

# COME VARIA IL RUMORE IN FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL TRAFFICO DELLA STRADA

FRANCESCO VENTURA

L'inquinamento da rumore dovuto al traffico stradale ha raggiunto livelli tali da potersi considerare come una reale fonte di rischi per la qualità della vita nella città.

Emerge ora la necessità di approfondire il rapporto tra i parametri che descrivono il fenomeno acustico in termini fisici e quelli che caratterizzano la circolazione.

Questo problema nasce perché, quando la strada è in progetto, si deve poterne conoscere a priori le conseguenze sonore sull'ambiente. Per fare ciò, bisogna determinare un metodo di previsione dei livelli di rumore che tenga conto del traffico, della natura della strada e della posizione dell'osservatore.

I fattori determinanti il livello globale del rumore dovuto al traffico e che quindi intervengono nella costruzione del *metodo di previsione*, possono essere così schematizzati:

### Flusso

Secondo Lamure e Auzou (indagine effettuata su autostrada a sud di Parigi) un aumento del flusso di traffico determina un aumento del livello medio  $L_{50}$  e soprattutto del  $L_{90}$ , mentre i livelli più elevati  $L_{10}$  non variano sensibilmente (oltre un certo valore di flusso), essendo generati da sporadici passaggi dei veicoli più rumorosi.

Secondo uno studio di Pickering effettuato in Inghilterra  $L_{10}$  raggiunge valori più bassi per i valori deboli di flusso ed è leggermente meno costante per altri valori di flusso (figura 1). In Unione Sovietica il livello equiva-

1.  $L_{10}$  in funzione del flusso di traffico (20% veicoli pesanti e velocità di 80 km/h).

lente si calcola in base al flusso secondo la tabella seguente dovuta a Pospelor che è anche di calcolo di progetto:

Volume nei due sensi in veicoli/ora	500	700	1000	1500	2500	4000	5000
$L_{eq}$ dBA	74	75	76	77	78	79	80

Il National Swedish Institute of Building Research ha studiato la linearità fra livello sonoro e il logaritmo della densità di traffico.

A 100 metri dalla sorgente sonora e a 70 km/h si ottiene:

Flusso	Livello sonoro
500 veic./h	65 dBA
1000 veic./h	57 dBA
4000 veic./h	62 dBA
8000 veic./h	65 dBA

A 7 metri dalla sorgente di rumore e a

70 km/h si ha:

Flusso	Livello sonoro
500 veic./h	73 dBA
1000 veic./h	75 dBA
2000 veic./h	78 dBA

Per vedere l'effetto della diminuzione di rumore con la distanza dalla direttrice di traffico per 2000 veic./h si ha:

Distanza flusso	Livello sonoro
20 metri	76 dBA
50 metri	68 dBA
100 metri	63 dBA

### Velocità media

La relazione fra il rumore da traffico e la velocità dipende in gran parte dalla percentuale di veicoli pesanti.

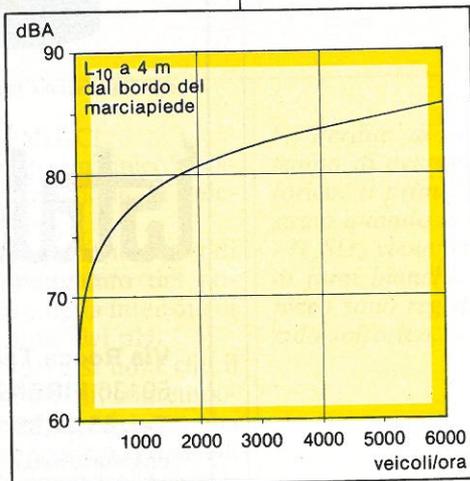
Per velocità maggiori di 50 km/h la corrente di traffico si ritiene libera e in queste condizioni  $L_{10}$  cresce con l'aumento di velocità. Per un raddoppio di velocità  $L_{10}$  aumenta da 3 a 4,5 dBA. In figura illustra la relazione fra rumore e velocità per diversa composizione del traffico.

$L_{10}$  secondo Pickering aumenta di 5-6 dB per raddoppio della velocità in condizioni di flusso libero.

### Distanza

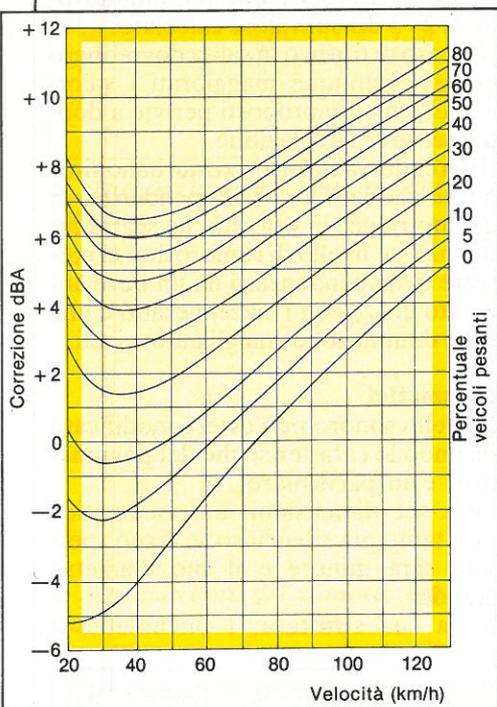
$L_{eq}$  continuo in Germania Federale dipende dalla distanza tramite coefficiente di correzione del  $L_{eq}$  calcolato a 40 metri dal centro della strada.

$L_{eq}$  cade di 3 dB per ogni raddoppio di distanza e  $L_{10}$  cade di 6 dB per ogni raddoppio di distanza.



F. Ventura, Membro della Sottocommissione «Acustica» della U.N.I. per il Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade della Facoltà di Ingegneria, Roma.

2. Correzione al livello di rumore con la velocità e la % di veicoli pesanti.



Da uno studio compiuto dal Department of the Environment nel 1976 si può vedere l'attenuazione del rumore con la distanza in una strada a senso unico o a doppio senso di marcia. In ascisse c'è la distanza dal bordo della strada e in ordinata l'altezza sopra il terreno.

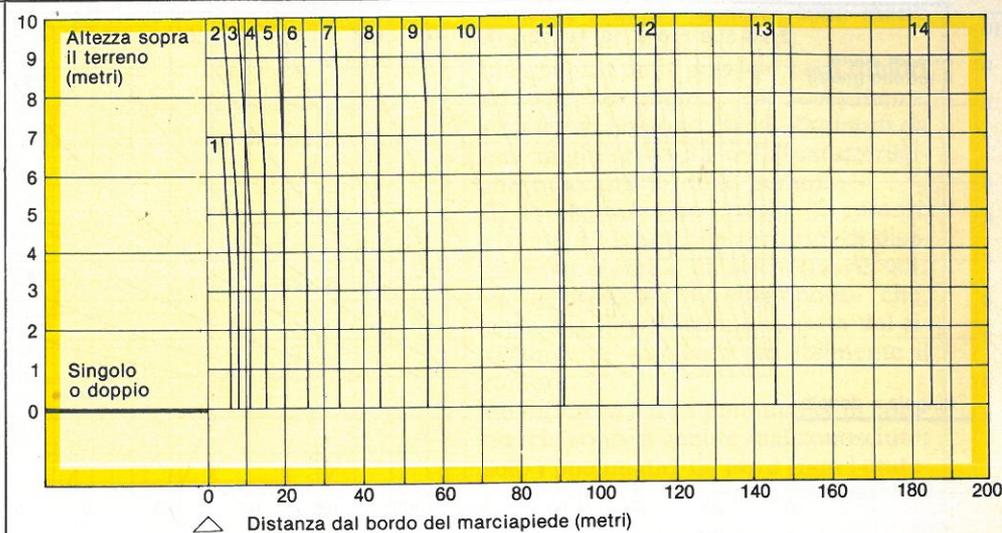
Ci sono vari esempi di strade: con o senza barriere, al livello del terreno o sopraelevate.

Si nota che per tutti i tipi di strade l'attenuazione è notevole fino a 30 metri.

La diminuzione del rumore con la distanza e con l'adozione di barriere artificiali o naturali sarà oggetto dei prossimi articoli, dove si prenderà in considerazione soprattutto la verifica sperimentale delle fasce di pertinenza delle Norme C.N.R. delle strade urbane.

**Flusso interrotto**

L'U.S. Department of Housing and



3. Attenuazione del rumore; terreno duro, senza barriere.

Urban Development dice che se c'è uno stop o un segnale di traffico entro 244 m (800 feet) da un luogo bisogna aggiungere da 3 a 5 dBA nei livelli di rumore calcolati in condizione di flusso libero.

Misure fatte a New York indicano che non si può fare alcun regolamento per predire il rumore nella condizione di flusso interrotto (stop and go). La ragione fu che, sebbene i veicoli che accelerano producono più rumore dei veicoli che viaggiano a velocità unifor-

me, solo una frazione di essi accelera in un dato momento.

In uno studio canadese si è studiato l'effetto provocato dall'inserimento di un semaforo sui livelli di rumore. Si è trovato un piccolo incremento di rumore in prossimità del semaforo.

Si riporta uno studio condotto da Zegeer e Agent che consiste in una serie di registrazioni simultanee a varie distanze dall'intersezione. Normalmente furono fatte tre registrazioni, ognuna della durata di 10 minuti. Furono contati i veicoli passanti nella strada

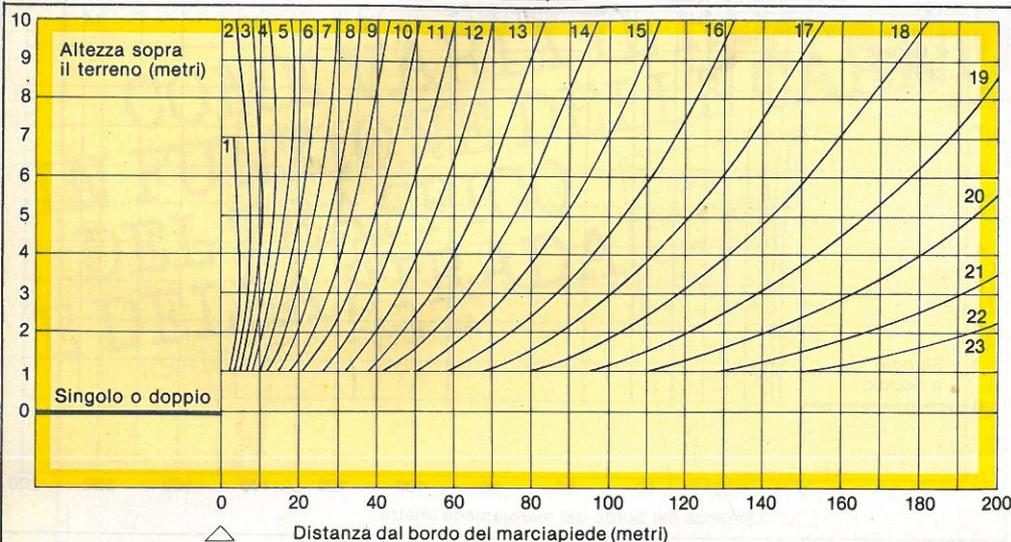
**INDICI DI VALUTAZIONE DEL RUMORE**

Il rumore dovuto al traffico veicolare determina nella maggior parte dei casi una serie di reazioni da parte della comunità che possono essere ascritte agli effetti di sensazione generica di fastidio o «annoyance».

È estremamente difficile determinare direttamente il grado di annoyance, mentre riesce più agevole valutare in modo indiretto la entità del «fastidio» ricorrendo a indagini statistiche che correlino le situazioni specifiche di esposizione al rumore con il grado di reazione che esse provocano. Saranno presi in considerazione determinati indici di valutazione del rumore che soddisfano le enunciate esigenze di correlazione con il grado di annoyance e con le caratteristiche locali del traffico.

In una sintetica esposizione essi sono rappresentati da:

- $L_1, L_{10}, L_{50}, L_{90}, L_{eq}, L_{np}, T_{ni}, L_{dn}$ .
- I significati dei suddetti indici sono:
- $L_1, L_{10}, L_{50}, L_{90}$  rappresentano il livello di pressione acustica in dBA superato rispettivamente per l'1, il 10, il 50 ed il 90% del tempo di rilevamento.
- $L_{eq}$ , «livello equivalente», costituisce un indice dell'effetto globale di disturbo dovuto ad una sequenza di rumori entro un dato tempo; esso cioè corrisponde al livello di rumore continuo che nell'intervallo di tempo predetto possiede lo stesso «livello energetico medio» del rumore originario.
- $L_{np}$ , «livello di inquinamento da rumore», tiene conto, oltre che del contenuto energetico del rumore, anche della forma casuale dell'evento e della relativa diversificazione delle risposte soggettive.
- $T_{ni}$ , «indice del rumore da traffico», è una combinazione del concetto di «clima di rumore» del traffico ( $L_{10} - L_{90}$ ) e del livello statistico  $L_{90}$ .
- $L_{dn}$ , «livello equivalente di rumore giorno/notte», rappresenta l'effetto globale di disturbo nelle 24 ore, introducendo un fattore di penalizzazione per i rumori che si verificano durante le ore della notte (22 - 7).



principale. Lo strumento fu posto a 1,50 metri da terra. I luoghi furono scelti in modo da avere una vasta gamma di valori di volumi, di traffico, di % di veicoli pesanti e di velocità. L'intersezione doveva essere a una sufficiente distanza da un'altra condizione di flusso interrotto, cosicché i veicoli, quando si approssimavano all'incrocio, erano in condizione di flusso libero. Le intersezioni furono scelte non in zone affette da riflessioni di abitazioni vicine.

In dodici intersezioni c'era un segnale di traffico, e, nelle rimanenti c'era uno stop.

Un esempio di incrocio è riportato nella figura 8.

La distanza dall'intersezione fu misurata dalla linea centrale della strada laterale (cross street).

A dieci di queste intersezioni i dati furono presi a distanza progressivamente crescente (50, 100, 200 fino a 1000 feet) dalle intersezioni stesse. Per due intersezioni si misurò il livello di rumore prima e dopo l'installazione di un segnale di traffico. I volumi rimasero abbastanza costanti per ogni singola intersezione.

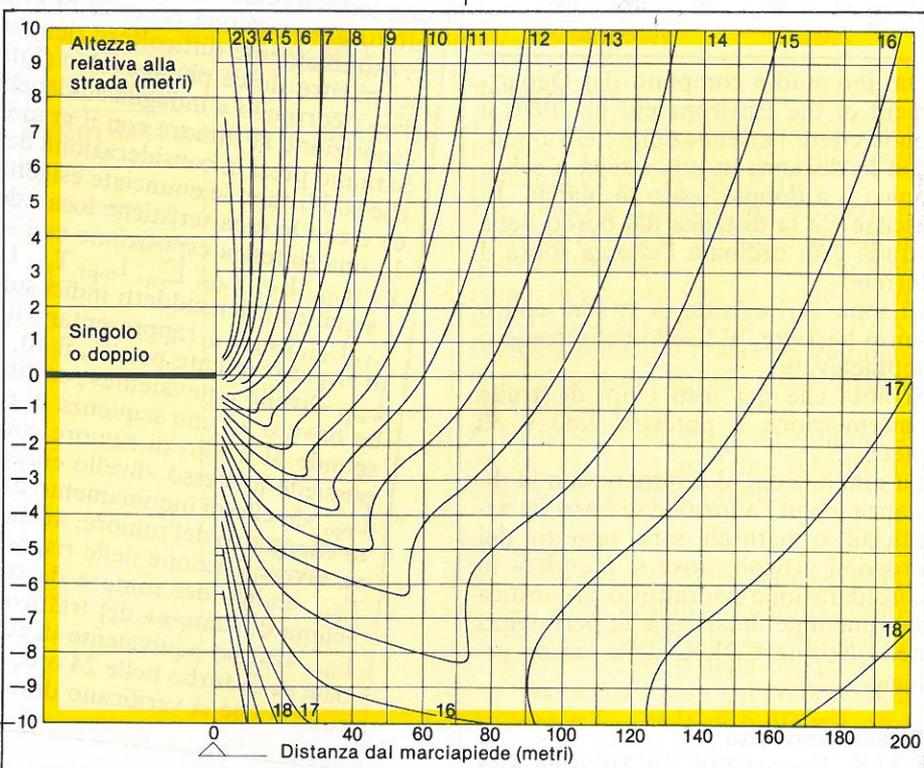
Analizzando i dati non emerse alcuna tendenza che potesse indicare che c'era una qualche influenza del flusso interrotto sui livelli di rumore. Questo era vero sia per  $L_{10}$  che per il  $L_{eq}$ . I livelli  $L_{10}$  e  $L_{eq}$  furono misurati alle varie distanze e diagrammati.

Le variazioni che si possono riscontrare sono dovute a varie cause come per esempio l'influenza del traffico della strada laterale. Si possono trovare delle discordanze dei valori di due intersezioni simili; comunque, mediando tutti i dati alla stessa distanza dall'intersezione per parecchie intersezioni si notò che l'effetto di questi contrasti si minimizza notevolmente.

Il «range» dei livelli di rumore per le misure a distanze diverse fu solo di 1,4 dBA per l' $L_{10}$  e di 1,2 dBA per il  $L_{eq}$ .

4. Attenuazione del rumore; terreno erboso, senza barriere.

5. Attenuazione del rumore; in elevazione, senza barriere.



Questo ci può far vedere che l'effetto del flusso interrotto sui livelli di rumore è minimo.

Interessante è vedere come variano i livelli di rumore prima e dopo l'installazione di un segnale di traffico: per le due intersezioni l'aumento è di solo 1,3 e 0,3 dBA rispettivamente.

**Pendenze longitudinali**

L'esame dei risultati ottenuti da Bartolini e Bisio per vie con notevole pendenza, che fortemente caratterizzano il tracciato viario della città di Genova, mette in evidenza l'opportunità di attribuire un buon peso a questa caratteristica.

In particolare per le vie a senso unico di circolazione nel caso di traffico in discesa ci sembra proponibile una diminuzione di 2 - 3 dB sul valore calcolato.

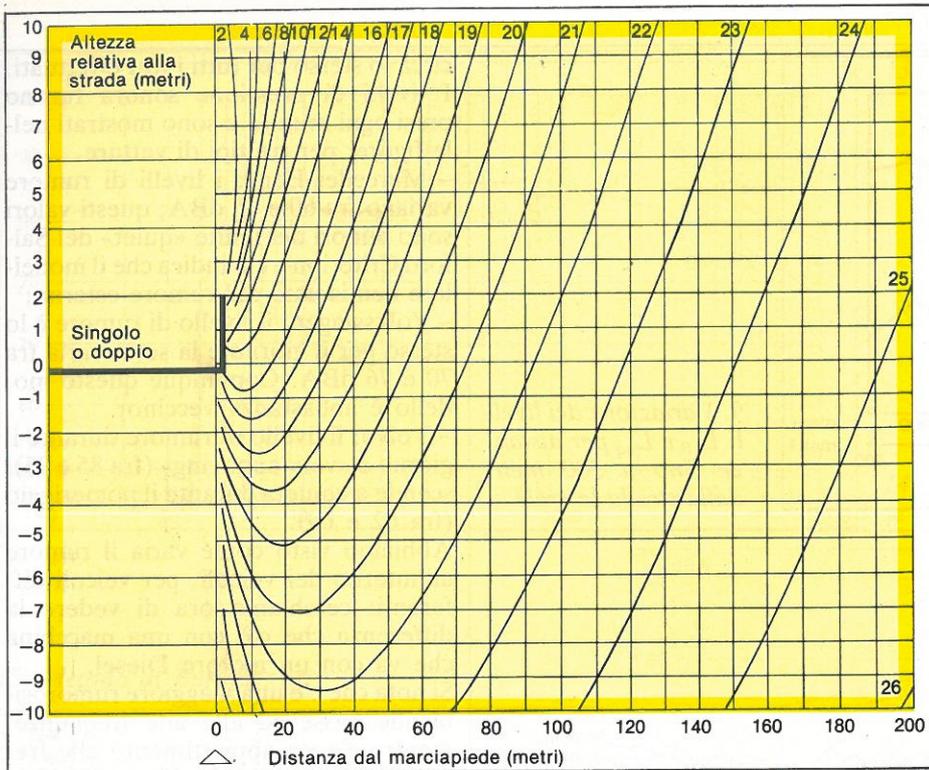
Nel caso di traffico in salita dovrebbero essere comunque maggiorati i valori evidentemente proposti per vie a doppio senso di circolazione.

Riferendosi a traffico extraurbano si afferma che l'effetto della pendenza, in quanto riduce la velocità, ha scarsa influenza sul livello di rumorosità: al crescere della pendenza si ha un lieve aumento di  $L_{eq}$  con i mezzi pesanti e una lieve diminuzione con gli autoveicoli.

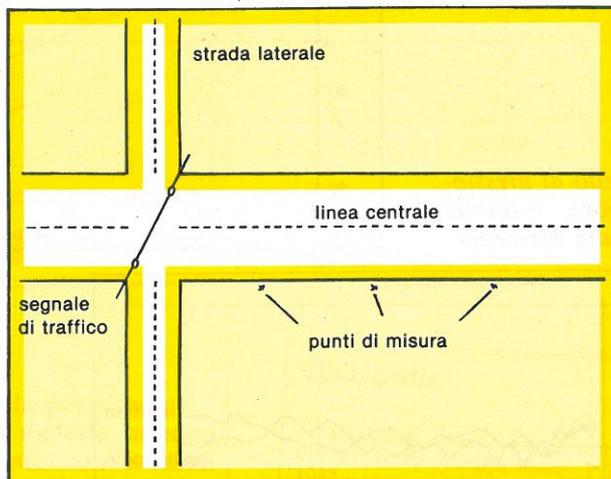
**Pneumatici**

Il livello sonoro può essere modificato secondo le caratteristiche del pneumatico, e in particolare:

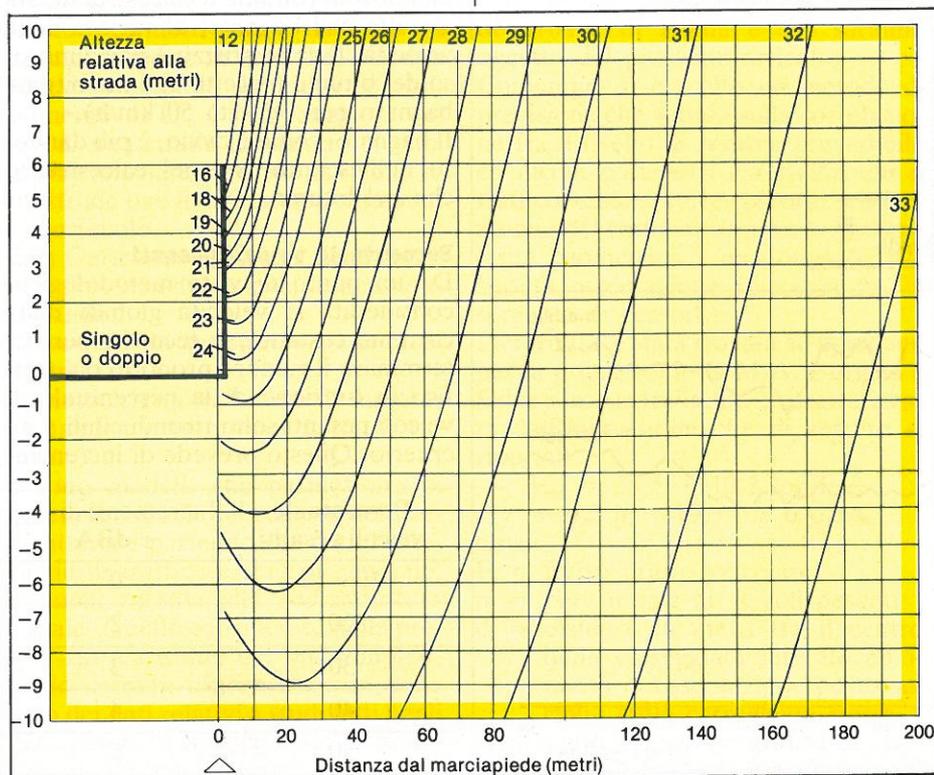
- a) le sue dimensioni: un pneumatico sarà tanto più silenzioso se il suo spessore sarà minore e il suo diametro grande;
- b) la sua struttura: i pneumatici a



6. Attenuazione del rumore; barriera alta 2 m.



7. Attenuazione del rumore; barriera alta 6 m.

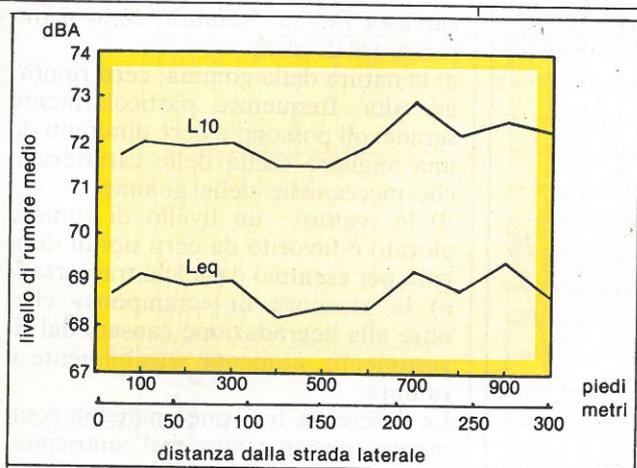


8. Esempio di incrocio.

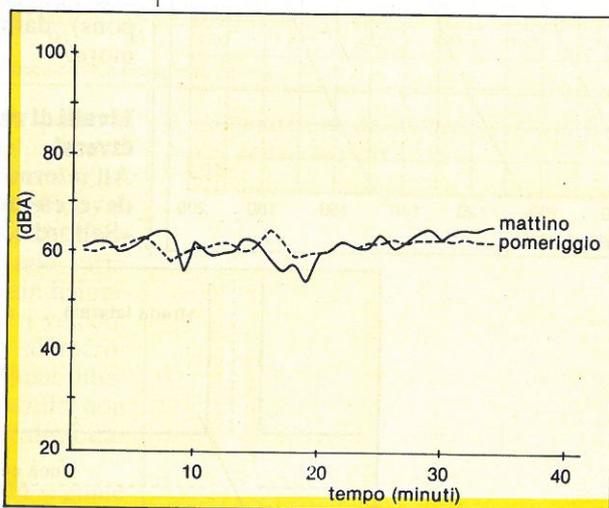
che non devono essere superati per non arrecare disturbo ai passeggeri. Questo criterio dà un limite per ogni aggettivo che caratterizza il rumore sentito dentro l'autoveicolo:

Valutazione del rumore dentro il veicolo	Limite del rumore che non deve essere superato
Quiet	67 dBA
Noticeable	73 dBA
Intrusive	79 dBA
Annoying	85 dBA
Very annoying	91 dBA

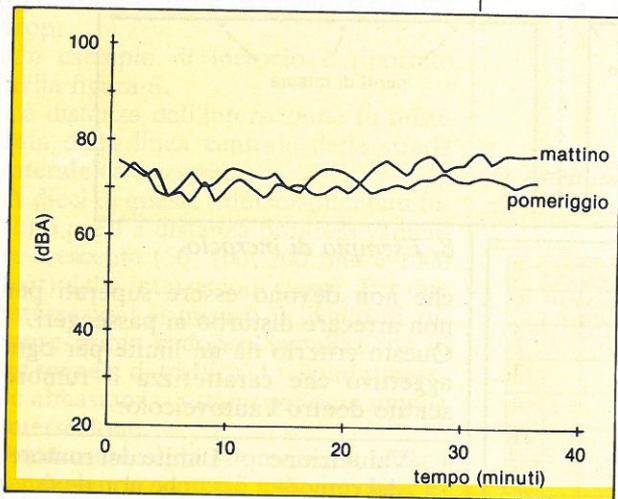
Si riportano i risultati di uno studio condotto dal Mechanical Engineering Department dell'Università di Mosul in Iraq che ha esaminato vari tipi di macchine e ha controllato i limiti di rumore all'interno di esse. Le letture furono fatte a diverse ore (mattino e pomeriggio). Il tempo era



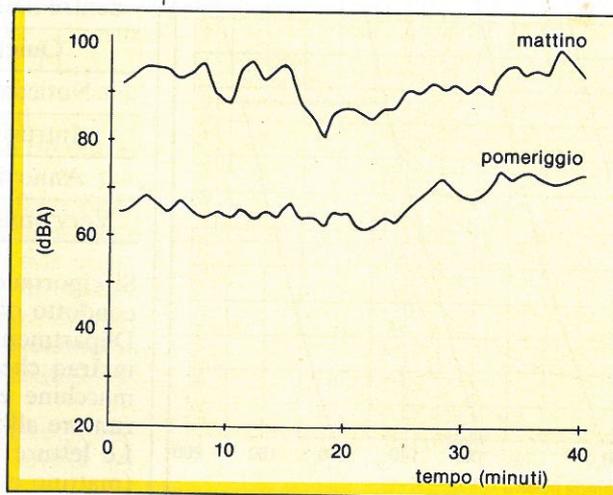
9. Variazione dei livelli  $L_{10}$  e  $L_{eq}$  per distanze fino a 300 metri dalla strada laterale.



10. Livello di pressione sonora misurata dentro una Mercedes.



11. 12. Livello di pressione sonora misurata dentro una Volkswagen e dentro una Volvo.



circa lo stesso per tutti i test effettuati. I livelli di pressione sonora furono presi ogni minuto e sono mostrati nelle figure, per tre tipi di vetture.

- Mercedes-Benz: i livelli di rumore variano fra 60 e 65 dBA; questi valori sono minori del limite «quiet» del Salford Criterion e ciò indica che il modello è ben isolato dal rumore esterno;
- Volkswagen: il livello di rumore è lo stesso per il giorno e la sera; varia fra 70 e 76 dBA. Comunque questo modello è abbastanza vecchio;
- Volvo: il livello di rumore durante il giorno è «very annoying» (fra 85 e 95); scende a «quiet» durante il pomeriggio (fra 62 e 69).

Abbiamo visto come varia il rumore all'interno dei veicoli, per veicoli differenti: cerchiamo ora di vedere la differenza che c'è con una macchina che va con un motore Diesel.

Si nota che c'è una maggiore rumorosità alle basse ed alle alte frequenze, mentre c'è un appiattimento alle frequenze intermedie (fra 100 e 1000 Hz).

**Pavimentazione**

Per la Germania dell'Est il coefficiente correttivo per vari tipi di rivestimento è per  $L_{eq}$

- Beton + 3
- Pavé en pierre + 6
- Risalti di rotaia + 6
- Pietre e pavé + 9

Sostengono inoltre che le scanalature trasversali accrescono di 3 dBA il livello di rumore e, se sono spaziate regolarmente, l'effetto è ancora più dannoso.

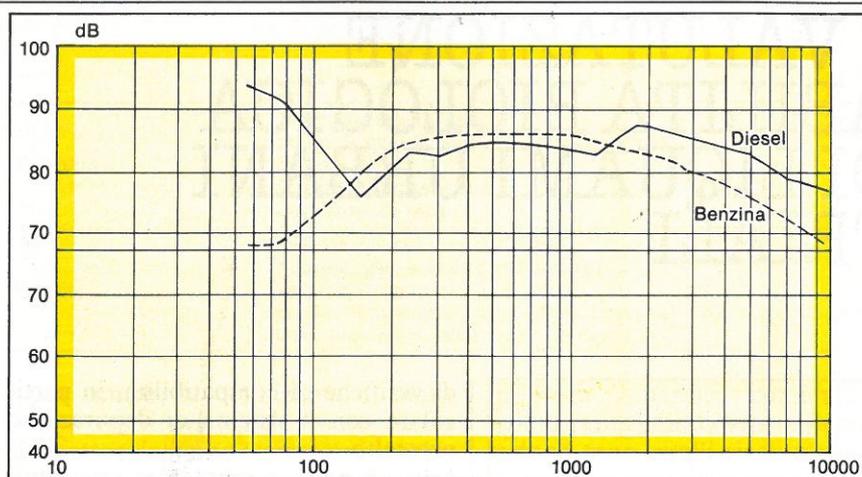
Si mostrano nella figura 14 i risultati di una sperimentazione su diverse pavimentazioni (bitume e calcestruzzo) sia asciutte che bagnate, al variare della velocità. Il calcestruzzo è più rumoroso del bitume (eccetto che nel bitume bagnato per velocità 50 km/h).

Il bagnato, come è ovvio, è più dannoso dell'asciutto, sia nel calcestruzzo che nel bitume.

**Percentuale veicoli pesanti**

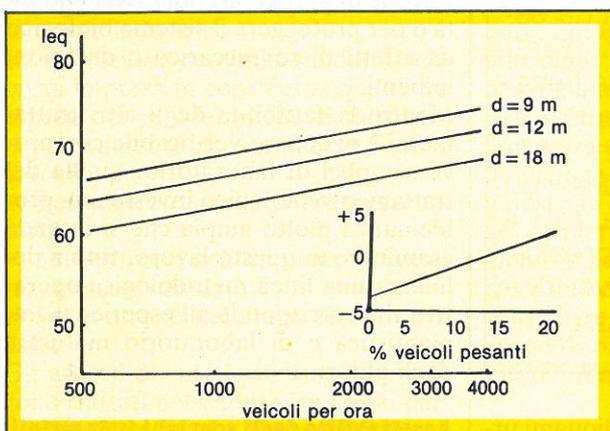
Da un punto di vista metodologico, considerata la velocità globale della corrente costante, le tecniche per determinare il rumore prodotto dal traffico in funzione della percentuale di veicoli pesanti sono riconducibili a un criterio. Questo prevede di incremen-

Percentuale veicoli pesanti	Incrementi di $L_{eq}$ + dBA
10 ÷ 15	0
20	2
30	3
40	4
50	5

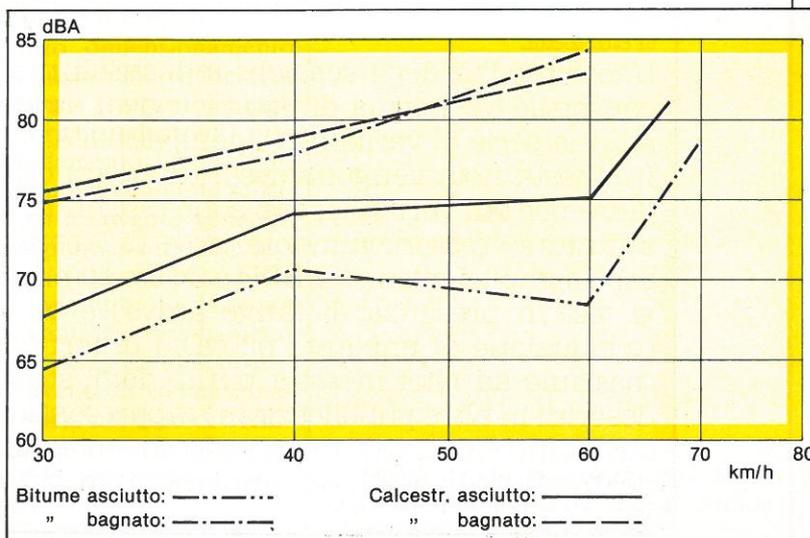


13. Frequenze (Hz).

15. Metodo di Burgess.



14. Risultati sperimentazione su diverse pavimentazioni.



tare di una certa aliquota il valore di  $L_{eq}$ , sulla base di tabelle di riferimento del tipo di quella riportata nella pagina accanto.

Da studi condotti presso il CERN in Francia, si mette in luce che, per una medesima quantità di veicoli pesanti, l'aumento di  $L_{eq}$  è ben maggiore nel caso di una strada urbana ad elevata densità veicolare, che non in quello di autostrade ove il deflusso è solitamente scorrevole.

Nella Germania dell'Est si tiene conto della presenza dei veicoli pesanti considerando:

- 1 vettura da turismo = 1 unità di rumore;
- 1 motocicletta = 3 unità di rumore;
- 1 camion o tram = 4 unità di rumore.

Ci sono modelli che permettono di prevedere i livelli del rumore del traffico stradale partendo dai dati di previsione di traffico e, più in generale, da quelli relativi alla sovrastruttura stradale. Quello considerato nella presente ricerca è uno dei più completi, meglio definiti, usati e che non tiene conto dei dati relativi a studi fatti negli USA, perché il traffico è molto diverso da quello italiano, come le strade e

il temperamento della popolazione. I risultati di questo metodo saranno poi messi a confronto con i valori calcolati dal sottoscritto in alcune strade urbane di Roma e che saranno oggetto del prossimo articolo.

Comunque si è scelto un metodo di previsione che si basa sulla correlazione fra il livello di rumore prevedibile ed alcuni parametri caratterizzanti il traffico veicolare (veicoli/ora, composizione del traffico) nonché le particolarità geometriche - morfologiche del sito di osservazione (distanza fra la sorgente di rumore).

La formula è stata trovata ed applicata per la prima volta da M.A. Burgess a Sidney in Australia, ed è caratterizzata dall'espressione che di seguito si riporta:

$$L_{eq} = 55,5 + 10,2 \log \check{F} + 0,3 p - 19,3 \log d \text{ dBA}$$

dove:

- F = flusso orario veicolare
- p = percentuale di veicoli pesanti
- d = distanza in metri tra il centro della carreggiata laterale ed il punto di osservazione posto sul ciglio della carreggiata stessa.

Una rappresentazione grafica di questa formula è mostrata nella figura 15.

**Bibliografia**

- [1] Hyde J.R.: *Noise: measurement, prediction, low frequency of traffic noise* - P.T.R.C. march, 1982.
- [2] *Bruit de contact pneumatique chaussée* - XVII Congrès Mondial de la Route - Sydney, 1983.
- [3] Department of the Environment: *The Environmental Evaluation of Transport Plans* - Research Report 8, 1976.
- [4] Barducci I.: *Acustica applicata*, E.S.A., 1981.
- [5] Cosa M., Nicoli M.: *Rumore da traffico stradale: valutazione, predeterminazione e limiti* - Ann. Istit. Super. Sanità, vol. 13, 1977.
- [6] Canale S., Ventura F.: *Traffico e degrado ambientale* - Autostrade n° 11, 1984.
- [7] Agent K., Zeeger C.: *Effect of Interrupted Flo on Traffic Noise* - Noise Control Engin. Journal - vol. 18 n° 2, 1982.
- [8] Gilbert D.: *Noise from road traffic* - Journal of Sound and Vibration, 1977.
- [9] Gluck U.: *Rumore da traffico stradale* - Conv. Assoc. Ital. Acustica - Perugia aprile, 1984.
- [10] Burgess M.A.: *Noise prediction for urban traffic conditions - Related to measurements in the Sydney Metropolitan area* - Applied Acoustics 10, 1977.
- [11] Ali S.J.: *Noise levels inside passenger cars* - Applied Acoustics 11, 1978.
- [12] Caracoglia S., Honsell F.: *Difesa attiva dal fonoinquinamento da traffico stradale* - Autostrade n° 9, 1984.
- [13] Bartolini R., Bisio G.: *Rumore da traffico urbano in viene con pendenza* - Conv. Assoc. Ital. Acustica Bologna marzo, 1985.