

Accuratezza dei livelli sonori stimati a Firenze mediante un modello acustico di tipo deterministico

David Casini, Laura Moran, Andrea Poggi, Tamara Verdolini
ARPAT, via Ponte alle Mosse 211, 50144 Firenze, d.casini@arpat.toscana.it

Riassunto

Sul territorio del Comune di Firenze è stato costruito un modello deterministico, dettagliato, per la valutazione del rumore generato dal traffico veicolare. Il modello è stato implementato, tramite un software disponibile in commercio, seguendo il metodo di calcolo ufficiale francese NMPB.

Le sorgenti sono state costruite come un grafo di archi, rappresentativo della sola viabilità principale (circa 1000 strade in tutto); ad ogni arco è stato quindi assegnato in fase di taratura un flusso veicolare di mezzi leggeri e di mezzi pesanti, stimati per mezzo di un modello di traffico della città di Firenze (M2).

Nel presente lavoro, vengono mostrati i risultati del confronto effettuato tra i livelli sonori così calcolati ed i livelli direttamente misurati, nel corso degli anni, con postazioni mobili collocate a bordo strada. Emerge la rilevanza del modello di traffico come fonte principale di errore nelle stime dei livelli sonori.

A) INTRODUZIONE

La direttiva europea sulla gestione dell'inquinamento acustico [1] ha introdotto l'obbligo di procedere alla mappatura acustica degli agglomerati urbani principali in tutti i paesi dell'unione. Successivamente sono stati definiti [2] metodi armonizzati di calcolo per procedere alla stima dei livelli sonori in facciata delle abitazioni a partire dalle caratteristiche del traffico che percorre i diversi segmenti della rete stradale dell'area urbana. Tali metodi armonizzati sono stati introdotti con lo scopo di rendere comparabili tra loro i risultati delle mappature svolte in maniera indipendente nei diversi agglomerati. Conseguentemente sta crescendo l'attenzione sul problema dell'accuratezza garantita dalle diverse procedure che si possono seguire per elaborare tali mappe. A questo proposito molte attenzioni sono state dedicate a verificare e migliorare l'accuratezza degli algoritmi di modellizzazione acustica della sorgente e della propagazione sonora, mentre sono assai più limitate le esperienze dedicate alla verifica di qualità dei dati d'ingresso di tali modelli, alla stima delle incertezze da cui sono affetti ed ai metodi per migliorarne l'accuratezza. Il lavoro di mappatura acustica della rete stradale principale della città di Firenze, svolto nell'ambito del progetto europeo di ricerca Hearts [3], ha consentito una prima, seppur sommaria, indagine per comparare le incertezze provenienti dalla modellizzazione acustica con quelle da cui sono affetti i dati di traffico su cui il modello è basato.

B) METODI

Il modello acustico delle immissioni sonore da traffico veicolare è stato implementato secondo gli algoritmi del metodo NMPB come proposto dalla commissione europea. Il modello è stato implementato con un software commerciale di larga diffusione, adottando alcune schematizzazioni semplificative di cui le principali sono:

- La sorgente di traffico è stata assimilata ad una sola linea posta sulla mezzera della sede stradale;
- il numero di riflessioni conteggiate è stato limitato ad una sola;
- la velocità dei veicoli è stata assunta uguale e costante in tutti i segmenti stradali.

Inoltre alcune semplificazioni derivano dalle caratteristiche dell'area indagata:

- Tutte le strade sono sostanzialmente pianeggianti;
- tutte le pavimentazioni stradali sono costituite da un asfalto bituminoso standard.

Sono state invece introdotte delle correzioni ai coefficienti di emissione standard con cui sono descritte le diverse tipologie di veicoli. In particolare sia la categoria dei "leggeri" che quella dei "pesanti" sono state suddivise in due sottocategorie: rispettivamente motocicli e autovetture per i "leggeri", autobus e pesanti non-bus per i "pesanti". I coefficienti di ciascuna categoria sono stati stabiliti mediante misurazione diretta nelle reali condizioni di traffico, mediata sulle ventiquattr'ore, in quattro diverse strade della città [4]. Le correzioni rispetto al relativo veicolo di riferimento standard, proposto dal metodo, non sono trascurabili, come mostra la successiva tabella.

Tabella 1 – fattori di correzione, in dBA, dei coefficienti di emissione delle diverse categorie di veicoli rispetto al valore standard previsto dal modello per la velocità di 50 km/h.

Categoria di riferimento	Tipo veicoli	Correzione (dBA)
leggeri	autovetture	-2,1
	motoveicoli	-0,6
pesanti	BUS	-5,4
	> 35 q non BUS	-9,3

I dati di input relativi ai flussi di traffico sono stati determinati con un modello di assegnazione del traffico (EMME2) sulla base di elaborazioni sviluppate dall'azienda municipale di trasporto pubblico. Il calcolo è effettuato su un grafo di viabilità di circa 1000 archi unidirezionali, che copre poco meno del 50% dello sviluppo totale della rete stradale del comune, per circa 300 km di lunghezza complessiva. Il modello forniva una stima dei flussi di autovetture e autobus di trasporto urbano, limitatamente all'ora di punta. La composizione modale del traffico è stata assegnata classificando le strade in cinque diverse categorie e ricavando la composizione tipica di ciascuna da dati disponibili di conteggio di traffico in almeno una strada per categoria, nei diversi periodi del giorno previsti per il calcolo dell'indicatore Lden. Per quanto riguarda i profili orari dei volumi di traffico sono stati ricavati dai profili dei livelli sonori registrati nelle strade di ciascuna categoria in campagne di misura che prevedessero almeno 24 ore di determinazione dei livelli sonori orari.

Tabella 2 – Elenco delle categorie in cui sono state suddivise le strade del comune di Firenze per l'assegnazione della composizione modale del traffico e dei profili orari

Vie di adduzione alla città
Strade principali
Strade importanti e di raccolta
Strade importanti nel centro storico (ZTL)
Strade locali

L'accuratezza del modello è stata verificata calcolando i livelli sonori del periodo diurno (6-22) nei punti corrispondenti alla posizione del microfono di precedenti campagne di misurazione in continuo. Si tratta di 47 postazioni nelle quali erano disponibili misure svolte ad intervalli orari, per almeno 24 ore, a bordo strada, a 4 m di altezza dal piano stradale. Le misure caratterizzavano strade di diversa tipologia ed erano state svolte negli anni compresi tra il 1995 e il 2003. I punti di misura sono particolarmente significativi per verificare l'accuratezza delle procedure di realizzazione delle mappe acustiche, in quanto le posizioni misura sono sostanzialmente identiche a quelle di valutazione dei livelli di esposizione della popolazione (facciata più esposta, 4 m di altezza), con la sola eccezione che queste misure includono nel livello sonoro anche la riflessione della facciata a cui si riferiscono, anziché la sola energia sonora entrante. Per questo motivo, ai fini di questa verifica, sono state modificate le impostazioni del modello per computare anche questo contributo.

Per completare l'analisi dei risultati 7 postazioni misura sono state corredate di misure aggiornate e di un conteggio dei volumi di traffico nelle ventiquattrore. Di queste, 3 sono appartenenti all'insieme di punti sui quali sono stati valutati i coefficienti di emissione del modello, le altre sono state scelte tra quelle in cui si registravano scarti significativi fra il modello e le misure disponibili. I conteggi di traffico sono stati realizzati mediante l'analisi manuale di filmati video-registrati, nelle tre postazioni di riferimento, e mediante un conteggio automatico, con conta traffico radar, nelle altre quattro.

C) RISULTATI

Una prima analisi dei risultati delle simulazioni si può ottenere comparando direttamente i risultati del modello con i rispettivi valori misurati. Da questo confronto emerge che soltanto 22 punti presentano uno scarto inferiore a 3 dB. Gli altri 25 punti sono stati attentamente indagati per riconoscere le cause di errore.

Una prima verifica può essere fatta sulla accuratezza dell'algoritmo di simulazione acustica, valutando l'accordo sulle sette postazioni oggetto di misure aggiornate di livello sonoro e traffico. In questi punti si è fatto il confronto tra il valore predetto dal modello e la misura, utilizzando come input del modello i dati di traffico effettivamente conteggiati durante il periodo di misura. Gli scarti, come mostra la tabella 3, sono assai contenuti e mostrano una generale lieve sottostima del modello. Tale risultato è del tutto atteso, trattandosi di punti di misura in vie a canyon, e avendo impostato il calcolo con un ridotto numero di riflessioni.

Tabella 3 – scarti tra valori misurati e valori calcolati dal modello, nelle 7 strade in cui si disponeva di conteggio orario dei flussi veicolari.

strada	Leq_{diurno} misurato – calcolato (dBA)
Aretina *	0,1
Bande nere	1,4
Mosse *	0,1
Olivuzzo	1,3
Salutati	0,5
Di Scandicci	0,2
Serragli*	1,6
* le strade segnate sono quelle su cui sono stati tarati i coefficienti di emissione	

Lo scarto tipo è pari a 0,7 dB e questo risultato non varia sostanzialmente anche se si escludono dal test i punti su cui è stata fatta la taratura dei coefficienti.

Questa verifica ci consente di escludere che l'algoritmo utilizzato possa essere responsabile di una parte significativa degli errori (scarti > di 3 dB) che si sono manifestati.

Dall'indagine di dettaglio sui punti che hanno manifestato simili errori emergono tre diverse possibili cause:

- Errori nella realizzazione del modello tridimensionale sorgente-ambiente di propagazione;
- misure di riferimento non sufficientemente aggiornate e quindi non corrispondenti all'attuale situazione simulata;
- errori del modello di traffico.

La prima fonte di errore è spesso taciuta nelle analisi sui problemi di affidabilità delle mappe acustiche. In realtà durante lo sviluppo del modello e nelle prime verifiche successive è apparso evidente che le modalità di importazione dei dati cartografici con cui viene schematizzato l'ambiente tridimensionale possono essere fonte di errori assai insidiosi perché capaci, al tempo stesso, di generare alterazioni importanti dei dati predetti e di sfuggire ad una semplice ricognizione visuale. Per diversi di questi vi è la concreta possibilità di accertare l'artefatto soltanto con una ravvicinata "ispezione" della visualizzazione tridimensionale del modello: cosa sostanzialmente impraticabile quando si debba procedere alla mappatura di una intera area urbana. Questa tipologia di errori erano stati però corretti in tutti i punti oggetto della verifica, non rientrano pertanto nell'analisi statistica qui condotta.

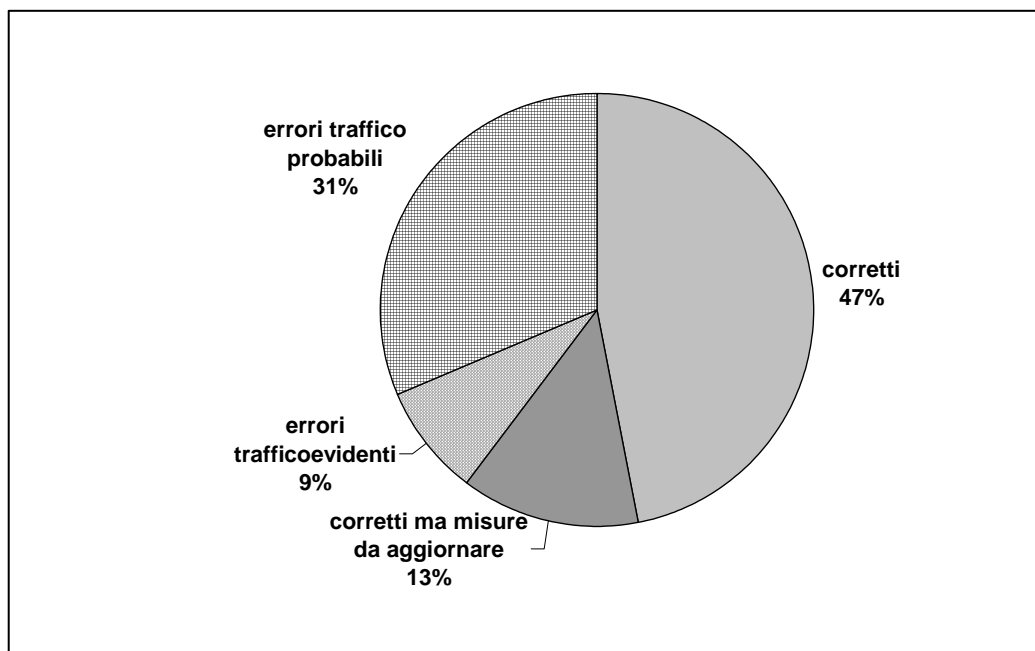
Su 4 punti erano immediatamente evidenti assegnazioni dei flussi di traffico da parte del modello del tutto irrealistiche.

Per valutare nei restanti 21 in quanti casi lo scarto fra modello e misure fosse da attribuirsi ad un valore non più attuale della misurazione occorre tener conto della verifica, effettuata varie volte in questi anni, che, complessivamente la rumorosità nella città di Firenze, negli ultimi 10 anni, non ha mostrato trend significativi. Pertanto il problema dell'aggiornamento delle misure è relativo a quelle situazioni dove localmente vi è stata una modificazione significativa dei flussi per le modifiche all'assetto viario. Per valutare la frequenza di queste situazioni si è proceduto secondo due diverse metodiche di inferenza che hanno prodotto risultati analoghi:

- è stata condotta una verifica su quattro postazioni a campione delle quali una sola è risultata da aggiornare in maniera significativa;
- si è fatta un'analisi della prevalenza di dati errati tra i punti con le misure più vecchie e quelli più recenti: da tale analisi si può stimare una probabilità di misure da aggiornare, tra i dati errati, superiore al 20% (pari a poco più del 10% totale del campione delle misure).

A questo punto è possibile, assegnando a problemi di aggiornamento del dato misurato, prudentemente, un 30% degli errori riscontrati, ricostruire il tasso di affidabilità della nostra simulazione e le cause di errore, come mostrato nel grafico di figura 1, dove sono riportati in quadrettato le diverse tipologie di dati valutati errati ed in campo unito quelli corretti.

Figura 1 – Ripartizione dei punti di verifica in rapporto all'accuratezza delle stime dei livelli sonori: sono considerati corretti quelli con scarti dalle misure di riferimento inferiori a 3 dBA.



Il risultato saliente è che su circa il 40% dei ricettori si producono errori rilevanti di stima dei livelli sonori a causa dell'inaffidabilità del modello di traffico. Occorre inoltre osservare che mentre l'estrapolazione dal traffico dell'ora di punta a quello medio giornaliero comporta correzioni modeste e quindi incertezze associate relativamente piccole, le correzioni da attuare relativamente al periodo notturno sono assai rilevanti e quindi agli errori di stima del modello di traffico vanno aggiunte considerevoli possibilità di errore del processo di estrapolazione: è lecito quindi attendersi che l'accuratezza nel periodo notturno possa essere ancora inferiore.

D) CONCLUSIONI

1. Utilizzando fattori di emissione adattati alle caratteristiche del parco veicolare locale gli algoritmi di stima del modello di calcolo delle immissioni di rumore da traffico veicolare NMPB, nel contesto urbano fiorentino, forniscono stime sufficientemente accurate, almeno per quanto riguarda la facciata più esposta degli edifici.
2. I livelli sonori stimati possono essere affetti da notevoli errori a causa di due principali fattori:
 - artefatti nella ricostruzione tridimensionale del modello sorgenti-ambiente di propagazione;
 - inaccuratezza del modello di traffico;
 - necessità di dover estrapolare ai diversi periodi del giorno dati di traffico elaborati limitatamente al periodo diurno o, peggio, alla sola ora di punta.
3. Nel caso fiorentino gli errori del modello di traffico hanno causato scarti superiori a 3 dBA in circa il 40% dei punti di stima

Bibliografia

- [1] Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale
- [2] Raccomandazione della Commissione 2003/613/EC.
- [3] Health effects and risk of transport systems (HEARTS), <http://www.euro.who.int/hearts>
- [4] L. Moran, D. Casini, A. Poggi, "Fattori correttivi per i dati di emissione da utilizzare nei modelli previsionali di rumore stradale in ambito urbano", in Atti del 32 Congresso Nazionale AIA, Ancona, Italy, 2005.;