

Il campionamento temporale del rumore da traffico urbano per la determinazione del livello equivalente sul medio e lungo termine

G. Brambilla^a, W. Piromalli^b

^a CNR-Istituto di Acustica "O.M. Corbino", via del Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma

^b ARPAL Dipartimento Provinciale di Genova, Genova

L'attuale legislazione italiana e la prossima Direttiva europea sul rumore ambientale prescrivono la determinazione del livello $L_{Aeq,TL}$ su periodi medio-lunghi (settimana, stagione, anno). Ne deriva la necessità di impiegare tecniche di campionamento temporale che devono essere ottimizzate in funzione della variabilità nel tempo del rumore in esame al fine di conseguire stime di $L_{Aeq,TL}$ sufficientemente accurate.

Il presente lavoro si inquadra in questo contesto ed illustra i risultati principali dell'analisi statistica condotta su un ampio insieme di dati sperimentali costituito da 820 serie temporali di $L_{Aeq,h}$ su 24 ore prodotte dal rumore del traffico veicolare urbano in diverse città italiane.

INTRODUZIONE

Come noto, la recente proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio riguardante la determinazione e la gestione del rumore ambientale [1] assume come unico parametro acustico per ogni tipologia di sorgente sonora il livello continuo equivalente sul lungo termine $L_{Aeq,TL}$ (da determinare preferibilmente su base annua), espresso secondo due descrittori convenzionali: il livello giorno-sera-notte L_{den} e il livello notturno L_{night} . I valori misurati o calcolati di questi descrittori in un predefinito contesto territoriale concorrono a definire le "mappe acustiche", redatte in forma cartografica o tabellare ed articolate secondo diversi tematismi quali la descrizione dello stato attuale, del superamento rispetto a specifici valori limite, il numero delle persone esposte, etc.. Dati di sintesi di queste mappe devono essere comunicati periodicamente alla Commissione Europea e divulgati all'opinione pubblica al fine di predisporre le azioni di risanamento e di concertare i flussi delle risorse economiche disponibili per dette azioni.

In considerazione dell'importanza che rivestiranno i dati acustici misurati o calcolati in determinate postazioni (in questo lavoro non si considera l'aspetto dell'estrapolazione del dato puntuale a quello "areale"), diventa critica l'esecuzione di rilevamenti in continuo per almeno un anno se non limitatamente a poche postazioni in ogni città. Questo tipo di monitoraggio assai dispendioso, peraltro, risulta spesso anche superfluo data la considerevole riproducibilità e ripetitività dei dati così ottenibili. Ne deriva la necessità di adottare adeguate tecniche di campionamento temporale, già sperimentate da diversi anni ed oggetto di indagini sulla loro accuratezza [2]. Pur nella loro diversificazione, queste tecniche

prevedono un monitoraggio continuo per un tempo adeguato (qualche giorno o, più frequentemente, una settimana) in postazioni "di riferimento" e in periodo stagionale rappresentativo della situazione "media" annua. Per la determinazione della distribuzione spaziale dei livelli sonori, a questo monitoraggio si associa un insieme di rilevamenti a breve termine (un'ora o sua frazione rappresentativa del livello L_{Aeq} orario) eseguiti in opportune fasce orarie.

Il presente lavoro si inquadra nel contesto sopra descritto ed illustra i risultati dell'analisi statistica condotta su un ampio insieme di dati sperimentali del rumore da traffico stradale urbano rilevato in diverse città italiane, al fine di fornire elementi utili per ottimizzare la tecnica di campionamento temporale e migliorare, quindi, l'accuratezza della stima del valore di $L_{Aeq,TL}$ sul medio e lungo periodo.

DATI SPERIMENTALI

I dati sperimentali analizzati erano costituiti dal livello equivalente orario $L_{Aeq,h}$ prodotto dal traffico stradale urbano, in diverse configurazioni di entità e composizione del flusso veicolare, rilevato in continuo per almeno 24 ore consecutive in 39 città italiane di grandi, medie e piccole dimensioni.

Ai fini dell'analisi statistica sviluppata nel presente lavoro, i dati di L_{Aeq} sono stati distinti nelle tre seguenti tipologie:

- a) a breve termine, costituiti dalle serie temporali su 24 ore di $L_{Aeq,h}$ rilevate in ciascun sito;
- b) a medio termine, costituiti dalla media energetica su base settimanale dei livelli $L_{Aeq,TR}$ per il tempo di riferimento diurno e notturno e del livello $L_{Aeq,h}$ per ciascuna delle 24 ore;

c) a lungo termine, costituiti dalla media energetica dei livelli $L_{Aeq,TR}$ a medio termine determinata sull'intero periodo di rilevamento nello stesso sito.

In merito ai dati a breve e medio termine era disponibile un data base comprendente 820 serie temporali su 24 ore di $L_{Aeq,h}$ rilevate in 229 siti e distribuite secondo quanto riportato nella Tabella 1.

Tabella 1. Distribuzione delle serie temporali di $L_{Aeq,h}$ per i dati a breve (24h) e medio (settimana) termine

Serie temporali a breve termine (24 ore)					Serie temporali a medio termine (settimana)		
Città n.	Siti %	Feriali %	Weekend %	Totale %	Città n.	Siti %	Totale %
Grandi 5	39.3	51.7	47.9	50.7	Grandi 5	65.9	67.3
Medie 18	39.7	37.5	47.9	40.3	Medie 4	25.5	24.5
Piccole 26	21.0	10.8	4.2	9.0	Piccole 3	8.6	8.2
Totale 39	Totale 229	Totale 602	Totale 218	Totale 820	Totale 12	Totale 47	Totale 49

Ulteriori informazioni sulla distribuzione dei dati analizzati sono desumibili dalla Figura 1 ove il numero di serie temporali su 24 ore rilevate in ciascun sito è rapportato al totale complessivo. Si noti come i rilevamenti su base settimanale costituiscano il 23.0%

dei dati complessivi, seguiti da quelli costituiti da un solo rilevamento su 24 ore per singolo sito (15.6%).

Per le caratteristiche sopra esposte il data base analizzato può essere ritenuto sufficientemente rappresentativo del rumore da traffico veicolare nelle città italiane.

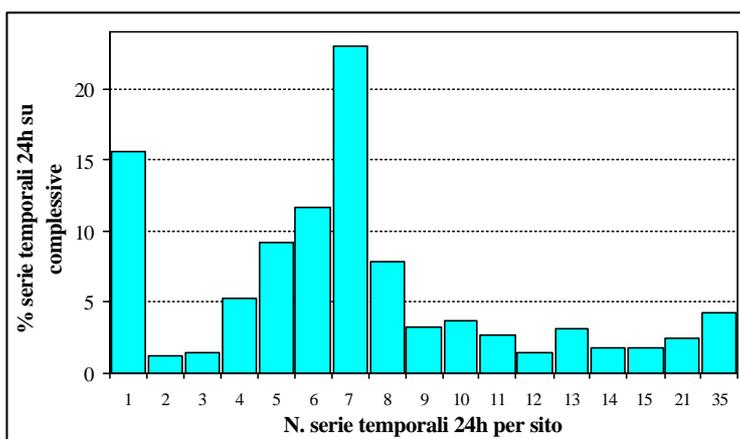


FIGURA 1. Distribuzione dei dati rilevati per ciascun sito

Per quanto concerne i dati a lungo termine, sono stati analizzati quelli acquisiti dalla rete di rilevamento

nella città di Genova in cinque postazioni, come indicato nella sintesi riportata nella Tabella 2.

Tabella 2. Caratteristiche delle serie temporali su 24 ore disponibili su lungo termine

Anno	Sito	Periodo	N. settimane	N. $L_{Aeq,TR}$		
				Giorno	Notte	Totale
1993	A	1/1-26/12	51	359	359	718
1998	B	1/1-1/7 1/8-31/12	48	335	334	699
1998	C	1/1-31/12	52	365	363	728
1998	D	1/1-31/12	52	365	364	729
1999	E	8/9-30/12	16	113	113	226

ANALISI STATISTICA DEI DATI

Le tre tipologie di dati sopra elencate sono state analizzate secondo i seguenti criteri.

Per le serie temporali di $L_{Aeq,h}$ su 24 ore si è proceduto alla “cluster analysis” al fine di determinare un numero ridotto di tipologie, ciascuna atta a rappresentare un gruppo statisticamente omogeneo di serie temporali. A tale scopo è stata utilizzata la procedura “K-means” disponibile nel programma SPSS 10.1.4 applicandola alle 820 serie temporali, previa normalizzazione per ciascuna serie del valore di $L_{Aeq,h}$ mediante la relazione seguente:

$$d_h = L_{Aeq,h} - L_{Aeq,TR} \quad \text{dB} \quad (1)$$

in cui d_h è lo scarto per la h -esima ora tra il livello $L_{Aeq,h}$ e il livello $L_{Aeq,TR}$ per il tempo di riferimento, diurno o notturno, contenente l’ora considerata.

In merito ai dati a medio termine è stata analizzata la variabilità dei livelli $L_{Aeq,TR}$ e $L_{Aeq,h}$ per singola ora rispetto ai corrispondenti valori su base settimanale, con l’ulteriore distinzione tra i cinque giorni feriali e i due giorni di sabato e domenica. Analogamente per i dati a lungo termine è stata esaminata la variabilità delle differenze tra i valori medi dei livelli $L_{Aeq,TR}$ su base settimanale e i corrispondenti valori di $L_{Aeq,TL}$ determinati sull’intero periodo di rilevamento.

RISULTATI

Nel seguito vengono descritti i principali risultati ottenuti dall’analisi statistiche, diversificandoli per le tre tipologie di dati esaminati.

Dati a breve termine (24 ore)

Mediante successive applicazioni della “K-means cluster analysis” si è pervenuti alla individuazione di 4 tipologie di serie temporali di $L_{Aeq,h}$ su 24 ore, ritenute in numero sufficientemente contenuto per le applicazioni pratiche di stima del livello $L_{Aeq,TR}$ e, nel contempo, adeguatamente rappresentative dell’insieme dei dati sperimentali. Dalle 820 serie temporali disponibili ne sono state escluse quattro in quanto ciascuna non è risultata associabile ad alcuna delle quattro tipologie ottenute. Ciò conferma come stabilire adeguati criteri per l’individuazione di dati acustici anomali sia importante, specialmente quando si impiegano sistemi di monitoraggio automatico non presidiato.

Le rimanenti 816 serie temporali di $L_{Aeq,h}$ su 24 ore si sono distribuite in modo non eccessivamente disomogeneo nelle quattro tipologie suddette secondo quanto riportato nella Tabella 3.

Tabella 3. Distribuzione dei dati sperimentali nelle quattro tipologie di serie temporali di $L_{Aeq,h}$ su 24 ore

Tipologia	% serie temporali	Giorni		Città		
		Feriali	Sabato-Domenica	Grandi	Medie	Piccole
1	17.4	73.9%	26.1%	10.6%	27.1%	14.1%
2	40.6	90.0%	10.0%	51.7%	24.3%	47.0%
3	8.1	89.4%	10.6%	4.1%	12.3%	11.8%
4	33.9	49.8%	50.2%	33.6%	36.3%	27.1%
Totale	816	600	216	414	317	85

Si noti che nelle tipologie 1, 2 e 3 sono predominanti le serie temporali rilevate nei giorni feriali, mentre per la tipologia 4 si registra un numero pressoché uguale di serie acquisite in giorni feriali e nei fine settimana. Altrettanto interessante è la ripartizione delle città, diversificate per dimensione, nelle quattro tipologie: per le grandi città predominano le tipologie 2 (prevalenza di giorni feriali) e 4 (parità tra giorni feriali e fine settimana), nelle città medie le tipologie 1 e 2 (giorni feriali) prevalgono insieme alla tipologia 4 ed, infine, nelle piccole città si registra una distribuzione delle tipologie analoga a quella delle grandi città.

Nelle Figure 2÷5 sono riportate le quattro tipologie indicando per ciascuna delle 24 ore il valore medio di d_h e l’intervallo a \pm la deviazione standard. A fini

comparativi nella Figura 6 sono riportate le quattro tipologie indicando solo i valori medi di d_h . Emerge chiaramente che le differenze tra le quattro tipologie sono più accentuate e ricorrenti nel periodo notturno e nelle ore all’inizio (6-7) e al termine (20-21) di quello diurno. La significatività statistica di queste differenze tra i valori medi di d_h è stata valutata mediante il “t-test”. I risultati ottenuti sono sintetizzati nella Figura 7, ove per tutte le singole ore sono indicate in grigio le possibili coppie di tipologie che presentano una differenza tra i valori medi di d_h ad un livello di confidenza del 95%. Nel complesso per il periodo diurno le differenze sono significative nel 44.5%, mentre tale percentuale aumenta all’81.2% nel periodo notturno. La Figura 7 fornisce indicazioni utili per

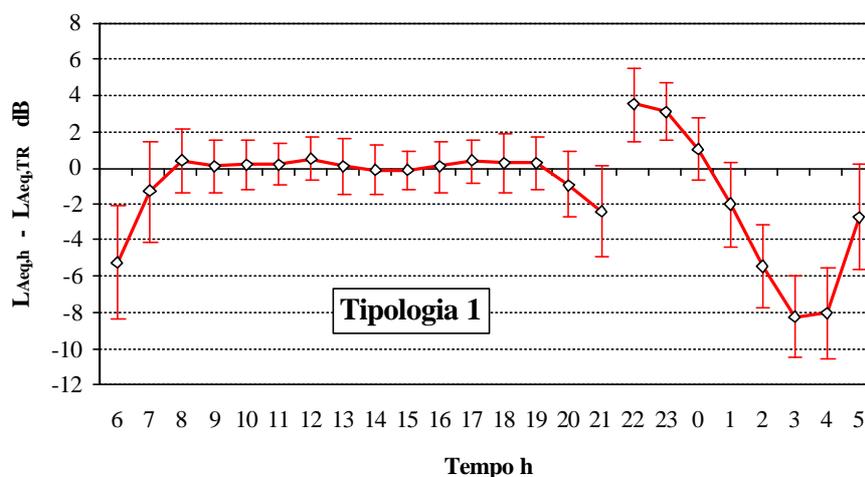


FIGURA 2. Serie temporale di d_h su 24 ore rappresentativa della tipologia 1

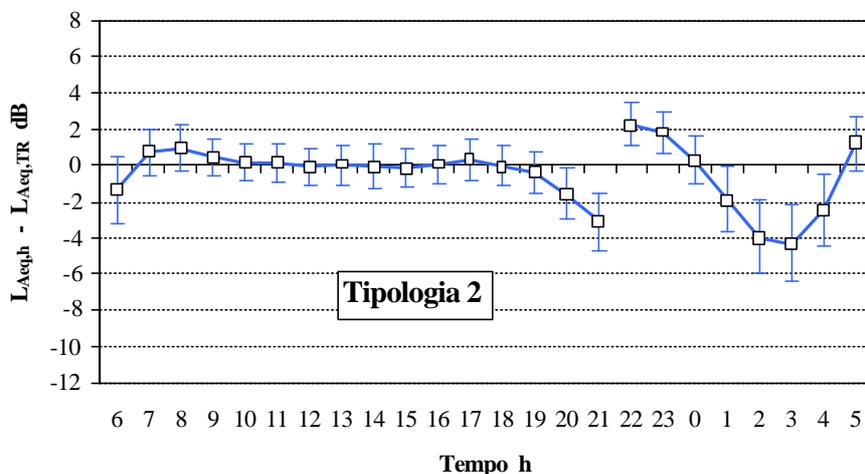


FIGURA 3. Serie temporale di d_h su 24 ore rappresentativa della tipologia 2

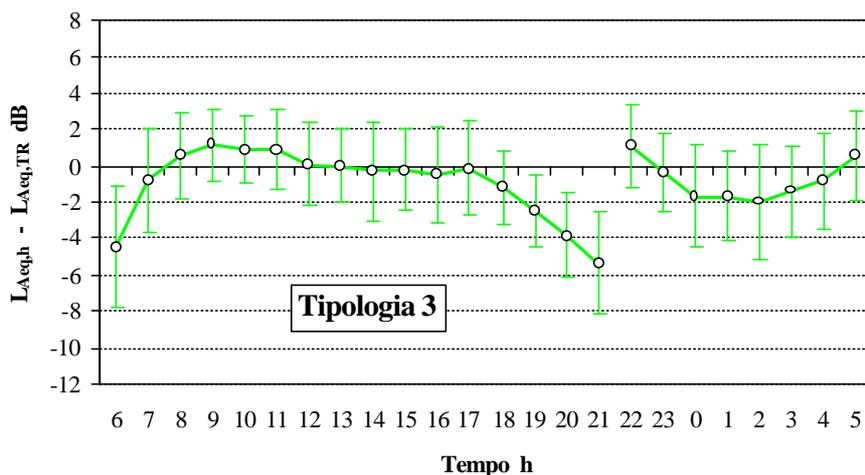


FIGURA 4. Serie temporale di d_h su 24 ore rappresentativa della tipologia 3

identificare gli intervalli orari più appropriati per i rilevamenti qualora si intenda avere una buona probabilità di discriminazione tra le quattro tipologie. Se, invece, interessa determinare solo $L_{Aeq,TR}$ e non

l'andamento di $L_{Aeq,h}$ nel tempo di riferimento è consigliabile eseguire i rilevamenti negli intervalli orari dalle ore 13 alle 17.

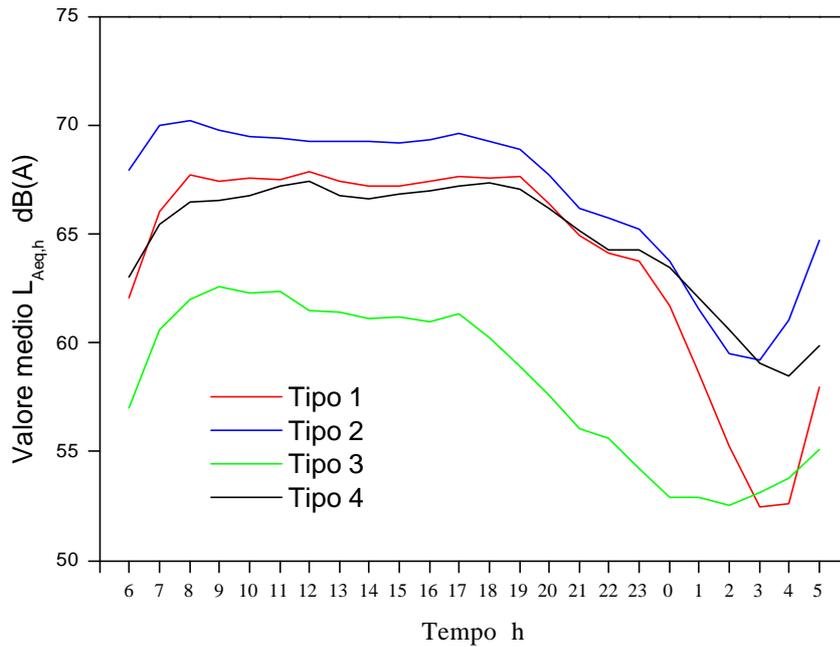


FIGURA 8. Confronto dei valori medi di $L_{Aeq,h}$ per le quattro tipologie

Dati a medio termine (settimana)

La variabilità del singolo dato giornaliero di $L_{Aeq,h}$ e $L_{Aeq,TR}$ rispetto al corrispondente valore mediato su base settimanale è illustrata sinteticamente nel “box-

plot” riportato nella Figura 9, indicante il valore mediano di detta variabilità, il primo (25%) e terzo (75%) quartile, la distanza interquartilica ($x_{75\%} - x_{25\%}$) e comprendente anche i valori con sospette anomalie (cerchi vuoti).

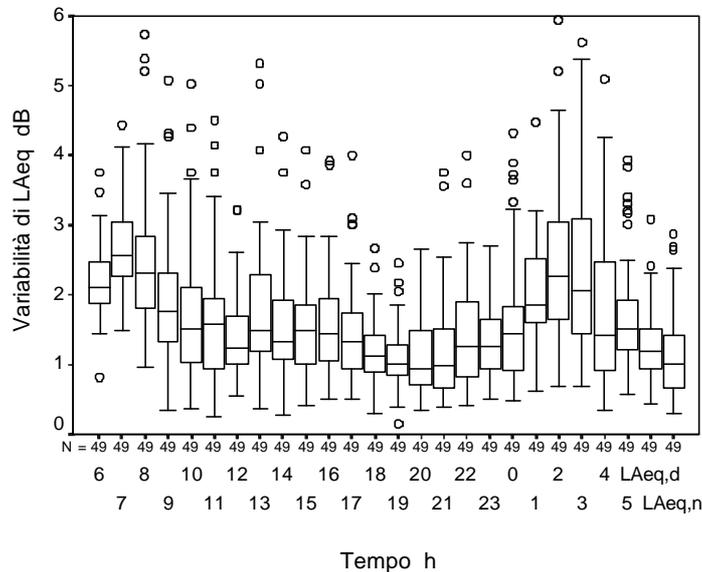


FIGURA 9. Variabilità del singolo dato giornaliero di $L_{Aeq,h}$ e $L_{Aeq,TR}$ rispetto al corrispondente valore mediato su base settimanale

La variabilità di $L_{Aeq,h}$ tra i giorni della settimana è mediamente di 1.8 dB per le varie ore, con fluttuazioni dei valori medi comprese entro ± 0.7 dB. La variabilità

di $L_{Aeq,TR}$ tra i giorni della settimana, per la natura del dato stesso (più aggregato), risulta più contenuta (1.3 dB).

L'analisi sopra descritta è stata ripetuta diversificando i dati tra giorni feriali e fine settimana: nei giorni feriali si registra un andamento analogo a quanto ottenuto su base settimanale ma con variabilità minore (valore medio di circa 1.2 dB); più accentuata, invece, risulta la variabilità per i giorni del fine settimana (in media 1.9 dB) con fluttuazioni dei valori medi comprese tra 0.9 e 3.6 dB.

Per valutare gli scostamenti di $L_{Aeq,h}$ rispetto al valore settimanale di $L_{Aeq,TR}$ contenente l'ora in esame, si è proceduto a calcolare tali differenze per tutte le ore ed i sette giorni delle 49 settimane oggetto dell'analisi statistica. I risultati ottenuti sono sintetizzati nel "box-plot" riportato nella Figura 10.

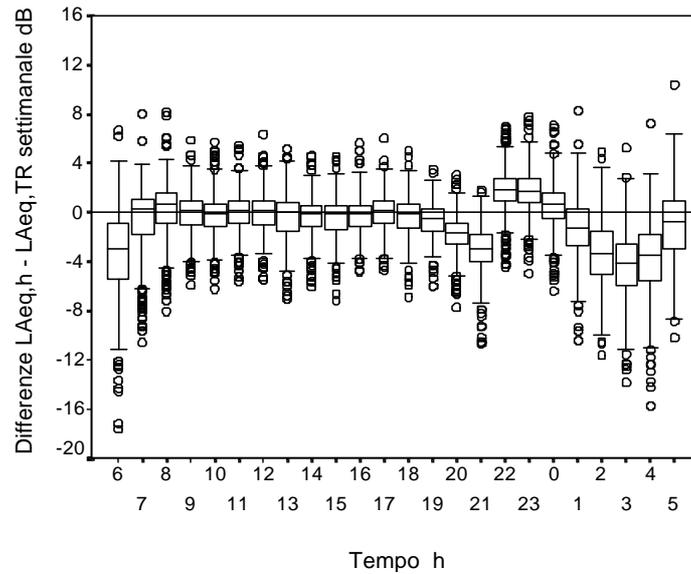


FIGURA 10. Distribuzione degli scostamenti di $L_{Aeq,h}$ rispetto al valore settimanale di $L_{Aeq,TR}$

Appare evidente che le distribuzioni delle differenze tra il singolo valore di $L_{Aeq,h}$ e quello settimanale di $L_{Aeq,TR}$ sono molto ampie, specialmente per le ore del periodo notturno e di quelle iniziale del periodo diurno (ore 6-8). Negli intervalli orari dalle 10 alle 19, tuttavia, si registrano valori medi delle suddette differenze prossimi allo zero e distanze interquartiliiche comprese in $1.7 \div 2.0$ dB; ne deriva che questi intervalli consentono una stima sufficientemente accurata del valore settimanale di $L_{Aeq,TR}$ a partire dal singolo dato di $L_{Aeq,h}$.

Dati a lungo termine (mesi, anno)

La distribuzione dei valori di $L_{Aeq,TR}$ per i due periodi diurno e notturno nell'arco dell'intera durata del rilevamento ha presentato andamenti non troppo dissimili dai dati acquisiti con reti di monitoraggio in altre città[3]. A titolo esemplificativo si riportano nella Figura 11 le distribuzioni di $L_{Aeq,TR}$ ottenute per il sito D nell'arco di un intero anno.

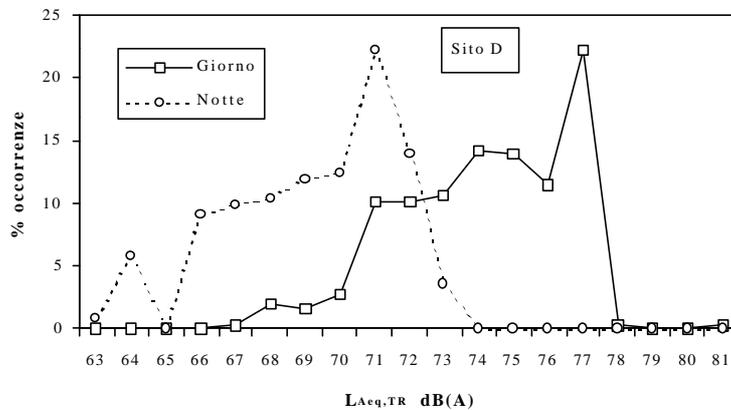


FIGURA 11. Esempio di distribuzione dei valori di $L_{Aeq,TR}$ nell'arco di un intero anno

Per valutare gli scostamenti dei valori settimanali di $L_{Aeq,TR}$ rispetto al valore di $L_{Aeq,TL}$ determinato per l'intera durata del monitoraggio, si è proceduto a calcolare tali scostamenti per tutte le settimane

comprese nel periodo di monitoraggio condotto in ciascuno dei cinque siti esaminati. I risultati ottenuti, distinti per sito e periodo diurno e notturno, sono sintetizzati nel "box-plot" riportato nella Figura 12.

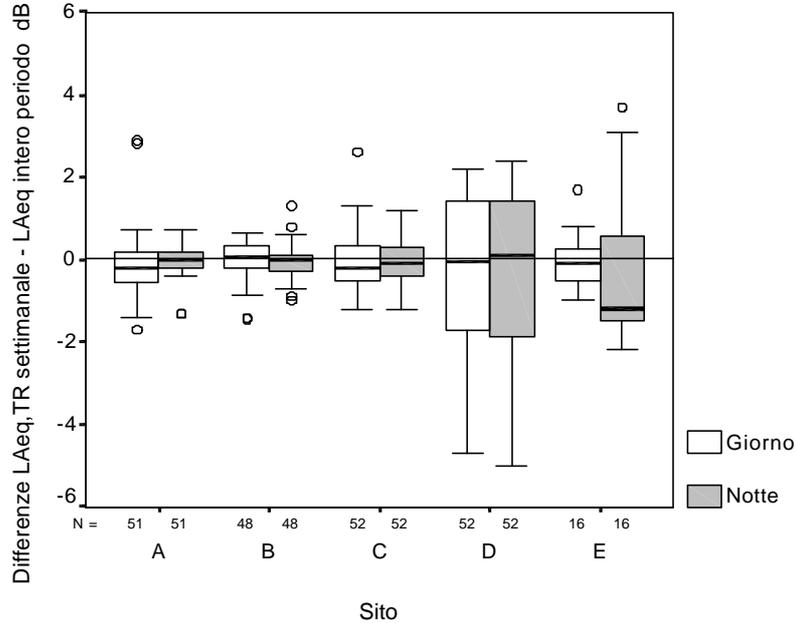


FIGURA 12. Variabilità delle differenze tra i valori settimanali di $L_{Aeq,TR}$ e il valore di $L_{Aeq,TL}$ per l'intero periodo di rilevamento

Emerge chiaramente che il valore mediano delle suddette differenze è quasi sempre prossimo allo zero (ad eccezione del sito E nel periodo notturno ove è pari a -1.2 dB) e la variabilità è abbastanza contenuta per i siti A, B e C (distanza interquartile DI compresa tra 0.4 e 0.9 dB), mentre risulta più accentuata per il sito D (DI=3.3 dB) e per il sito E nel periodo notturno (DI=2.1 dB). Se ne deduce che la stima di $L_{Aeq,TL}$ dal singolo valore settimanale di $L_{Aeq,TR}$ richiede molta cautela, dipendendo considerevolmente dalla variabilità temporale di quest'ultimo. Le centraline fisse per monitoraggi a tempi lunghi solitamente sono ubicate in zone con elevati livelli di rumore prodotti da flussi veicolari assai consistenti; in tali condizioni si registra un'accentuata ripetitività dell'andamento dei livelli $L_{Aeq,h}$ tra i vari giorni e una conseguente maggiore stabilità nel tempo di $L_{Aeq,TR}$. A quest'ultima concorre anche l'influenza di tipo logaritmico delle variazioni dell'entità del flusso veicolare sul livello $L_{Aeq,h}$, mentre ben più importante può divenire il contributo delle condizioni meteorologiche che su tempi lunghi possono alterare sensibilmente la variabilità di $L_{Aeq,TR}$.

CONCLUSIONI

L'analisi dell'ampio insieme di dati sul rumore da traffico stradale urbano ha fornito risultati statisticamente significativi sulla variabilità temporale di L_{Aeq} sul periodo breve (24 ore), medio (settimana) e lungo (alcuni mesi, anno intero). In particolare sono state ottenute indicazioni utili per ottimizzare la tecnica di campionamento temporale e, conseguentemente, migliorare l'accuratezza della stima del valore settimanale di $L_{Aeq,TR}$ dal singolo valore di $L_{Aeq,h}$, nonché della stima di $L_{Aeq,TL}$ dal singolo valore settimanale di $L_{Aeq,TR}$.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare a coloro che fornendo i dati sperimentali hanno reso possibile questo lavoro.

BIBLIOGRAFIA

1. Commission of the European Communities, COM(2000) 468 final, Brussels, 26.07.2000.
2. Brambilla, G., and Cipelletti, L., *Rivista Italiana di Acustica* **18**(1), 9-17 (1994).
3. Bassanino, M., Mainardi, P., Bruno, G., "Rilevamenti in continuo del rumore nella città di Milano", in *Atti XVIII Convegno Nazionale AIA*, editor Marco Fusetti, L'Aquila, 1990, pp. 554-563.