

MAPPATURA ACUSTICA DELLA RETE STRADALE DELLA PROVINCIA DI MILANO

Alessandro Bisceglie (1), Giovanni Zambon (1), Fabrizio Artom (2), Mattia Viganò (2), Franco Bertellino (3), Enza Anastasia (4), Marco Longoni (4)

- 1) Dipartimento di Scienze dell' Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca
- 2) Phoneco S.r.l., Milano
- 3) Microbel S.r.l., Torino
- 4) Direzione centrale trasporti e viabilità, Provincia di Milano

1. Introduzione

La rete stradale in gestione alla Provincia di Milano si compone di circa 1090 km lineari complessivi di infrastrutture che comprendono molteplici tipologie funzionali e coinvolgono diversi ambiti territoriali.

Il presente lavoro espone una procedura per la mappatura acustica della rete stradale di competenza della Provincia di Milano in ottemperanza alla prima scadenza prevista dal D.Lgs. 194/2005, ovvero relativa alle arterie stradali per cui è stimato un flusso veicolare superiore ai sei milioni di transiti all'anno. Le diverse fasi della procedura sono state messe a punto con riferimento anche alle raccomandazioni del *WG-AEN Good Practice Guide* [1], sulla base dei dati effettivamente disponibili nella Provincia di Milano.

Scopo finale è la definizione, mediante una modellizzazione acustica, degli indicatori L_{den} e L_{night} sul territorio circostante le infrastrutture e la stima della popolazione esposta ai differenti livelli di rumore. L'operazione di mappatura acustica del territorio è propedeutica all'elaborazione di un Piano d'Azione, definito sempre dal D.Lgs. 194/2005, volto a individuare e dimensionare gli interventi necessari per il risanamento acustico.

2. Dati iniziali

I dati necessari all'espletamento delle attività di simulazione delle emissioni sonore e della loro propagazione nell'ambiente circostante sono stati ricavati in una fase preliminare di raccolta e trattamento dei diversi livelli di informazioni disponibili. Tutte le informazioni sono state catalogate, archiviate ed elaborate in un sistema informativo territoriale in ambiente GIS, creato allo scopo per ciascuna Strada Provinciale.

2.1 Dati territoriali georeferenziati

Le fonti principali di dati territoriali sono state le aerofotogrammetrie comunali (in formato cad) e le informazioni sulla destinazione d'uso del territorio (fonte MISURC: Mosaico Informatizzato degli Strumenti Urbanistici Comunali, fornito dall'amministrazione provinciale); in alternativa si è fatto ricorso ad ortofoto satellitari e carta tecnica regionale, ricorrendo in alcuni casi alla digitalizzazione di alcune informazioni mancanti.

Sono state quindi raccolte ed inserite nel sistema informativo geografico le seguenti tipologie di informazioni:

- Grafo vettoriale georeferenziato della rete stradale fornito dall'amministrazione provinciale: il grafo individua il tracciato delle arterie oggetto di studio (per un totale di circa 410 km lineari) ad una scala di bassa definizione; nel progetto GIS è stato corretto l'andamento planimetrico delle strade rispetto a informazioni cartografiche di maggior dettaglio.
- Caratterizzazione dell'orografia del territorio a partire da punti quotati presenti nelle aerofotogrammetrie comunali o da informazioni puntuali su base regionale.
- Caratterizzazione dell'edificato e altre strutture antropiche: la volumetria dell'edificato è stata calcolata dalle informazioni puntuali (quota gronda relativa o assoluta) contenute negli aerofotogrammetrici comunali relative ad ogni singolo edificio. Ad ogni edificio è stata assegnata la destinazione d'uso, in particolare per l'individuazione degli edifici ad uso residenziale, facendo ricorso all'indicazione da layer dell'aerofotogrammetrico o, in alternativa, all'utilizzo della mosaicatura dei piani regolatori comunali. È stato quindi assegnato un valore di popolazione residente ad ogni edificio utilizzando il dato medio comunale di occupazione "mq per abitante residente" (fonte: Censimento ISTAT 2001) moltiplicato per la superficie lorda di pavimento totale, ipotizzando un'altezza media di 3 metri per piano.
- Recettori particolarmente sensibili (scuole, ospedali, case di cura e di riposo): la loro identificazione e collocazione spaziale è avvenuta mediante informazioni fornite dai singoli comuni, aerofotogrammetria comunale e ortofoto satellitari; è stato inserito nel database informativo il dato relativo al numero di utenti (studenti/posti letto) per ogni struttura.
- Interventi di mitigazione già esistenti o programmati: sono stati localizzati e georeferenziati nel sistema informativo alcuni interventi di mitigazione, quali l'inserimento di barriere fonoassorbenti e la posa di asfalto poroso, che hanno un effetto significativo sulla propagazione sonora e che concorrono, già in fase di mappatura, ad un contenimento della popolazione esposta.

2.2 Dati di traffico

L'assegnazione dei flussi di traffico (distinti per periodo diurno, serale, notturno e classificati in veicoli leggeri e pesanti) al grafo stradale oggetto di studio, si è basata su alcune informazioni di partenza:

- rilievi sperimentali effettuati mediante spire magnetiche dalla Provincia di Milano su base annua nel periodo 2005-2006 in 54 postazioni utili, con cadenza oraria;
- 8 rilievi di durata settimanale eseguiti con piastre magnetiche contatraffico dal gruppo di lavoro, con cadenza oraria.
- un tematismo GIS (in formato shapefile) che riporta i risultati di una simulazione condotta nel 2001 su un grafo stradale comprendente la rete di competenza provinciale. Tale shapefile riporta l'indicazione, per ogni arco stradale, del flusso veicolare

stimato nell'ora di punta (8:00 – 9:00) di un giorno feriale espresso in veicoli equivalenti.

Sono stati inoltre definiti dei criteri di distribuzione del traffico in base ai quali sono stati individuati i tratti interessati da un numero di transiti annui superiore a 6 milioni; le assunzioni per tale calcolo sono le seguenti:

- il traffico circolante nelle giornate di domenica è pari al 60% del traffico giornaliero feriale;
- il traffico circolante nelle giornate di sabato è pari all'80% del traffico giornaliero feriale;
- il traffico circolante nei giorni del mese di agosto è pari al 60% del traffico giornaliero feriale.

Da ciò si deduce che un anno solare è composto da 324 giorni feriali equivalenti.

La procedura per l'assegnazione delle informazioni necessarie ad ogni arco stradale può essere schematizzata nei seguenti passaggi:

1) Dai 62 rilievi sperimentali disponibili, sono stati ricavati, mediante elaborazioni e aggregazioni dei dati, le seguenti informazioni:

- andamento giornaliero medio (a cadenza oraria) del traffico totale circolante;
- andamento giornaliero medio (a cadenza oraria) espresso in percentuale rispetto al traffico giornaliero totale, da cui è possibile estrapolare la percentuale di traffico circolante nell'ora di punta (8:00 – 9:00) e le percentuali di traffico circolanti nel periodo DIURNO (06:00 – 20:00), nel periodo SERALE (20:00 – 22:00) e nel periodo NOTTURNO (22:00 – 06:00);
- classificazione del traffico in 8 classi di lunghezza dei veicoli, da cui sono state ricavate le classi “veicoli leggeri” (lunghezza < 7,5 m) e “veicoli pesanti” (lunghezza > 7,5 m);
- classificazione del traffico in 6 classi di velocità, assegnate ad ogni categoria di lunghezza, da cui è stato possibile attribuire una velocità media per veicoli leggeri e una per veicoli pesanti a ciascun periodo di riferimento.

2) Per poter assegnare una distribuzione e una classificazione del traffico a ciascun arco stradale a partire dall'unica informazione disponibile su tutta la rete (flusso nell'ora di punta del mattino), è stato necessario effettuare una suddivisione in classi dei tratti di strada interessati dai rilievi sperimentali. La classificazione è stata condotta mediante una analisi statistica sul campione di dati iniziale, utilizzando come parametri quelli che hanno maggior peso nella definizione delle emissioni sonore da traffico, determinando gruppi statisticamente significativi e distinti tra di loro secondo il metodo di raggruppamento *k-means* [2].

Per ciascun gruppo sono stati quindi calcolati i valori medi di traffico necessari per la definizione degli scenari temporali, espressi in funzione della percentuale di flusso circolante nell'ora di punta, ottenendo così dei fattori di conversione tra ora di punta e dati medi di traffico.

3) Poiché il dato dell'ora di punta di cui si dispone è relativo a un giorno feriale tipico, è stato necessario operare una correzione di tale valore per riprodurre uno scenario medio su base annua (che tenga cioè conto della presenza di giorni festivi). Per fare ciò, si è ricorsi all'individuazione dei *giorni feriali equivalenti* secondo quanto precedentemente esposto. Il dato dell'ora di punta viene pertanto corretto secondo la seguente espressione:

$$(1) \quad \text{ora di punta annua} = \text{ora di punta feriale} * (324/365)$$

Poiché il dato dell'ora di punta simulato si riferisce al numero di *veicoli leggeri equivalenti*, una seconda correzione è necessaria per ottenere un numero di veicoli assoluti (leggeri + pesanti). Il calcolo di tale fattore di correzione è stato ottenuto a partire da una percentuale media di veicoli pesanti sul totale e dal fattore di equivalenza leggeri/pesanti utilizzato nella simulazione dei flussi di traffico.

4) L'ultimo passaggio consiste nell'assegnazione di una delle classi a ciascun arco stradale tra quelli di cui si possiede il dato simulato nell'ora di punta.

Questa operazione, in mancanza di altre fonti di informazione e di evidenze legate alla classificazione funzionale delle strade, è stata condotta mediante una analisi di prossimità e di affinità funzionale di ogni arco rispetto agli archi interessati da rilievi sperimentali.

In questo modo, a partire dal dato assoluto del flusso circolante nell'ora di punta, applicando i fattori di conversione individuati per ogni gruppo di strade, si sono ottenuti dati stimati relativi a tutti i parametri di interesse per la simulazione acustica.

Le velocità medie per categoria di veicoli per ciascun periodo di riferimento sono state definite con valori medi per tipologia di strada (ad alto scorrimento, extraurbane, tratti di attraversamento urbano). Sono state apportate correzioni per casi particolari come la presenza di rotatorie e svincoli.

3. Modellizzazione acustica

Il modello di simulazione utilizzato (IMMI vers. 5.3) è conforme al metodo di calcolo ufficiale della Unione Europea indicato dalla *Raccomandazione della Commissione del 6 agosto 2003* (2003/613/CE) e dall'all. 2 del D.lgs. 194/2005, ovvero il metodo conosciuto come NMPB – Routes 96 (SETRA – CERTU – LCPC – CSTB).

Il modello contempla la suddivisione temporale secondo i periodi diurno, serale e notturno permettendo il calcolo delle mappe acustiche e dei livelli in facciata agli edifici L_{day} , $L_{evening}$ ed L_{night} e la derivazione automatica da questi del valore del descrittore acustico L_{den} , in forma di mappa acustica o puntuale.

Le simulazioni modellistiche dell'emissione sonora prodotta dalle arterie stradali sono state estese ad un corridoio di analisi con una semiampiezza massima di 1200 metri. Tale distanza dalla sorgente di rumore garantisce che, anche nel caso di campo libero e di altre condizioni favorevoli alla propagazione e con i massimi flussi veicolari stimati, si raggiunga la rappresentazione dell'isofonica dei 55 dB(A) di L_{den} [3], come richiesto dalla normativa. Tutti i dati in input (ad eccezione dei dati orografici) nel modello sono stati pertanto ristretti ad una fascia di 1200 metri per lato rispetto alla linea dell'infrastruttura.

Le fasi della procedura di riproduzione modellistica degli scenari di simulazione sono le seguenti:

- Caratterizzazione dell'orografia del territorio oggetto di studio a partire dall'importazione nel modello di punti quotati; viene calcolato un modello digitale del terreno, la cui risoluzione è funzione della qualità dei dati disponibili.
- Input nel modello degli archi stradali: sono stati assegnati ad ogni arco, considerato uniforme, i flussi veicolari medi su base annua calcolati come descritto nel Par. 2.2. Sulla base dei dati di traffico calcolati, ogni strada è stata suddivisa in sezioni laddove si riscontri una variazione maggiore del 50% tra un tratto e il tratto iniziale. Que-

sta operazione comporterà poi, in fase di aggregazione dei dati, delle differenze sulle somme parziali di persone ed edifici esposti.

Ogni arteria stradale è stata caratterizzata in base alle informazioni su ampiezza e numero di corsie e carreggiate, tipologia di manto stradale. Per alcune strade è stata inoltre fornita una strisciata aerofotogrammetrica tridimensionale del tracciato per un corridoio di 100 m per lato rispetto all'asse stradale, che contiene curve di isolivello altimetriche e linee quotate; questa ha consentito la riproduzione puntuale degli andamenti altimetrici (in particolare trincee, viadotti, svincoli, rilevati) e delle ampiezze della sede stradale, nonché di eventuali intersezioni a livelli sfalsati rispetto ad altre infrastrutture.

- Sono state inserite nel modello le informazioni poligonali relative all'edificato circostante le infrastrutture stradali, con la definizione, per ciascun elemento, dell'altezza relativa, della destinazione d'uso e della popolazione residente nel caso di edifici civili. Le proprietà acustiche delle superfici verticali sono state assegnate in modo uniforme (coefficiente di riflessione = 1).
- Il coefficiente di assorbimento del suolo è stato impostato con un valore medio di *ground factor* pari a 0,5 per le zone residenziali; sono state introdotte aree con valori di assorbimento maggiori nelle zone extraurbane (campi, boschi, parchi) senza presenza di edifici.

Il calcolo dei livelli di rumore è stato eseguito, nelle aree interessate da ciascuna arteria stradale, secondo due modalità: in forma di mappatura acustica areale, ottenuta dall'interpolazione dei livelli stimati su una griglia regolare di punti alla quota costante di 4 metri sul livello del terreno; in forma puntuale, mediante calcolo del livello massimo stimato in facciata (a 2 metri di distanza dalla stessa) sui singoli edifici residenziali e sui ricettori sensibili. Per la determinazione dei livelli L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} ed L_{den} in facciata degli edifici il modello è stato impostato con l'esclusione della componente riflessa dalla facciata retrostante. L'assegnazione di un valore di rumore puntuale a ciascun edificio consente l'attribuzione diretta della popolazione residente ad una determinata fascia di esposizione.

4. Formato e presentazione dei risultati

Sulla base del dato medio comunale ISTAT 2001 "mq per residente", della volumetria degli edifici residenziali desunta dalle informazioni cartografiche disponibili e dei risultati delle simulazioni acustiche, mediante software GIS, sono stati calcolati per ogni sezione delle infrastrutture oggetto di studio:

- il numero totale stimato di persone che occupano abitazioni situate al di fuori degli agglomerati esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli di L_{den} in dB(A) a 4 m di altezza e sulla facciata più esposta: 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75;
- il numero totale stimato di persone che occupano abitazioni situate al di fuori degli agglomerati urbani esposte a ciascuno dei seguenti intervalli di livelli di L_{night} in dB(A) a 4 m di altezza sulla facciata più esposta: 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70;
- la superficie totale in km², il numero totale stimato di abitazioni e il numero totale stimato di persone esposte a livelli di L_{den} rispettivamente superiori a 55, 65 e 75 dB(A). La superficie totale esposta in km² è stata calcolata come somma delle aree delle celle elementari della griglia di simulazione il cui livello, in base ai risultati del calcolo della mappa acustica, superi i livelli L_{den} richiesti.

Tutti i dati sono quindi aggregati per sezione, ovvero in funzione delle variazioni di traffico annuo su ciascuna infrastruttura.

I risultati ottenuti sono stati predisposti per una duplice forma di presentazione: cartacea, con lo scopo anche di agevolarne la lettura e la comprensione da parte della popolazione; informatica, per adempiere sia alle richieste del committente sia alle necessità di raccolta dati a livello nazionale e comunitario.

La rappresentazione cartacea scelta prevede un elaborato, prodotto per ogni Strada Provinciale, che si compone sostanzialmente delle seguenti parti:

- una sintesi non tecnica esplicativa di presentazione del lavoro e dei principali passi operativi;
- dati in forma tabulare contenenti informazioni sulla strada (dimensioni e flussi di traffico) e i risultati in forma numerica relativi a popolazione, edifici e superfici esposti alle diverse fasce di livello di L_{den} ed L_{night} per ogni sezione di strada;
- tavola grafica di inquadramento generale dell'infrastruttura in oggetto e sua collocazione all'interno del territorio provinciale, con indicazione della rete stradale di competenza del gestore e delle infrastrutture concorrenti di altri gestori;
- tavole grafiche di dettaglio con mappe dell'esposizione massima in facciata degli edifici residenziali e dei ricettori sensibili; tali mappe individuano l'assegnazione di ciascun edificio ad un livello di esposizione sonora (secondo i descrittori L_{den} ed L_{night}) mediante la rappresentazione del bordo dell'edificio secondo una scala cromatica. Viene inoltre indicata la presenza di tutti i recettori particolarmente sensibili studiati e l'eventuale presenza di interventi di mitigazione già in essere.

Tutte le tavole grafiche riportano come base cartografica l'aerofotogrammetrico comunale.

Per ogni infrastruttura stradale provinciale con traffico veicolare superiore ai 6 milioni di veicoli/anno sono stati prodotti inoltre i seguenti strati informativi in formato digitale georeferenziati sia secondo il sistema Gauss-Boaga sia secondo il sistema di riferimento WGS84, adottando la proiezione cilindrica trasversa di Gauss, nella versione UTM (Universal Transverse Mercator):

- Tracciato dell'asse stradale principale oggetto di studio, contenente informazioni in merito alla lunghezza e al traffico dell'asse (shapefile di tipo lineare);
- Curve di isolivello L_{den} 55, 65, 75 dB(A) contenente informazioni in merito alla superficie, alle abitazioni ed alla popolazione esposta (shapefile di tipo lineare);
- Superfici corrispondenti agli intervalli di livello L_{den} 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75 contenente informazioni in merito alla popolazione esposta (shapefile di tipo poligonale);
- Superfici corrispondenti agli intervalli di livello L_{night} 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, >70 contenente informazioni in merito alla popolazione esposta (shapefile di tipo poligonale).

Gli shapefile di tipo poligonale sono costituiti dall'insieme delle celle (ovvero i *pixel* con baricentro nel punto di calcolo della griglia) a ciascuna delle quali è associata l'informazione numerica del livello di rumore stimato.

La struttura degli strati informativi segue i dettami del documento "Specifiche tecniche per la realizzazione e la consegna della documentazione digitale relativa a Mappature acustiche e mappe acustiche strategiche (D.Lgs. 194/05)" redatto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

5. Conclusioni

Le operazioni di mappatura acustica sopra descritte hanno portato alla definizione dei livelli di rumore stimati, relativamente ai nuovi descrittori acustici L_{den} ed L_{night} , a carico delle infrastrutture stradali della Provincia di Milano. Complessivamente sono state studiate 58 Strade Provinciali, suddivise in 90 sezioni distinte ai fini dell'aggregazione dei risultati. L'area mappata totale è stata di oltre 800 km², pari a circa il 40% dell'intero territorio provinciale.

La procedura seguita consentirà un agevole adeguamento, laddove necessario, alle mutate condizioni urbanistiche e infrastrutturali, nonché un possibile aggiornamento dei volumi di traffico circolanti. I risultati prodotti in forma digitale permettono inoltre l'integrazione o sovrapposizione con altre mappe analoghe, ad esempio per l'esigenza di individuare la concorsualità di diverse infrastrutture al raggiungimento di determinati livelli di rumore o per la definizione di *mappe acustiche strategiche*.

Relativamente al Piano d'Azione, non essendo al momento presenti dei valori limite di riferimento per gli indicatori L_{den} ed L_{night} , non è possibile individuare e quantificare criticità acustiche. Si prevede, pertanto, che gli interventi di mitigazione acustica a carico delle strade su cui è stimato un flusso veicolare superiore ai 6 milioni di transiti annui, siano desunti dal *Piano di contenimento ed abbattimento del rumore*, in fase di completamento da parte della Provincia di Milano, ai sensi del D.M.A. 29/11/2000, per l'intera rete stradale.

Bibliografia

- [1] European Commission WG-AEN “*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*”, Version 2, 13 gennaio 2006.
- [2] A. Bisceglie, G. Zambon, S. Radaelli “*Procedura di assegnazione di flussi veicolari a una rete stradale per la stima dell'emissione acustica*”. Atti del 34° Convegno Nazionale AIA, Firenze, 13-15 giugno 2007.
- [3] G. Zambon, S. Radaelli, A. Bisceglie “*Criteria for determination of the area to be mapped around roads (Directive 2002/49/EC)*”, 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2-7 settembre 2007.