



# PUMS

Piano Urbano  
della Mobilità  
Sostenibile



## RAPPORTO AMBIENTALE ALLEGATO 6

### Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

“Valutazione Ambientale Strategica”

ai sensi dell'articolo 13 del D. Lgs. 152/06 e ss. mm. ii.

ROMA



RISORSE  
PER ROMA *spas*

Il presente documento è stato redatto da:



**Autorità procedente - Dipartimento Programmazione e Attuazione Urbanistica**

**Direttore - Arch. Cinzia Esposito**

---

**Gruppo di lavoro:**

**Coordinamento generale, Tematiche Territoriali ed economiche**

**RISORSE**  
— PER ROMA —

*Area Pianificazione, Progettazione e Trasformazione del Territorio*

Responsabile dell'area e Professionista incaricato - Arch. Massimo Mengoni

Arch. Michele Valente

Arch. Michela Bianchi

Ing. Giovanni Giampà

Arch. Serafina Trapasso

**Tematiche di mobilità e Tematiche Ambientali**



*Roma Servizi per la Mobilità*

Direttore Ing. Alessandro Fuschiotto

Ing. Andrea Pasotto

Ing. Fabio Nussio

Ing. Marco Cianfano



Arch. Sonia Occhi

Dott.ssa Beatrice Zimei

Dott.ssa Cinzia Giuliani

Dott.ssa Sarah Chiuchiolo

Dott. Nicolò Malfatti

## Sommaro

1.	La metodologia COPERT per il calcolo delle emissioni inquinanti da traffico stradale .....	4
2.	Il software di calcolo per le emissioni in atmosfera .....	6
3.	Valutazioni acustiche da traffico stradale .....	7
3.1.	Algoritmo di calcolo .....	7
3.2.	Ipotesi semplificative .....	15
3.3.	Dati di input per l'algoritmo .....	17
3.4.	Componente emissiva E .....	19
3.5.	Emissione complessiva .....	25
3.6.	Confronto con la normativa .....	25
3.7.	Verifica dei risultati .....	27
3.8.	Implementazione del modello di calcolo .....	29

## 1. La metodologia COPERT per il calcolo delle emissioni inquinanti da traffico stradale

Il traffico veicolare viene ormai individuato da più parti come la principale fonte di inquinamento atmosferico, specie in ambito urbano. Ne consegue l'esigenza di quantificare in modo sempre più accurato il contributo derivante da questa fonte.

Al fine di determinare l'entità delle emissioni inquinanti correlate all'uso della rete stradale è stata utilizzata la metodologia COPERT IV (Computer Programme to Calculate Emissions from road Transport) messa a punto nell'ambito del progetto CORINAIR (COoRdination – Information – AIR) promosso e coordinato dalla DG XI della Comunità Europea nell'ambito del programma sperimentale CORINE (COoRdination of INformation on the Environment).

I dati necessari al calcolo delle emissioni da traffico sono in particolare rappresentati da:

- i flussi veicolari;
- la composizione del parco circolante in classi veicolari;
- le percorrenze medie;
- la distribuzione delle velocità;
- i fattori di emissione (g/Km).

La stima delle emissioni inquinanti è ottenuta per mezzo di fattori di emissione sperimentali attraverso la formula base:

$$\text{Emissione [g]} = \text{Fattore di emissione [g/Km]} \times \text{Veicolo Km}$$

I fattori di emissione sono disaggregati secondo un certo numero di classi di categorie di veicoli e di tipi di strade.

Poiché diverse situazioni di guida comportano differenti condizioni di funzionamento del motore (e quindi differenti tipologie di emissione), COPERT considera, inoltre, tre differenti condizioni di guida che avvengono rispettivamente su percorsi urbani, extraurbani e sulle autostrade.

I fattori di emissione dipendono principalmente dalle seguenti variabili, che vengono individuate come rappresentative:

- classe del veicolo (nella quale rientra anche il tipo di carburante e l'anzianità del mezzo);
- temperatura del motore (a sua volta la temperatura individua se un motore è a pieno regime o in condizioni di avviamento) e degli strumenti adottati per l'abbattimento delle emissioni (catalizzatori);
- tipo di tragitto percorso (a sua volta caratterizzato da una curva di velocità).

Le emissioni sono suddivise in tre diverse tipologie:

- le emissioni a caldo (Ehot = "hot emissions"), ossia le emissioni dei veicoli i cui motori hanno raggiunto la loro temperatura di esercizio;

## Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

- le emissioni a freddo (Ecold = “cold emissions”), ossia le emissioni che si hanno nella fase di riscaldamento del veicolo (convenzionalmente, sono le emissioni che si verificano quando la temperatura dell’acqua di raffreddamento è inferiore a 70°C);
- le emissioni di tipo evaporativo per i soli Composti Organici Volatili, riferibili a tre diverse cause: escursione della temperatura ambiente tra giorno e notte, evaporazione allo spegnimento dovuta alle componenti del motore e perdite evaporative dal serbatoio durante la marcia.

Alla somma delle emissioni a caldo e di quelle a freddo viene abitualmente dato il nome di emissioni allo scarico (“exhaust emissions”) generalmente calcolate e quindi trattate esaustivamente.

Le emissioni a caldo sono stimate a partire da coefficienti di emissione diversi per tipo di inquinante. Per ogni inquinante, le emissioni sono determinabili attraverso formule che sono funzione:

- della composizione del parco veicolare secondo una specifica disaggregazione in differenti categorie;
- del chilometraggio percorso mediamente dai veicoli di ciascuna categoria;
- della velocità media dei veicoli.

La disaggregazione del parco prevede una macro-classificazione in quattro categorie: autovetture, veicoli a due ruote (ciclomotori e motocicli), veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti e autobus.

Ognuno dei quattro gruppi prevede classi differenziate in base al tipo di carburante ed ai limiti sulle emissioni di inquinanti imposte alle autovetture di nuova fabbricazione dalla Comunità Europea (riconducibili all’anno di immatricolazione), nonché per cilindrata o peso del veicolo.

Le correzioni tengono conto degli effetti sugli scarichi dei seguenti parametri:

- età del veicolo: i fattori di emissione sono associati ad un certo fattore di degradazione in funzione della vita media dei veicoli; se l’età del veicolo aumenta, occorre applicare un ulteriore fattore di degrado;
- manutenzioni e ispezioni intensificate: il modello ne tiene conto correggendo il fattore di degradazione;
- migliori combustibili: l’effetto sulle emissioni è simulato per mezzo di un fattore di correzione funzione del tipo di combustibile e del tipo veicolo;
- effetto della pendenza della strada sui veicoli pesanti: le correzioni sono funzione della massa veicolare, del gradiente stradale, del tipo di inquinante e della velocità media;
- carico dei veicoli pesanti: l’influenza del carico sull’emissione viene simulata considerando un carico aggiuntivo del 50%.

## 2. Il software di calcolo per le emissioni in atmosfera

Il codice di calcolo TEE è un software dedicato alla stima delle emissioni inquinanti e dei consumi energetici e di combustibile relativi ai vari modi di trasporto.

Il codice si basa su una rappresentazione disaggregata della flotta veicolare in accordo con la classificazione COPERT: le correlazioni base per il calcolo delle emissioni a caldo sono anch'esse derivate dalla metodologia COPERT e dai risultati dei Progetti Europei MEET ed ARTEMIS oppure da funzioni di emissioni istantanee prodotte dal Progetto MODEM (INRETS ed altri) e dal Progetto DVB (Tecnica Università di Graz)

Il programma consta di moduli indipendenti, ognuno per ogni calcolo dedicato, relativi al flow chart del calcolo:

- modulo di input
- modulo di traffico
- modulo per il calcolo degli incidenti
- modulo per il calcolo del consumo energetico e di combustibile
- modulo per il calcolo delle emissioni inquinanti
- modulo per il calcolo delle emissioni di rumore
- modulo di output

I relativi passi di calcolo del programma sono i seguenti:

- processo di input per i dati di rete stradale e di traffico organizzato arco per arco.
- Calcolo del numero di veicoli appartenenti ad ogni singola categoria veicolare partendo dal flusso totale di traffico in un generico intervallo di tempo (in genere l'unità di tempo è un'ora).
- Calcolo dei consumi 'normali' (cioè in condizioni standard di motore caldo, nessuna pendenza, età e manutenzione medie) di ogni singola categoria veicolare basato sulle formule COPERT o MEET oppure su innovative funzioni di correzione cinematica sulla base della opzione cinematica adottata dall'utente.
- Calcolo delle funzioni di correzione per il consumo di combustibile (per partenze a freddo, pendenza della strada, età del veicolo, livello di manutenzione, carico elettrico, etc.)
- Calcolo delle emissioni inquinanti 'normali' di ogni singola categoria veicolare partendo dalle funzioni di emissione a caldo e dalle opzioni cinematiche adottate.
- calcolo delle emissioni relative alle partenze a freddo (basate su algoritmi COPERT e INRETS e sulle informazioni sulla percentuale di veicoli freddi appartenenti al flusso transitante), delle emissioni evaporative e di tutti i fattori correttivi che influenzano le emissioni (pendenza, età del veicolo, livello di manutenzione, altitudine). Calcolo delle emissioni 'reali' in funzione di quelle 'normali' e dei fattori correttivi.
- Output dei risultati in differenti livelli di aggregazione (arco per arco, intera rete, tipologia di classe veicolare etc..).

### 3. Valutazioni acustiche da traffico stradale

#### 3.1. Algoritmo di calcolo

Per lo sviluppo della formulazione empirico – sperimentale atta ad individuare le emissioni da traffico stradale sono stati studiati gli algoritmi di calcolo per il rumore consigliati a livello europeo dalla **raccomandazione 2003/613/CE** per gli Stati membri che non dispongono di un metodo nazionale di calcolo.

Per il rumore del traffico veicolare il metodo di calcolo ufficiale è quello francese «NMPB-Routes- 96 “Nouvelle Methode de Prevision de Bruit” (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)», citato in «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6» e nella norma francese «XPS 31-133», messo a punto da alcuni noti Istituti francesi costituenti i Servizi Tecnici del Ministère de l'Équipement (CSTB, SETRA, LCPC, LRPC).

Il metodo è rivolto esclusivamente alla modellizzazione del rumore da traffico stradale, ed è nato come evoluzione di un metodo risalente agli anni '80 (esposto nella “*Guide de Bruit*” del 1980) e proposto ufficialmente per essere di ausilio agli Enti pubblici ed agli studi professionali privati nelle attività di previsione riguardanti il rumore.

Le caratteristiche salienti del NMPB sono sicuramente:

- La possibilità di modellizzare il traffico stradale con dettagli relativi al numero di corsie, flussi di traffico, caratteristiche dei veicoli, profilo trasversale delle strade, altezza delle sorgenti, etc.;
- L'attenzione rivolta alla propagazione su lunga distanza;
- La definizione di due diverse condizioni meteorologiche standard, definite come “condizioni favorevoli alla propagazione” e “condizioni acusticamente omogenee”, allo scopo di arrivare ad una definizione di previsione dei livelli sonori sul lungo periodo.

I parametri richiesti dal NMPB per caratterizzare le sorgenti del traffico stradale sono essenzialmente legati al flusso orario Q del traffico veicolare: tale flusso permette di calcolare il valore di emissione sonora a partire dall'abaco della “*Guide du Bruit des Transports terrestres – Partie IV: Methode détaillée route*” del 1980.

Tale abaco, riportato di seguito (Figura 1) , indica per lettura diretta il valore del livello sonoro equivalente su un'ora in dB(A) (chiamato emissione sonora E) generato dalla circolazione di un veicolo leggero o di un veicolo pesante.

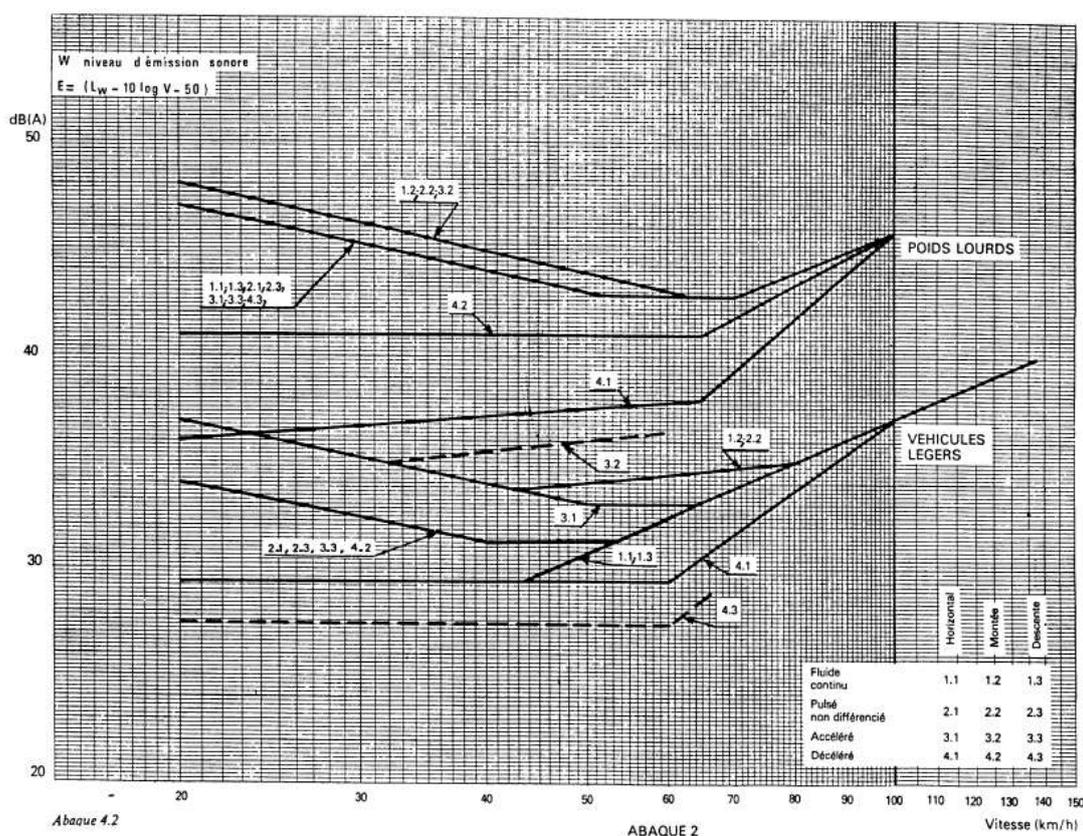


Figura 1 – Valore del livello sonoro equivalente su un'ora in dB(A) generato dalla circolazione di un veicolo leggero o di un veicolo pesante.

Per emissione acustica s'intende:

$$E = L_w - 10 \log V - 50,$$

dove V è la velocità del veicolo

Il livello di potenza sonora  $L_w$  è stato calcolato dal livello di pressione sonora misurata  $L_p$  e dalla velocità del veicolo V mediante:

$$L_w = L_p + 25,5$$

Tali formule sono state utilizzate per calcolare i livelli di potenza a partire dai risultati di misure.

Le modalità di misura sono schematicamente riportate nella seguente figura, da cui si evidenzia che oltre alla posizione standard del microfono (7.5 m di distanza dall'asse di marcia e 1.2 m di altezza da terra), si sia utilizzata anche una postazione integrativa supplementare, secondo quanto definito nel progetto europeo di ricerca Immagine, per ottenere informazioni circa la direttività delle diverse tipologie di veicoli.

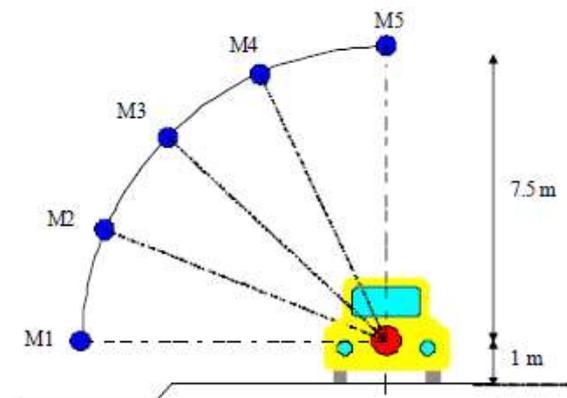


Figura 2 – Metodologia di misure sperimentali

L'emissione **E** è quindi un livello sonoro che può essere descritto in termini di dB(A) come livello sonoro Leq sull'isofona di riferimento corrispondente a un solo veicolo all'ora in condizioni di traffico che sono funzione:

- del tipo di veicolo,
- della velocità (o velocità lineare),
- del flusso di traffico,
- del profilo longitudinale stradale.

Ai fini della previsione del rumore, si usano due categorie di veicoli:

- veicoli leggeri (veicoli con portata netta inferiore a 3,5 tonnellate),
- veicoli pesanti (veicoli con portata netta uguale o superiore a 3,5 tonnellate).

Il tipo di flusso di traffico è un parametro complementare alla velocità, che tiene conto dell'accelerazione, della decelerazione, del carico del motore e del movimento discontinuo o continuo del traffico. Sono definite quattro categorie, in appresso:

- **Flusso fluido continuo:** i veicoli si muovono a velocità pressoché costante sul segmento stradale osservato. Il flusso è «fluido» in quanto stabile in termini spaziali e temporali per periodi di almeno dieci minuti. Durante la giornata si possono osservare variazioni, che però non sono improvvise o ritmiche. Il traffico non è né accelerato né decelerato e mantiene invece una velocità costante. Questo tipo di flusso corrisponde al traffico di un'autostrada o superstrada, di una strada interurbana, di una grande direttrice urbana (fuori orario di punta) e di strade principali in ambiente urbano.
- **Flusso continuo disuniforme:** si tratta di un flusso in cui una quota significativa di veicoli si trova in situazione transitoria (in accelerazione o in decelerazione) instabile nel tempo (si verificano improvvise variazioni di flusso durante brevi periodi di tempo) e nello spazio (ad ogni dato

## Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

momento si riscontrano concentrazioni irregolari di veicoli nel segmento stradale osservato). Tuttavia, è ancora possibile definire una velocità media complessiva per questo tipo di flusso, che risulta stabile e ripetitivo per un periodo di tempo sufficientemente lungo. Questo tipo di flusso si riscontra nelle arterie dei centri cittadini, su strade principali vicine alla saturazione, su bretelle raccordi con molti incroci, nei parcheggi, in corrispondenza di attraversamenti pedonali e di vie di accesso alle abitazioni.

- **Flusso accelerato disuniforme:** si tratta di un flusso disuniforme e turbolento. Tuttavia, una quota significativa di veicoli è in accelerazione, con la conseguenza che la nozione di velocità è significativa solo in punti discreti perché non rimane stabile durante lo spostamento. Questo flusso si verifica sulle grandi direttrici urbane dopo un incrocio, sulle rampe autostradali di accesso, ai caselli autostradali, ecc.
- **Flusso decelerato disuniforme:** è l'opposto del caso precedente, in cui una quota significativa di veicoli è in decelerazione. Tende a verificarsi in avvicinamento ai principali incroci urbani, su rampe autostradali in uscita, in avvicinamento ai caselli autostradali, ecc.

Si definiscono in appresso tre profili longitudinali, per tenere conto della differenza di emissione sonora in funzione dell'inclinazione della carreggiata:

- carreggiata orizzontale o segmento orizzontale di carreggiata con pendenza nel senso del flusso di traffico inferiore al 2 %,
- carreggiata ascendente con pendenza ascendente nel senso del flusso di traffico maggiore del 2 %,
- carreggiata discendente con pendenza discendente nel senso del flusso di traffico maggiore del 2 %.

Il livello di potenza sonora di base funzione della frequenza  $L_{Aw_i}$ , in dB(A), di un punto composto di sorgente  $i$  in una data banda di ottava  $j$ , si calcola a partire dai livelli individuali di emissione sonora dei veicoli leggeri e pesanti ottenuti dal nomogramma della «Guide du Bruit 1980» mediante la seguente equazione:

$$L_{Ai/m} = L_{Aw/m} + 10\log(I_i) + R(j) + \Psi$$

Oltre una certa velocità, il rumore complessivo emesso da un veicolo è dominato dal rumore di contatto del pneumatico sul fondo stradale. Ciò dipende dalla velocità del veicolo, dal tipo di rivestimento stradale (per esempio superfici porose e rivestimenti antirumore) e dal tipo di pneumatico. La «Guide du bruit 1980» fornisce un'emissione acustica standard per una superficie stradale standard. Lo schema descritto in appresso introduce correzioni di superficie stradale ed è compatibile con le disposizioni della norma EN ISO 11819-1.

## Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

Categorie di superficie stradale	Correzione del livello acustico $\Psi$		
	0-60 km/h	61-80 km/h	81-130 km/h
Superficie porosa	- 1 dB	- 2 dB	- 3 dB
Asfalto liscio (calcestruzzo o mastice)	0 dB		
Calcestruzzo di cemento e asfalto grezzo	+ 2 dB		
Tasselli con finitura fine	+ 3 dB		
Tasselli con finitura grezza	+ 6 dB		

Figura 3 – Schema proposto di correzione della superficie stradale

- **Asfalto liscio** (calcestruzzo o mastice): è il rivestimento stradale di riferimento definito dalla norma EN ISO11819-1. Si tratta di una superficie densa, di tessitura fine, rivestita di calcestruzzo bituminoso o di asfalto SMA con pezzatura massima dei granuli compresa fra 11 e 16 mm.
- **Superficie porosa**: si tratta di una superficie con volume vuoto pari almeno al 20 %. Deve avere meno di 5 anni (la limitazione di età dipende dalla tendenza delle superfici porose di perdere capacità di assorbimento man mano che il vuoto si riempie. Se si applica una manutenzione speciale, si può soprassedere alla limitazione di età, ma dopo i primi 5 anni occorre effettuare misurazioni per determinare le proprietà acustiche della superficie. L'effetto di riduzione sonora di questa superficie è funzione della velocità del veicolo).
- **Calcestruzzo di cemento e asfalto grezzo**: comprende il calcestruzzo di cemento e l'asfalto a tessitura grezza.
- **Tasselli con finitura fine**: pavimentazione a tasselli con distanza inferiore a 5 mm fra i tasselli.
- **Tasselli con finitura grezza**: pavimentazione a tasselli con distanza uguale o superiore a 5 mm fra i tasselli.
- **Altri**: categoria aperta in cui ciascuno Stato membro potrà inserire correzioni per altre superfici. Per garantire impieghi e risultati armonizzati, occorre ottenere i dati a norma EN ISO 11819-1. I dati ottenuti vanno inseriti nella tabella 3. Per tutte le misurazioni, le velocità di passaggio devono coincidere con le velocità di riferimento della norma. Si ricorrerà all'equazione dell'Indice statistico di passaggio (Statistical Pass-By Index — SPBI) per valutare l'effetto della proporzione di veicoli pesanti. Si utilizzeranno rispettivamente le percentuali del 10%, 20% e 30% per calcolare l'SPBI per ciascun intervallo percentuale definito nella tabella 3 (0-15 %, 16-25 % e >25 %).

Il livello complessivo  $L_{Aw/m}$  di potenza sonora al metro lineare, in dB(A), lungo la corsia attribuita alla specifica linea sorgente, è dato dalla seguente formula:

$$L_{Aw/m} = 10 \cdot \log \left( 10^{(E_{N_1} + 10 \cdot \log Q_{N_1})/10} + 10^{(E_{N_2} + 10 \cdot \log Q_{N_2})/10} \right) + 20$$

## Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

- $E_{lv}$  è l'emissione sonora per veicoli leggeri definita dal nomogramma in figura 1;
- $E_{hv}$  è l'emissione sonora per veicoli pesanti definita dal nomogramma in figura 1;
- $Q_{lv}$  è il volume del traffico leggero durante l'intervallo di riferimento;
- $Q_{hv}$  è il volume dei veicoli pesanti durante l'intervallo di riferimento.

Per modellizzare completamente il traffico stradale occorre quindi introdurre le seguenti informazioni:

- Flusso orario di veicoli leggeri e veicoli pesanti;
- Velocità dei veicoli leggeri e pesanti;
- Tipo di traffico (continuo, pulsato, accelerato, decelerato);
- Numero di carreggiate;
- Distanza del centro della carreggiata dal centro strada;
- Profilo della sezione stradale.

La *Guide de Bruit* del 1980 definiva il problema della propagazione in termini di livello globale in dBA. Il nuovo modello proposto dalla NMPB tiene invece conto del comportamento della propagazione al variare della frequenza a causa dell'effetto fondamentale che tale parametro assume in relazione alla propagazione a distanza: ciò viene realizzato facendo uso di uno spettro normalizzato del traffico stradale proposto in sede normativa dal CEN attraverso la norma EN 1793-3(1995).

Il criterio di distanza adottato per la suddivisione della sorgente lineare in sorgenti puntiformi è classico:

$$L = 0.5 d$$

dove L è la lunghezza del tratto omogeneo di strada e d la distanza fra sorgente e ricevitore.

Il suolo, da cui si ricava la componente di attenuazione relativa all'assorbimento del terreno, viene modellizzato assumendo che il coefficiente G (adimensionale, definito dalla ISO 9613) possa valere 0 (assorbimento nullo, suoli compatti, asfalto) oppure 1 (assorbimento totale, suoli porosi, erbosi). In realtà, poiché tale coefficiente può variare in modo continuo fra 0 e 1, è possibile assegnare un valore  $G_{tragitto}$  calcolabile secondo un metodo dettagliato che permette di ottenere un valore medio che tiene anche conto delle condizioni di propagazione.

Per quanto riguarda l'aspetto delle condizioni meteorologiche, è giusto riconoscere che già la ISO 9613 permetteva il calcolo in condizioni "favorevoli alla propagazione del rumore", proponendo una correzione forfaitaria per ricondursi ad una situazione di lungo periodo.

Tali condizioni, tuttavia, non rappresentano che una delle condizioni meteo osservabili su un sito, e dunque le nuove linee guida francesi hanno cercato di migliorare il metodo ricercando due condizioni meteo

Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

“tipo”: “condizioni favorevoli alla propagazione” (corrispondenti a quelle della norma ISO) e “condizioni atmosferiche omogenee” (corrispondenti ai metodi di calcolo utilizzati precedentemente in Francia).

Il risultato finale della previsione a lungo termine ( $L_{i,LT}$ ) è ottenuto sommando i contributi derivanti dalle due condizioni “tipo”, ovviamente ponderati secondo le percentuali di effettiva presenza sul sito considerato.

$$L_{i,LT} = 10 \log [ p_i 10 (L_{iF}/10) + (1-p_i) 10 (L_{iH}/10) ]$$

dove  $L_{iF}$  è il livello globale calcolato in presenza di condizioni favorevoli alla propagazione per una percentuale  $p_i$  di presenze annuali, mentre  $L_{iH}$  è l’analogo livello calcolato per condizioni omogenee.

È importante osservare che lo scopo di tale metodo non è, dunque, quello di descrivere tutte le situazioni meteo osservabili in un particolare sito, ma di approssimarle, rappresentandole con due tipi di situazioni atmosferiche convenzionali.

La ISO 9613 suppone che i livelli sonori in condizioni non favorevoli alla propagazione siano trascurabili, laddove la NMPB cerca di individuare una situazione “media”, che tenga effettivamente conto del disturbo verso l’individuo sul lungo periodo.

È importante ricordare che l’attenzione posta alle condizioni meteo è dovuta alla consapevolezza di una influenza assolutamente determinante di tali condizioni nella propagazione a distanza: a titolo di illustrazione di questo fenomeno riportiamo nella Figura 3.4, estratta dalla NMPB, i risultati sperimentali di misure del livello equivalente su 10 minuti ottenuti su un terreno piatto, con una sorgente puntiforme e per una grande varietà di condizioni meteorologiche.

Distanza sorgente- ricevitore [m]	Scarti tra i livelli min e max [dBA]	Deviazione standard [dBA]
160	18.6	4.4
320	26.8	8.4
640	37.8	11.2

Figura 4 – Risultati sperimentali di misure del livello equivalente su 10 minuti ottenuti su un terreno piatto, con una sorgente puntiforme e per una grande varietà di condizioni meteorologiche (Fonte NMPB).

Per quanto riguarda i dati meteo relativi ai singoli siti, la NMPB prevede che siano ottenuti in più modi alternativi:

- se i livelli sonori in condizioni di propagazione favorevole rispettano i limiti di legge, si è certi che tali limiti saranno rispettati anche nel lungo periodo. Dunque non vi è necessità di affinare l’analisi meteorologica del sito in esame;
- se i livelli sonori in condizioni di propagazione favorevole e in condizioni omogenee sono abbastanza simili, le imprecisioni sulla conoscenza delle rispettive presenze meteorologiche

## Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

avranno poca influenza sul livello sonoro di lungo termine. Dunque, anche in questo caso non sarà necessario affinare l'analisi meteo del sito.

Se non si ricade nei due casi precedenti occorrerà verificare le caratteristiche morfologiche del sito.

L'analisi dovrà comprendere le seguenti caratteristiche:

- se il sito è relativamente piatto e orizzontale, con poca vegetazione alta (sono ammessi alberi isolati);
- se vi è assenza di oggetti di dimensioni importanti in rapporto alle dimensioni della zona di propagazione;
- se vi è assenza di grandi masse d'acqua (laghi, fiumi...);
- altitudine del sito inferiore a 500 m s.l.m.

Se l'analisi è positiva si possono desumere i dati di presenza delle condizioni favorevoli ed omogenee da tabelle fornite dal Servizio Meteorologico nazionale, che ha rilevato tali dati in stazioni collocate su tutto il territorio.

Se l'analisi fornisce una non corrispondenza delle caratteristiche, si dovrà necessariamente scegliere una delle seguenti alternative:

- elaborare dati meteo locali esistenti;
- elaborare dati meteo locali raccolti in proprio;
- adottare i valori previsti da un'apposita tabella del NMPB (soluzione che richiede una descrizione precisa del sito, e che comunque risente di un maggior grado di incertezza);
- adottare valori forfaitari "per eccesso".

### 3.2. Ipotesi semplificative

in riferimento ai dati di input disponibili sono state effettuate delle ipotesi semplificative all'algoritmo di calcolo NMPB.

Nella prima ipotesi si considera l'effetto di condizioni meteorologiche medie standard sul lungo periodo attraverso la formulazione descritta nel paragrafo precedente. Tale ipotesi è avvalorata dal fatto che le distanze in gioco sono molto ridotte, in quanto lo scopo è valutare l'emissione della tratta stradale nel suo intorno (circa 30 metri al massimo), per cui l'effetto della variazione delle condizioni meteo è relativamente trascurabile: tale effetto inizia ad essere significativo su distanze notevolmente superiori (dai 100 metri in poi come riscontrato sperimentalmente dalla fig. 3.4).

Altra ipotesi riguarda l'orografia del territorio: la tipologia di terreno, le sue caratteristiche morfologiche, la presenza di eventuali schermi naturali od artificiali lungo la tratta stradale considerata, sono parametri che incidono in modo significativo sul valore del rumore indotto da traffico veicolare, ma sono valutabili solo effettuando studi particolareggiati del territorio.

Lo scopo dello studio è valutare l'emissione della sorgente "tratta stradale" su larga scala: per cui si è effettuata l'ipotesi di considerare il territorio piatto, privo di schermi naturali ed artificiali al rumore indotto.

Altra ipotesi sul flusso stradale si basa sul considerare le tratte stradali prive di impianti semaforici e/o segnalazioni di fermata e/o rallentamento dei veicoli, che comportano interruzioni di flusso veicolare difficilmente identificabili in studi su larga scala.

Tutte queste esemplificazioni comportano, come già affermato, una certa valenza se si considera un vasto territorio di studio (larga scala); perdono di validità, qualora si analizzi in dettaglio una porzione di territorio molto ridotta (piccola scala).

In base alle ipotesi semplificative fatte sui profili longitudinali stradali e sull'assenza di impianti semaforici - segnalazioni di fermata - rallentamento dei veicoli, si considerano solamente le seguenti tipologie di flusso:

- Flusso fluido continuo: i veicoli si muovono a velocità pressoché costante sul segmento stradale osservato. Il flusso è «fluido» in quanto stabile in termini spaziali e temporali per periodi di almeno dieci minuti. Durante la giornata si possono osservare variazioni, che però non sono improvvise o ritmiche.

Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

- Flusso continuo disuniforme: si tratta di un flusso in cui una quota significativa di veicoli si trova in situazione transitoria (in accelerazione o in decelerazione) instabile nel tempo (si verificano improvvise variazioni di flusso durante brevi periodi di tempo) e nello spazio (ad ogni dato momento si riscontrano concentrazioni irregolari di veicoli nel segmento stradale osservato).

### 3.3. Dati di input per l'algoritmo

Il primo dato da considerare è la quantità dei flussi di traffico, espressa come TGM/h-d (traffico giornaliero medio orario del periodo diurno) e TGM/h-n (traffico giornaliero medio orario del periodo notturno): tale dato è direttamente fornito attraverso i risultati delle simulazioni trasportistiche.

Il dato del traffico giornaliero medio va poi ripartito sull'ora per il periodo diurno TGM/h-d (6.00- 22.00) e per il periodo notturno TGM/h-n (22.00-6.00). Per ognuno di questi periodi andrà effettuata una simulazione dei valori di emissione di rumore con l'algoritmo in studio.

La legislazione italiana, pur avendo recepito la normativa europea riguardo i descrittori acustici, che prevede l'esistenza di un periodo serale, non ha ad oggi ancora emanato una legge che modifichi i valori limite suddivisi per periodi giornalieri: per cui al momento i periodi presi in considerazione devono essere quelli descritti in precedenza

Per esigenze di studio, la quantità dei veicoli in transito (TGM) è stata suddivisa nel seguente modo:

- Qmv: quantità oraria di motoveicoli
- Qav: quantità oraria di autoveicoli
- Qhv: quantità oraria di mezzi pubblici
- Qkv: quantità oraria di veicoli pesanti

Per quanto riguarda la velocità effettiva dei veicoli in transito sull'arco relativo all'infrastruttura; nell'algoritmo vengono introdotte due tipologie di velocità:

- la velocità (V) dei veicoli leggeri (moto – auto veicoli) espressa in [km/h];
- la velocità (Vp) dei veicoli pesanti (mezzi pubblici – mezzi pesanti) espressa in [km/h].

È stato stabilito, in base ad osservazioni sperimentali e per semplificazioni d'uso dell'algoritmo, di considerare la velocità (Vp) dei veicoli pesanti, espressa in [km/h], funzione della velocità dei veicoli leggeri. L'esperienza infatti porta ad osservare che l'ingombro del veicolo pesante è superiore rispetto all'ingombro del veicolo leggero, e che superate certe soglie di velocità il veicolo leggero risulta più veloce rispetto al veicolo pesante.

Per la valutazione della velocità dei veicoli pesanti, è stato scelto di legare tale velocità a quella per i veicoli leggeri attraverso una formula empirica ricavata in base a dati sperimentali definiti dall'esperienza; è stata scelta la linea di tendenza mostrata nella figura 5.

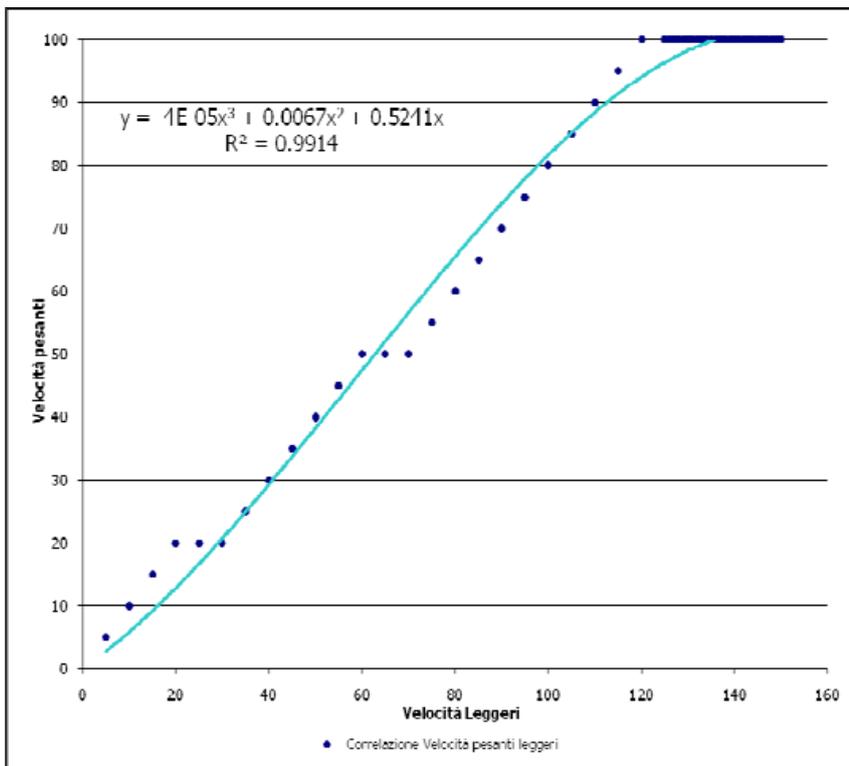


Figura 5 – Velocità veicoli pesanti (y) parametrizzata al variare della Velocità veicoli leggeri (x) in [km/h]

Passiamo ora al parametro relativo all'emissione di riferimento di un veicolo. Per dare un valore a tale parametro ad oggi abbiamo come riferimento base il normogramma della "Guide du Bruit des Transports terrestres – Partie IV: Methode détaillée route" del 1980. Leggendo tale normogramma è stato preso come valore di riferimento dell'emissione quello relativo alla velocità di 100 [km/h].

In realtà nella formula base relativa all'algoritmo è stato inserito il rapporto:  $E_x/E_f$

dove:

$E_x$  rappresenta l'emissione di riferimento di un veicolo misurata nella realtà

$E_f$  rappresenta l'emissione di riferimento di un veicolo presa dal normogramma

Tramite questo rapporto è possibile variare sia il parametro sperimentale  $E_f$  dato dal normogramma, nel caso in cui sarà realizzato un nuovo grafico sperimentale (basato su di un parco veicoli più moderno), sia il parametro reale  $E_x$ , nel caso in cui, per necessità di studio, si deve considerare una traslazione delle curve parametrizzate dalla norma francese.

Al momento attuale questi due parametri sono comunque fissati secondo i valori parametrizzati dal normogramma di figura 3.1:

per veicoli leggeri con V=100 [km/h]	$E_{mx} = E_{mf} = 37.38$	motoveicoli
	$E_{ax} = E_{af} = 37.38$	autoveicoli
per veicoli pesanti con V=100 [km/h]	$E_{hx} = E_{hf} = 45.98$	mezzi pubblici
	$E_{kx} = E_{kf} = 45.98$	mezzi pesanti

Ultimo parametro da definire in input è la classificazione stradale effettuata in base articolo 2 del decreto legislativo n. 285 del 1992, e successive modificazioni:

- A. autostrade;
- B. strade extraurbane principali;
- C. strade extraurbane secondarie;
- D. strade urbane di scorrimento;
- E. strade urbane di quartiere;
- F. strade locali.

La tipologia di infrastruttura serve a definire la fascia di pertinenza acustica ed i valori limite di immissione definiti dal DPR n. 142 del 2004 e dalla Delibera di Consiglio Comunale di Roma n. 93 del 2009.

### 3.4. Componente emissiva E

Sulla base dei dati di input stabiliti nel paragrafo precedente, dobbiamo sviluppare la seguente formulazione

$$L_{Aw/m} = 10 \cdot \log \left( 10^{(E_{mv} + 10 \log Q_{mv})/10} + 10^{(E_{av} + 10 \log Q_{av})/10} + 10^{(E_{hv} + 10 \log Q_{hv})/10} + 10^{(E_{kv} + 10 \log Q_{kv})/10} \right) + 20$$

in cui sono presenti tutte i parametri di nostro interesse

$E_{mv} \approx 10 \log Q_{mv}$  parametro motoveicoli

$E_{av} \approx 10 \log Q_{av}$  parametro autoveicoli

$E_{hv} \approx 10 \log Q_{hv}$  parametro mezzi pubblici

$E_{kv} \approx 10 \log Q_{kv}$  parametro mezzi pesanti

Lo sviluppo della formula riguarda la componente emissiva E al variare della velocità: per tale parametro ci troviamo a muoverci lungo le curve sperimentali indicate dal normogramma per i veicoli leggeri e per i veicoli pesanti.

## Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

Si tratta di variazioni di emissione al variare della velocità in base alla tipologia di flusso (continuo, discontinuo, accelerato, decelerato) ed al profilo longitudinale dell'infrastruttura stradale (strada piatta, salita, discesa). In base alle nostre ipotesi semplificative consideriamo solo le curve relative alla tipologia di flusso continuo o discontinuo ed al profilo longitudinale di infrastruttura piatta.

In base al metodo di valutazione basata su misure sperimentali l'equazione base per l'emissione veicolare sviluppata per i nostri scopi è la seguente:

$$E = Leq,7.5m + 10 \log(2\pi \cdot 7.5) - 10 \log(100 - (1 - V/100))$$

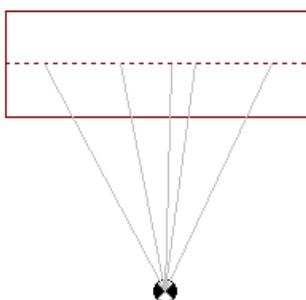
in cui,

$Leq,7.5m$  è il livello sonoro valutato ad una distanza dall'asse stradale di 7.5 metri e ad un'altezza dal suolo di 1.2 metri (figura 6);

$V$  è la velocità del veicolo in studio

Per la valutazione del parametro  $Leq,7.5m$  è stato preparato uno schema di calcolo che riproduce fedelmente la metodologia di misura sperimentale da cui sono state dedotte le curve del normogramma.

Per lo schema di calcolo è stato utilizzato il software CADNA, versione 3.6, della O1dB che per il rumore stradale utilizza l'algoritmo in studio NMPB-Routes-96.



**Figura 6 - Schema di calcolo**

Nello schema di calcolo è stato inserito un tratto stradale di lunghezza base (10 metri) ed è stato ubicato un recettore in campo libero ad una distanza dall'asse stradale di 7.5 metri e ad un'altezza dal suolo di 1.2 metri, così come descritto nella figura 6.

Fissate le ipotesi di flusso continuo e profilo longitudinale piatto è stata variata la velocità di un veicolo leggero (e/o pesante) ed è stato valutato il valore calcolato sul recettore. È stata poi valutata l'emissione in funzione del valore calcolato sul recettore,  $E(Leq,7.5m)$ ; il risultato dei valori di emissione al variare della

velocità è stato utilizzato per calcolare la linea di tendenza e valutare l'equazione parametrica più adatta a descrivere tale andamento.

Tale equazione è poi stata inserita nell'equazione base dell'algoritmo che stiamo valutando

$$L_{Aw/m} = 10 \cdot \log\left(10^{(E(V)+10 \cdot \log Q)/10}\right) + 20$$

in modo da ricavarci il valore emissivo di nostro interesse. Tale valore è stato confrontato con il valore riscontrato con il software CADNA, in modo da valutare l'esattezza delle nostre analisi.

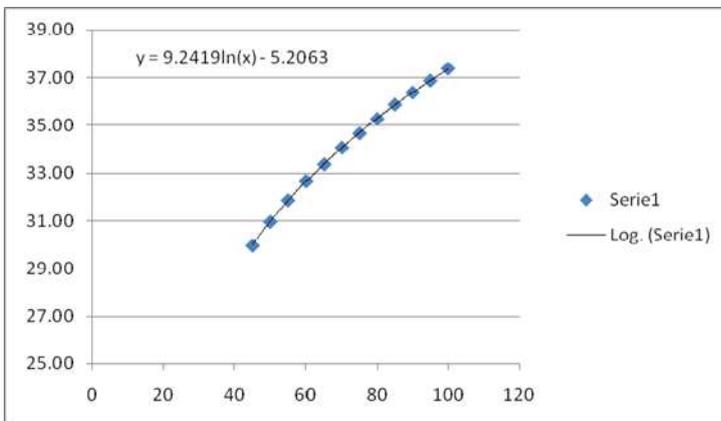
Si parte individuando il valore di riferimento a 100 [km/h]: sotto tale velocità procediamo lungo la nostra curva ed identifichiamo gli intervalli di velocità per cui gli andamenti emissivi risultano differenti.

Per ogni intervallo sviluppiamo la linea di tendenza del valore emissivo al variare della velocità, ed attraverso la parametrizzazione di questa curva, identifichiamo la corrispondente equazione.

Sviluppiamo le componenti emissive dei veicoli leggeri. Ci muoviamo lungo la curva relativa ad un flusso continuo e ad un profilo longitudinale piatto (parametro 1.1 – normogramma fig. 1).

Il primo intervallo di velocità individuato è:  $53 \leq V \leq 137$  [km/h]

La linea di tendenza individuata e la relazione parametrica corrispondente sono rappresentate nel seguente grafico:



**Figura 7 – Emissione (y) parametrizzata al variare della Velocità (x) in [km/h] – veicoli leggeri per intervallo  $53 \leq V \leq 137$  [km/h]**

I risultati ottenuti tramite tale equazione parametrica sono stati confrontati con i valori riscontrati sul software di simulazione CADNA per valutarne l'esattezza. L'errore medio commesso utilizzando il metodo empirico rispetto alla modellizzazione attraverso software CADNA si attesta attorno a 0.20 dB(A): tale valore risulta essere accettabile per l'attendibilità del dato.

Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

Per velocità superiori a  $V > 137$  [km/h] l'andamento emissivo al variare della velocità risulta essere costante.

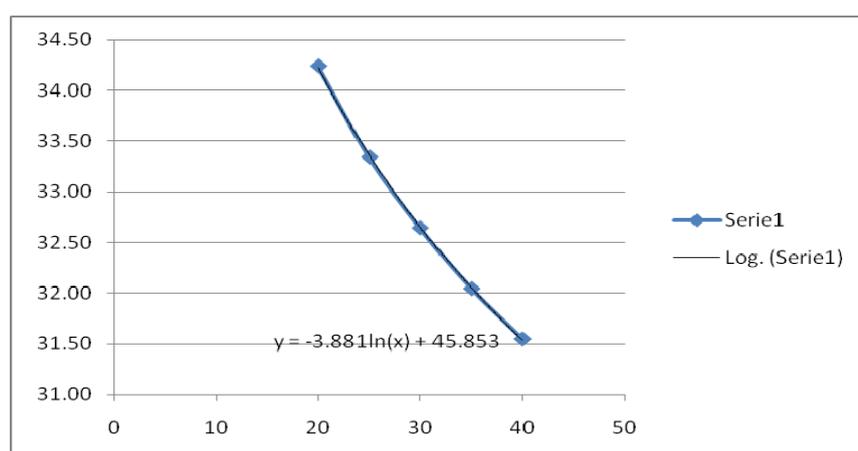
Per velocità inferiori a 53 [km/h] ci troviamo in ambito urbano, in cui risponde in modo adeguato la curva relativa al flusso discontinuo e ad un profilo longitudinale piatto (parametro 2.1 – normogramma fig. 3.1).

Il secondo intervallo di velocità individuato è:  $40 < V < 53$  [km/h]

L'andamento emissivo al variare della velocità risulta essere costante.

Il terzo intervallo di velocità individuato è:  $20 \leq V \leq 40$  [km/h]

La linea di tendenza individuata e la relazione parametrica corrispondente sono rappresentate nel seguente grafico:



**Figura 8 – Emissione (y) parametrizzata al variare della Velocità (x) in [km/h] – veicoli leggeri per intervallo  $20 \leq V \leq 40$  [km/h]**

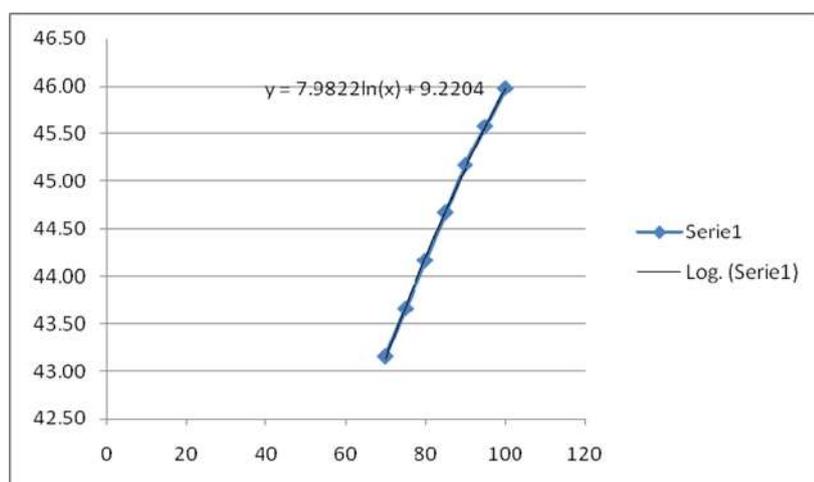
I risultati ottenuti tramite tale equazione parametrica sono stati confrontati con i valori riscontrati sul software di simulazione CADNA per valutarne l'esattezza. L'errore medio commesso utilizzando il metodo empirico rispetto alla modellizzazione attraverso software CADNA si attesta attorno a 0.16 dB(A): tale valore risulta essere accettabile per l'attendibilità del dato.

Per velocità inferiori a  $0 < V < 20$  [km/h] l'andamento emissivo al variare della velocità risulta essere costante.

Sviluppiamo ora le componenti emissive dei veicoli pesanti. Ci muoviamo lungo la curva comune relativa ad un flusso continuo / discontinuo e ad un profilo longitudinale piatto (parametri 1.1 / 2.1 – normogramma fig. 3.1).

Il primo intervallo di velocità individuato è:  $70 \leq V_p \leq 100$  [km/h]

La linea di tendenza individuata e la relazione parametrica corrispondente sono rappresentate nel seguente grafico



**Figura 9 – Emissione (y) parametrizzata al variare della Velocità (x) in [km/h] - veicoli pesanti per intervallo  $70 \leq V_p \leq 100$  [km/h]**

I risultati ottenuti tramite tale equazione parametrica sono stati confrontati con i valori riscontrati sul software di simulazione CADNA per valutarne l'esattezza. L'errore medio commesso utilizzando il metodo empirico rispetto alla modellizzazione attraverso software CADNA si attesta attorno a 0.20 dB(A): tale valore risulta essere accettabile per l'attendibilità del dato.

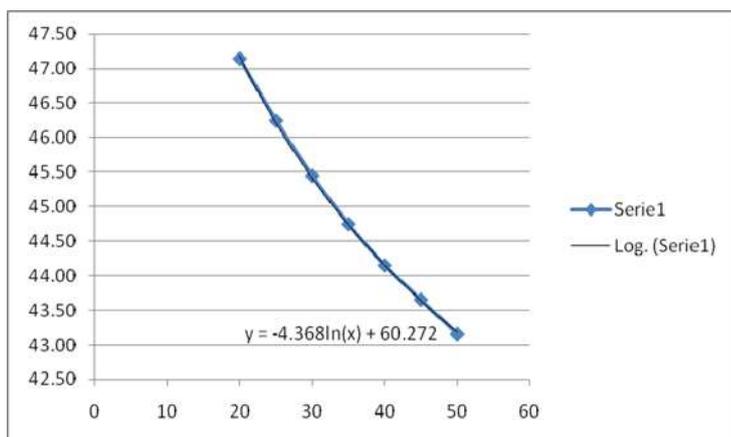
Per velocità superiori a  $V_p > 100$  [km/h] l'andamento emissivo al variare della velocità risulta essere costante.

Il secondo intervallo di velocità individuato è:  $50 < V_p < 70$  [km/h]

L'andamento emissivo al variare della velocità risulta essere costante.

Il terzo intervallo di velocità individuato è:  $20 \leq V_p \leq 50$  [km/h]

La linea di tendenza individuata e la relazione parametrica corrispondente sono rappresentate nel seguente grafico:



**Figura 10 – Emissione (y) parametrizzata al variare della Velocità (x) in [km/h] - veicoli pesanti per intervallo  $20 \leq V_p \leq 50$  [km/h]**

I risultati ottenuti tramite tale equazione parametrica sono stati confrontati con i valori riscontrati sul software di simulazione CADNA per valutarne l'esattezza: L'errore medio commesso utilizzando il metodo empirico rispetto alla modellizzazione attraverso software CADNA si attesta attorno a 0.20 dB(A): tale valore risulta essere accettabile per l'attendibilità del dato.

Per velocità superiori a  $0 < V_p < 20$ [km/h] l'andamento emissivo al variare della velocità risulta essere costante.

### 3.5. Emissione complessiva

Dopo aver parametrizzato la componente emissiva di un veicolo in funzione della velocità, abbiamo tutti i dati per ricavarci l'emissione  $L_{aw/m}$  prodotta sul suo asse da una quantità di traffico veicolare lungo un arco stradale standard.

Per valutare lo spettro in banda d'ottava del valore di emissione occorre aggiungere il parametro  $R(j)$ , definito dalla figura 3 mentre per tener conto della tipologia di fondo stradale occorre aggiungere il parametro  $\Psi$ , definito dalla figura 4.

Per cui si ottiene:

$$L_{ai/m} = L_{aw/m} + R(j) + \Psi$$

L'emissione complessiva secondo quanto stabilito dalla normativa va valutato in una posizione significativa, in assenza di distorsioni di rumore, e non sull'asse stradale. Tale posizione dipende dalle caratteristiche geometriche dell'infrastruttura stradale, ed in particolare dalla larghezza della carreggiata, e può essere valutata attraverso la seguente formulazione empirica:

$$d = 5 + \Delta / 2$$

dove:  $d$  è la distanza in metri dall'asse stradale del nostro punto di valutazione

$\Delta$  è la larghezza in metri della carreggiata stradale

Stabilita la posizione del punto di valutazione del valore di emissione, valutiamo tale valore attraverso la formula di propagazione emisferica del rumore:

$$L_{Aeq} = L_{Aw/m} - 10 \cdot \log\left(\frac{d}{0.1}\right)$$

I valori trovati attraverso questa formulazione empirica vanno valutati per il periodo diurno (6.00- 22.00) e per il periodo notturno (22.00-6.00).

### 3.6. Confronto con la normativa

I risultati ottenuti con l'algoritmo vanno poi confrontati con i valori limite indicati dalla normativa.

In base alla L. 447/95, al DPR 142/2004 ed alla Del CC Roma 93/2009 si definisce la tipologia di infrastruttura stradale come dato di input, ed in base a tale dato si ricava il valore limite sul nostro

Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

recettore in cui valutiamo l'emissione dell'arco stradale corrispondente. I valori limite di normativa sono definiti sia per il periodo diurno (6.00-22.00) che per il periodo notturno (22.00-6.00).

Dal confronto tra il valore emissivo ed il valore limite di normativa, abbiamo una corrispondenza immediata di quanto il traffico veicolare indotto sull'arco stradale in esame incide: laddove si riscontrano dei superamenti del valore limite di normativa si possono intraprendere dei provvedimenti al fine di ridurre il fattore emissivo dell'infrastruttura.

### 3.7. Verifica dei risultati

I risultati ottenuti attraverso le formulazioni empiriche ricavate dall'algoritmo di calcolo NMPB- Route'96 sono stati verificati con due metodologie differenti:

- attraverso la modellizzazione numerica con il software CADNA versione 3.6 della 01dB;
- attraverso indagini fonometriche sperimentali commissionate da ATAC SpA, nello studio realizzato nel dicembre 2006.

Come già visto in precedenza, l'errore medio commesso utilizzando il metodo empirico rispetto alla modellizzazione attraverso software CADNA si attesta attorno a 0.20 dB(A): tale valore risulta essere accettabile per l'attendibilità del dato.

L'algoritmo di calcolo oggetto di studio è stato in seguito verificato, confrontando i risultati, a parità di condizioni in input, con quelli ricavati attraverso una campagna di misure realizzata su n. 24 punti all'interno del territorio comunale di Roma.

I risultati del confronto tra i valori calcolati con l'algoritmo ed i valori sperimentali consentono di affermare che tra la soluzione numerica e la soluzione reale c'è una discreta corrispondenza: le differenze più marcate si aggirano attorno a 0.30 dB(A) e risultano dovute principalmente ad esemplificazioni del modello numerico rispetto al modello reale: infatti il modello numerico non tiene conto dell'orografia del territorio e dell'interferenza di altre sorgenti di rumore.

Comunque il risultato ottenuto da tale confronto mette in luce che, nonostante le esemplificazioni fatte nel modello numerico, i dati riscontrati risultano essere attendibili con la situazione reale. L'attendibilità dei dati è sottolineata dal seguente grafico che evidenzia la curva di approssimazione dei dati ed il suo grado di esattezza (R<sup>2</sup>).

Rapporto Ambientale – Allegato 6 - Appendice metodologica sulle valutazioni ambientali

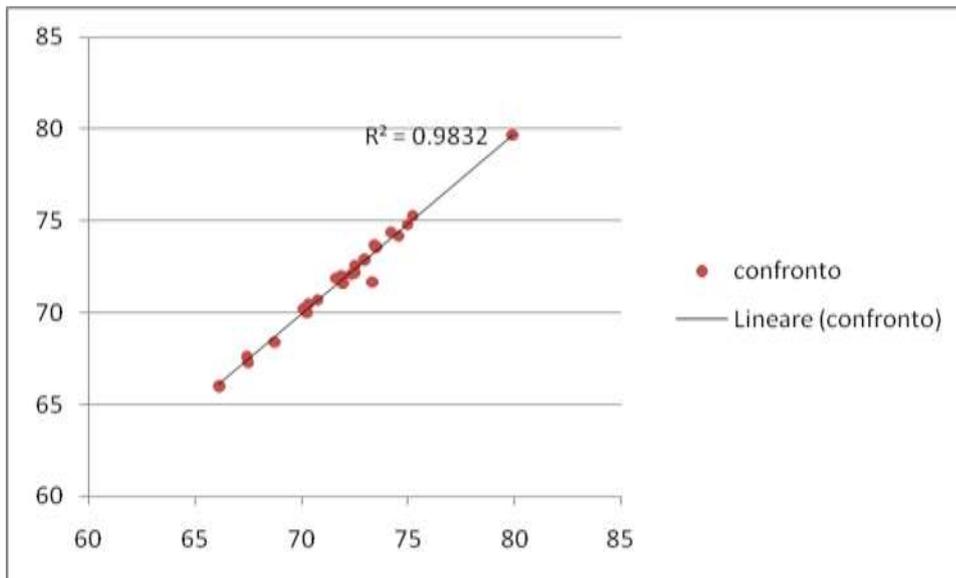


Figura 11 - Confronto tra dati ottenuti attraverso l’algoritmo e dati sperimentali Linea di tendenza e grado di esattezza (R2)

### 3.8. Implementazione del modello di calcolo

#### DATI DI INPUT

- **ID** Numero identificativo univoco dell'arco.
- **Lenght** Lunghezza dell'arco espressa in km (che per il nostro studio trasformiamo in metri attraverso una semplice formula di conversione).
- **Larghezza** Questo campo indica il metodo con cui è stata rilevata la larghezza della sede stradale dell'infrastruttura rappresentata dall'arco. La larghezza, espressa in metri, può derivare da misure effettive o da valori parametrici ricavati da una larghezza estrapolata attraverso la valutazione del numero di corsie per ogni senso di marcia.
- **VO** I due campi contengono, per le rispettive direzioni topologiche dell'arco, le velocità di percorrenza a flusso nullo in km/h calcolate con la seguente formulazione sperimentale:

$$V_i = 41,1 + 2,8L_i - 10,4D_i$$

Dove:

$V_i$  - è la velocità a flusso nullo dell'arco  $i$  in esame (km/h)

$L_i$  - è la larghezza dell'arco  $i$  in esame in metri

$D_i$  - è il grado di disturbo delle attività produttive alla circolazione;

- **Quantità veicoli** sono n. 4 campi suddivisi per tipologie di veicoli:
  - ❖ Autoveicoli (quantità auto)
  - ❖ Motoveicoli (quantità moto)
  - ❖ Mezzi Trasporto Pubblico (quantità bus)
  - ❖ Mezzi Pesanti (quantità pesanti)
- **Totali leggeri/pesanti:** sono due campi che riassumono il totale dei
  - ❖ Veicoli leggeri (<3,5 t) Autoveicoli + Motoveicoli
  - ❖ Veicoli pesanti (>3,5 t) Trasporto Pubblico + Mezzi Pesanti
- **CAPSAT** Rappresenta la portata di saturazione di base dell'arco calcolata con il "metodo inglese" secondo la seguente formulazione:

$$S_i = S_{b,i} * K_i$$

$S_i$  è la portata di saturazione dell'arco  $i$  in esame in veich/h

$S_{b,i}$  è la portata di saturazione di base dell'arco  $i$  in esame in veic/h calcolata come:

$$S_{b,i} = 525 * L_i \quad \text{se } 5.5\text{m} < L_i < 18.5\text{m}$$

$$S_{b,i} = 53,5L_i^3 - 438,1L_i^2 + 1240,6L_i + 610,3 \quad \text{se } L_i < 5.5\text{m}$$

$K_i$  è il fattore correttivo della portata di saturazione dipendente dalla localizzazione dell'arco  $i$

$L_i$  è la larghezza dell'arco  $i$  in esame in metri

- **CAPEFF** La capacità effettiva del generico arco  $i$  si può calcolare moltiplicando la capacità di saturazione per il rapporto tra tempo di verde e tempo di ciclo dell'arco:

$$Cap_{effj} = S \cdot \frac{T_{VERDEj}}{T_{CICLO}}$$

- **Classificazione strade:** tipologia di infrastruttura stradale secondo quanto riportato nelle norme DPR n. 142 del 30/03/2004 e Del.C.C.Rm n. 93 del 15/10/2009

#### PARAMETRI EMISSIVI

$E_x/E_f$

Dove:

$E_x$  rappresenta l'emissione di riferimento di un veicolo misurata nella realtà

$E_f$  rappresenta l'emissione di riferimento di un veicolo presa dal normogramma

Al momento attuale questi due parametri sono comunque fissati secondo i valori parametrizzati dal normogramma di figura 1

per veicoli leggeri con $V=100$ [km/h]	$E_{mx} = E_{mf} = 37.38$	motoveicoli
	$E_{ax} = E_{af} = 37.38$	autoveicoli
per veicoli pesanti con $V=100$ [km/h]	$E_{hx} = E_{hf} = 45.98$	mezzi pubblici
	$E_{kx} = E_{kf} = 45.98$	mezzi pesanti

#### VELOCITA' VEICOLI

- **velocità dei veicoli leggeri**

$$V = \frac{V_0}{\left[ 1 + \alpha \cdot \left( \frac{Q}{C} \right)^\beta \right]}$$

$V_0$  è la velocità media di percorrenza a flusso nullo dell'arco, espressa in [km/h], ricavata secondo quanto riportato in precedenza;

$Q$  è il flusso veicolare totale sull'arco, dato fornito in input all'algoritmo di calcolo;

$C$  è la capacità effettiva dell'arco, ricavata secondo quanto riportato in precedenza; tale dato dipende dalle caratteristiche geometriche dell'arco di strada in esame e da eventuali ostruzioni sulla carreggiata;

$\alpha, \beta$  parametri di calibrazione della funzione:  $\alpha = 1$   
 $\beta = 4$

- **velocità dei veicoli pesanti**

È stato stabilito, in base ad osservazioni sperimentali e per semplificazioni d'uso dell'algoritmo, di considerare la velocità ( $V_p$ ) dei veicoli pesanti, espressa in [km/h], funzione della velocità dei veicoli leggeri.

#### COEFFICIENTI

- **coefficienti relativi ai flussi veicolari:** a, b, c, d
- **coefficienti relativi alla velocità per i veicoli leggeri:** a, b,  $\gamma$ , d, e
- **coefficienti relativi alla velocità per i veicoli pesanti:**  $\zeta, \eta, \theta, \lambda, \mu$

Tali coefficienti sono legati ai rispettivi termini “componenti di emissione” attraverso una relazione empirica: essi hanno lo scopo di annullare i termini “vuoti”, cioè quei termini che non intervengono nell'analisi dell'infrastruttura stradale.

#### COMPONENTI DI EMISSIONE (X, Y)

Sono quelle componenti specifiche per le varie situazioni che si vengono a creare nell'analisi dell'infrastruttura stradale: tali componenti si annullano qualora non intervengono.

- $L_{aw/m}$ : emissione di rumore parziale
- $R(j)$ : fattore relativo allo spettro di emissione (dato di input)
- $\Psi$ : coefficiente relativo alla tipologia di fondo stradale (dato di input)
- $L_{ai/m}$  emissione di rumore totale
- $d$  distanza del recettore dall'asse stradale
- $L_{aeq}$  emissione di rumore sul recettore
- $L_N$  valore limite di normativa
- **delta** differenza tra il valore stimato e la normativa;
- **superamenti se** ci sono superamenti del valore di normativa il dato è 1 altrimenti è 0.