

## Allegato 1

# Rapporto tecnico sulla metodologia seguita per l'elaborazione della mappa acustica dell'agglomerato urbano di Firenze in adempimento alla Direttiva europea 49/02

## Componente rumore da traffico veicolare

Febbraio 2008

### 1 Descrizione sintetica

La mappa rappresenta i livelli sonori sulla facciata più esposta di ciascun edificio espressi nei due indicatori armonizzati europei ( $L_{den}$  e  $L_{night}$ ). La valutazione dei livelli sonori è stata condotta per via esclusivamente numerica mediante un software di calcolo con cui è stato implementato il metodo ufficiale francese "NMPB-Routes-96".

Come sorgente sonora si è utilizzata l'intera rete viaria fiorentina aperta al traffico, assegnando a ciascuna strada un volume di traffico tipico della classe viaria a cui appartiene. I dati di traffico aggiornati all'anno 2006-2007 sono stati ricavati da conteggi effettivi su un campione di strade appartenente alle diverse classi. I transiti degli autobus urbani sono stati calcolati sulla base degli orari e dei percorsi delle diverse linee.

I livelli di emissione sonora dei veicoli sono stati ricavati da misure dirette sulle ventiquattr'ore effettuate in condizioni di traffico tipiche. Nel modello si è assunta uniforme l'emissione sonora delle strade, trascurando, ad esempio, gli effetti dovuti alla presenza dei semafori e delle fermate degli autobus.

È stato considerato solo il primo ordine di riflessione acustica.

La popolazione è stata attribuita agli edifici sulla base della densità abitativa nelle diverse zone ricavata dai dati dell'anagrafe. La gran parte delle fonti di dati utilizzate sono aggiornate all'estate 2007.

Ciascun elemento di questa sintesi viene descritto in dettaglio nei paragrafi seguenti.

### 2 Rapporto dettagliato

#### 2.1 Indicatori acustici

Gli indicatori acustici utilizzati sono quelli previsti dalla normativa: il "livello giorno-sera-notte" ed il "livello notte" ( $L_{den}$  e  $L_{night}$ ) definiti sui periodi "giorno", "sera", "notte", adottati a livello italiano con il D.lgs n. 194 del 19/08/05 (6:00-20:00, 20:00-22:00 e 22:00-6:00, rispettivamente).

#### 2.2 Modello di calcolo e sue impostazioni

La valutazione dei livelli sonori è stata condotta per via esclusivamente numerica mediante un software di calcolo (IMMI 5.3.1 e IMMI 6.3) con cui è stato implementato il metodo ufficiale francese "NMPB-Routes-96", di cui, come espressamente previsto "ad interim" per i paesi come l'Italia sprovvisti di un proprio metodo nazionale.

Per quanto riguarda le impostazioni acustiche e di calcolo, conformemente alla GPG, sono state adottate le seguenti specifiche:

- Occorrenza di condizioni meteorologiche favorevoli alla propagazione del suono pari a 100% nel periodo notturno, 75% nel periodo serale e 50% nel periodo diurno;
- Temperatura media annua di 15° C ed umidità relativa del 70% (valori medi di lungo periodo riferiti all'area fiorentina);



- Superfici delle aree edificate e barriere con fattore di riflessione 0.8;
- Un solo ordine di riflessione, esclusa quella dovuta alla facciata immediatamente retrostante al ricettore;
- Fattore suolo pari a zero nel centro della città (area interna ai viali di circonvallazione) e pari a 0.5 in tutte le aree esterne al centro;
- Calcolo della diffrazione sugli spigoli delle aree fabbricate e degli ostacoli;
- Area di lavoro intorno a ciascun punto ricettore considerata nel calcolo pari a 500 m.

I livelli sonori sono stati valutati come livelli massimi sulla facciata più esposta, allo scopo è stata costruita una corona di ricettori posta sulla facciata dell'edificio, ad un'altezza di 4 m dal suolo.

Dato l'elevato numero di ricettori, per ottimizzare i tempi di calcolo, la facciata più esposta è stata valutata con impostazioni semplificate del modello di calcolo (ordine di riflessione pari a zero). Per ogni edificio è stato quindi identificato il ricettore a livello massimo ( $L_{den}$ ) e solo su questi è stato ricalcolato il livello sonoro con le impostazioni sopra elencate. Il livello sonoro così calcolato è stato associato al corrispondente edificio ed alla relativa popolazione.

### 2.3 L'emissione sonora veicolare: fattori correttivi e tipologia di traffico ipotizzata

Il modello NMPB96 considera due sole categorie veicolari, leggeri e pesanti (peso  $< 3.5$  t e  $\geq 3.5$  t, rispettivamente) per le quali vengono forniti i relativi dati di emissione sonora, in funzione della velocità, del tipo di flusso di traffico e della pendenza della strada. Tali dati di emissione sono in accordo con gli abachi della "Guide du Bruit 1980" e possono essere descritti come il livello sonoro continuo equivalente pesato A ( $L_{Aeq}$ ) dovuto al transito di un singolo veicolo in capo a un'ora, valutato sull'isofona di riferimento.

Tuttavia, due sole categorie veicolari non sono generalmente sufficienti per descrivere acusticamente il rumore prodotto dal traffico in una tipica area urbana densamente edificata. Il caso di Firenze mostra chiaramente la necessità di distinguere i veicoli a due ruote all'interno della categoria dei leggeri, poiché tali veicoli rappresentano una componente acusticamente significativa del flusso di traffico totale. Inoltre, occorre considerare due sotto categorie per i mezzi pesanti: i bus cittadini per il servizio di trasporto locale e tutti gli altri veicoli pesanti che tipicamente attraversano l'area urbana.

Poiché i fattori di emissione della Guide du Bruit 1980 possono essere non sempre appropriati alla flotta veicolare di uno stato Membro, la Raccomandazione della Commissione Europea del 6 agosto 2003 indica la possibilità di elaborare dei dati di ingresso più aggiornati e rappresentativi, basati su misure dirette di singoli passaggi veicolari ("pass-by"). Tuttavia, tale metodo raccomandato non è sempre appropriato nelle aree urbane, dove il traffico è talvolta intenso e spesso congestionato, cosicché diventa difficile misurare un campione rappresentativo di eventi di transito distinguibili. Inoltre, ci si aspetta che l'emissione sonora in condizioni reali di marcia sia abbastanza differente da quella testata con il metodo pass-by (vale a dire in condizioni controllate).

In un precedente lavoro di ricerca è stato sviluppato un nuovo metodo di misura per superare tali problemi per mezzo del quale sono stati valutati dei nuovi fattori di emissione sonora veicolare<sup>1</sup>. Le due tabelle che seguono permettono di confrontare i risultati con i dati di base della Guide du Bruit 1980. Si deve notare che tali nuovi valori sono indipendenti dalla velocità nell'intervallo 20-60 km/h.

**Tabella 1. I nuovi fattori di emissioni validi per l'area urbana di Firenze.**

Macchine (dBA)	Due ruote (dBA)	Bus (dBA)	Altri veicoli pesanti (dBA)
28.6	30.1	37.3	33.4

<sup>1</sup> L. Moran, D. Casini, A. Poggi, "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.



**Tabella 2.** I valori di emissione sonora veicolare forniti dalla Guide du Bruit 1980, nel caso di flusso di traffico continuo.

Velocità (km/h)	25	30	35	40	45	50	55	60
Veicoli leggeri	29.4	29.4	29.4	29.4	29.8	30.7	31.6	32.4
Veicoli pesanti	45.8	45.0	44.3	43.7	43.2	42.7	42.6	42.6

I valori in tabella 1 danno risultati in buon accordo con le misure quando i dati di traffico siano corretti, mentre quelli in tabella 2 forniscono stime generalmente 2-3 dBA (e fino a 5 dBA) superiori agli effettivi livelli sonori riscontrati a bordo strada<sup>1</sup>.

La mappatura di Firenze è stata condotta adottando come fattori emissivi i valori di tabella 1.

Le intersezioni fra assi viari non sono state modellizzate tenendo conto del diverso andamento del flusso di traffico in corrispondenza di semafori e stop, e per tanto l'emissione veicolare è stata assunta omogenea su ogni tratto della rete viaria ad eccezione delle correzioni previste dal modello per la pendenza.

## 2.4 I flussi di traffico: fonti dei dati e metodologia seguita per assegnare il volume dei transiti alle strade

### 2.4.1 Il volume di traffico della viabilità privata

Allo scopo di assegnare un flusso di traffico a ciascun arco della rete stradale, ogni arco è stato classificato secondo la categoria ad esso attribuita dal Piano Urbano del Traffico (aggiornato all'anno 2004).

Alle sei categorie espressamente previste nel PUT (Scorrimento, Interquartiere, Complementare, Quartiere, Interzonale, Locale) sono state aggiunte tre ulteriori categorie, per tener conto della specificità del traffico presente all'interno della Zona a Traffico Limitato (Interzonale ZTL, Locale ZTL, pedonale).

A ciascun arco è stato assegnato il volume di traffico tipico della propria classe come calcolato a campione sulla base dei dati di conteggio del traffico ottenuti dalle seguenti fonti:

- i conteggi automatici effettuati dall'ottobre 2006 al luglio 2007 da 16 centraline (35 sensori), collocati su 13 delle principali vie di ingresso (Scorrimento, Interquartiere, Complementare) alla città e gestiti dalla società SILFI;
- i conteggi automatici effettuati dall'aprile 2006 al marzo 2007 dalle 16 porte telematiche di accesso alla zona a traffico limitato (Interzonale ZTL, Locale ZTL);
- una campagna di conteggi di quarantott'ore effettuata con conta traffico automatici portatili su un campione di 20 strade a rango minore (Quartiere, Interzonale, Locale) nell'anno 2007, su 4 strade nell'anno 2006 (Interquartiere e Complementari) e sul viadotto Marco Polo (Scorrimento) nell'anno 2004;
- alcuni conteggi spot effettuati manualmente nelle strade locali all'interno della zona a traffico limitato.

Nelle strade in cui era disponibile è stato utilizzato il valore effettivamente conteggiato. Per le altre si è utilizzata la media geometrica dei conteggi disponibili in quella categoria di strade.

I flussi misurati nelle strade appartenenti a differenti classi non presentavano sovrapposizioni, ad eccezione delle strade appartenenti alla classe delle complementari: alcune strade in questa categoria presentavano infatti flussi tipici delle strade interquartiere, altre delle strade di quartiere. Per tanto, le strade appartenenti alla classe delle complementari sono state ridistribuite tra le due classi contigue sulla base di una classificazione empirica dello stradario comunale su tre livelli (principali, intermedie, locali) già disponibile in ARPAT. Nella tabella che segue sono riepilogati i criteri di classificazione delle strade:



**Tabella 3. Criteri di classificazione delle strade**

Categoria della strada	Criterio di classificazione
Scorrimento	Scorrimento da PUT
	Viadotto dell'Indiano
	Autostrade A1 e A11
	SGC FIPILI
Interquartiere	Interquartiere da PUT
	Complementare da PUT e principale da classificazione ARPAT
Quartiere	Quartiere da PUT
	Complementare da PUT e locale da classificazione ARPAT
Interzonale	Interzonale da PUT ed esterna alla ZTL
Locale	Locale da PUT ed esterna alla ZTL
Interzonale ZTL	Interzonale da PUT ed interna alla ZTL
Locale ZTL	Locale da PUT ed interna alla ZTL
Pedonale	Interna alla zona pedonale

**Tabella 4. Flussi di traffico, per periodo di riferimento, assegnati alle differenti categorie di strada.**

Categoria della strada	Flussi di traffico (veicoli/ora)											
	Periodo diurno (6.00 – 20.00)				Periodo serale (20.00 – 22.00)				Periodo notturno (22.00 – 6.00)			
	Moto	Auto	Furgoni	Bus*	Moto	Auto	Furgoni	Bus*	Moto	Auto	Furgoni	Bus*
Scorrimento	294	1473	119	79	152	761	27	13	41	203	5	6
Interquartiere	164	928	60	35	98	665	15	10	30	212	4	4
Quartiere	88	297	20	2	40	158	6	2	8	45	1	88
Interzonale	39	132	3	1	18	92	2	0	5	28	0	39
Locale	11	26	3	0	4	14	1	1	1	6	1	0
Interzonale ZTL	24	85	37	11	12	115	25	2	3	43	9	1
Locale ZTL	48	32	1	0	23	56	1	0	7	23	0	0

\* Come chiarito nel testo il dato non include i bus ATAF.

Le strade principali di competenza di altri gestori, con più di 6 milioni di veicoli/anno, che insistono all'interno del Comune di Firenze (autostrade A1, A11 e FIPILI) sono state incluse nelle presenti valutazioni modellistiche. Ciò premesso si segnala che nel compilare la prevista cartella Excel per la restituzione dei dati, si è ritenuto di non dover compilare i campi relativi alle cosiddette "major road", poiché la numerosità della popolazione esposta li riportata tiene già conto anche del loro contributo.

#### 2.4.2 Il volume di traffico del trasporto pubblico locale (ATAF)

L'assegnazione dei flussi di traffico alle linee di ATAF è stata effettuata elaborando i dati relativi agli orari delle linee circolanti sul territorio del comune nell'anno 2007. Nel calcolo si è tenuto conto delle diramazioni nei percorsi delle singole linee, distribuendo uniformemente i transiti totali di ogni linea sulle proprie diramazioni.

### 2.5 Gli elementi cartografici del modello acustico

#### 2.5.1 Il modello digitale del terreno (DTM)

Il DTM è una rappresentazione digitale del suolo. Tale rappresentazione può essere raster, il cosiddetto DEM<sup>2</sup>, oppure vettoriale la cosiddetta TIN<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Il DEM (Digital Elevation Model) costituisce una rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio. Definendo una griglia di coordinate in un sistema di riferimento  $xyz$ , ad ogni punto della griglia viene assegnato un valore ottenuto per interpolazione, sulla base delle informazioni geografiche disponibili.

(nome file: Report\_mappa\_END\_FI\_strade\_2007\_v3\_2.doc)  
 Mod. SQ 10-01 n. 070 rev. 3



Il modello digitale del terreno, relativo al territorio del comune di Firenze, è stato costruito adottando la CTR 1:2000, nella versione più recente (voli effettuati dal 1998 al 2002) ed una rappresentazione tridimensionale ottenuta per triangolazione (TIN).

Nella costruzione del modello digitale del terreno si sono utilizzati alcuni degli strati informativi che rappresentano l'orografia, le forme terrestri, le comunicazioni. Nello specifico si sono adottate le seguenti entità:

- Punti quotati (layer 804);
- Curva direttrice (layer 801);
- Scarpata (testa) (layer 601);
- Scarpata/Calanco (piede) (layer 602);
- Argine (testa) (layer 603);
- Argine (piede) (layer 604);
- Ponte/Viadotto(layer 108).

Il territorio del comune di Firenze si estende su una superficie di circa 102 km<sup>2</sup>, le informazioni cartografiche utilizzate per la costruzione del DTM alla scala 1:2000 sono distribuite su circa 80 quadri. Dall'esame delle carte si è potuto osservare un differente grado di "risoluzione" nella restituzione delle informazioni, talvolta eccessivo, presentando ad esempio curve di livello con un vertice ogni decina di centimetri. L'utilizzo di questi dati in forma grezza avrebbe portato ad una non omogeneità nella definizione del territorio e ad un eccessivo allungamento dei tempi macchina, per ciò le informazioni relative alle curve di livello sono state trattate con un algoritmo di semplificazione (algoritmo di Douglas & Peucker) riducendo il numero di vertici in eccesso ed omogeneizzando la risoluzione.

I principali viadotti sono stati in parte ricostruiti manualmente, a causa della presenza di discontinuità nel tracciato e di errori sulle quote.

La *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure* (GPG), emanata dal gruppo di lavoro presso la commissione europea sulla valutazione dell'esposizione al rumore (WG-AEN), raccomanda l'impiego di un DTM in grado di descrivere la presenza di trincee e di rilevati, in particolare in prossimità di sorgenti sonore. Tale requisito viene soddisfatto tramite l'utilizzo degli strati informativi relativi alle forme terrestri e ai ponti e viadotti.

La scala di riferimento 1:2000 soddisfa il requisito della GPG relativo all'accuratezza del DTM (1 m sulle quote in prossimità di sorgenti sonore in trincea o in rilevato).

### 2.5.2 Il grafo delle sorgenti stradali

Le sorgenti di traffico veicolare sono state rappresentate nel modello acustico distinguendo il traffico ordinario dal traffico dei mezzi dell'azienda di trasporto pubblico locale.

Allo scopo di rappresentare le sorgenti del traffico ordinario su tutte le strade presenti sul territorio del comune di Firenze, come richiesto dalla END per gli agglomerati urbani, si è utilizzato il grafo fornito dal servizio SIT del comune, che riportava la codifica della strada necessaria ad attribuire il dato relativo al flusso veicolare (vedi paragrafo 2.4.1).

Il grafo stradale del comune di Firenze è costituito da circa 7900 archi, che rappresentano un totale di 2400 tra strade e piazze, per una lunghezza totale approssimativa di 950 km.

Gli archi stradali sono generalmente posti sulla mezzeria delle strade e sulla mezzeria della porzione carrabile delle piazze, conformemente a quanto raccomandato nella GPG.

Le strade a corsia multipla sono descritte talvolta con un singolo arco, talvolta con archi paralleli. Poiché ad ogni arco corrisponde una sorgente sonora, questo aspetto ha richiesto una particolare attenzione ed alcune correzioni sono state effettuate manualmente per garantire una corretta attribuzione dei flussi.

Il grafo stradale di ATAF, fornito dall'azienda, è costituito da circa 300 elementi, corrispondenti ai principali percorsi delle linee che circolano sul territorio comunale. Tali elementi, inseriti nel modello, rappresentano circa 90 linee per una lunghezza approssimativa dei percorsi di 854 km.

<sup>3</sup> La TIN (Triangulated Irregular Network) è una rappresentazione tridimensionale del terreno che viene generata dagli spigoli di una rete di triangoli nello spazio; i vertici dei triangoli sono i nodi delle informazioni geografiche disponibili.

(nome file: Report\_mappa\_END\_FI\_strade\_2007\_v3\_2.doc)  
Mod. SQ 10-01 n. 070 rev. 3



A differenza del grafo della rete stradale, i percorsi delle linee ATAF non risultavano posti in mezzzeria delle strade e talvolta intersecavano il tema dell'edificato. In questi casi le incongruenze sono state corrette manualmente.

La GPG esemplifica con una figura la differenza tra una rete stradale rappresentata correttamente ed una rappresentazione non accurata, tali differenze morfologiche si registrano tra il grafo degli archi stradali ed il grafo di ATAF (vedi figura 1). In tale circostanza la GPG non fornisce specifiche raccomandazioni, indicando però l'obiettivo di far ricadere all'interno della sede stradale la sorgente di traffico modellata.

Entrambi i grafi sono aggiornati all'estate 2007.



**Figura 1:** Confronto tra l'esempio citato nella GPG (a sinistra) ed i grafi rappresentanti le sorgenti di traffico inserite nel modello acustico (a destra). In marrone è rappresentata una rete stradale ben modellata, in verde una rete stradale rappresentata in maniera non accurata.

### 2.5.3 Il tema dell'edificato

Il tema dell'edificato riveste, nel modello acustico, una duplice funzione. In città i principali schermi alla propagazione sonora sono proprio gli edifici che costituiscono anche delle superfici riflettenti, inoltre i livelli sonori vengono calcolati sulle facciate degli edifici stessi.

Per quanto riguarda la funzione schermante si è ritenuto opportuno inserire nel modello tutti gli edifici cartografati sul territorio cittadino. Per ottenere la massima accuratezza sulle altezze degli edifici, si è utilizzato un tema tridimensionale dell'edificato (cosiddetto Digital Building Model) ricavato dalla CTR 1:2000. Gli edifici presenti nella CTR sono stati integrati con gli edifici di più recente costruzione, derivati dal tema degli edifici "catastali" fornito dal servizio SIT del comune di Firenze.

I livelli sonori vengono calcolati sugli edifici adibiti a residenza, per tanto si è incontrata la necessità di estrarre dal tema dell'edificato quegli edifici a carattere residenziale.

### 2.5.4 Altri elementi schermanti

Gli elementi schermanti inseriti nel modello sono costituiti essenzialmente dalle barriere fonoassorbenti presenti sui viadotti cittadini e sui tratti della SGC Firenze-Pisa-Livorno e dell'Autostrada A1.

Ulteriori elementi schermanti introdotti nel modello sono costituiti dalla Fortezza e da ciò che rimane delle mura cittadine.

## 2.6 Il dato di popolazione

Allo scopo di ottenere il numero di abitanti in ogni edificio del Comune di Firenze la popolazione



residente è stata distribuita sugli edifici residenziali sulla base delle volumetrie degli edifici stessi. La densità di popolazione è stata stimata per sezione di censimento a partire dai dati anagrafici associati ai numeri civici ricadenti in ciascuna sezione, ripartendoli uniformemente sulla propria volumetria residenziale.

Operativamente sono state utilizzate:

- le sezioni di censimento relative all'anno 2001 (fornite dal Servizio Statistica della Regione Toscana);
- i dati anagrafici comunali aggiornati al 31.10.2007;
- i civici georiferiti, forniti dal comune.

La popolazione residente complessivamente nel territorio comunale risulta pari a circa 364300 abitanti e quella associabile all'edificato, su cui è stata fatta la valutazione, è risultata pari a circa 352600.

La cartografia di base utilizzata per rappresentare l'edificato residenziale è la CTR 1:2000. L'ultima versione della CTR 1:2000 è stata realizzata sulla base dei voli effettuati dal 1998 al 2002 e per tanto alcuni edifici residenziali esistenti non vi risultano rappresentati. Per ciò si è proceduto all'integrazione di questa base di dati con gli edifici adibiti a civile abitazione rappresentati nella carta catastale fornita dal comune.

Nella CTR gli edifici sono suddivisi sulla base della loro destinazione. La popolazione è stata distribuita solo su alcuni degli edifici appartenenti allo strato informativo delle unità volumetriche civili/sociali/amministrative (layer 201). L'esame della carta ha infatti evidenziato che in questo strato informativo sono presenti edifici a carattere non residenziale (ad esempio cimiteri, impianti sportivi, ospedali, supermercati, banche, ecc.), tali edifici sono stati identificati manualmente e ad essi non è stata associata la quota di popolazione residente.

### 3 Responsabilità e collaborazioni

La mappa è stato sviluppato dalla U.O. IMREC del Dipartimento Arpat di Firenze, con numerose collaborazioni di altre strutture dell'Agencia ed esterne, con la seguente ripartizione di compiti.

**Impostazione metodologica e coordinamento generale:** Andrea Poggi, David Casini.

#### GIS e modellistica:

- **coordinamento generale e supervisione tecnica:** Tamara Verdolini;
- **consulenza specialistica:** Maurizio Trevisani, Cinzia Licciardello;
- **predisposizione modello acustico:** Tamara Verdolini;
- **immissione dati ed elaborazioni:** Tamara Verdolini, David Casini, Khalil Tayeh, Francesco Salomone, Marco Bazzani;
- **misure e sopralluoghi:** David Casini, Massimiliano Vardaro, Tamara Verdolini, Laura Bidini, Giovanni Terranova, Giovanni Gramazio, Francesco Salomone;
- **raccolta dati:** David Casini, Tamara Verdolini.

**Stesura del rapporto tecnico:** Tamara Verdolini, David Casini, Andrea Poggi.

#### Fonti dei dati:

- **Carta Tecnica Regionale e sezioni di censimento:** Regione Toscana
- **Grafo strade:** Comune di Firenze
- **Edificato catastale:** Comune di Firenze
- **Conteggi di traffico:** SILFI, Comune di Firenze, ARPAT
- **Misure acustiche:** ARPAT
- **Grafo ATAF e orari delle linee**



# ARPAT

DIPARTIMENTO PROVINCIALE DI FIRENZE  
U.O. Infrastrutture di Mobilità, Reti Elettriche e di Comunicazione

- |                                       |                   |
|---------------------------------------|-------------------|
| <b>bus urbani:</b>                    | ATAF              |
| – <b>Aree verdi, pedonali e ZTL:</b>  | Comune di Firenze |
| – <b>Popolazione e numeri civici:</b> | Comune di Firenze |

