

La mappatura acustica di strade extraurbane e la scelta di appropriati coefficienti di emissione sonora veicolare: confronto fra simulazioni e misure in alcuni casi studio

Verdolini T.

ARPAT, Settore Agenti Fisici, Via Ponte alle Mosse 211, Firenze, t.verdolini@arpat.toscana.it

Ranoisio M.

Casini D.

ARPAT, Settore Agenti Fisici, Via Ponte alle Mosse 211, Firenze, d.casini@arpat.toscana.it

PREMESSA

La linea guida NMPB se utilizzata per la simulazione del rumore prodotto dal traffico stradale in ambito urbano, porta a delle sovrastime dei livelli sonori. Negli scorsi anni si sono determinati, per la città di Firenze, dei fattori correttivi ai coefficienti di emissione che hanno portato ad un buon accordo tra i livelli di rumore rilevati e quelli stimati su base modellistica. Recentemente la stima di analoghi coefficienti è stata ripetuta in ambito extraurbano per la stima dei livelli sonori prodotti dalla rete stradale di competenza della Regione Toscana. Nel presente lavoro viene illustrato il confronto, su alcuni casi studio individuati nelle province di Firenze e di Prato, tra i livelli sonori misurati e quelli calcolati applicando i diversi coefficienti di emissione. Vengono in particolare esaminati separatamente i contesti stradali dentro e fuori i centri abitati per evidenziarne le differenze.

DESCRIZIONE DEL CONTESTO

La Regione Toscana ha affidato ad ARPAT il compito di individuare le aree acusticamente critiche ai sensi del DMA 29.11.2000, al fine di proseguire con il risanamento delle infrastrutture stradali di propria competenza.

Le aree acusticamente critiche vengono individuate seguendo una procedura, già testata negli scorsi anni (Casini, Poggi, Verdolini, 2007), che prevede di determinare il livello sonoro massimo sulla facciata di ogni edificio, sia esso residenziale o sede di ricettore sensibile.

Le strade di competenza della Regione Toscana sono una realtà molto eterogenea sia dal punto di vista morfologico sia per quanto riguarda i volumi di traffico. Ad esempio, le strade regionali che percorrono l'Appennino sono strade di montagna, caratterizzate da forti pendenze e numerose curve, alcune delle quali con ridotto raggio di curvatura; le strade lungo la costa sono caratterizzate da lunghi rettilinei con curve a raggio di curvatura elevato. I volumi di traffico sono estremamente variabili: si hanno strade con volumi di traffico elevati e pressoché stabili nel corso dell'anno con velocità sostenute e si hanno strade che conducono alle località turistiche caratterizzate da una marcata stagionalità.

Alcune strade regionali attraversano centri abitati con popolazione superiore ai mille abitanti, all'interno dei quali si è valutata la possibilità di avere un traffico locale non trascurabile.

LA CAMPAGNA DI MISURE E LA DETERMINAZIONE DEI FLUSSI DI TRAFFICO

La campagna di misure è stata condotta con il duplice obiettivo di caratterizzare i flussi di traffico sul lungo periodo da inserire nel software di simulazione e di poter disporre di dati per testare l'affidabilità delle simulazioni modellistiche.

Le strade della regione Toscana sono state suddivise in tratti "acusticamente omogenei", ovvero in tratti all'interno dei quali si suppone che le modifiche nei flussi di traffico siano di modesta entità. Su ciascun tratto omogeneo si dispone di un conteggio di traffico; i conteggi di traffico e la misura delle velocità sono stati effettuati con diversi mezzi e differenti metodologie, riconducibili ad uno dei seguenti casi:

- A. Misura in continua con postazione fissa; in questo caso si hanno a disposizione:
 - il volume totale medio giornaliero distinto in mezzi leggeri e pesanti (veicoli/giorno) per ogni mese dell'anno;
 - i flussi veicolari (veicoli/h) e le velocità medie di percorrenza per ogni ora di una settimana per stagione, distinti in mezzi leggeri e mezzi pesanti.
- B. Misura in continua con postazione mobile; in questo caso si hanno a disposizione per ogni ora e per un intervallo di tempo variabile dalle 48 ore alla settimana:

- i livelli sonori;
- i flussi veicolari (veicoli/h) e le velocità medie di percorrenza, distinti in mezzi leggeri e mezzi pesanti, rilevati con sistemi contatraffico radar.

C. Misura spot; in questo caso si hanno a disposizione per tre intervalli di quindici minuti:

- i livelli sonori;
- i flussi veicolari distinti in mezzi leggeri e mezzi pesanti, contati manualmente;
- una stima approssimativa della velocità di percorrenza.

I rilievi di tipo A e B sono relativi ad ambiti extraurbani, mentre quelli di tipo C hanno interessato sia tali aree che i tratti in attraversamento di centri abitati. In quest'ultimo caso, le indagini hanno riguardato aree abitate di una certa entità, ossia con popolazione residente superiore ai mille abitanti; al loro interno, è stata operata una segmentazione in tratti omogenei più fine di quella utilizzata nell'area extraurbana; le misure spot di tipo C sono state eseguite su ciascuno di tali tratti.

Ai fini della mappatura acustica, il calcolo dei flussi di traffico su base annua è avvenuto tramite l'applicazione di una procedura di elaborazione dei dati basata sulle misure di tipo A, con le quali il dato di lungo periodo è stato esteso a tutti i tratti omogenei della strada. Per questo, è stato tenuto conto dei giorni e delle ore in cui sono stati effettuati i rilievi e del tipo di dato disponibile, in seguito alle differenti misure effettuate; è stato inoltre ipotizzato che le fluttuazioni stagionali siano applicabili in modo omogeneo a tutta l'estensione dell'asse stradale.

LA CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE

I livelli sonori sono stati calcolati tramite un software commerciale che implementa il metodo di calcolo NMPB Routes-96, citato nella norma XPS 31-133; i parametri in ingresso, utilizzati per caratterizzare l'emissione acustica della sorgente sono:

- flussi di mezzi leggeri e pesanti;
- velocità di transito per mezzi leggeri e pesanti;
- tipo di flusso;
- correzione dovuta al manto stradale;
- pendenza della strada, determinata in maniera automatica in base al modello del terreno.

In ambito urbano, si è potuto osservare che l'applicazione del metodo NMPB porta a delle sovrastime dei livelli sonori calcolati, che rendono necessaria l'applicazione di opportuni fattori correttivi dei flussi veicolari (Moran, Casini, Poggi, 2005).

Per questo è stato condotto uno studio preliminare su un campione di 10 strade regionali, in base al quale sono stati ricavati dei nuovi dati di emissione veicolare, da utilizzare in sostituzione a quelli forniti in automatico dal metodo di calcolo. In particolare sono stati ricavati dei fattori correttivi per i flussi di traffico in modo da modificare i dati dell'abaco NMPB (Casini, Magherini, 2012).

I due tipi di coefficienti emissivi e i relativi fattori correttivi dei flussi veicolari, per l'ambito urbano e quello extraurbano, sono stati testati confrontando i livelli sonori misurati con quelli calcolati dal software di simulazione.

I test sono stati effettuati per tutti i siti di misura, ad eccezione di quelli utilizzati per il calcolo dei coefficienti di emissione.

Per caratterizzare l'emissione della sorgente strada si devono inserire quattro valori che si riferiscono a:

- volume di traffico dei veicoli leggeri, M_L ;
- volume di traffico dei veicoli pesanti, M_P ;
- velocità di riferimento dei veicoli leggeri, V_L ;
- velocità di riferimento dei veicoli pesanti, V_P ;

Per ottenere i primi due valori si utilizzano le seguenti formule:

$$M_{L,K} = K_L * m_L$$

$$M_{P,K} = K_P * m_P$$

$$M_{L,C} = C_L * m_L$$

$$M_{P,C} = C_P * m_P$$

dove:

M_L è il flusso di veicoli leggeri equivalente;

M_P è il flusso di veicoli pesanti equivalente;
 m_L è il flusso di veicoli leggeri transitati;
 m_P è il flusso di veicoli pesanti transitati;
 K_L e K_P sono i coefficienti di emissione da applicare in ambito urbano;
 C_L e C_P sono i coefficienti di emissione da applicare in ambito extra-urbano.

I coefficienti K vengono solitamente usati in ambito cittadino e hanno dei valori fissi per la velocità di 50 km/h ($K_L=0,625$ e $K_P=0,21$), mentre i valori di C sono fissi per i veicoli pesanti ($C_P = 0,8$) e cambiano per i veicoli leggeri in funzione della velocità media registrata ($C_L = 1,4$ per $v < 72,5$ km/h e $C_L = 1,5$ per $v \geq 72,5$ km/h). Per quanto riguarda le velocità si devono utilizzare i valori standard riportati in tab. 1.

Tabella 1 – Velocità da utilizzare nel programma di simulazione

Velocità misurata [km/h]	V_K		V_C	
	leggeri	pesanti	leggeri	pesanti
$v < 62,5$	50	50	55	60
$62,5 \leq v < 72,5$	50	50	65	60
$v \geq 72,5$	50	50	75	60

DESCRIZIONE DELLE VERIFICHE

Per testare l'affidabilità dei coefficienti di emissione descritti nel paragrafo precedente, si sono analizzati alcuni casi studio sia in ambito urbano sia in ambito extraurbano.

In ciascuno dei casi studio si ha a disposizione una misura del livello sonoro equivalente correlata ai flussi dei veicoli leggeri e pesanti e alle velocità di transito durante l'intervallo di rilevazione.

Le verifiche in ambito urbano hanno riguardato le misure effettuate in quattro centri abitati con più di mille abitanti, attraversati da una strada regionale. In tab. 2 sono riportati, a titolo di esempio, i flussi di traffico in ingresso al modello nei differenti scenari: nella terza e nella quarta colonna sono riportati i flussi di traffico misurati, nella colonna K quelli pesanti con il coefficiente determinato per la città di Firenze e quindi associati ad un ambito fortemente urbanizzato e nella colonna C quelli pesanti con il coefficiente determinato per l'ambito extraurbano.

Tabella 2 – Flussi di traffico nei centri abitati

Centro abitato /Postazione	Nome misura	Flussi di traffico misurati [veicoli/h]		Flussi di traffico "corretti" [veicoli/h]			
				K		C	
		leggeri	pesanti	leggeri	pesanti	leggeri	pesanti
San Casciano /a	SR 2 SCa-1	912	40	570	8,4	1276,8	32
	SR 2 SCa-2	952	36	595	7,6	1332,8	28,8
	SR 2 SCa-3	944	24	590	5	1321,6	19,2
San Casciano /b	SR 2 SCb-1	708	40	442,5	8,4	991,2	32
	SR 2 SCb-2	660	40	412,5	8,4	924	32
	SR 2 SCb-3	656	28	410	5,9	918,4	22,4
San Casciano /c	SR 2 SCc-1	228	44	142,5	9,2	319,2	35,2
	SR 2 SCc-2	212	60	132,5	12,6	296,8	48
	SR 2 SCc-3	200	20	125	4,2	280	16
Greve in Chianti	SR 222 GC-1	644	68	402,5	14,3	901,6	54,4
	SR 222 GC-2	612	32	382,5	6,7	856,8	25,6
	SR 222 GC-3	756	68	472,5	14,3	1058,4	54,4
Badia a Ripoli	SR 222 Bad-1	996	20	622,5	4,2	1394,4	16
	SR 222 Bad-2	868	24	542,5	5,0	1215,2	19,2
	SR 222 Bad-3	876	20	547,5	4,2	1226,4	16
Mercatale /a	SR 325 Ma-1	440	40	275	8,4	616	32
	SR 325 Ma-2	480	36	300	7,6	672	28,8
	SR 325 Ma-3	360	28	225	5,9	504	22,4
Mercatale /b	SR 325 Mb-1	496	48	310	10,1	694,4	38,4
	SR 325 Mb-2	492	48	307,5	10,1	688,8	38,4
	SR 325 Mb-3	472	36	295	7,6	660,8	28,8

Dall'esame della tab. 2 è possibile osservare l'effetto dei coefficienti applicati sui flussi di traffico da inserire nel modello. Inoltre, si può osservare come nel caso del paese di San Casciano i flussi di traffico siano diversi per le differenti postazioni, mentre nel caso del paese di Mercatale è evidente una eccessiva segmentazione del centro abitato, rispetto alla reale variabilità dei dati.

Le verifiche in ambito extraurbano hanno riguardato sia le misure effettuate secondo la metodologia C (otto postazioni su cinque differenti strade) sia le misure effettuate con metodologia B (una strada per quattro giorni), in quest'ultimo caso si è potuto inserire nel modello la velocità media effettivamente misurata in ciascun periodo di riferimento.

RISULTATI

I livelli sonori sono stati calcolati inserendo nel software di simulazione i flussi di traffico "corretti" con i coefficienti di emissione e si è confrontato il livello sonoro misurato con quello calcolato nei diversi scenari.

In tab. 3 sono riportati i livelli sonori misurati, all'interno dei centri abitati, nelle differenti postazioni ed i corrispondenti livelli sonori calcolati. I livelli sonori sono stati calcolati con i flussi di traffico misurati (colonna S), con i flussi di traffico corretti con il coefficiente K (colonna K) e con i flussi di traffico corretti con il coefficiente C (colonna C).

Tabella 3 – Risultati delle verifiche nei centri abitati

Nome misura	Leq misurato [dBA]	Leq calcolato [dBA]			Leq misurato -Leq calcolato			Media differenze		
		S	K	C	S	K	C	S	K	C
SR 2 SCa-1	69,7	71,0	67,6	72,2	1,3	2,1	2,5	1,5	1,7	2,9
SR 2 SCa-2	69,6	71,0	67,7	72,3	1,4	1,9	2,7			
SR 2 SCa-3	68,5	70,4	67,4	71,9	1,9	1,1	3,4			
SR 2 SCb-1	68,0	71,0	66,8	71,6	3,0	1,2	3,6	2,2	1,4	3,5
SR 2 SCb-2	68,1	69,9	66,5	71,4	1,8	1,6	3,3			
SR 2 SCb-3	67,6	69,3	66,2	71,1	1,7	1,4	3,5			
SR 2 SCc-1	65,5	70,0	66,5	71,5	4,5	1,0	6,0	4,7	1,3	5,6
SR 2 SCc-2	65,0	71,6	67,0	72,0	6,6	2,0	7,0			
SR 2 SCc-3	66,0	68,9	65,0	69,8	2,9	1,0	3,8			
SR 222 GC-1	70,8	74,6	70,2	76,0	3,8	0,6	5,2	4,0	0,3	5,7
SR 222 GC-2	68,9	72,7	69,1	74,9	3,8	0,2	6,0			
SR 222 GC-3	70,5	74,8	70,7	76,5	4,3	0,2	6,0			
SR 222 Bad-1	68,5	72,5	69,4	73,5	4,0	0,9	5,0	4,2	1,0	5,2
SR 222 Bad-2	68,0	72,2	68,9	73,1	4,2	0,9	5,1			
SR 222 Bad-3	67,6	72,1	68,9	73,0	4,5	1,3	5,4			
SR 325 Ma-1	69,3	69,6	66,0	72,3	0,3	3,3	3	1,4	2,3	3,2
SR 325 Ma-2	67,5	69,9	66,2	71,3	2,4	1,3	3,8			
SR 325 Ma-3	67,2	68,7	65,0	70	1,5	2,2	2,8			
SR 325 Mb-1	69,5	73,5	69,6	74,5	4	0,1	5	3,9	0,4	5,0
SR 325 Mb-2	68,9	73,5	69,6	74,5	4,6	0,7	5,6			
SR 325 Mb-3	69,5	72,7	69,0	74	3,2	0,5	4,5			

Dall'esame della tab. 3 si può osservare come il metodo di calcolo applicato senza apportare correzioni ai flussi di traffico misurati o correggendo i flussi di traffico con i coefficienti C porti generalmente ad una sovrastima dei livelli sonori; correggendo i flussi di traffico con i coefficienti K si ha invece una sottostima dei livelli sonori che si avvicinano maggiormente a quelli calcolati.

In ambito extraurbano il confronto tra il livello sonoro calcolato e misurato è stato effettuato inserendo nel modello i flussi di traffico misurati e quelli corretti con il coefficiente C.

Nella tab. 4 vengono riportati i risultati del confronto tra i livelli sonori misurati sul breve periodo ed i corrispondenti livelli calcolati; le colonne indicate con S contengono i dati relativi all'applicazione del metodo senza correzioni sul flusso di traffico, le colonne indicate con C contengono i dati relativi all'applicazione del metodo con i flussi di traffico corretti con il coefficiente determinato per l'ambito extraurbano.

Dall'esame della tab. 4 si può osservare come, anche in ambito extraurbano, l'applicazione del metodo di calcolo porta alla sovrastima dei livelli sonori. Tale sovrastima si può osservare anche nel caso della correzione dei flussi di traffico con i coefficienti C.

Le verifiche in ambito extra urbano sono state effettuate, per un'unica postazione di misura, sui dati rilevati sul lungo periodo. In questo caso si è potuto disporre dei livelli sonori misurati anche nel periodo notturno e la rilevazione dei flussi veicolari e delle velocità è stata effettuata tramite un conta traffico radar.

Tabella 4 – Risultati delle verifiche in ambito extra urbano

Nome misura	Leq misurato [dBA]	Leq calcolato [dBA]		Leq misurato – Leq calcolato		Media differenze	
		S	C	S	C	S	C
SR 2 Tav-1	69,9	73,8	74,0	3,9	4,1	3,9	4,3
SR 2 Tav-2	70,4	74,3	74,7	3,9	4,3		
SR 2 Tav-3	69,7	73,5	74,2	3,8	4,5		
SR 2 Pal-1	61,5	64,2	65,1	2,7	3,6	3,6	3,9
SR 2 Pal-2	64,4	68,5	68,4	4,1	4,0		
SR 2 Pal-3	62,8	66,7	66,8	3,9	4,0		
SR 222 Gre-1	69,4	69,1	70,0	0,3	0,6	0,4	0,8
SR 222 Gre-2	68,5	69,2	69,8	0,7	1,3		
SR 222 Gre-3	68,5	68,4	68,9	0,1	0,4		
SR 302 Ron-1	69,5	70,7	71,2	1,2	1,7	1,3	1,8
SR 302 Ron-2	68,8	71,0	71,1	2,2	2,3		
SR 302 Ron-3	68,5	69,0	69,8	0,5	1,3		
SR 65 Caf-1	72,8	73,1	72,7	0,3	0,1	0,7	0,4
SR 65 Caf-2	71,0	72,3	71,9	1,3	0,9		
SR 65 Caf-3	71,3	71,8	71,6	0,5	0,3		
SR65 Cro-1	61,6	65,1	64,3	3,5	2,7	3,0	2,4
SR65 Cro-2	61,2	65,1	64,4	3,9	3,2		
SR65 Cro-3	62,6	64,2	63,8	1,6	1,2		
SR65 Car-1	69,2	71,0	71,2	1,8	2,0	1,9	2,2
SR65 Car-2	68,1	69,9	70,3	1,8	2,2		
SR65 Car-3	68,6	70,7	70,9	2,1	2,3		
SR 325 Sas-1	55,9	57,5	58,4	1,6	2,5	1,3	3,0
SR 325 Sas-2	57,2	61,1	60,6	1,2	3,4		
SR 325 Sas-3	57,4	60,7	60,6	1,2	3,2		

Nella tab. 5 sono riportati i risultati del confronto tra i livelli sonori misurati sul lungo periodo ed i corrispondenti livelli calcolati; si evidenzia che, diversamente dagli altri casi (tab. 3 e tab. 4), nel caso delle misure di lungo periodo si è potuto inserire nel modello la velocità media misurata.

Tabella 5 – Risultati delle verifiche sul lungo periodo in ambito extra urbano

giorno	Leq misurato [dBA]		Velocità [km/h]		Leq calcolato [dBA]				Leq misurato – Leq calcolato			
					S		C		S		C	
	diurno	notturno	giorno	notte	d	n	d	n	d	n	d	n
Mar	69,6	63,5	57	53	69,4	63,8	70,1	65,3	0,2	-0,3	-0,5	-1,8
Mer	69,7	63,7	58	53	69,7	63,9	70,3	64,3	0,0	-0,2	-0,6	-0,6
Gio	69,5	63,7	58	52	69,6	64,3	70,2	64,6	-0,1	-0,6	-0,7	-0,9
Ven	69,6	64,2	58	53	69,7	64,4	70,3	64,9	-0,1	-0,2	-0,7	-0,7
								Media	0,0	0,1	-0,6	-0,5

Dall'esame della tab. 5 si riscontra un buon accordo tra i livelli misurati e quelli calcolati sia utilizzando i flussi di traffico rilevati sia utilizzando i flussi di traffico corretti con i coefficienti C.

CONCLUSIONI

Attraverso alcuni casi studio, è stato affrontato il problema di quale dato di emissione sonora veicolare utilizzare per tarare una sorgente sonora stradale che si estenda, eventualmente per molti chilometri, in aree di tipo extraurbano. In particolare, è stato mostrato che una prima importante distinzione da fare, è quella fra tratti in attraversamento di centri abitati e la restante parte del tracciato. Lo studio evidenzia che all'interno delle aree abitate, dove queste non siano di mero attraversamento, i dati di emissione del metodo NMPB producono una sovrastima dei livelli sonori molto pronunciata, e pertanto viene proposta una procedura di correzione dei flussi di traffico già utilizzata per la città di Firenze, con la quale si ottiene un accordo fra livelli sonori misurati e calcolati molto più stringente. Diversamente, nell'ambito extraurbano, il metodo NMPB fornisce generalmente risultati accettabili che non necessitano di correzione.

BIBLIOGRAFIA

Casini David, Magherini Andrea, *Emissione sonora veicolare per modellistica previsionale di strade*, Atti 39° Convegno Nazionale AIA, Roma 2012.

Casini David, Poggi Andrea, Verdolini Tamara, *Procedura operativa per l'individuazione e aggregazione delle aree acusticamente critiche delle infrastrutture di trasporto lineari*, Atti 34° Convegno Nazionale AIA, Firenze 2007.

Moran Laura, Casini David, Poggi Andrea, *Fattori correttivi per i dati di emissione da utilizzare nei modelli previsionali di rumore stradale in ambito urbano*, Atti del 32° Convegno Nazionale AIA, Ancona 2005.