre il 2008	Nd.
Motorini (< 50 cm³)	Convenzionali	Fino al 30.06.1999	Immat. fino al 30.06.1999
	97/24/EC Stadio 1	Dal 01.07.1999 al 30.06.2000	Immat. dal 01.07.1999 al 30.06.2000
	97/24/EC Stadio 2	Dal 01.07.2000	Immat. dal 01.07.2000
Motocicli a due tempi (> 50 cm³)	Convenzionali	Fino al 30.06.1999	Nd.
	97/24/EC	Oltre il 01.07.1999	Nd.
Motocicli a quattro tempi (50-250 cm³)	Convenzionali	Fino al 30.06.1999	Immat. fino al 30.06.1999
	97/24/EC	Oltre il 01.07.1999	Immat. dal 01.07.1999 ad oggi
Motocicli a quattro tempi (250-750 cm³)	Convenzionali	Fino al 30.06.1999	Immat. fino al 30.06.1999
	97/24/EC	Oltre il 01.07.1999	Immat. dal 01.07.1999 ad oggi
Motocicli a quattro tempi (> 750 cm³)	Convenzionali	Fino al 30.06.1999	Immat. fino al 30.06.1999
	97/24/EC	Oltre il 01.07.1999	Immat. dal 01.07.1999 ad oggi

TABELLA 1: Categorie di veicoli e rispettive date di immatricolazione in Italia

Dove reperire informazioni:

- **il parco veicolare e la sua distribuzione**
ACI sito www.aci.it (dal livello nazionale a quello comunale)

Veicoli commerciali circolanti al 2006

REGIONE	PROVINCIA	COMUNE	ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	Non contemplato	Non identificato	TOTALE
		ROMA	BENZINA	Fino a 3,5	2.354	3.853	8.481	11.124	915			11	26.738
				Oltre 3,5	125	5							130
				Non contemplato	1	5	5						11
				Non identificato	866	32						48	946
			BENZINA Totale		3.346	3.895	8.486	11.124	915			59	27.825
			BENZINA O GAS LIQUIDO	Non contemplato	225	181	62	66	6		16		556
			BENZINA O GAS LIQUIDO Totale		225	181	62	66	6		16		556
			BENZINA O METANO	Non contemplato	17	12	132	134	65	7	1		368
			BENZINA O METANO Totale		17	12	132	134	65	7	1		368
			GASOLIO	Fino a 3,5	14.834	11.965	23.014	42.455	10.840	3		6	103.117
				3,6 - 7,5	3.589	501	1.058	875	7	3		6	6.039
				7,6 - 12	3.270	389	740	512		1		4	4.916
				12,1 - 14	698	45	34	37				3	817
				14,1 - 20	1.293	166	283	290				3	2.035
				20,1 - 26	1.788	262	477	414	2			6	2.949
				26,1 - 28	15	3							18
				28,1 - 32	20	38	200	543					801
				Oltre 32	53	11	2	3					69
				Non identificato	2.125	163	1	7				36	2.332
			GASOLIO Totale		27.685	13.543	25.809	45.136	10.849	7		64	123.093
			ALTRE	Non contemplato	101	3							104
			ALTRE Totale		101	3							104
			DATO NON IDENTIFICATO	Fino a 3,5				4					4
				3,6 - 7,5	2								2
				Non identificato	20	1						2	23
			DATO NON IDENTIFICATO Totale		22	1		4				2	29
		ROMA Totale			31.396	17.635	34.489	56.464	11.835	14	17	125	151.975

Dove reperire informazioni:

- il parco veicolare e la sua distribuzione
ACI sito www.aci.it (dal livello nazionale a quello comunale)

Autovetture circolanti al 2006

COMUNE	ALIMENTAZIONE	FASCIA	EURO 0	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	Non contemplato	Non identificato	TOTALE	
ROMA	BENZINA	Fino a 1400	249.306	213.925	378.323	248.463	236.707			185	1.326.909	
		1401 - 2000	72.282	84.906	111.982	50.764	41.786			56	361.776	
		Oltre 2000	9.829	4.935	7.952	7.759	10.581			10	41.066	
		Non contemplato	2	1						1		4
		Non identificato	36	12	60	17	4				4	133
	BENZINA Totale		331.455	303.779	498.317	307.003	289.078		1	255	1.729.888	
	BENZINA O GAS LIQUIDO	Fino a 1400	15.307	4.123	5.436	1.636	2.218				1	28.721
		1401 - 2000	14.263	8.326	7.719	1.708	803				2	32.821
		Oltre 2000	792	308	436	175	120					1.831
		Non identificato									1	1
	BENZINA O GAS LIQUIDO Totale		30.362	12.757	13.591	3.519	3.141				4	63.374
	BENZINA O METANO	Fino a 1400	367	142	270	121	542					1.442
		1401 - 2000	348	237	425	422	524				1	1.957
		Oltre 2000	17	9	19	9	15					69
	BENZINA O METANO Totale		732	388	714	552	1.081				1	3.468
	GASOLIO	Fino a 1400	5.873	742	1.629	52.346	93.757				3	154.350
		1401 - 2000	24.264	25.083	92.397	278.659	191.889				14	612.306
		Oltre 2000	17.850	9.917	25.700	67.372	28.044				7	148.890
		Non contemplato			2							4
		Non identificato	4		7	28	1					40
GASOLIO Totale		47.991	35.742	119.735	398.405	313.693				24	915.590	
ALTRE	Non contemplato	51	3		2	2			4		62	
ALTRE Totale		51	3		2	2			4		62	
DATO NON IDENTIFICATO	Fino a 1400	310	7	3	1	6				6	333	
	1401 - 2000	54	2	4	4	4				1	69	
	Oltre 2000	4			7						11	
	Non identificato	62	13	4						34	113	
DATO NON IDENTIFICATO Totale		430	22	11	12	10				41	526	
ROMA Totale		411.021	352.691	632.368	709.493	607.005			5	325	2.712.908	

Dove reperire informazioni:

le condizioni di guida

COPERT **adotta** tre tipologie di tragitto:

- **Tragitto di tipo urbano caratterizzato da velocità ridotte e da frequenti stop and go;**
- **Tragitto di tipo autostradale ovviamente caratterizzato da velocità abbastanza elevate e da una relativa assenza di soluzioni di continuità nel moto**
- **Tragitto di tipo extraurbano che si colloca tra i due precedenti e rappresenta la situazione che, in linea di massima, si verifica su strade statali e provinciali.**

Tragitti URBANI 10-50 km/h

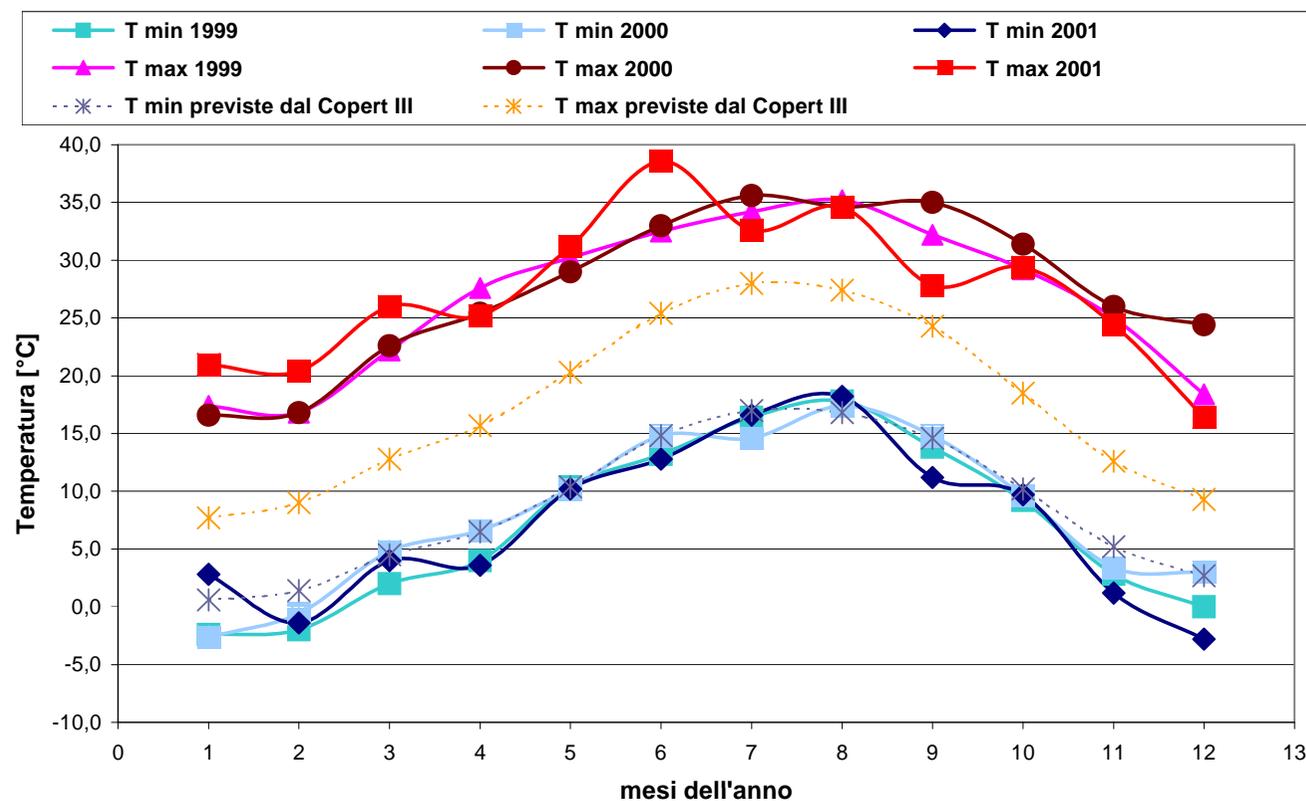
Tragitti EXTRAURBANI 40-80 km/h

Tragitti AUTOSTRADALI 70-130 km/h

Dove reperire informazioni sui seguenti parametri di ingresso, per poter valutare l'anno rispetto al quale effettuare la stima:

le temperature medie mensili

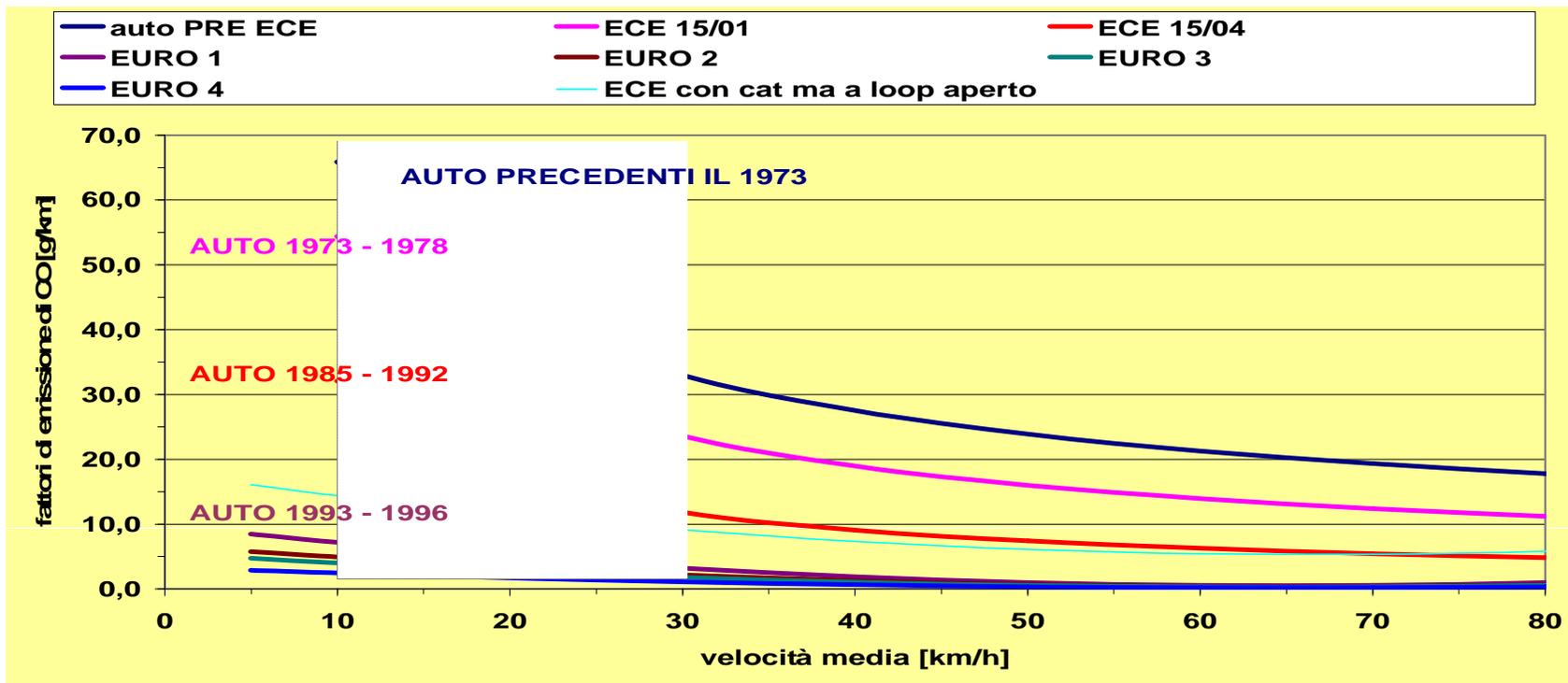
Dati da: stazioni meteorologiche, siti web, reti di monitoraggio, aeroporti.....



MODELLI

MODELLO CONTINUO IN FUNZIONE DELLA VELOCITA' MEDIA

Copert II e III



MODELLI

MODELLO DISCONTINUO IN FUNZIONE DELLA VELOCITA' MEDIA E DELLE CONDIZIONI DI TRAFFICO

HBEFA

**[Handbook Emission Factors for Road Transport] , sviluppato da
UBA e BUWAL**

Il programma è commercializzato da INFRAS

<http://www.infras.ch>

MODELLI

**MODELLO ISTANTANEO FUNZIONE DELLA VELOCITA'
ISTANTANEA E DEL PRODOTTO $v \cdot a$**

MODEM

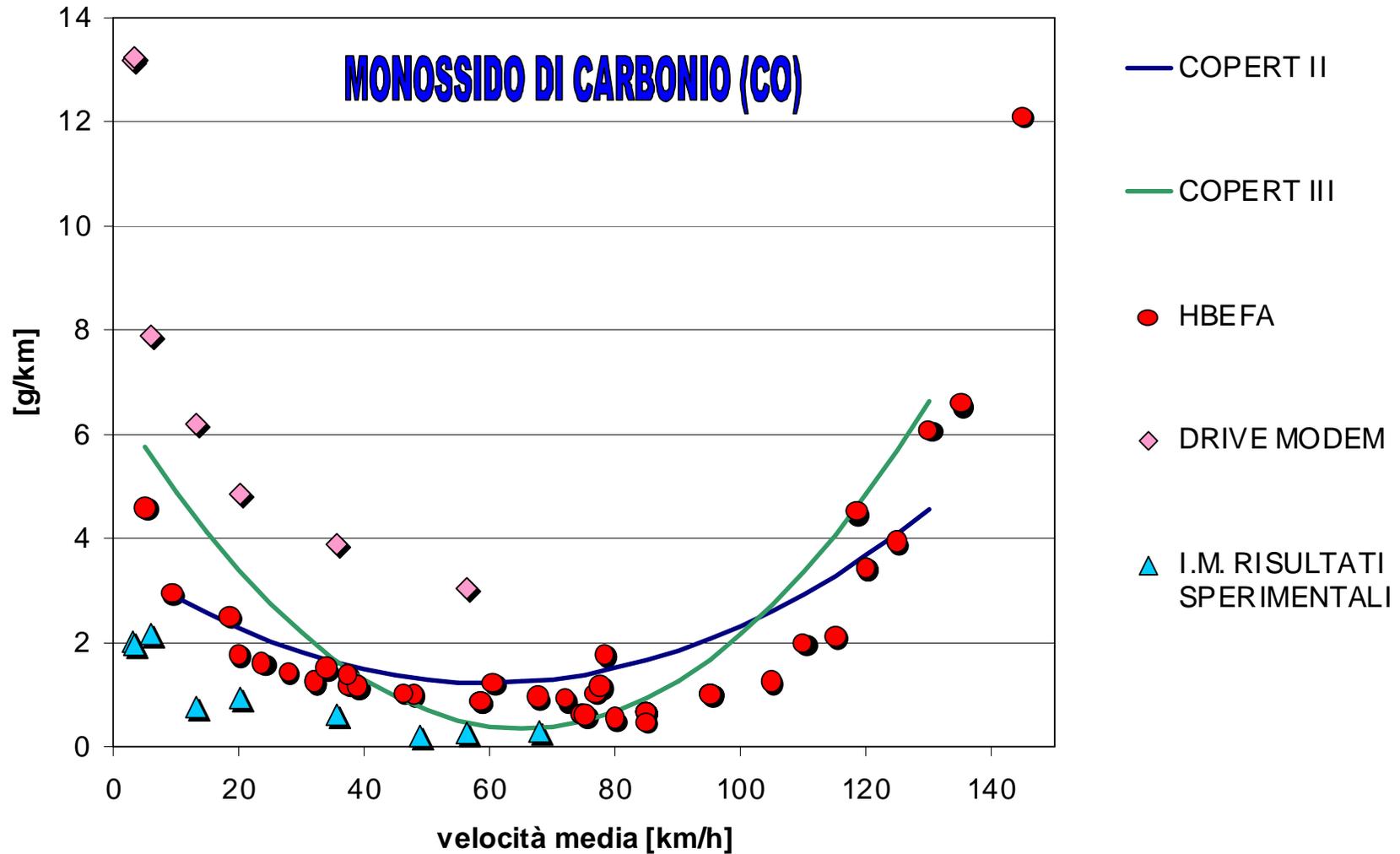
[Emission Modeling]

Il programma è sviluppato da INRETS

<http://www.inrets.fr>

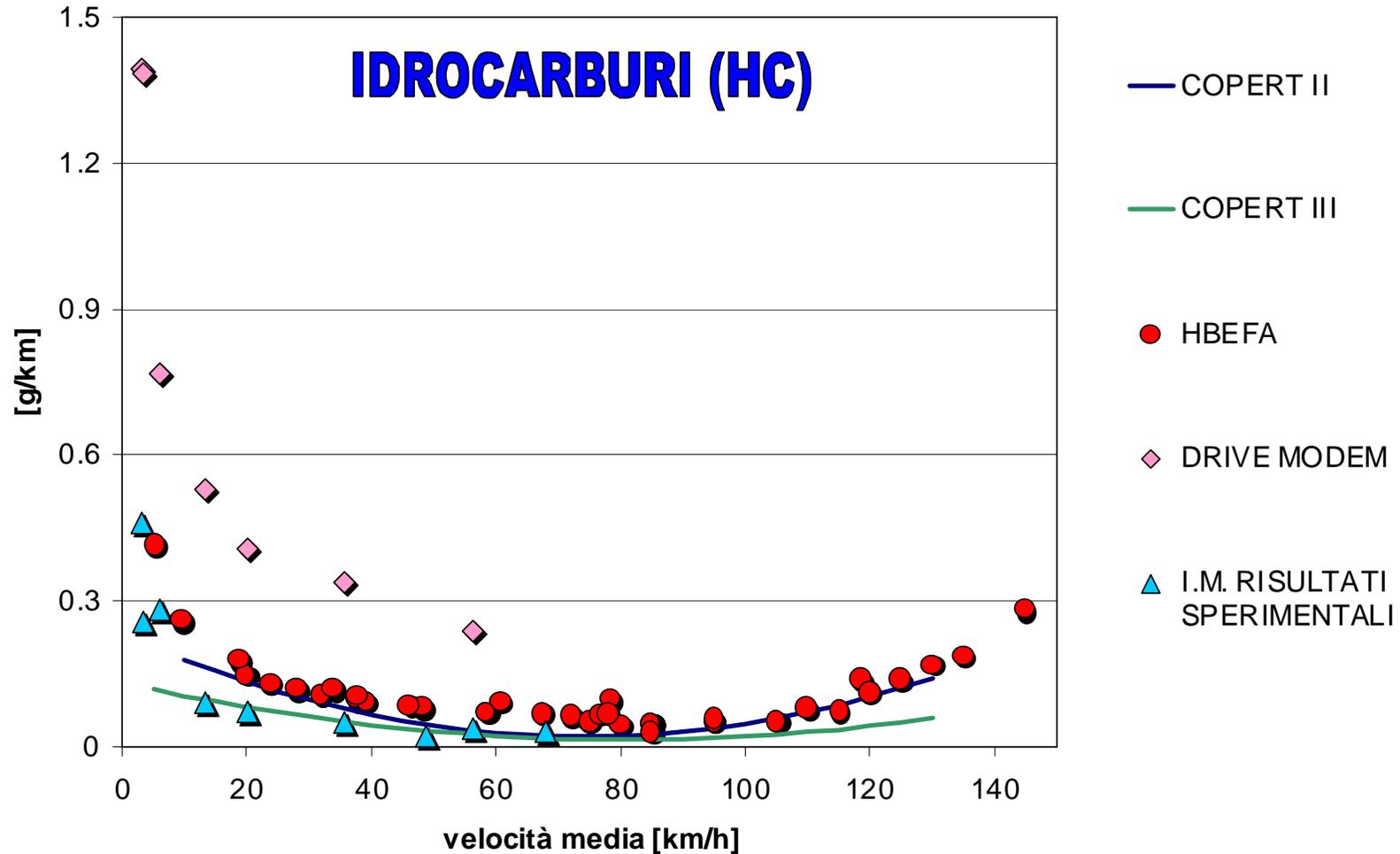
CONFRONTI TRA MODELLI

AUTOVETTURA A BENZINA: FIAT PUNTO cilindrata <1.4 l (Omologata secondo la Direttiva 94/12 - EURO II)



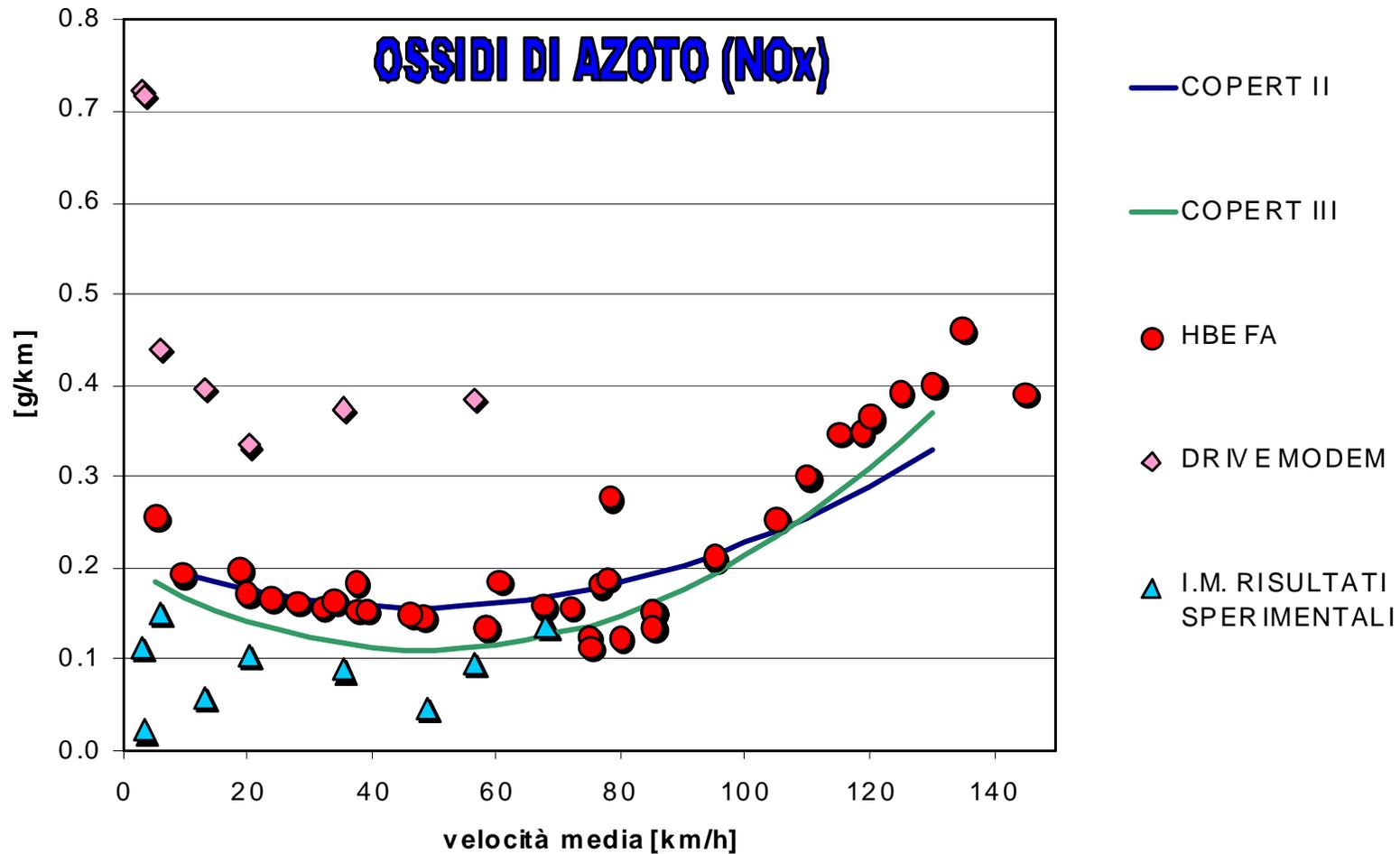
CONFRONTI TRA MODELLI

AUTOVETTURA A BENZINA: FIAT PUNTO cilindrata <1.4 l (Omologata secondo la Direttiva 94/12 - EURO II)



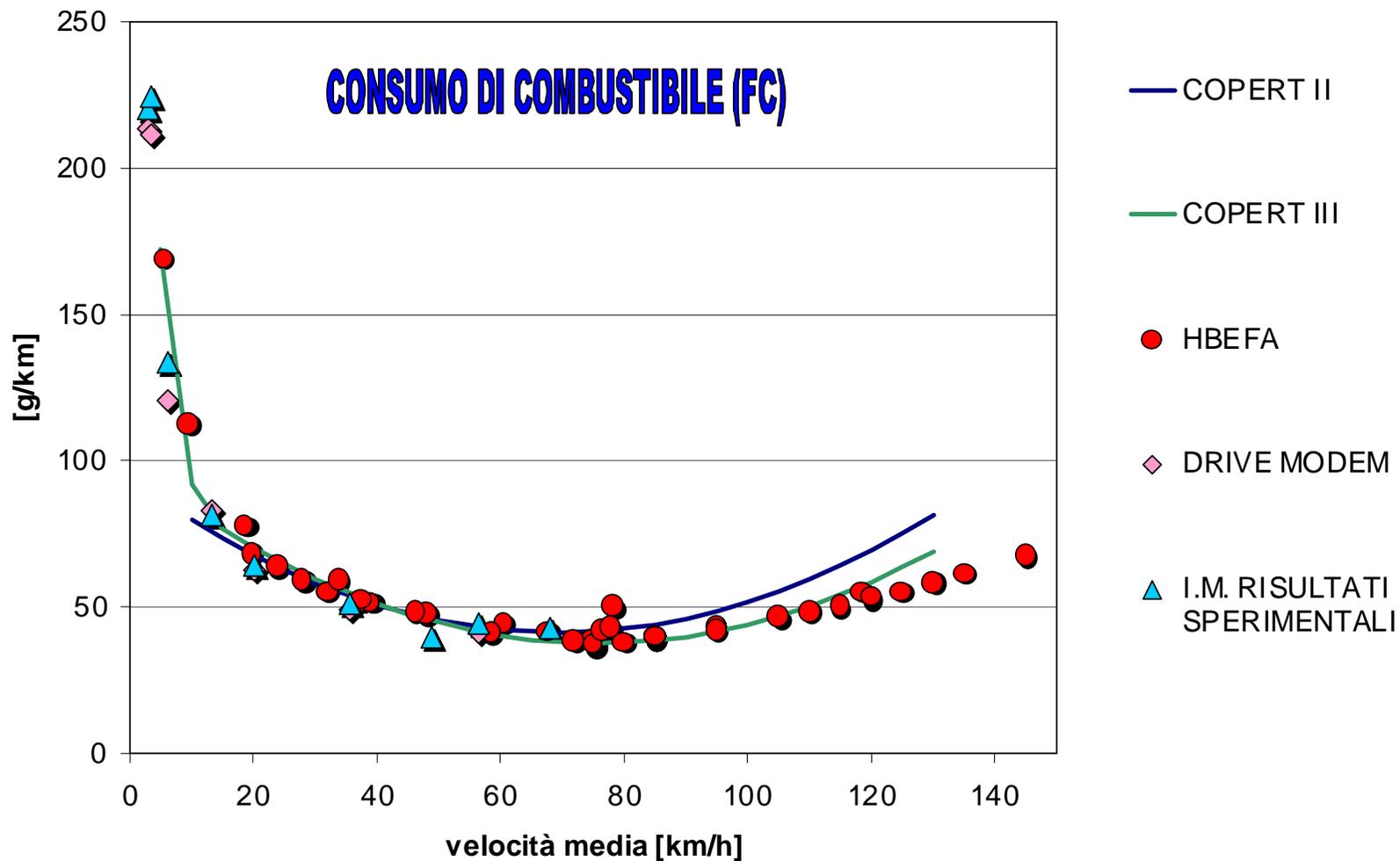
CONFRONTI TRA MODELLI

AUTOVETTURA A BENZINA: FIAT PUNTO cilindrata <1.4 l (Omologata secondo la Direttiva 94/12 - EURO II)



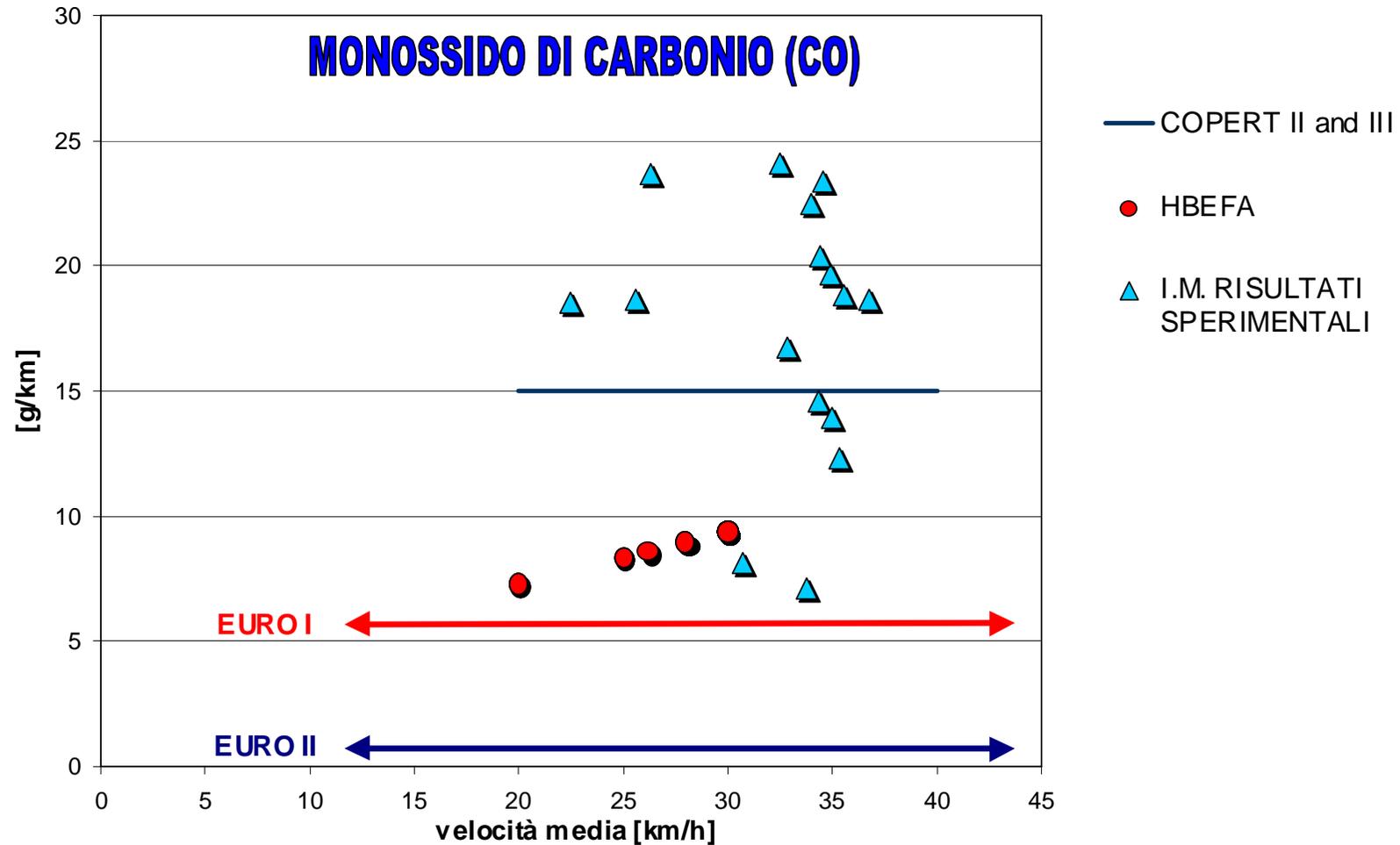
CONFRONTI TRA MODELLI:

AUTOVETTURA A BENZINA: FIAT PUNTO cilindrata <1.4 l (Omologata secondo la Direttiva 94/12 - EURO II)



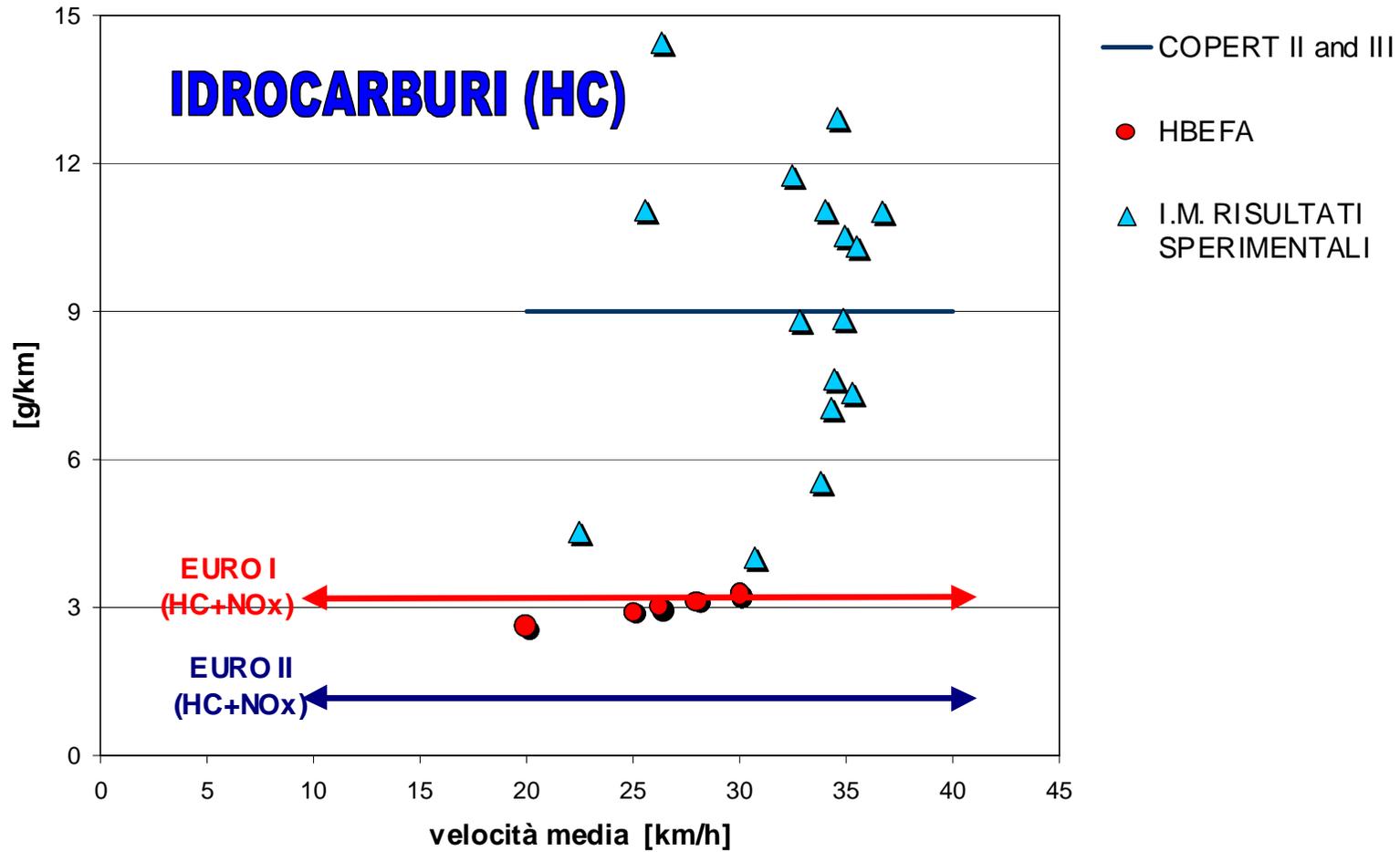
CONFRONTI TRA MODELLI

CICLOMOTORI a 2 TEMPI di cilindrata < 50 cc
(omologati pre Direttiva EURO I)



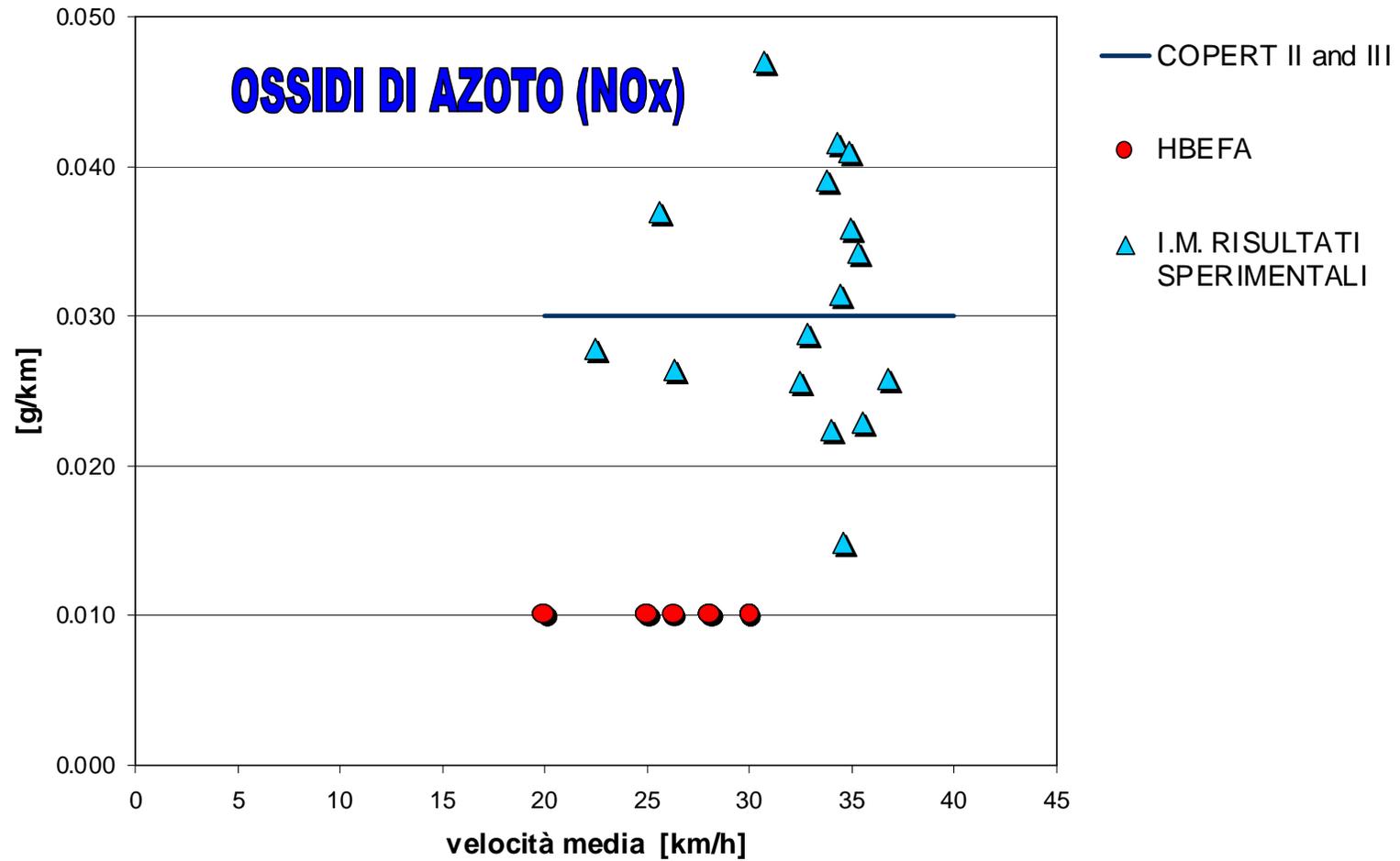
CONFRONTI TRA MODELLI

CICLOMOTORI a 2 TEMPI di cilindrata < 50 cc (omologati pre Direttiva EURO I)



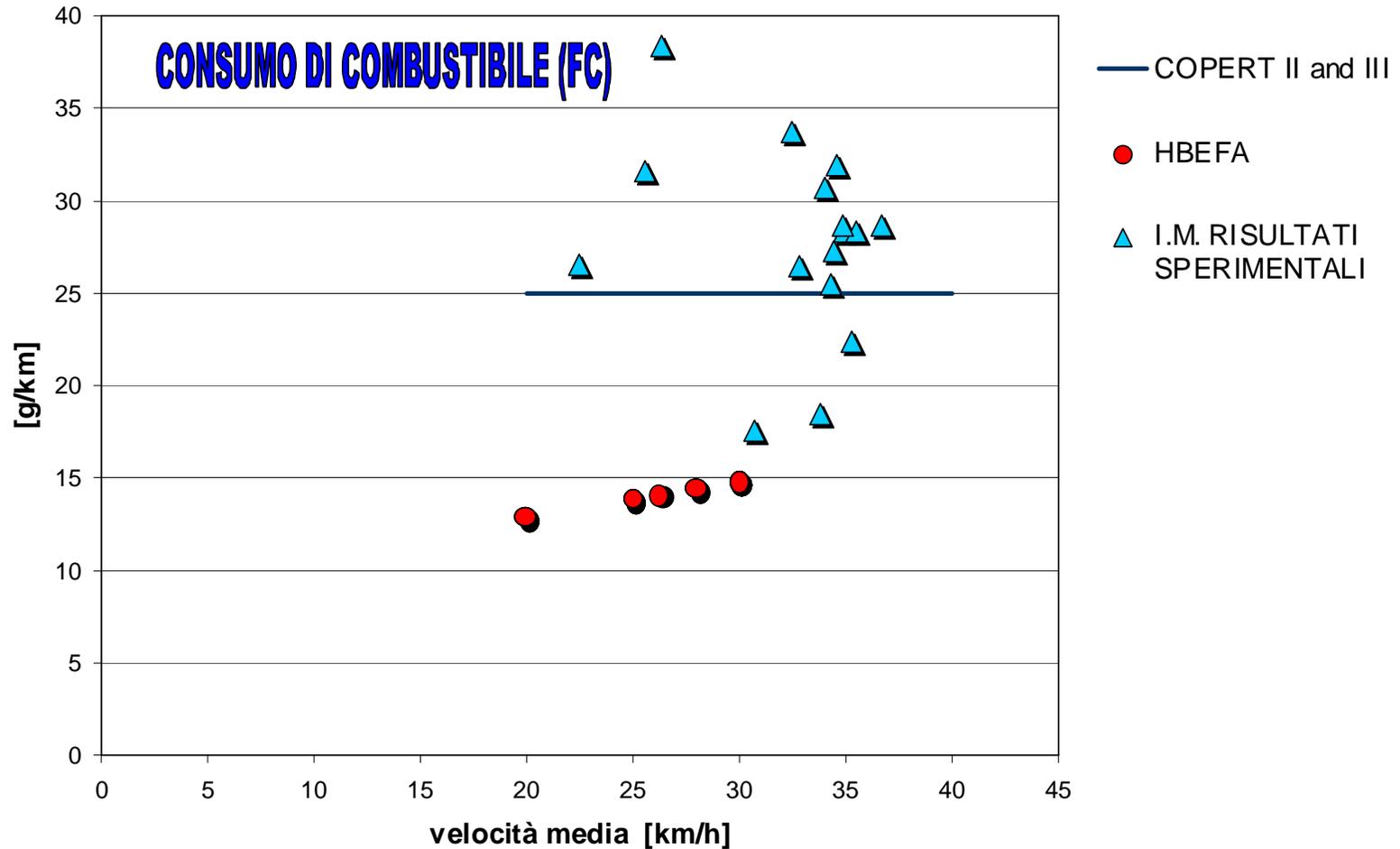
CONFRONTI TRA MODELLI

CICLOMOTORI a 2 TEMPI di cilindrata < 50 cc (omologati pre Direttiva EURO I)



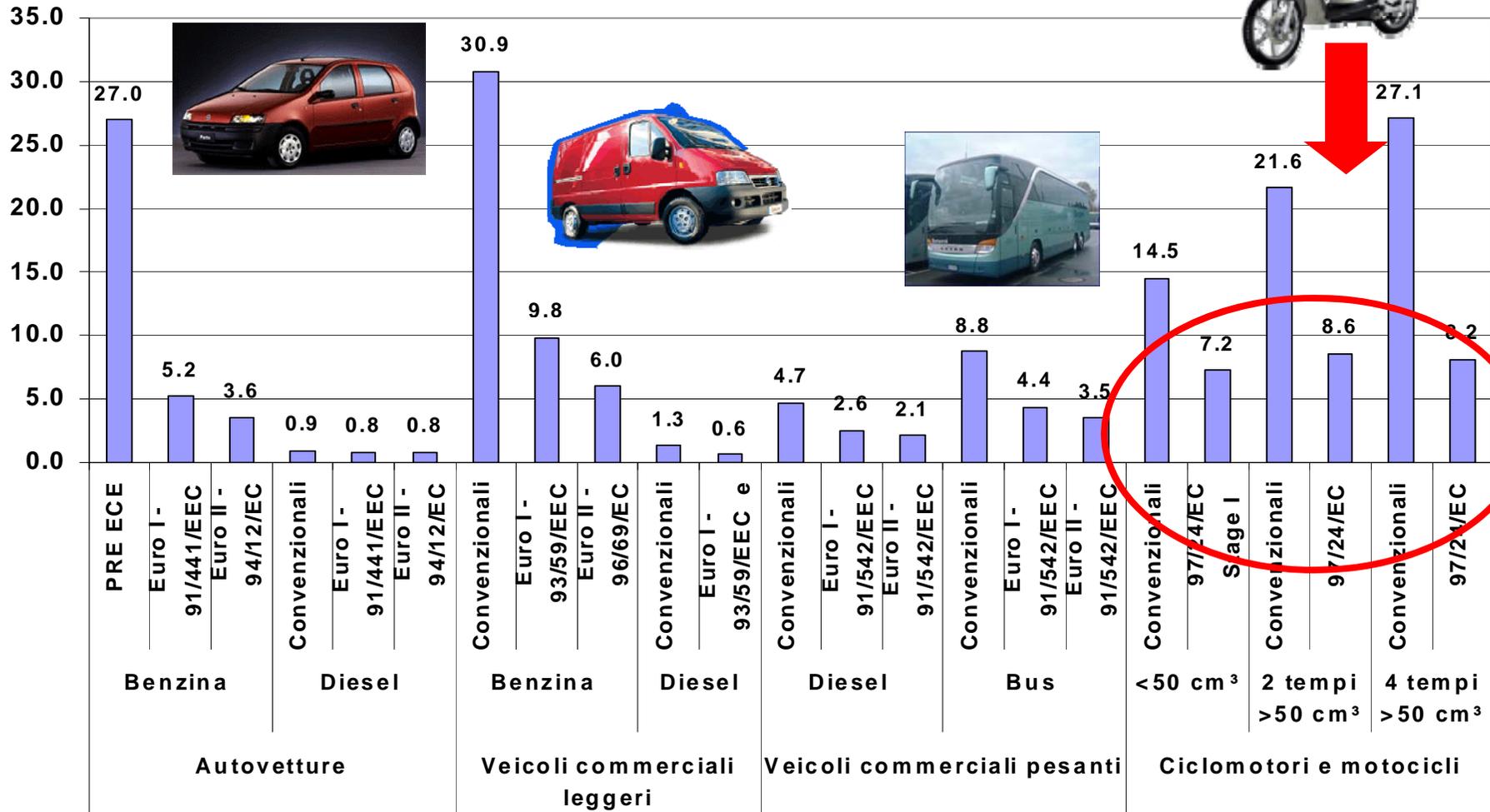
CONFRONTI TRA MODELLI

CICLOMOTORI a 2 TEMPI di cilindrata < 50 cc
(omologati pre Direttiva EURO I)



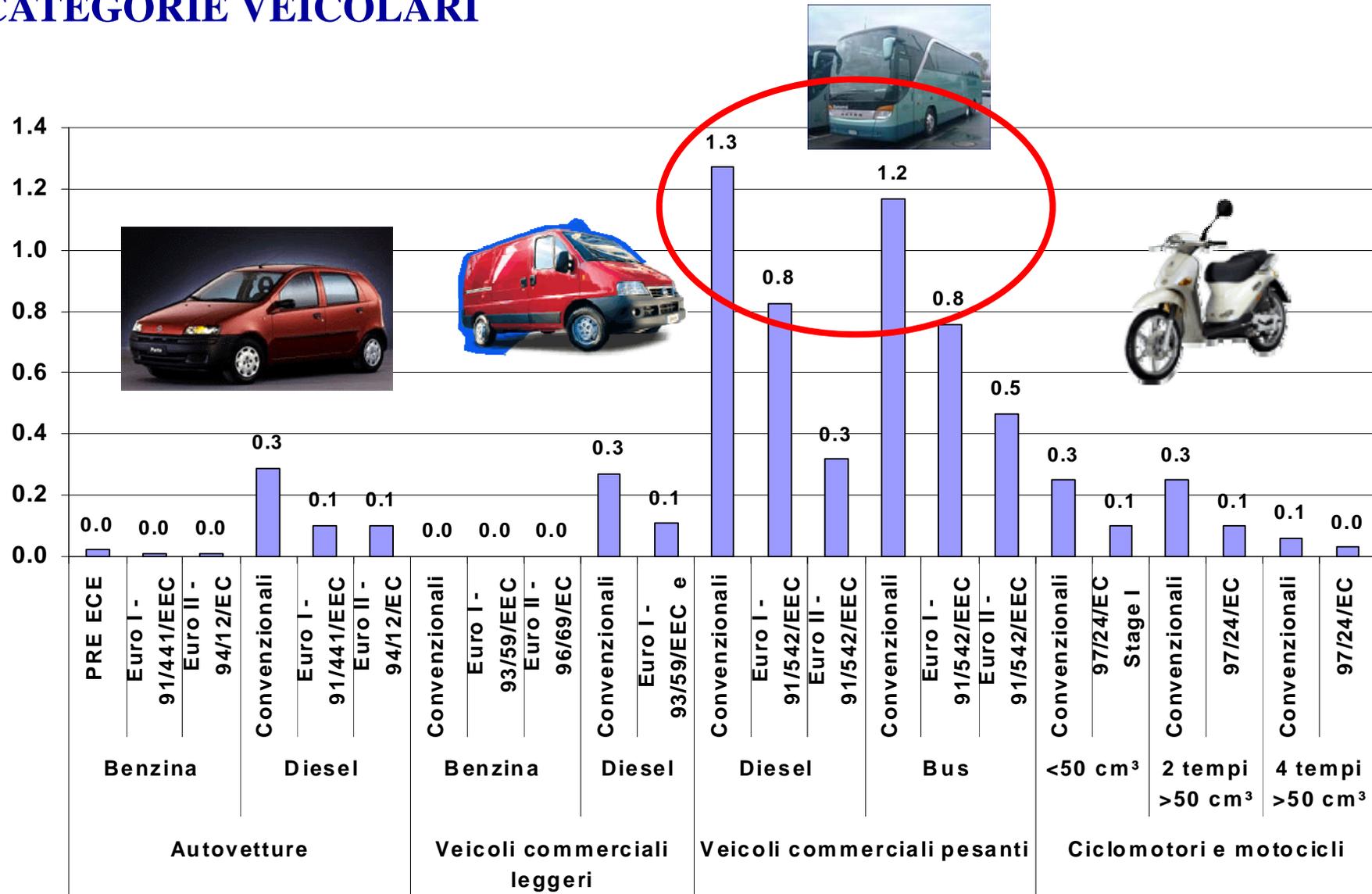
FATTORI DI EMISSIONE

FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI CO [g/km] “ a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI



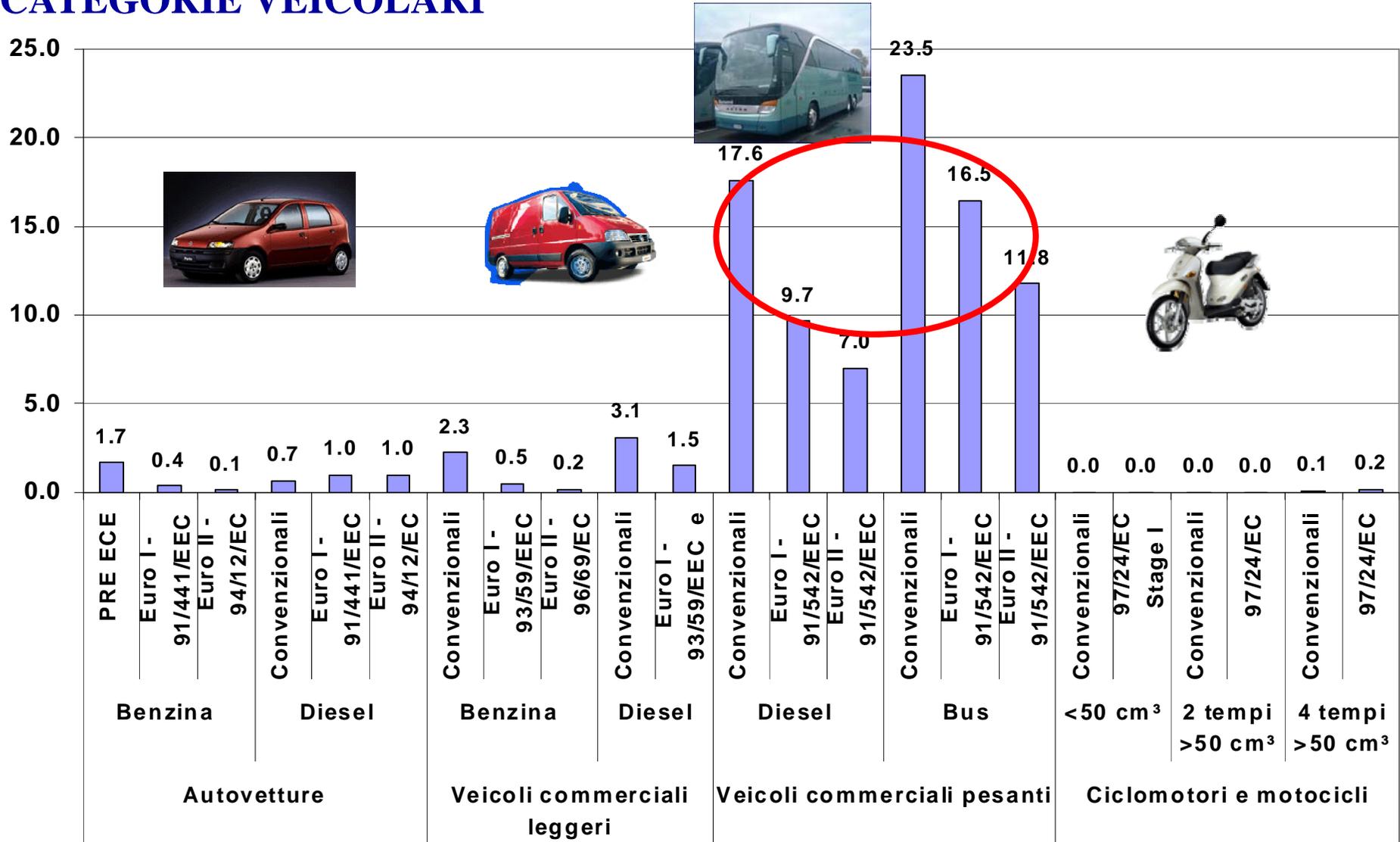
FATTORI DI EMISSIONE

FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI PM/PM₁₀ [g/km] “a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI



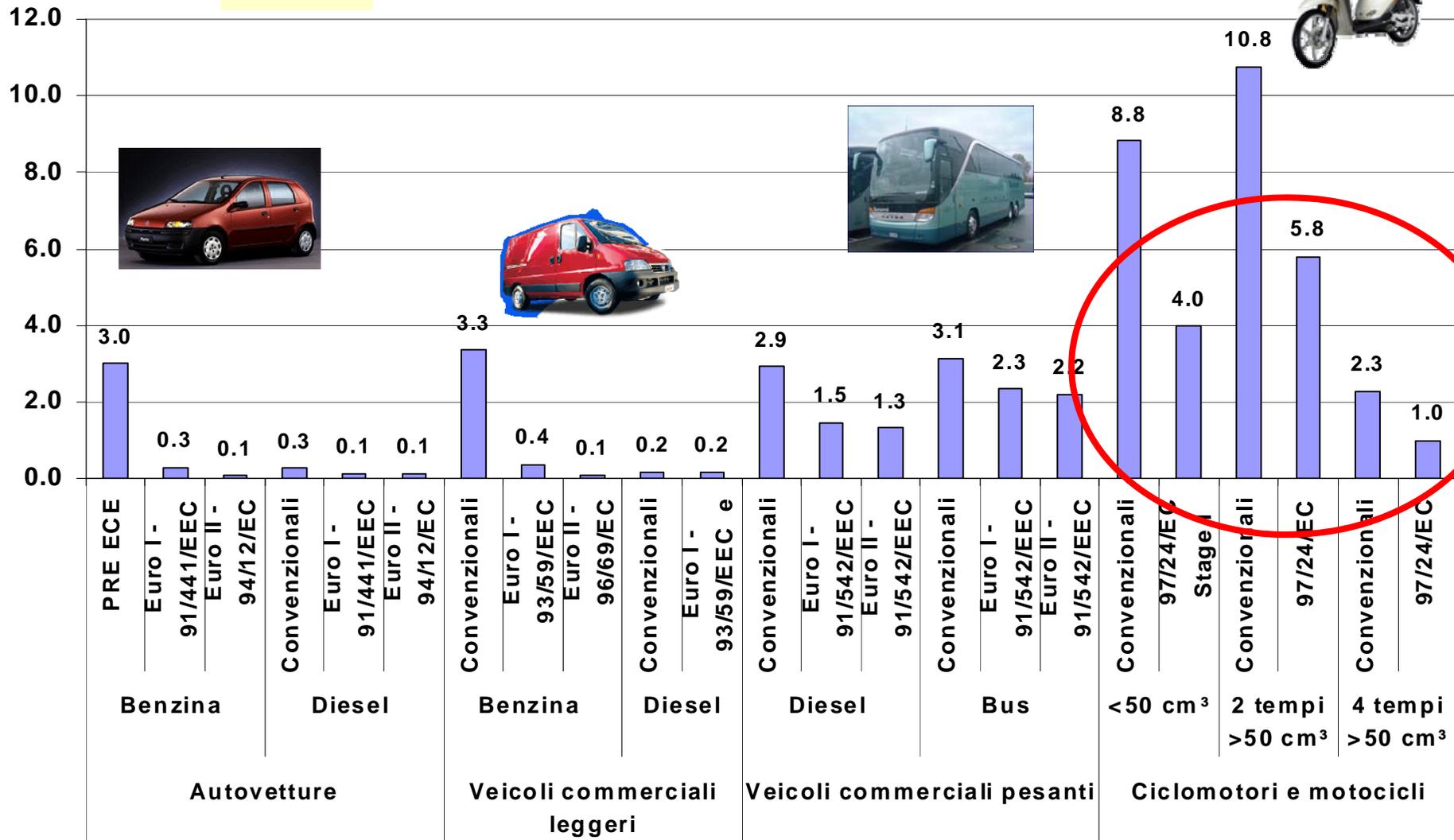
FATTORI DI EMISSIONE

FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI NO_x [g/km] “a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI



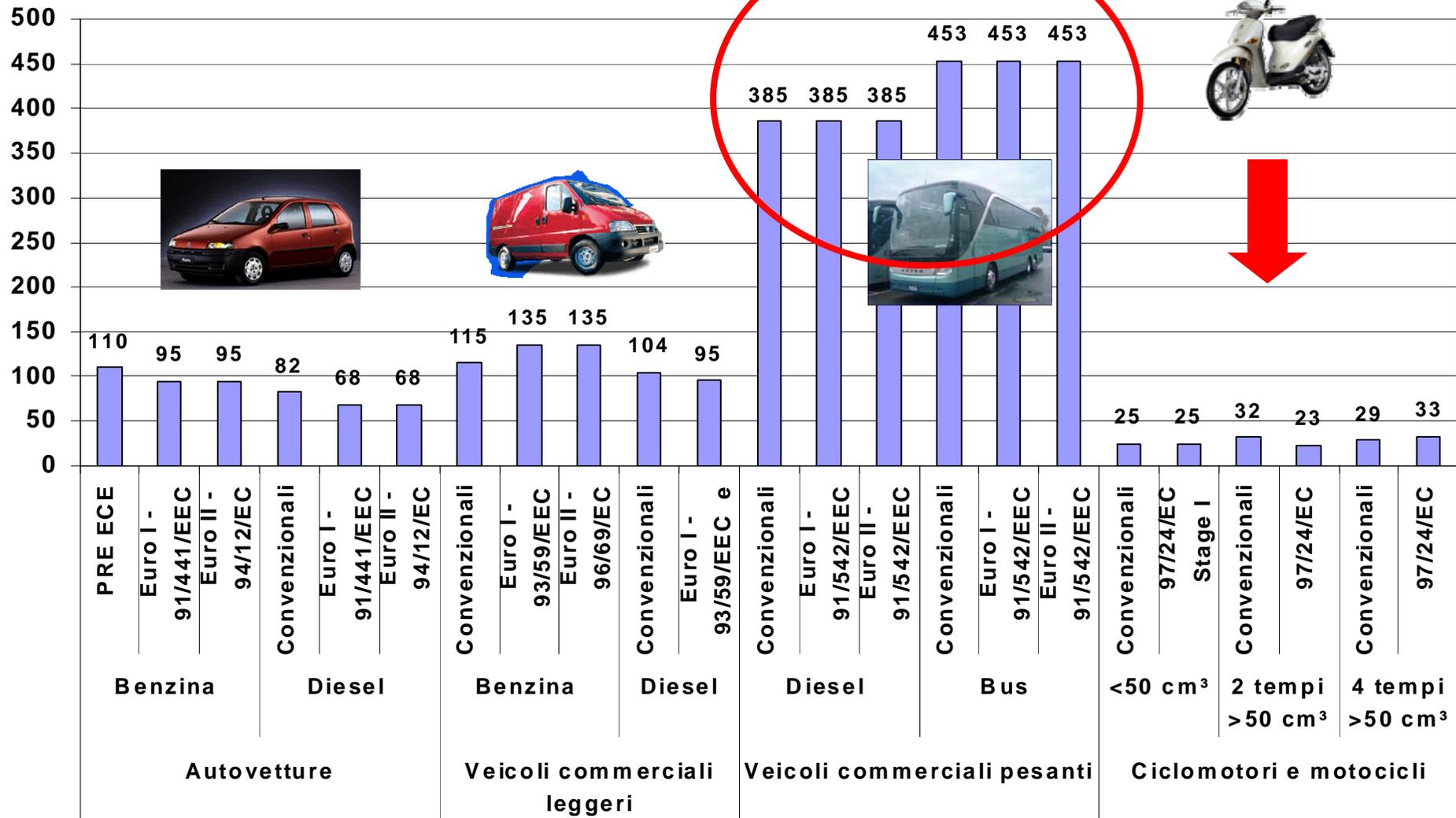
FATTORI DI EMISSIONE

FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI VOC [g/km] “ a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI



FATTORI DI EMISSIONE

FATTORI DI EMISSIONE MEDI DI CONSUMO DI COMBUSTIBILE [g/km] “a caldo” PER CATEGORIE VEICOLARI

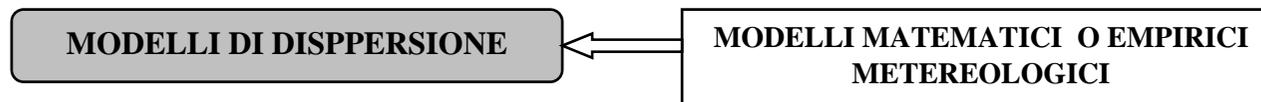


MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

ELEMENTI DI METEOROLOGIA

Lo studio dei processi di dispersione delle sostanze inquinanti è in parte basato sulla conoscenza dei fenomeni meteorologici, in particolare di quelli che avvengono in regime turbolento nei bassi strati dell'atmosfera

Per questo motivo i modelli per la simulazione delle dispersioni contengono frequenti riferimenti a metodi matematici o empirici atti a descrivere il comportamento delle principali variabili meteorologiche

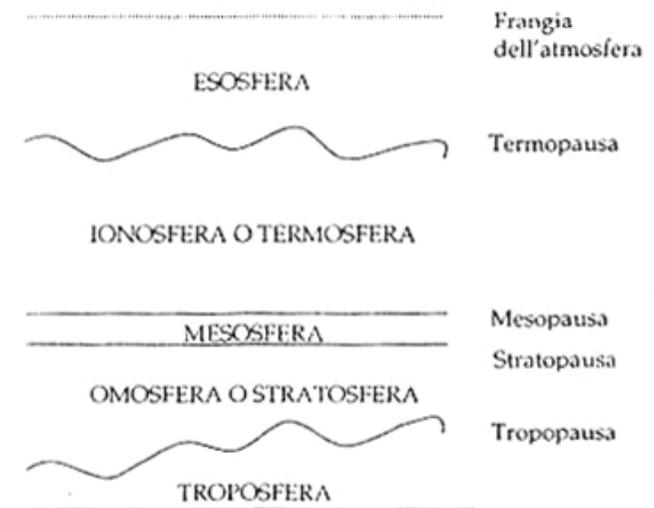


LA STRUTTURA DELL'ATMOSFERA

L'atmosfera terrestre non presenta caratteristiche omogenee in funzione della distanza dal suolo, essa viene pertanto suddivisa in un certo numero di strati ognuno dei quali presenta caratteristiche chimico-fisiche peculiari.

Nella troposfera la temperatura varia con la quota in maniera approssimativamente uniforme, anche se fenomeni di inversione di tale gradiente sono abbastanza comuni.

La troposfera è interessata da notevoli moti convettivi dell'aria (scambio per convezione con la superficie terrestre dell'energia derivante dalle radiazioni solari)



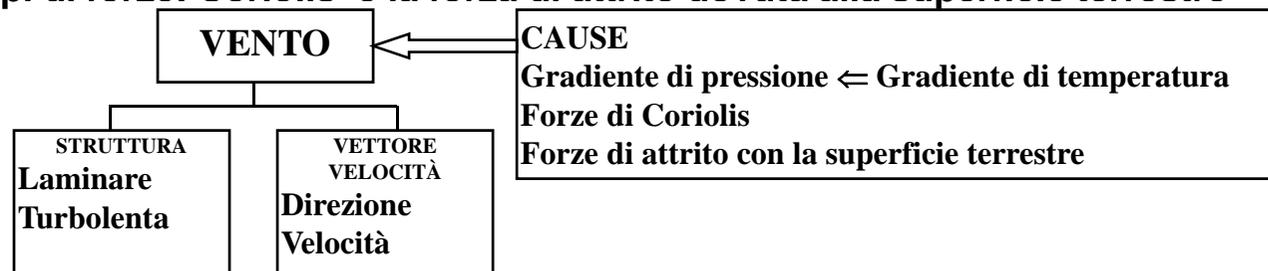
MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

ELEMENTI DI METEOROLOGIA

IL VENTO

Il vento consiste nel fenomeno di movimento delle masse d'aria. La principale causa del vento consiste nel diseguale assorbimento di energia solare da parte dell'atmosfera e della superficie terrestre, che causa una differenza di temperatura ed un gradiente di pressione. Il vento è influenzato anche da altri tipi di forze: Coriolis e la forza di attrito dovuta alla superficie terrestre

Definito dalla propria struttura e dal vettore velocità



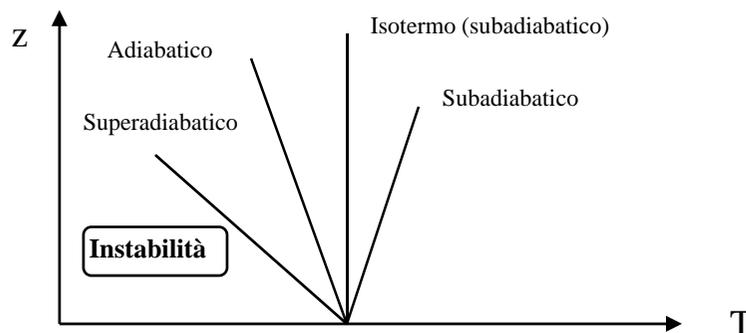
STABILITÀ ATMOSFERICA

La stabilità è uno dei concetti fondamentali nella caratterizzazione dello stato dell'atmosfera.

- ▷ Stabile quando i moti delle sue particelle tendono a divenire o rimanere di tipo laminare
- ▷ Instabile quando i moti delle sue particelle tendono a divenire o rimanere di tipo turbolento

Si fa riferimento in particolare ai moti verticali.

Sebbene per l'individuazione delle situazioni di stabilità locale non è sufficiente la sola stima del gradiente verticale di temperatura è su questo parametro che sono basate le definizioni di stabilità atmosferica.



$$\Gamma = \frac{\partial T}{\partial z} < \Gamma_{ad} \Rightarrow \text{Instabilità}$$

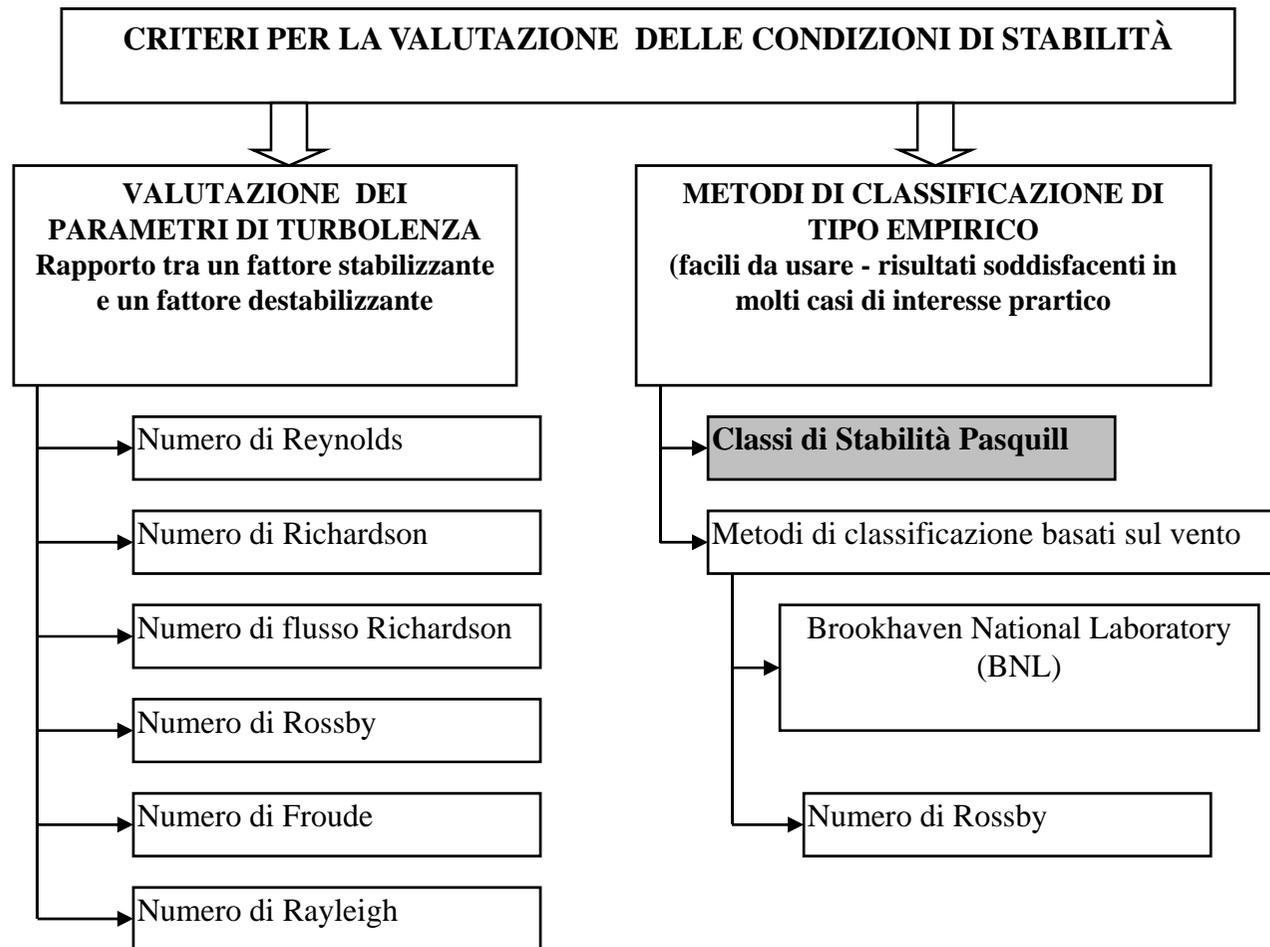
$$\Gamma = \frac{\partial T}{\partial z} = \Gamma_{ad} \Rightarrow \text{Neutralità}$$

$$\Gamma = \frac{\partial T}{\partial z} > \Gamma_{ad} \Rightarrow \text{Stabilità}$$

$$\Gamma = \frac{\partial T}{\partial z} > 0 \Rightarrow \text{Inversione termica}$$

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

ELEMENTI DI METEOROLOGIA



MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

ELEMENTI DI METEOROLOGIA

CLASSI DI STABILITÀ DI PASQUILL

CONDIZIONE DI STABILITÀ	CLASSE DI PASQUILL
Instabilità estrema	A
Instabilità moderata	B
Instabilità leggera	C
Neutralità	D
Stabilità leggera	E
Stabilità moderata	F

VELOCITÀ DEL VENTO ALLA SUPERFICIE (a 10 m)	INSOLAZIONE DIURNA			CONDIZIONI NOTTURNE Grado di Copertura Nuvolosa	
	Forte	Moderata	Leggera	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$
[m/s]					
<2	A	A ÷ B	B	(G)	(G)
2 ÷ 3	A ÷ B	B	C	E	F
3 ÷ 4	B	B ÷ C	C	D	E
4 ÷ 6	C	C ÷ D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

CATEGORIA DI INSOLAZIONE	INSOLAZIONE	
	[Langley /min]	[W / mq]
Forte	$I > 1.0$	$I > 700$
Moderata	$1.0 \geq I \geq 0.5$	$700 \geq I \geq 350$
Leggera	$I < 0.5$	$I < 350$

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

ELEMENTI DI METEOROLOGIA

CLASSI DI STABILITÀ DI BASATI SULLA DIREZIONE DEL VENTO

Se sono disponibili misure dirette della turbolenza è preferibile stimare il grado di stabilità atmosferica attraverso la distribuzione delle frequenze della direzione del vento

METODO BNL

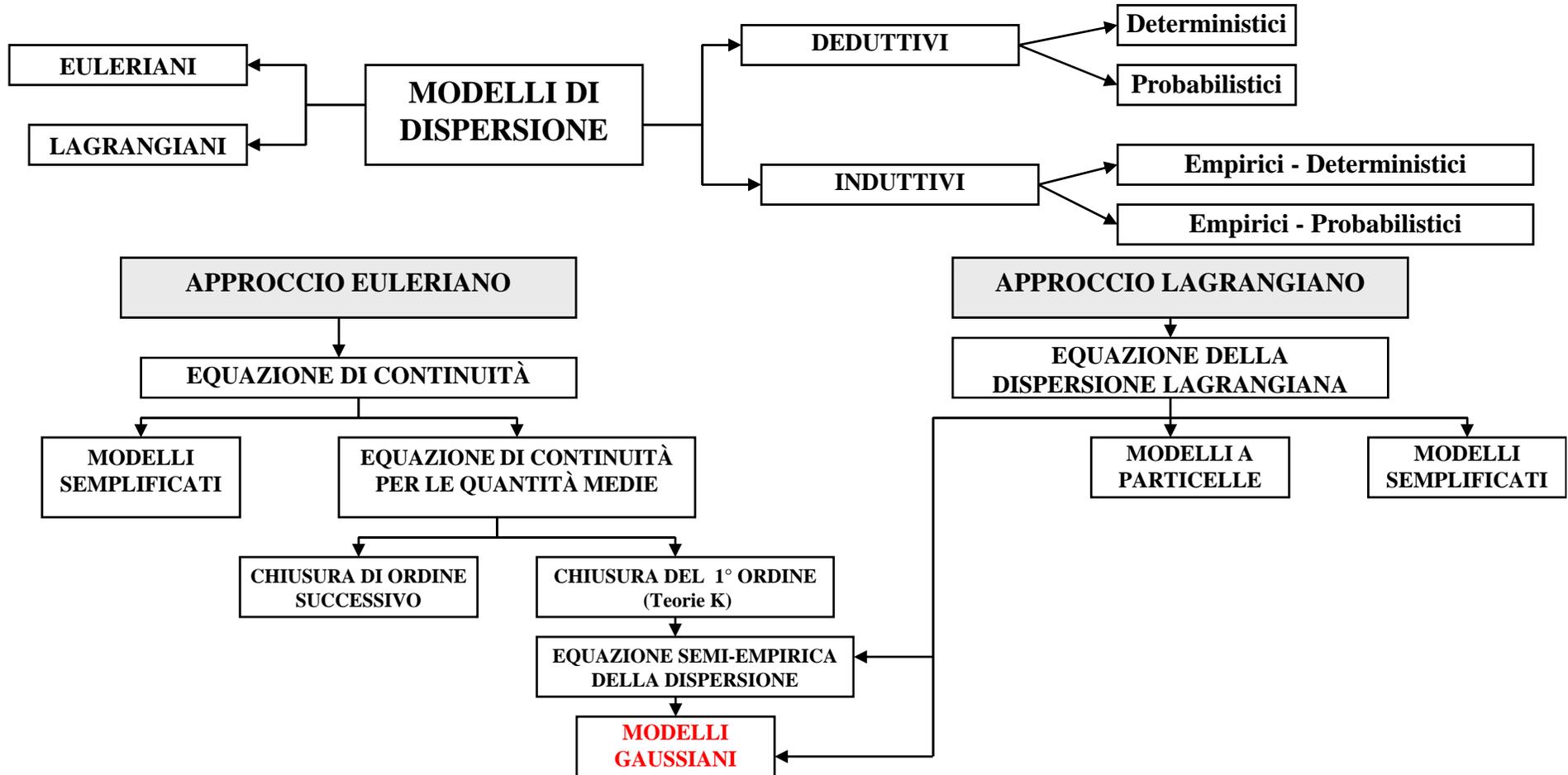
Misure della componente orizzontale della direzione del vento effettuate per un periodo di tempo di 1 ora (A meno stabile , D più stabile)

CLASSI DI STABILITÀ	DEFINIZIONE
A	Fluttuazioni di ϕ superiori a 90°
B1	Fluttuazioni di ϕ comprese tra 40° e 90°
B2	Fluttuazioni di ϕ comprese tra 15° e 40°
C	Fluttuazioni di ϕ maggiori di 15° ma molto concentrate intorno alla media
D	Andamento di ϕ pressochè costante, con fluttuazioni di breve durata minori di 15°

METODO CRAMER

Basato sulle deviazioni standard della componente orizzontale σ_o e verticale del vento σ_v .

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI



MODELLI EULERIANI - Equazione di continuità

Ri variazione delle concentrazioni dovute alle reazioni chimiche.

Si variazione delle concentrazioni dovuto alle sorgenti di immissione.

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \sum_j \frac{\partial}{\partial x_j} (v_j, c_i) = v_m \sum_j \frac{\partial^2 c_i}{\partial x_j^2} + R_i + S_i$$

Le soluzioni analitiche ricavabili dall'equazione della dispersione atmosferica sono di applicabilità limitata poiché possono essere ricavate ammettendo delle ipotesi fortemente restrittive sulle espressioni delle componenti del tensore della diffusività turbolenta e della velocità media del vento

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

MODELLI LAGRANGIANI

L'uso di un sistema di riferimento lagrangiano, nell'analisi della distribuzione di una generica sostanza nell'atmosfera consente di studiare la sua concentrazione attraverso la descrizione delle traiettorie delle singole particelle in moto. Le particelle sono considerate come porzioni di fluido di dimensioni sufficientemente grandi rispetto alle scale molecolari ma abbastanza piccole da permettere di trascurare le variazioni interne di pressione e temperatura. Queste due ipotesi consentono di considerare il mezzo continuo e le particelle come punti materiali.

$f_h(x, t)dx$ probabilità che all'istante t la particella si trovi nel volume elementare compreso tra x e $x+dx$

$q(x, t|x', t')$ densità di probabilità che una particella nella posizione x' all'istante t' venga a trovarsi nel punto x all'istante t - densità di probabilità di transizione

$f_h(x, t) = \iiint_V q(x, t|x', t') \cdot f_h(x', t') dx'$ Densità di probabilità di trovare la particella nella posizione x all'istante t

$\langle dn(dV, t) \rangle = \sum_{h=1}^n f_h(x, t) dV$ numero medio di particelle nel volume V al tempo $t \Rightarrow$
 $m \cdot \langle dn(V, t) \rangle$ massa media nel volume V

$\langle c(dV, t) \rangle = \frac{m}{dV} \sum_{h=1}^n f_h(x, t) dV$ Concentrazione della sostanza i

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

MODELLI LAGRANGIANI

L'equazione che esprime le concentrazioni medie nel punto x all'istante t - due classi di particelle:

- **quelle che all'istante t_0 già si trovano nel fluido**

$$\langle c(x,t) \rangle_0 = \sum_{h=1}^n f_h(x,t) dV = \sum_{h=1}^n \left(\iiint_V q(x,t|x',t_0) \cdot f_h(x',t_0) dx' \right) = \iiint_V q(x,t|x',t_0) \cdot \left[m \sum_{h=1}^n f_h(x',t_0) \right] dx'$$

$$\langle c(x',t_0) \rangle = m \sum_{h=1}^n f_h(x',t_0) \quad \Rightarrow \quad \langle c(x,t) \rangle_0 = \iiint_V q(x,t|x',t_0) \cdot \langle c(x',t_0) \rangle dx'$$

- **quelle che sono state emesse da una sorgente nell'intervallo di tempo $[t_0, t]$**

$S(x,t)$ funzione che esprime le variazioni di concentrazione per unità di volume e unità di tempo dovute a sorgenti di emissione

$$\langle c(x,t) \rangle_s = \iiint_V \int_{T_0}^T q(x,t|x',t') \cdot S(x',t') \cdot dt' dx'$$

Concentrazione Media Totale

$$\langle c(x,t) \rangle = \langle c(x,t) \rangle_0 + \langle c(x,t) \rangle_s = \iiint_V q(x,t|x',t_0) \cdot \langle c(x',t_0) \rangle dx' + \iiint_V \int_{T_0}^T q(x,t|x',t') \cdot S(x',t') \cdot dt' dx'$$

Paragonata all'equazione euleriana presenta lo svantaggio di non poter tenere conto di reazioni chimiche tra le particelle ma il vantaggio di rimanere valida anche in prossimità di forti sorgenti di emissione isolate.

Problema della risoluzione Lagrangiana: mancanza di una completa conoscenza dei fenomeni turbolenti che porta all'impossibilità pratica di determinare la funzione $q(x,t|x',t')$.

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

L'EQUAZIONE DELLA DISPERSIONE GAUSSIANA

IPOSTESI FONDAMENTALI: Stazionarietà e omogeneità dell'atmosfera

ALTRE IPOSTESI:

- Superficie del suolo piana (non influenzi la stazionarietà e omogeneità dell'atmosfera e la velocità e la direzione del vento)
- Assenti i moti verticali (vettore della velocità del vento sia contenuto nel piano orizzontale)
- Asse x diretto come la velocità media del vento
- Nella direzione della velocità media del vento gli effetti della turbolenza sulla dispersione siano trascurabili rispetto a quelli dovuti al vento stesso (ipotesi del pennacchio ristretto).

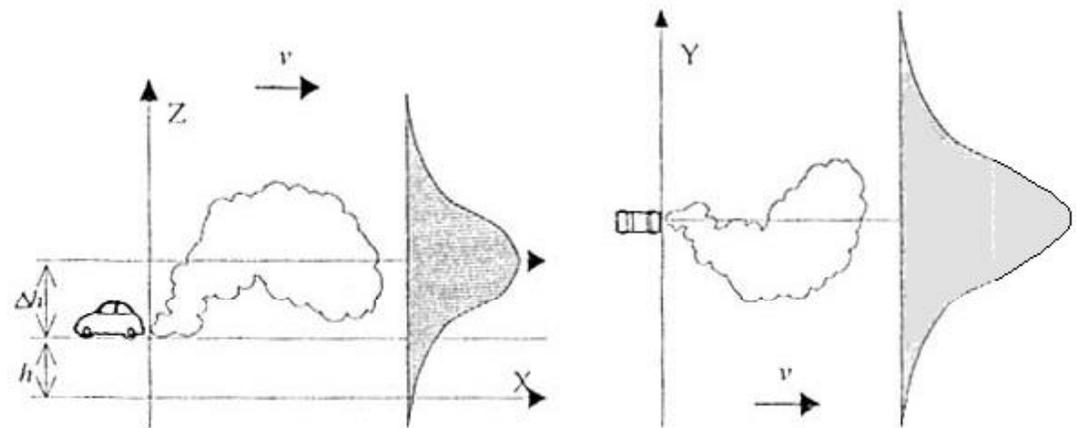
Si considera che l'emissione avvenga in un punto ad altezza (innalzamento pennacchio):

$$H = h_s + \Delta h$$

DISTRIBUZIONE NORMALE BIVARIATA NEI PIANI (x,y) e (x,z)

$$\langle c_i(x, y, z) \rangle = \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot v \cdot \sigma_y \sigma_z} \exp \left[- \left(\frac{y}{\sqrt{2} \sigma_y} \right)^2 \right] \cdot \exp \left[- \left(\frac{z - H}{\sqrt{2} \sigma_z} \right)^2 \right]$$

σ_y e σ_z rappresentano le deviazioni standard della distribuzione di c_i e sono in genere funzione del tempo t (funzioni del tempo di trasporto $t_m = \frac{x}{v}$)



MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

L'EQUAZIONE DELLA DISPERSIONE GAUSSIANA VALIDITÀ

L'IPOTESI DI STAZIONARIETÀ E OMOGEEITÀ

Si verifica di rado nei pressi della superficie del suolo – valida per intervalli relativamente brevi (applicazioni in tempi lunghi suddividendo in intervalli di 1h).

Si compensa la violazione di tale ipotesi sia introducendo l'esistenza di fenomeni di riflessione che attraverso l'uso di espressioni empiriche per la valutazione della deviazione standard.

L'IPOTESI DI SUPERFICIE PIANA

Approccio gaussiano non valido in orografie complesse e in vicinanza di ostacoli (p.e. strade fiancheggiate da edifici).

L'IPOTESI DI ASSENZA DI CONCENTRAZIONI ALL'ISTANTE INIZIALE

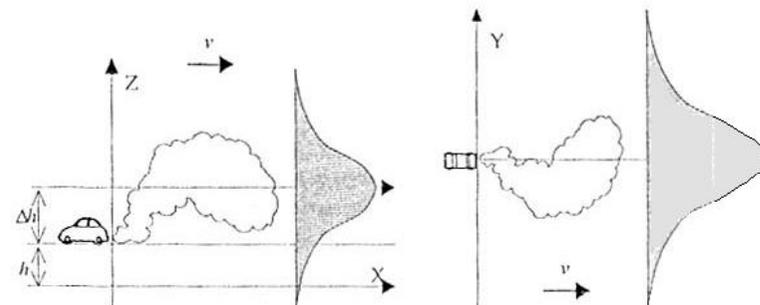
Valida solo se il periodo necessario a dissipare la concentrazione iniziale è piccolo rispetto al riferimento in cui si applica il modello (proporzionale alla distanza secondo la velocità media del vento)

L'IPOTESI DI TRASCURABILITÀ DELLA DISPERSIONE TURBOLENTA

Tanto meno plausibile quanto più bassa è la velocità media del vento (rende poco realistico il modello per basse velocità del vento).

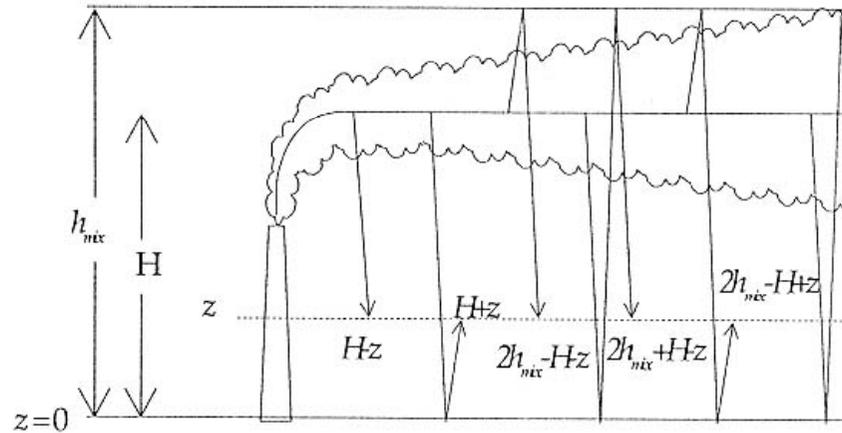
Per velocità medie del vento nulle il modello è inapplicabile (e bene riferirsi a situazione di completa calma ponendo la velocità media del vento pari a 0.5 m/sec).

È un'importante limitazione dato che i maggiori valori di concentrazione si verificano generalmente proprio con basse velocità medie del vento.



MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

MODELLO GAUSSIANO EFFETTI DELLA SUPERFICIE DEL SUOLO



$$\langle c_i(x, y, z) \rangle = \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot \bar{v} \cdot \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\left(\frac{y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\left(\frac{z-H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] + \alpha_s \cdot \exp\left[-\left(\frac{z+H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

α_s coefficiente di riflessione

EFFETTI DELLO STRATO DI INVERSIONE TERMICA

h_{mix}

$$\begin{aligned} \langle c_i(x, y, z) \rangle = & \frac{Q_p}{2 \cdot \pi \cdot \bar{v} \cdot \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\left(\frac{y}{\sqrt{2}\sigma_y}\right)^2\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\left(\frac{z-H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] + \alpha_s \cdot \exp\left[-\left(\frac{z+H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] + \right. \\ & + \alpha_h \cdot \exp\left[-\left(\frac{2 \cdot h_{mix} - z - H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] + \alpha_s \cdot \alpha_h \cdot \exp\left[-\left(\frac{2 \cdot h_{mix} + z - H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] + \\ & \left. \alpha_s^2 \cdot \alpha_h \cdot \exp\left[-\left(\frac{2 \cdot h_{mix} + z + H}{\sqrt{2}\sigma_z}\right)^2\right] + \dots \right\} \end{aligned}$$

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

MODELLO GAUSSIANO EFFETTI DELLA DEPOSIZIONE E REAZIONE

Moltiplicando l'equazione Gaussiana per un termine esponenziale $\exp\left(-\frac{t_m}{T}\right)$ dove $t_m = \frac{x}{v}$ è il tempo di trasporto, T è rapportata alla scala temporale di riferimento del fenomeno fisico (deposizione o reazione chimica).

Scala temporale della deposizione secca

$$T_{ds} = \frac{\Delta p}{V_{ds}} \quad \text{dove} \quad \Delta p = 4 \cdot \sigma_z \quad V_{ds} = \text{velocità di deposizione secca}$$

Scala temporale della deposizione umida (Draxler e Heffter)

$$T_{du} = \frac{3.6 \cdot 10^6 \cdot P_L}{S_R P_R} \quad (\text{deposizione umida})$$

dove P_L = spessore dello strato di precipitazione, P_R = tasso di precipitazione [mm/h]
 S_R = tasso di rimozione della sostanza inquinante.

Scala temporale delle reazioni chimiche

La scala temporale delle reazioni chimiche che possono avvenire in atmosfera è una funzione della reattività della specie coinvolte, la relazione tra la variazione percentuale oraria di massa Δc della sostanza i e la scala temporale T è data da:

$$\Delta c_i = 100 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3600}{T}\right) \right]$$

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

STIMA DEI PARAMETRI DELLA DISPERSIONE NEI MODELLI GAUSSIANI

VELOCITÀ DEL VENTO

Media dei valori relativi all'intera altezza del pennacchio

$$\bar{v}(z) = \bar{v}(z_1) \left(\frac{z}{z_1} \right)^\pi \quad \pi = \frac{z}{v} \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) \quad (\text{compreso tra } 0.05 \text{ e } 0.6)$$

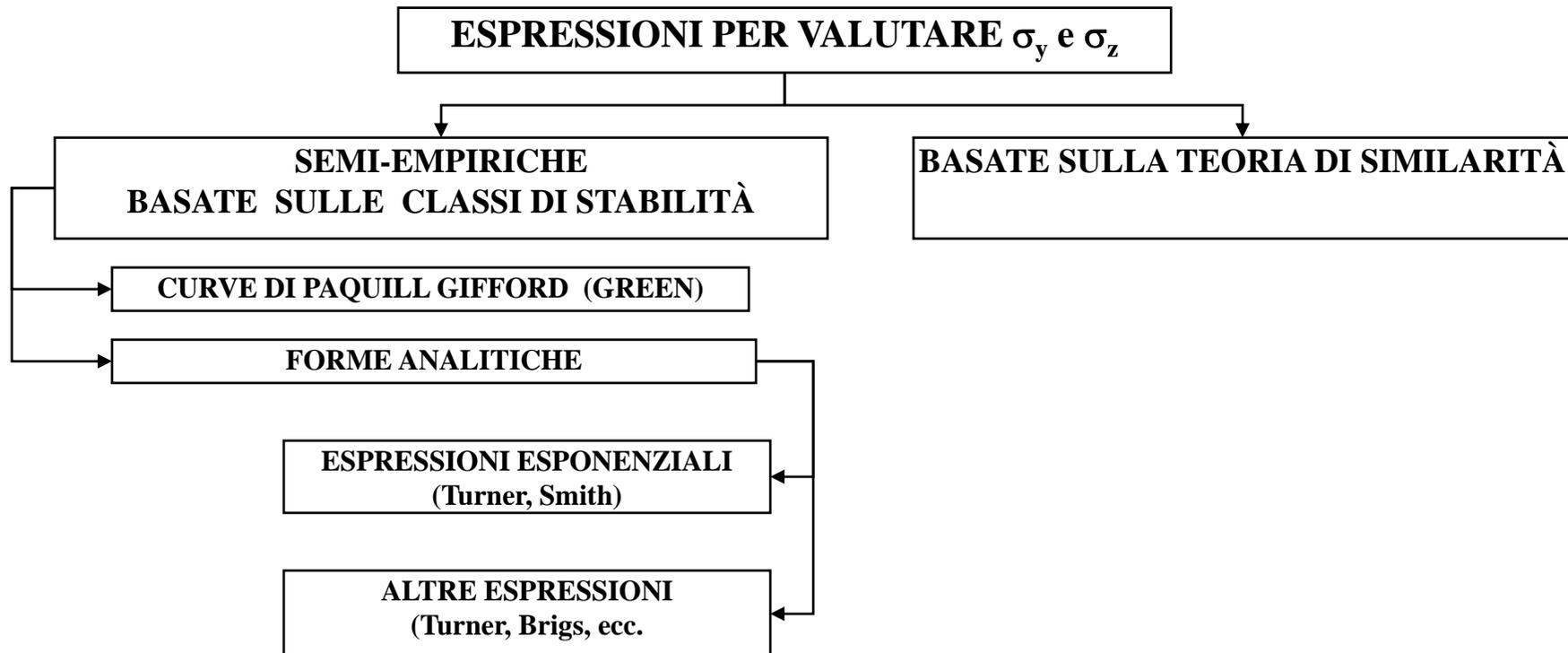
ALTEZZA EFFETTIVA DELLA SORGENTE

$$H = h_s + \Delta h$$

La concentrazione al suolo calcolata con il modello gaussiano dipende significativamente da questo parametro (attraverso l'inverso dell'esponente del suo quadrato)

Criteri di stima sono stati forniti da Seinfeld , Zanetti e Hanna.

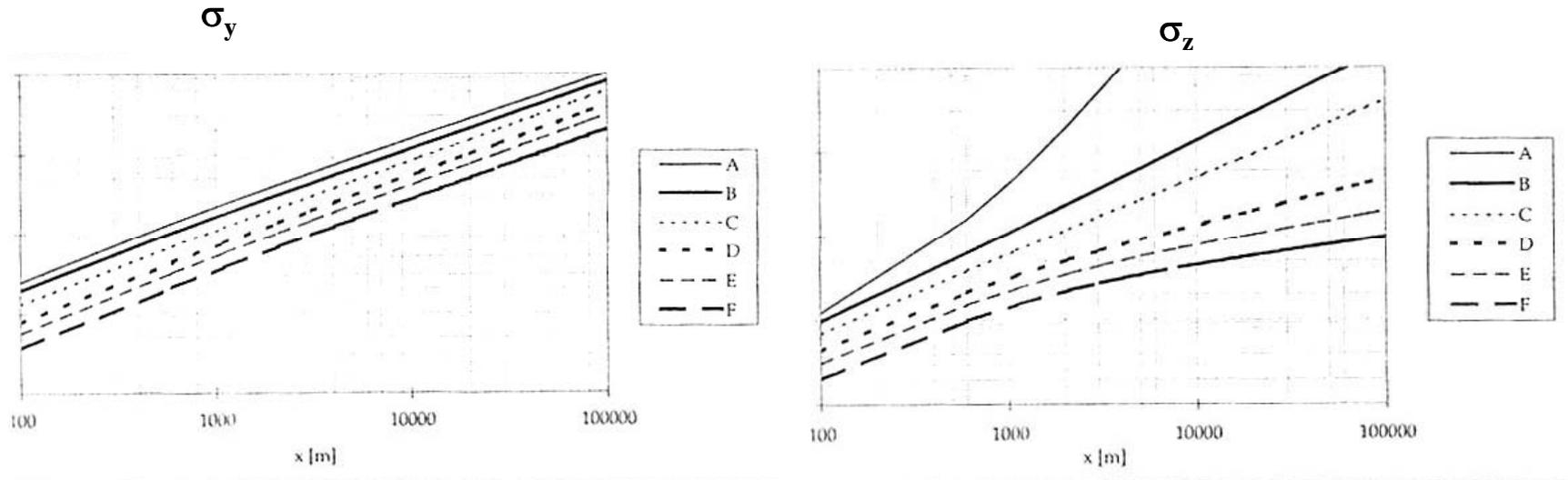
VALUTAZIONE DI σ_y e σ_z



MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

STIMA DEI PARAMETRI DELLA DISPERSIONE NEI MODELLI GAUSSIANI

VALUTAZIONE DI σ_y e σ_z - CURVE DI PAQUILL GIFFORD (GREEN)



GREEN

$$\sigma_y(x) = \frac{k_{y1} \cdot x}{\left(1 + \frac{x}{k_0}\right)^{k_{y2}}}$$

$$\sigma_z(x) = \frac{k_{z1} \cdot x}{\left(1 + \frac{x}{k_0}\right)^{k_{z2}}}$$

	CLASSE DI STABILITA' PASQUILL					
	A	B	C	D	E	F
k_0	927	370	283	707	1070	1170
K_{1x}	0.250	0.202	0.134	0.0787	0.0566	0.0370
K_{2x}	0.189	0.162	0.134	0.135	0.137	0.134
K_{1y}	0.1020	0.0962	0.0722	0.0475	0.0335	0.0220
K_{2y}	-1.918	-0.101	0.102	0.465	0.624	0.700

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

STIMA DEI PARAMETRI DELLA DISPERSIONE NEI MODELLI GAUSSIANI

VALUTAZIONE DI σ_y e σ_z - FORMULAZIONI ANALITICHE

FORMULAZIONI ESPONENZIALE

$$\sigma_z = C_z \cdot x^{C_z} \quad \sigma_y = C_y \cdot x^{C_y}$$

FORMULAZIONI BRIGGS

$$\sigma_z = A_z \cdot x \cdot (B_z + D_z \cdot x)^{E_z}$$

$$\sigma_y = A_y \cdot x \cdot (B_y + D_y \cdot x)^{E_y}$$

CORREZIONI IN PRESENZA DI TRAFFICO VEICOLARE

$$\sigma_{yt} = (\sigma_{yp}^2 + \sigma_{y0}^2)^{1/2} \quad \sigma_{zt} = (\sigma_{zp}^2 + \sigma_{z0}^2)^{1/2}$$

$$\sigma_{z0} = 3.57 - 0.53 \cdot \bar{v}_c$$

$$\sigma_{y0} = 2 * \sigma_{z0}$$

$$\bar{v}_c = 1.85 \cdot \bar{v} \cdot \cos^2 \phi$$

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

STIMA DEI PARAMETRI DELLA DISPERSIONE NEI MODELLI GAUSSIANI

SORGENTI LINEARI

Per il traffico stradale è necessario tenere conto di sorgenti lineari – L'estensione al caso lineare può essere effettuata schematizzando questo tipo di sorgente come un insieme composto da un certo numero di sorgenti puntuali. Poiché la concentrazione dovuta a ciascun punto della sorgente può essere calcolato impiegando l'equazione gaussiana della dispersione:

LA CONCENTRAZIONE DOVUTA ALLA SORGENTE LINEARE RISULTA DALLA SOMMATORIA O DALL'INTEGRAZIONE DEI CONTRIBUTI DOVUTI AI SINGOLI PUNTI EMITTENTI

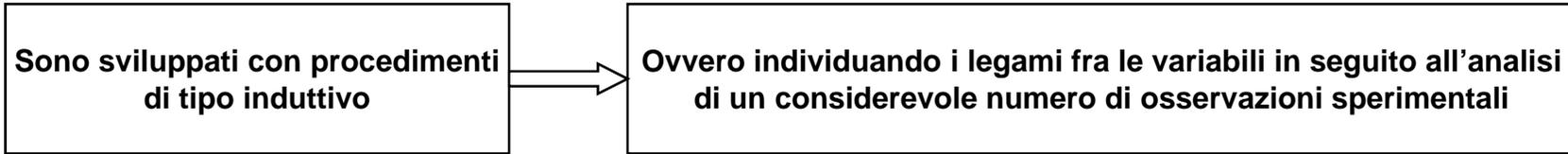
$$\langle c_i(x, y, z) \rangle^h = \sum_{j=1}^m \langle c_i(x, y, z) \rangle_j^h$$
$$\langle c_i(x, y, z | \theta, ST, h_{mix}, N_{rif}) \rangle = \frac{Q}{2\pi v} \cdot I(x, y, z | \theta, ST, h_{mix}, N_{rif})$$

ALCUNI CODICI DI CALCOLO BASATI SU MODELLI GAUSSIANI

HIWAY 2 Strade extraurbane	APRACC-1A Reti Urbane miste Strade di scorrimento+locali	CALINE III e IV Strade extraurbane
--------------------------------------	---	--

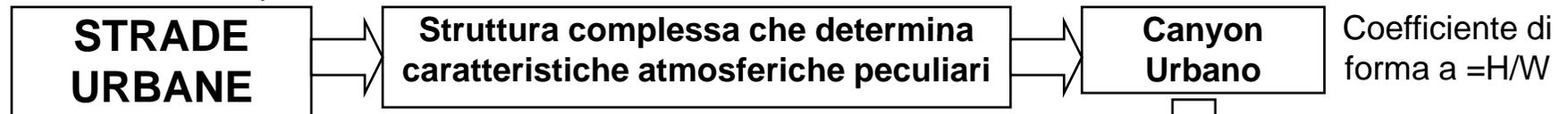
MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

MODELLI EMPIRICI



Modelli empirici per **CO** – sono quelli che forniscono risultati più soddisfacenti a causa delle caratteristiche di non reattività dell'inquinante.

Esistono modelli per: **Ossidi di Azoto, Idrocarburi, Anidride solforosa.**



Modelli Empirici

$$C = C_c + C_a$$

C_c : Contributo locale – dispersione inquinanti emessi dai veicoli che transitano all'interno del Canyon

C_a : Contributo di area - dispersione dell'inquinante emesso da tutte le sorgenti presenti nell'area circostante



Si possono formare **vortici elicoidali** che limitano il trasporto verso l'esterno nelle seguenti condizioni: direzione del vento $90 \div 45^\circ$, velocità vento $\geq 2 \text{ m/sec}$, $c \geq 1 \div 1.5$ ($c \geq 2 \div 3$ 2 vortici sovrapposti).

MODELLI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

MODELLI EMPIRICI

Il contributo alla concentrazione è considerato direttamente proporzionale all'entità delle emissioni locali e inversamente proporzionale sia alla velocità del vento al livello del suolo che alle dimensioni verticali della zona di mescolamento

$$C_c = \frac{Q_L}{v_s \cdot Z} \quad \text{Modello di Hoydish e Dabberdt}$$

$$\overline{v_s} = k_s \cdot (\overline{v} + 0.5) \quad \text{Velocità misurata al livello dei tetti + velocità indotta dal moto dei veicoli}$$

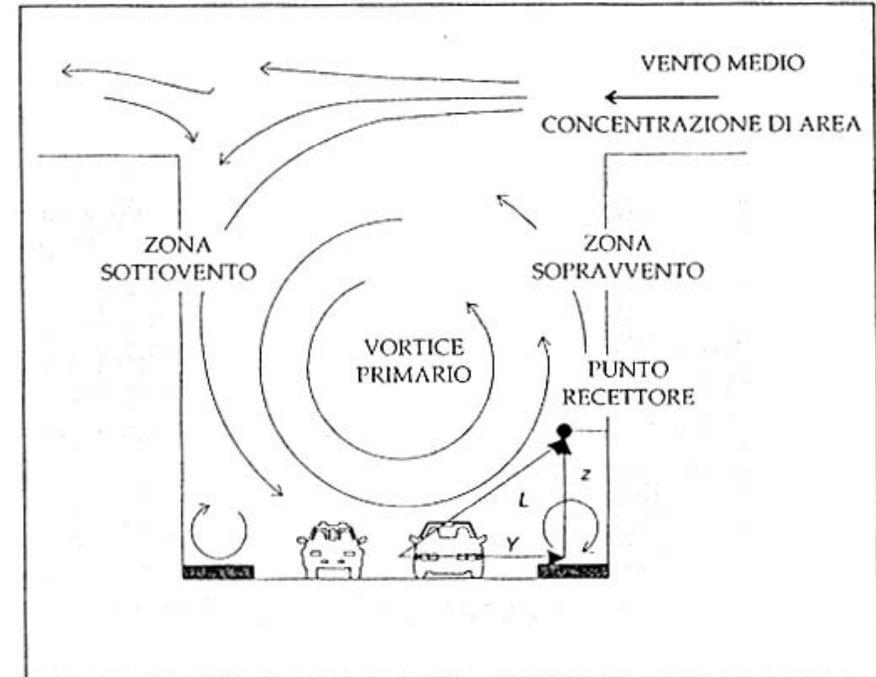
$$Z = k_l \cdot (L_R + L_0)$$

$$L_R = \sqrt{y^2 + z^2} \quad \text{Lo = lunghezza di mescolamento indotta dal moto dei veicoli } \approx 2 \text{ m}$$

SOTTOVENTO

$$C_{c,L} = K_L \cdot \frac{Q_L}{(\overline{v} + 0.5) \cdot (L_R + L_0)}$$

$K_L = 1/(k_v \cdot k_i) \approx 7$ (studi di Johnson, Ludwig e Dabberdt)



SOPRAVENTO

$$C_{c,W} = K_W \cdot \frac{Q_L}{(\overline{v} + 0.5) \cdot W} \cdot \frac{H - z}{H}$$

$$K_W = K_L$$