

UN SIMULATORE DINAMICO DEL RUMORE DA TRAFFICO VEICOLARE IN AREE URBANE

M.Fossa (1), C.Schenone (1), M.Schenone (2)

(1) DITEC, Università di Genova, via all'Opera Pia 15a, 16145 Genova

(2) DSPEA, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

SOMMARIO

In questo lavoro viene presentato un modello per la previsione del rumore prodotto da reti viarie urbane basato su un approccio ad eventi. Il simulatore di traffico è in grado di analizzare il comportamento cinematico del singolo veicolo in relazione alle interazioni con gli altri veicoli presenti e alle caratteristiche della rete viaria (presenza di semafori, corsie riservate ecc.). In funzione delle caratteristiche cinematiche (velocità, accelerazione) viene calcolata, per ogni veicolo, la potenza sonora irradiata sulla base di correlazioni empiriche proprie di ciascuna categoria di mezzo e viene quindi calcolato il livello sonoro in punti di osservazione definiti. L'attendibilità del modello è stata confermata da una serie di rilievi sperimentali lungo arterie viarie della città di Genova. Durante lo sviluppo del modello si sono condotte campagne di misura volte a caratterizzare il comportamento acustico di autobus urbani e motoveicoli, per i quali non erano disponibili informazioni significative. In base ai dati ricavati si sono ricavate correlazioni che esprimono il livello di rumore irradiato in funzione della velocità del veicolo.

INTRODUZIONE

Il rumore irradiato dai veicoli rappresenta la maggiore fonte di inquinamento acustico nelle aree urbane. A partire dagli anni '70, nei paesi industrializzati sono state sviluppate legislazioni finalizzate a definire i livelli massimi di pressione sonora ammissibili in ambito urbano. Come indici di disturbo le diverse legislature hanno adottato il livello equivalente o un certo livello percentile.

Per queste ragioni, negli scorsi decenni, la ricerca in campo acustico si è indirizzata principalmente a sviluppare correlazioni idonee alla previsione del rumore prodotto dal traffico veicolare in termini di livello sonoro medio nel tempo. Le metodologie semplificate proposte si basano sulla conoscenza di un serie limitata di parametri del traffico e non sono in grado di considerare l'influenza di variabili complesse quali la composizione del flusso veicolare, le caratteristiche dei collegamenti viari, la presenza di segnaletica luminosa per il controllo del flusso. Alla luce delle accresciute esigenze relative alla qualità di vita negli agglomerati urbani e della complessità delle reti viarie esistenti, questi modelli previsionali risultano spesso inadeguati o insufficienti a valutare l'inquinamento acustico dovuto al traffico veicolare nelle aree cittadine.

Tabella 1: Caratteristiche degli autobus esaminati

Numero di riferimento	1	2	3	4
Costruttore	BredaMenariniBus	Iveco	BredaBus	Iveco
Tipo	M 230 CU	471.10.20/105/3P	2001.10.LL	480.12.21/115/4P
Tipo di motore	MAN D8024 LOH 05 Euro2 turbo intercooler	IVECO 8220.12 aspirato	IVECO 8220.02 aspirato	IVECO 8460.21 R turbo
Cilindrata [cm³]	4580	9572	9572	9500
Potenza Max. (EEC Standard)	114 kW a 2400 rpm	150 kW a 2600 rpm	150 kW a 2600 rpm	154 kW a 2050 rpm
Coppia Max. (EEC Standard)	590 Nm a 1400 rpm	640 Nm a 1600 rpm	640 Nm a 1600 rpm	882 Nm a 1100 rpm
Lunghezza [mm]	7700	10640	10740	12000
Larghezza [mm]	2350	2500	2500	2500
Massa netta [kg]	6600	10100	9950	10600
Massa totale [kg]	10500	17240	16750	18420
Posti a sedere	57+1	104+1	100+1	115+1

In questo lavoro viene presentato un modello per la previsione del rumore prodotto da reti viarie urbane basato su un approccio ad eventi. Il simulatore di traffico consente di calcolare i valori istantanei delle proprietà cinematiche e della potenza sonora di ciascun veicolo che impegna la rete viaria definita come dato di ingresso. L'accuratezza del simulatore è stata verificata mediante il confronto con rilievi sperimentali condotti lungo una strada a traffico intenso nella città di Genova.

Durante lo sviluppo del modello è emersa la forte carenza di informazioni circa le emissioni sonore dovute a motoveicoli ed autobus per il trasporto. Questa lacuna risulta assai penalizzante se si vuole modellizzare il rumore associato alla circolazione stradale sulla rete viaria urbana. Risulta infatti necessario in ogni caso correlare le emissioni di rumore dei veicoli alle caratteristiche proprie del flusso veicolare, e nel caso di simulatori dinamici, alle condizioni cinematiche proprie di ciascun mezzo.

Per iniziare a colmare tale scarsa disponibilità di dati in letteratura, sono state condotte dagli autori alcune prove su strada, costituite da rilievi fonometrici durante prove “pass-by” a velocità costante [1], aventi come oggetto mezzi pubblici di trasporto [2] e motoveicoli. A partire dai dati di rumore misurati si sono costruite per entrambe le categorie di veicoli correlazioni in grado di esprimere il livello di potenza sonora irradiato in funzione della velocità del mezzo.

IL MODELLO "MICROTRAFFIC"

La modellizzazione di una rete viaria complessa, percorsa da veicoli di diversa tipologia, viene in questo lavoro affrontata utilizzando l'approccio sviluppato nei riferimenti [3, 4]. La caratteristica peculiare di questo simulatore consiste nella possibilità di analizzare il comportamento cinematico di ogni singolo veicolo che entra in una assegnata rete viaria, la quale è definita da una serie di nodi in cui confluiscono diversi tratti stradali. In questo modo è possibile ricreare una rete complessa di strade ed incroci all'interno dei quali i veicoli possono muoversi rispettando una serie di vincoli esterni (presenza di semafori, corsie riservate, limiti di velocità ecc.). I veicoli, distinti nelle

Tabella 2: Caratteristiche dei motoveicoli esaminati

Numero di riferimento	1	2	3
Costruttore-Modello	Honda Dominator	Piaggio Vespa PX	Piaggio Sfera
Motore	Monocilindrico 4T – Aria	Monocilindrico 2T – Aria	Monocilindrico 2T – Aria
Cilindrata (cm ³)	650	125	50
Coppia Max (N·m)	55.86 a 5000 rpm	—	—
Potenza Max (kW)	31.90 a 6000 rpm	6.60 a 6000 rpm	2.42 a 6250 rpm
Massa (kg)	167	110	89
Tipo di cambio	Sequenziale a 5 rapporti	Sequenziale a 4 rapporti	Variatore continuo

quattro categorie di motoveicoli, autoveicoli, veicoli pesanti ed autobus acquisiscono caratteristiche cinematiche (posizione, velocità, accelerazione) proprie in relazione alle interazioni con gli altri veicoli presenti. Il modello ed il relativo programma di calcolo richiedono come dati di ingresso il flusso e la destinazione dei veicoli che entrano in ogni nodo della rete e forniscono in uscita i parametri cinematici istantanei di ogni mezzo presente nella rete viaria. Il modello è stato successivamente implementato allo scopo di associare ai parametri cinematici sopra citati le caratteristiche di emissione sonora [5]. In particolare viene calcolata la potenza sonora irradiata da ciascun veicolo sulla base di correlazioni empiriche definite per ciascuna categoria di veicoli. Per quanto riguarda gli autoveicoli, si è utilizzata la correlazione proposta da Steven [6], dopo averne verificato l'attendibilità con rilievi sperimentali. Per ciò che concerne i motoveicoli ed i veicoli per il trasporto pubblico, la mancanza di informazioni significative ha suggerito agli autori di svolgere una estesa campagna sperimentale i cui risultati sono esposti nel paragrafo successivo. Il livello sonoro nei punti di osservazione viene infine determinato come sovrapposizione dei contributi sonori di ciascuna sorgente mobile, adottando un modello di propagazione sonora di tipo emisferico.

CORRELAZIONI PER LE EMISSIONI DI RUMORE DA MOTOVEICOLI E AUTOBUS PER IL TRASPORTO URBANO

Per analizzare le emissioni di rumore di motoveicoli ed autobus urbani si sono condotte delle prove pass-by a velocità costante. Ad intervalli di un secondo si sono rilevati il livello massimo di pressione sonora ed il livello equivalente, utilizzando la pesatura temporale FAST e la pesatura in frequenza A. Si sono inoltre misurati gli andamenti degli spettri in terzi di banda di ottava durante il passaggio dei veicoli.

I rilievi sono stati condotti in un ambiente conforme ai requisiti acustici definiti nelle norme internazionali [7]: l'area attorno al sito di misura era sgombra da oggetti riflettenti; in prossimità del microfono non vi erano ostacoli; la superficie del sito era in asfalto. La rugosità della superficie della corsia di prova, misurata secondo la norma ISO 10844, è risultata pari a 0.85 mm. La strumentazione impiegata nelle misure

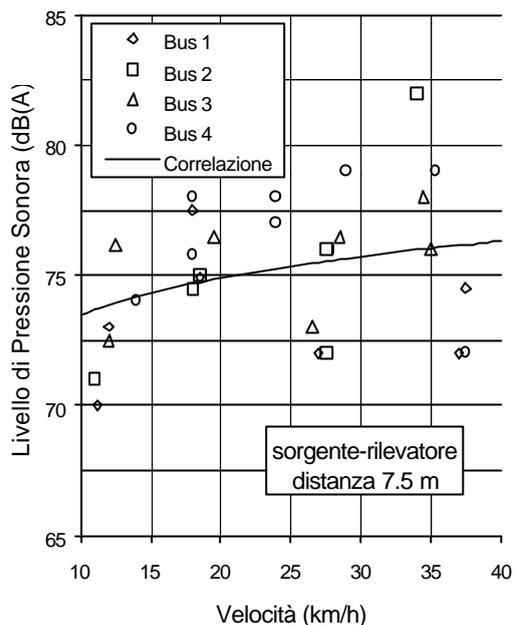


Fig.1: Livelli di pressione sonora in funzione della velocità per autobus urbani.

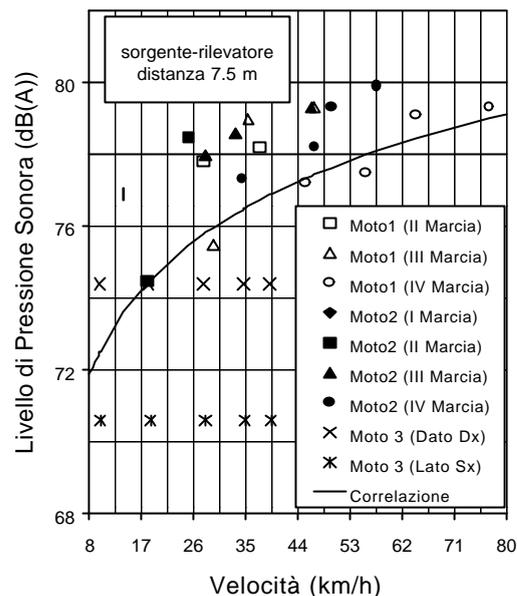


Fig.2: Livelli di pressione sonora in funzione della velocità per motoveicoli.

era costituita da un fonometro-analizzatore Bruel & Kjaer 2260 e da un sistema “Concerto” 01 dB. La distanza del microfono dalla mezzeria della corsia di prova era pari a 7.5 m; il microfono è stato sistemato ad un'altezza di 1.2 m dal terreno. I veicoli si avvicinavano al tratto di misura a velocità costante. La velocità durante il passaggio era valutata mediante due fotocellule poste alla distanza di 40 metri. Una terza fotocellula consentiva di determinare l'istante in cui il punto medio del veicolo transitava in corrispondenza del fonometro. Le misure sono state condotte con livello di rumore di fondo inferiore a 50 dBA.

Autobus urbani

Nel caso dei mezzi pubblici di trasporto l'indagine sperimentale ha riguardato quattro veicoli caratterizzati da diverse capacità di trasporto. Le caratteristiche degli automezzi considerati sono riportate in Tab. 1. I mezzi differiscono per capacità di trasporto, dimensioni e cilindrata, e rappresentano significativamente la flotta di autobus circolante nella città di Genova. Le prove pass-by sono state condotte a quattro differenti velocità per ciascun mezzo, analizzando ciascuna volta le emissioni sui due lati dell'autobus. I risultati delle prove sono riportati in Fig. 1: in ascissa è indicata la velocità del veicolo ed in ordinata il livello di pressione sonora in decibel pesati A, rilevato durante le prove di pass-by per la posizione del veicolo più prossima al fonometro.

La regressione logaritmica dei dati rilevati ha consentito di esprimere mediante una correlazione la dipendenza del livello sonoro emesso dalla velocità, v , espressa in km/h, mediando tra le caratteristiche sonore proprie di ciascun veicolo:

$$L_p = 77.1 + 4.7 \cdot \log_{10}(v/60) \quad (1)$$

La velocità di 60 km/h, che compare a denominatore nell'argomento del logaritmo, rappresenta un limite di velocità tipico all'interno delle aree urbane.

Motoveicoli

Le prove relative ai motoveicoli sono state condotte su un ciclomotore con variatore automatico, uno scooter ed un motociclo di cilindrata 650 cm³. Tale campione, per quanto limitato, ha voluto rappresentare le tipologie di motoveicoli più utilizzate per gli spostamenti urbani. Il diagramma di Fig. 2 riporta i dati rilevati durante prove di pass-by a velocità costante per i tre motoveicoli. Si osservi che nel caso del ciclomotore è stata considerata la condizione di massima accelerazione del veicolo, in quanto più rappresentativa delle effettive condizioni di marcia.

Anche in questo caso i rilievi sperimentali hanno portato alla formulazione di una correlazione che, mediando tra i dati ottenuti per quattro velocità durante passaggi a velocità costante, fornisce il livello di pressione alla distanza di 7.5 m sonora in funzione della velocità del motoveicolo espressa in km/h:

$$L_p = 78.2 + 7.3 \cdot \log_{10}(v/60) \quad (2)$$

VALIDAZIONE DEL MODELLO

Per verificare l'attendibilità delle previsioni del simulatore sono stati effettuati una serie di rilievi sperimentali lungo arterie viarie della città di Genova. Le misure hanno riguardato il livello sonoro istantaneo, la velocità media di percorrenza ed il flusso veicolare per categoria di veicolo. Per rilevare i livelli sonori istantanei e le relative distribuzioni statistiche si è utilizzato un sistema fonometrico del tipo "01dB Concerto". Una videocamera associata al sistema ha reso inoltre possibile la valutazione del flusso orario per ciascuna categoria di veicoli e delle velocità medie di percorrenza lungo l'arteria viaria in esame. Il tratto preso in considerazione per la campagna sperimentale e le successive simulazioni è quello schematizzato in Figura 3 e fa riferimento a Corso Europa, ponte sul torrente Sturla, nella città di Genova. La strada in esame possiede due carreggiate, ciascuna delle quali presenta tre corsie di cui una, la più lontana dal marciapiede, riservata ai bus. Il flusso veicolare è controllato dalla segnaletica

luminosa presente alle estremità della strada. I principali parametri del traffico sono riassunti in Tabella 3, per quanto riguarda le misure ed i corrispondenti valori desunti dalle simulazioni.



Figura 3. Immagine della rete viaria come riprodotta dal simulatore

Sper. (Sim.)	Totale	Auto	Moto	Bus	Pesanti
Flusso [veic./h]	1830 (1950)	1350 (1450)	450 (435)	12 (11)	30 (31)
Velocità [km/h]	47.5 (45.1)	42.5 (45.8)	64 (52)	-	43 (41)

Tabella 3. Parametri del traffico rilevati e simulati

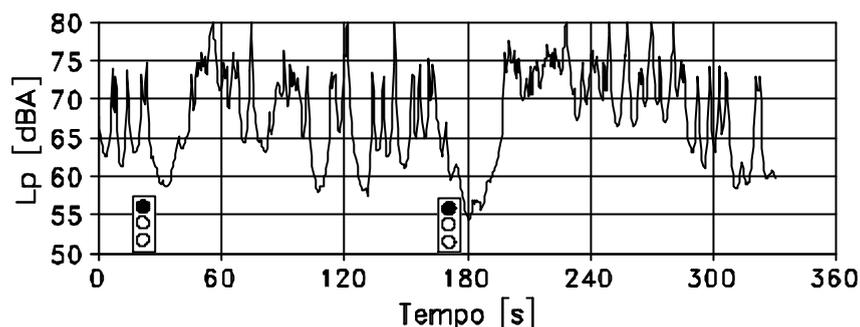


Figura 4. Livello sonoro istantaneo previsto

RISULTATI DELLE SIMULAZIONI E CONFRONTI

La Tabella 3 mostra i valori delle velocità medie di percorrenza per ciascuna categoria di veicolo. Simulazioni e misure forniscono risultati simili e soltanto il dato sui motoveicoli mostra differenze dell'ordine del 20% rispetto al valore misurato. La Figura 4 riporta gli andamenti del livello sonoro istantaneo calcolato nella postazione di osservazione. E' possibile osservare l'effetto della segnaletica luminosa che produce temporanee diminuzioni del livello di rumore. Il confronto con i rilievi sperimentali ha evidenziato un buon accordo complessivo.

La Figura 5 mostra le curve distributive del livello sonoro espresso in dBA. Anche in questo caso, esiste un buon accordo tra livelli sonori misurati e valori calcolati. A titolo di esempio, la figura 5 contiene inoltre la curva distributiva prevista in relazione al passaggio di una sola tipologia di veicolo, in questo caso i motoveicoli. Questo genere di informazioni, che è possibile ottenere soltanto tramite un simulatore di rumore da traffico quale quello presentato, consente un'analisi dettagliata dell'effetto che le diversi sorgenti mobili hanno sul livello sonoro complessivo e valutazioni del genere "what's if". La Tabella 4 infine riassume i risultati delle simulazioni effettuate in termini di livelli equivalenti e percentili e li confronta con gli omologhi livelli rilevati sperimentalmente. La Tabella 4 riporta inoltre i livelli sonori valutati per identiche condizioni di traffico utilizzando alcune correlazioni di letteratura [8, 9, 10]. Per quanto riguarda il livello equivalente, il valore misurato e quello previsto dal simulatore risultano pari a circa 72.5 dB(A), valori leggermente superiori a quelli previsti dalle correlazioni proposte in [8, 9].

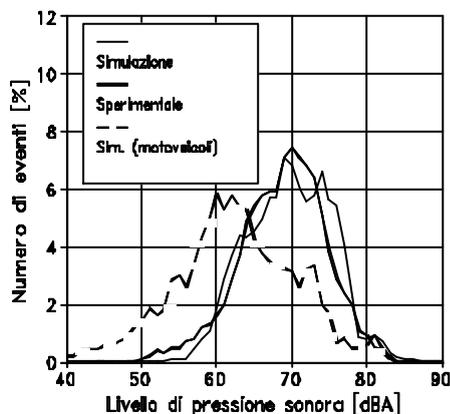


Figura 5. Curve distributive

	Leq	L5	L10	L50	L90	L95
Sperimentale	72.5	78.0	76.0	69.5	61.5	59.0
Simulato	72.5	77.4	76.0	69.3	61.6	60.1
Gluck et al. [6]	71.9	-	-	-	-	-
Empa [7]	71.1	-	-	-	-	-
CRTN [8]	-	-	77.0	-	-	-

Tabella 4. Livelli sonori rilevati e calcolati

CONCLUSIONI

E' stato sviluppato un codice di calcolo per la previsione dinamica del rumore prodotto da sorgenti veicolari in ambito urbano. Sono state inoltre proposte nuove correlazioni per caratterizzare le emissioni di rumore per motoveicoli e mezzi pubblici di trasporto. I risultati forniti dal simulatore sono stati confrontati con i dati sperimentali relativi ad una arteria viaria della città di Genova.

Il confronto tra i valori misurati dei livelli sonori e i corrispondenti valori calcolati ha mostrato in generale un buon accordo, ad indicare l'accuratezza del modello adottato. Ulteriori sviluppi del codice di calcolo dovranno riguardare le modalità di propagazione sonora, per tenere conto in maniera più accurata degli assorbimenti e delle riflessioni dovuti alla presenza di estese superfici a bordo strada oltrechè il continuo aggiornamento ed una più precisa caratterizzazione acustica dei differenti tipi di veicoli.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Prof. Bartolini per il prezioso apporto fornito nel corso della presente ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 7188 – 1985, Acoustics — Measurements of noise emitted by passenger cars under conditions representative of urban driving.
- [2] R.Bartolini, M. Fossa, C.Schenone, M.Schenone “*Noise emission of buses measured using a pass-by method*, Atti del Convegno Int. “Noise & Planning 1996”, Pisa, 28-31 Maggio 1996, pp.198-203.
- [3] R.Mosca, P.Giribone, M.Schenone, M.Casu, *Microsimulation Models for Vehicular Traffic Nets*, Atti XIV Conf. IASTED Modelling Identification and Control, Innsbruck (Austria), 425, 1995.
- [4] R.Mosca, M.Schenone, *Urban Traffic: New Design Proposals Through the Employ of Micro-Simulators*, Atti 7th European Simulation Symp., Erlang–Nuremberg (D), 181-185, 1995.
- [5] M.Fossa, C.Schenone, M.Schenone, *Discrete Modelling of road Traffic Noise in Urban Areas*, Atti XVIII Conf. AICB, Bologna (Italia), 38-43, 1995.
- [6] H.Steven, *Sound Emission Levels for Motor Vehicles with Special Regards to Type/Road Noise*, FIGE GmgH Report, 1989.
- [7] ISO 7188- 1994, Acoustics – Specification of test track for the purpose of measuring noise emitted by road vehicles.
- [8] G.B. Canelli, K. Gluck, S. Santoboni, *A Mathematical Model for Evaluation and Prediction of the Mean Energy Level of Traffic Noise in Italian Towns*, *Acustica*, p. 31, vol. 53, n. 1, 1983
- [9] EMPA, *Model de Calcul de Bruit du Trafic Routier par Ordinateur*, Berna (CH), 1987

- [10] Department of Transport Welsh Office, Calculation of Road Traffic Noise, HMSO Books, London, 1992