

Cesare Fagotti
Andrea Poggi

**IL RUMORE A FIRENZE.
DIECI ANNI DI STUDIO
(1987 - 1996) DEL RUMORE
URBANO DA TRAFFICO**

Le misure, le cause, gli effetti
e le possibilità di intervento



ARPAT

RINGRAZIAMENTI

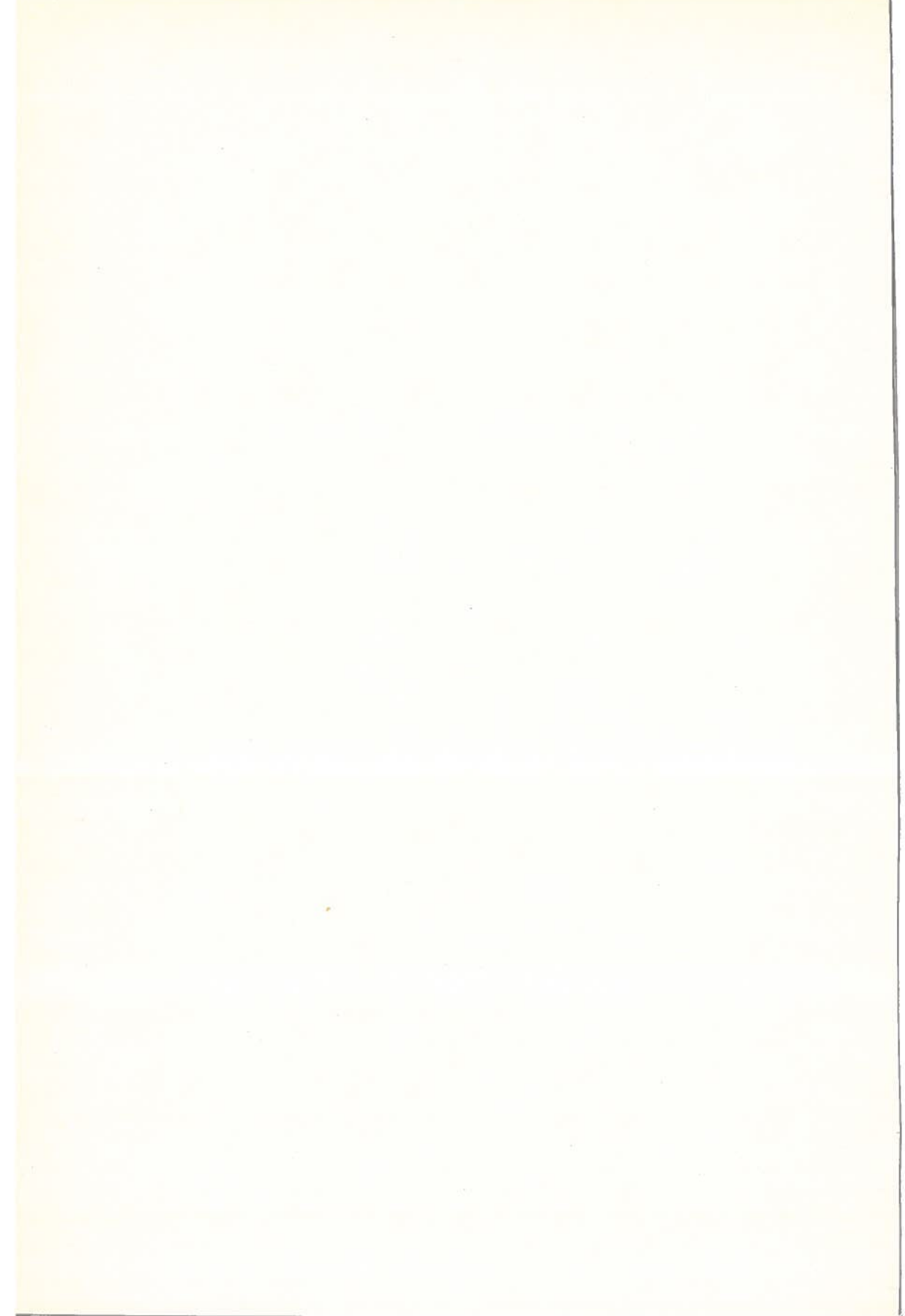
Gli autori desiderano ringraziare tutto il personale della U.O. di Fisica Ambientale che ha collaborato all'esecuzione delle misure e alla rilettura critica delle bozze.

Un ringraziamento particolare a Thomas Manciocchi e Andrea Mazzucchielli per la loro opera di programmazione ed esecuzione delle misure, e a Brunero Presciani, senza il cui stimolo e gli utili consigli questa opera non sarebbe stata possibile.

Paolo Poggi per le fotografie della zona a 30 km/h della città di Copenhagen e Sauro Ciantini che ha collaborato alla loro elaborazione.

Ringraziamo inoltre il Dr. Gaetano Marchese della ASL 10 di Firenze, che ha entusiasticamente risposto alla nostra richiesta di scrivere il capitolo degli effetti del rumore sulla salute.

Infine un sentito ringraziamento alla Provincia di Firenze che dal 1993 ha incrementato considerevolmente le possibilità di indagine con la fornitura dei carrelli di misura e della strumentazione a corredo.



INDICE

PRESENTAZIONE	9
PREFAZIONE	13
INTRODUZIONE NORMATIVA E TECNICA	17
1 - LE MISURE E I RISULTATI	23
1.1 Introduzione	23
1.2 Il modello acustico della città	28
1.3 Gli effetti dell'organizzazione della circolazione	33
1.4 Gli effetti del numero e della velocità dei veicoli	34
1.5 Il peso acustico dei vari mezzi	44
1.6 I ciclomotori	47
1.7 Conclusioni	48
Tutte le misure	51
2 - GLI EFFETTI DEL RUMORE SULLA SALUTE	57
2.1 Introduzione	57
2.2 Il disturbo dovuto al rumore	58
2.3 Gli effetti non uditivi del rumore	61
2.3.1 Stress e sindrome generale di adattamento	62
2.3.2 Rumore e sistema cardiovascolare	64
2.3.3 Rumore e disturbi del sonno	65
2.4 Gli effetti del rumore sui bambini	67
2.4.1 Gli effetti fisiologici	68
2.4.2 Gli effetti sull'apprendimento e sullo sviluppo intellettuale	69

2.5 Considerazioni conclusive	72
3 - I RIMEDI	77
3.1 Premessa	77
3.2 Tipologia degli interventi	77
3.3 Provvedimenti indipendenti dalle decisioni delle autorità locali	78
3.4 Possibili interventi di riduzione del rumore da parte dell'autorità locale	81
3.4.1 Ridurre i volumi complessivi di traffico	81
3.4.2 Ridurre le quote di mezzi pesanti circolanti	84
3.4.3 Insonorizzazione della flotta degli autobus pubblici	84
3.4.4 Aumentare le strade "locali"	85
3.4.5 Creare zone a 30 Km/h	86
3.4.6 Modifica dei comportamenti abituali	91
3.4.7 Barriere urbane	93
3.4.8 Asfalti Fonoassorbenti	94
3.5 Adempimenti alla nuova legge quadro	95
CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	97
BIBLIOGRAFIA	99

PRESENTAZIONE

“Un giorno l'uomo dovrà combattere contro il rumore come oggi fa con il colera e la peste”.

Non so perché il medico tedesco Robert Koch (1843-1910) avanzò questa ipotesi, se fosse una previsione scientifica, una reazione depressiva, un'analogia tecnica. Certo oggi vari individui credono arrivato quel terribile giorno e, comunque, il rumore è ormai considerato come una delle principali fonti di malessere collettivo della società industriale.

Viviamo in una società rumorosa nei fatti e nella percezione diffusa: il 22% degli italiani ritiene il rumore una emergenza ambientale nazionale. Da qualche anno si è cominciato a “combattere” anche tale inquinamento come esplicita volontà delle istituzioni pubbliche.

L'approvazione della legge quadro sull'inquinamento acustico (L.26/10/1995 n 447, entrata in vigore il 30/12/95) costituisce una delle prime leggi organiche di settore, anche a livello europeo, una norma complessa che chiama in causa, a tutela dell'ambiente e della salute, il mondo della produzione, della progettazione, i modi e gli stili di vita.

Siamo in linea anche con gli obiettivi indicati nel libro verde dell'UE, anzi, abbiamo perfino anticipato alcuni tempi.

Entro l'estate 1998 sarà ufficializzata a Copenaghen l'istituzione di specifici gruppi tecnici di lavoro per la predisposizione, anche su nostra proposta, della prima direttiva “quadro” europea sul rumore.

Questo non deve far credere di avere risolto il problema.

La legge rappresenta la pre-condizione per affrontare uno degli inquinanti più insidiosi e sottili.

La possibilità di invertire questa tendenza richiede un cambiamento nella progettazione e nella gestione dell'ecosistema urbano, nella direzione dello “sviluppo sostenibile”.

Le nostre città sono diventate sempre più grandi e insostenibili a causa del traffico, dell'inquinamento atmosferico ed acustico, dell'accumulo dei rifiuti.

Appare evidente la necessità di strategie adeguate: l'esperienza dimostra che non serve più agire su singole "patologie ambientali" delle città ma piuttosto studiare soluzioni per una gestione sostenibile dell'intero "ecosistema urbano".

Una seria politica di prevenzione e di riduzione del rumore non può prescindere da questa considerazione. Il rumore è frutto di relazioni sociali, di comportamenti ed abitudini, di un certo modo di pianificare la gestione e l'uso del territorio.

La legge indica una via: azioni modulate sul territorio, scadenze nel medio-lungo periodo, supportate da strumenti amministrativi, tecnici, costruttivi, gestionali, di pianificazione e di contenimento, di bonifica e di prevenzione.

L'obiettivo è ambizioso: attivare una politica acustica che impegni tutti i protagonisti, siano essi cittadini, imprenditori ed amministratori.

Solo così la prevenzione ed il mantenimento dell'inquinamento da rumore può diventare parte integrante e qualificante delle politiche ambientali.

La legge quadro affida una funzione decisiva agli Enti Locali, soprattutto ai comuni. Le normative regionali saranno la base per attuare la prevista classificazione acustica, ma i risultati sono legati all'attuazione dei piani di risanamento ed al loro necessario coordinamento con altri strumenti di tutela ambientale e di pianificazione.

La legge, nel momento in cui individua obiettivi di qualità per la prevenzione dall'inquinamento da rumore, avvia un percorso di risanamento ambientale che mette in evidenza contraddizioni già note e nello stesso tempo richiede approcci sperimentali e per successive approssimazioni.

Abbiamo ormai predisposto molti dei decreti attuativi, ma il clima acustico non cambia per ordine dall'alto.

Occorre investire in idee, persone, tecnologie e strumenti per invertire l'attuale tendenza che lascia prevedere, se non si interviene, un ulteriore deterioramento della qualità acustica.

Questo libro va nella giusta direzione.

Per la struttura del contenuto, rigoroso nell'esposizione dei risultati tecnici, utilmente supportati da una parte di carattere divulgativo/informativo, si

rivolge a tutti coloro che debbono o vogliono contribuire ad “abbassare il volume”.

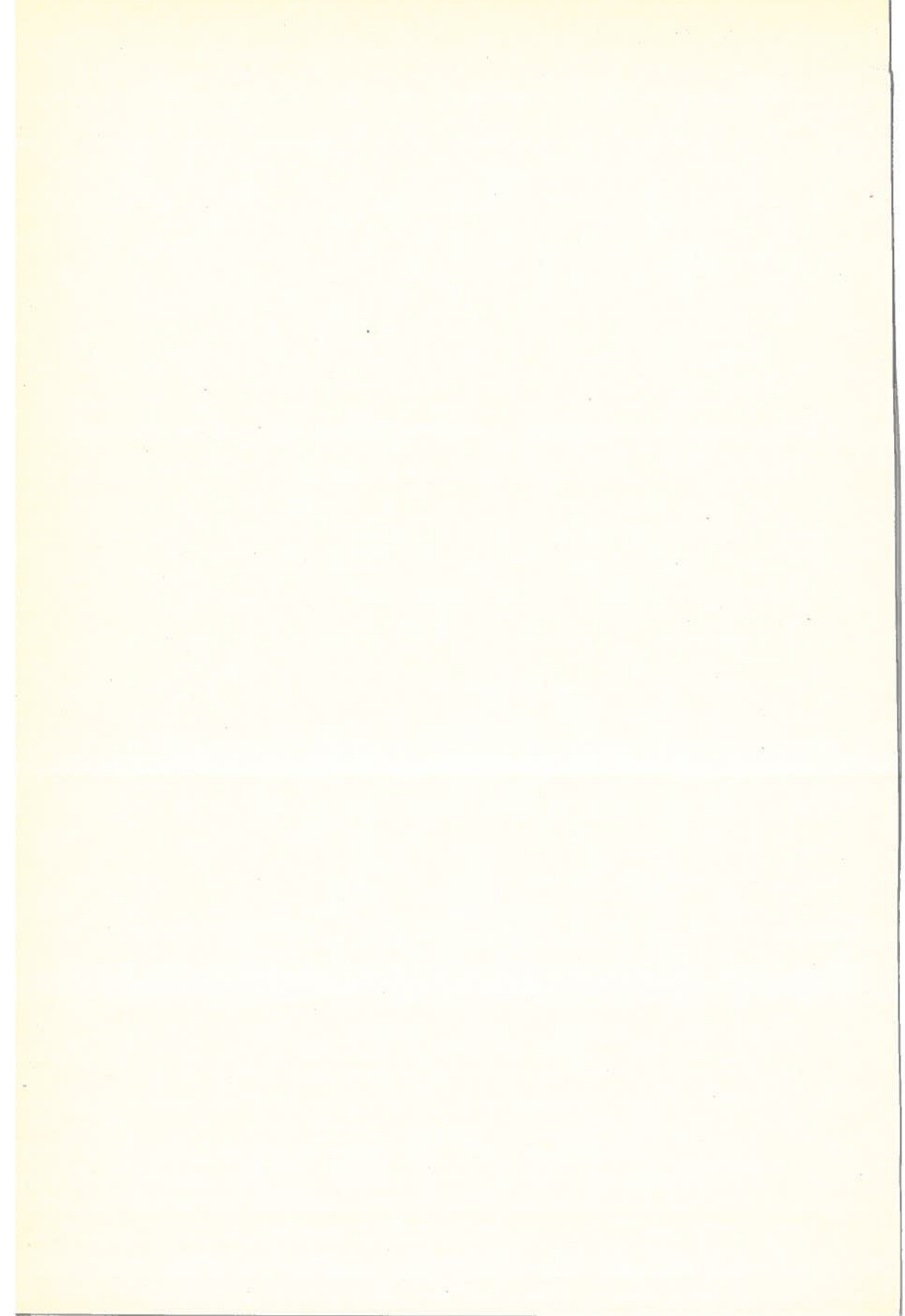
L'indagine condotta nel contesto urbano di Firenze rende disponibili dati, evidenza e conferma problematiche, delinea soluzioni possibili.

L'impegno profuso, l'appassionante attività di lunghi anni di lavoro da parte di due tecnici esperti consolidano esperienze e considerazioni utili per avviare una strategia di risanamento dall'inquinamento da rumore.

La strada che ci viene indicata è quella di un impegno generale e condiviso per modificare la naturale tendenza degli attuali modelli a produrre troppo rumore.

Valerio Calzolaio

Sottosegretario di Stato del Ministero dell'Ambiente



PREFAZIONE

Sono molto contento che dopo tanti anni di lavoro l'Unità Operativa di Fisica ambientale abbia prodotto come risultato questo libro, nel quale sono sintetizzate le esperienze più importanti delle nostre indagini acustiche a Firenze.

La genesi di questo libro è molto lontana, e risale addirittura a prima che gli autori entrassero a far parte della Fisica Ambientale, quando da solo in Toscana, e uno dei "Rari Nantes" in Italia, ho iniziato a occuparmi dell'inquinamento acustico, in tempi che per le conoscenze e la strumentazione disponibile definirei pionieristici.

Allora il problema "Inquinamento acustico da traffico veicolare" non aveva ancora assunto in Italia l'importanza che ha adesso per la pubblica opinione e per la considerazione dei possibili effetti sanitari di adesso. Ad esempio non esistevano leggi nazionali, e (per fortuna) neppure le assurde classifiche di città rispetto al rumore. Anche perché non venivano in realtà eseguite molte misure, sia perché il problema non sembrava fondamentale, sia per carenze di strumentazione. Con molti sforzi, e grazie alla lungimiranza della Regione Toscana, riuscii a far acquistare dei sistemi di misura adatti: dal 1987 nella regione - e a Firenze in particolare - iniziarono quelle campagne di indagine che ancora proseguono. Dopo i primi anni di indagini principalmente conoscitive (che nel 1990 mi portarono a elaborare un modello predittivo nel tempo dei livelli sonori), l'interesse si è spostato verso la determinazione delle cause del rumore da traffico e delle possibili strategie di intervento in ambito urbano.

Un'attività questa che ben si addice alla attuale collocazione di questa U.O. in ARPAT, dove il problema ambientale (in questo caso il rumore) è considerato a tutto tondo: si parte cioè dalla misura, se ne identificano le cause e si propongono gli interventi, secondo una concezione moderna

della tutela dell'ambiente. Un approccio ancora migliore sarebbe la prevenzione del degrado ambientale, ma per questo occorre che gli enti locali, pur nella loro indipendenza rispetto alle scelte di programmazione del territorio, coinvolgano ARPAT già dalla fase pianificatoria degli interventi. In passato purtroppo ciò non si è sempre verificato, sia per una sottovalutazione o per un approccio semplicistico al problema, sia per una scarsa informazione sulle competenze disponibili (e di questo siamo noi ad assumerci la responsabilità).

Anche per quest'ultimo aspetto ritengo che questo libro possa essere molto utile, proprio per far conoscere quelle competenze, in questo caso per il rumore, che sono già disponibili all'interno di ARPAT.

In particolare questo lavoro si pone come obiettivo quello di evidenziare:

i) che è possibile prevedere in anticipo l'effetto di una modifica della viabilità sul rumore e quindi prevedere a priori le reazioni dei cittadini;

ii) che esistono interventi efficaci di riduzione del rumore e che è possibile stimarne a priori l'efficacia;

iii) che è possibile con buona approssimazione conoscere i livelli di rumore presenti in città, anche in postazioni non misurate, a partire da fattori qualitativi, ed evidenziare le strategie di rimedio più efficaci sia su scala globale che locale;

iv) che la risoluzione del problema dell'inquinamento acustico da traffico veicolare non è semplice quando bisogna intervenire su tutta una città. C'è bisogno infatti di tempo e di investimenti, e l'obiettivo può essere raggiunto solo tramite una serie di interventi concertati, e soprattutto non si possono ammettere improvvisazioni o compromessi, pena un insuccesso che spesso crea il falso convincimento che il problema non sia risolvibile.

Tutto ciò è ancora più importante considerando gli adempimenti Comunali previsti dalla legge 447/95 "Legge quadro sull'inquinamento acustico". Spero quindi che questo lavoro possa essere un punto di partenza, che porti gli enti locali ad adottare comportamenti più mirati e responsabili verso il rumore, e anche ad instaurare una diversa collaborazione con questa U.O. che non va considerata solo un "ufficio misure".

Il libro si apre con un'importante introduzione normativa, nella quale sono evidenziati anche gli aspetti pianificatori della tutela e del risanamen-

to ambientale con precisi riferimenti agli obblighi degli enti locali per quanto concerne la tutela dall'inquinamento acustico.

Nella prima sezione sono riportate tutte le misure eseguite negli ultimi 10 anni (dal 1987 al 1996) e l'analisi delle cause più importanti che contribuiscono al rumore da traffico veicolare.

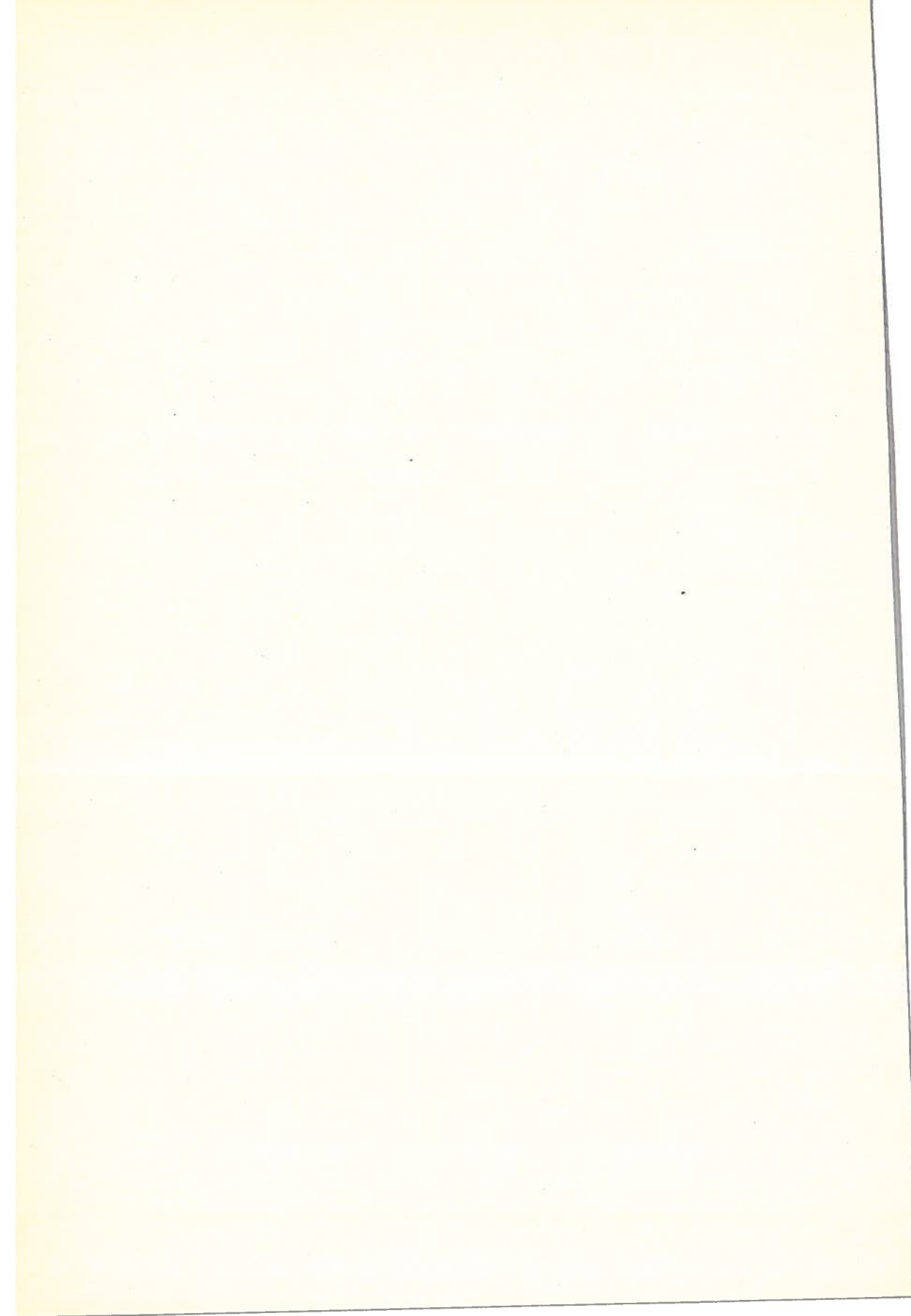
La seconda sezione, curata dal Dr. Marchese della ASL 10 di Firenze, che riporta una rassegna degli effetti del rumore sulla salute, è molto importante, sia perché indica quella collaborazione interdisciplinare che dovrebbe esistere sempre su questi temi, sia perché, purtroppo, evidenzia gli effetti negativi sulla salute della popolazione esposta e sullo sviluppo dei bambini.

Nell'ultima sezione sono riportate le strategie degli interventi di bonifica della situazione ambientale, con dettagliate indicazioni sulle singole possibilità di intervento.

Ritengo anche che il taglio divulgativo, senza la parte matematica dettagliata delle elaborazioni, ma comunque rigoroso e completo, possa servire agli amministratori degli enti locali, a cui il libro è principalmente rivolto, per due scopi. Il primo è quello di rendere consapevoli delle possibili ricadute sul rumore di interventi che avrebbero come finalità la gestione del traffico, per affrontare quindi il problema con maggiori cautele. Il secondo è quello di fornire una piccola guida alla risoluzione del problema del traffico veicolare in città.

Concludendo, rinnovo la mia soddisfazione per la pubblicazione di questo libro, che ritengo possa essere, finalmente anche con l'aiuto della normativa attuale, l'indice di una inversione di tendenza. Ormai consapevoli cioè di essere esposti a livelli di rumore elevati, e conoscendo le cause, consci dei danni alla salute che questi livelli provocano, auspico che si passi da una politica di gestione dell'emergenza ambientale a una di risanamento.

Piero Battini
*Responsabile del Dipartimento provinciale
di Firenze di ARPAT*



INTRODUZIONE NORMATIVA E TECNICA

La norma di riferimento attualmente in vigore in Italia è la Legge Quadro sul rumore n. 447 del 26/10/95. La Legge "stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico" (art.1, comma 1), rimandando ad ulteriori atti legislativi e amministrativi scadenzati a vari livelli (Stato, Regione, Provincia e Comuni) il "riempimento" della legge per la sua completa attuazione.

C'è stato un notevole ritardo nell'emanazione degli atti di competenza statale che ha rallentato, se non bloccato, l'emanazione delle leggi regionali. L'assenza della normativa regionale ha quindi a sua volta rallentato gli atti a livello comunale.

Alla data di chiusura del presente documento (31/12/97), i decreti statali emanati sono i seguenti:

- D.M. Ambiente 11 dicembre 1996 - Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo produttivo continuo - G.U. n. 52 serie generale del 4/3/97;
- DPCM 18 settembre 1997 - Determinazione dei requisiti delle sorgenti sonore nei luoghi di intrattenimento danzante - G.U. n. 233 serie generale del 6/10/97;
- D.M. Ambiente 31 ottobre 1997 - Metodologia di misura del rumore aeroportuale - G.U. n.267 del 15/11/1997;
- DPCM 14 novembre 1997 - Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore - G.U. n.280 del 1/12/1997;
- DPCM 5 dicembre 1997 - Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici - G.U. n.297 del 22/12/1997;

I limiti

Contrariamente all'impostazione del DPCM 1.3.91, che conteneva solo un tipo di limite (erroneamente identificato come di esposizione) pensato per sorgenti di tipo produttivo (ma che data l'impostazione del decreto "doveva" essere applicato anche a tutte le altre sorgenti come le infrastrutture di trasporto), la legge Quadro è molto più articolata. Questa prevede infatti i seguenti limiti (differenziati in funzione delle classi di destinazione del territorio):

- a) di emissione: il valore massimo che una sorgente sonora può produrre, valutato in prossimità della sorgente;
- b) di immissione: il valore massimo che può essere immesso (da una o più sorgenti) nell'ambiente (esterno o abitativo), valutato ai recettori;
- c) di attenzione: il valore che segnala un potenziale pericolo per la salute umana;
- d) di qualità: valori da conseguire nel tempo per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla legge.

Per quanto riguarda il traffico veicolare i provvedimenti legislativi collegati devono essere ancora emanati. Sicuramente questo tipo di sorgenti non sarà sottoposto al rispetto del criterio differenziale all'interno degli ambienti abitativi, mentre verranno introdotte fasce di rispetto e criteri di edificabilità e bonifica all'interno di queste fasce.

La pianificazione

La Legge Quadro, tra i suoi aspetti positivi, affronta il problema rumore introducendo finalmente degli obblighi di valutazione previsionale di impatto acustico per la realizzazione di nuove "sorgenti" di rumore, e l'obbligo di valutazione previsionale del clima acustico per l'edificabilità in prossimità delle sorgenti di rumore già esistenti. Per le grandi infrastrutture di trasporto esistenti la legge prevede dei piani di bonifica scadenziati, la cui attuazione è controllata direttamente dal Ministero dell'Ambiente.

Tra gli obblighi dei comuni riveste ancora un punto centrale la zonizzazione acustica del territorio, ovvero la suddivisione del territorio in zone omogenee per destinazione d'uso, alle quali vengono assegnati valori limite di immissione, emissione, attenzione e qualità diversificati. La legge quadro introduce delle novità non marginali rispetto alle procedure ed ai riferimenti da tenere rispetto alla situazione precedentemente in vigore.

Intanto stabilisce che la zonizzazione del territorio deve essere coordinata con i PRG se già esistenti (ovviamente una buona zonizzazione già doveva confrontarsi con questo anche prima). Ad una legge regionale invece è demandato il compito di stabilire modalità, scadenze e sanzioni per l'obbligo di zonizzazione per i comuni che adottano nuovi strumenti urbanistici generali o particolareggiati. Questo in pratica potrebbe determinare che l'adozione o le modifiche di PRG debbano essere accompagnate dalla zonizzazione acustica. Sempre con legge regionale dovranno essere individuati i criteri generali per la zonizzazione del territorio, nonché quelli per la concessione delle deroghe per le attività temporanee e l'organizzazione dei servizi di controllo.

Inoltre i comuni dovevano adottare entro il 29/12/96 dei regolamenti per l'attuazione della disciplina statale e regionale per la tutela dall'inquinamento acustico.

I piani di risanamento

I comuni promuovono anche l'adozione e l'esecuzione dei piani di risanamento comunali (con modalità stabilite con legge regionale). Nel caso di situazioni di superamento dei valori di attenzione, o se la zonizzazione del territorio portasse ad avere zone contigue con una differenza tra i livelli maggiore di 5 dB, l'obbligatorietà di questi piani di risanamento comunali è già sancita dalle legge 447/95.

I piani di risanamento saranno sicuramente uno degli impegni più importanti che dovranno essere svolti dai comuni, sulla cui "filosofia" vogliamo quindi addentrarci più a fondo, chiarendo cosa secondo noi deve essere inteso per piano di risanamento. Le possibilità tecniche di intervento verranno invece affrontate nella parte terza di questo lavoro (I Rimedi).

In linea generale, il piano di risanamento indica un insieme di provvedimenti che siano in grado di conseguire gli obiettivi di una progressiva riduzione dei livelli di rumore sul territorio, il che costituisce di fatto un impegno per le Amministrazioni locali, come sancito nei contenuti della Legge Quadro.

Un piano di risanamento acustico sarà contraddistinto da provvedimenti di varia natura, di tipo amministrativo (proposte ed indirizzi in sede di attività pianificatoria), normativo e regolamentare (N.T.A. dei PRG, Regolamento d'Igiene, Regolamento Edilizio e di Polizia Municipale), e da veri e propri interventi concretizzabili in opere di mitigazione. Il piano

non è da risolvere quindi solo in una specifica azione progettuale acustica, ma investe ed interessa in modo marcato indirizzi ed azioni di tutta la politica di gestione territoriale dell'Amministrazione.

Talvolta si ritiene, erroneamente, che potenziando il lavoro di analisi dell'inquinamento acustico, estendendo il monitoraggio, si possa giungere a tracciare con esattezza i contorni del piano di risanamento. Certamente una preliminare analisi acustica potrà individuare le priorità sia in termini di ricettori che necessitano di maggiore protezione, sia in termini di sorgenti che sono maggiormente responsabili del degrado ambientale riscontrato; ma le soluzioni possibili andranno comunque determinate scegliendole dal complesso di quelle possibili ed efficaci (e spesso sono molte) in base a valutazioni che riguardano più fattori (come efficacia, costi di realizzazione, tempi di messa in opera).

Questo è inevitabile dato che oggi, come vedremo meglio in seguito, tecnicamente non esiste "la soluzione" al problema dell'inquinamento acustico; nessuna azione cioè da sola è sufficiente a riportare i livelli di rumorosità ai valori definiti dagli standard. Si dovrà così scegliere una combinazione delle varie mitigazioni possibili.

D'altra parte la maggior parte di questi interventi ha dei riflessi importanti in aspetti salienti della vita delle nostre città, riflessi che possono essere di tipo architettonico oppure urbanistico, quando richiedono modifiche alla struttura fisica delle aree edificate; oppure di tipo sociale quando incidono sui costumi di vita o sui comportamenti individuali. Questo impone perciò che la scelta delle soluzioni da adottare non sia dettata esclusivamente da considerazioni di tipo acustico, ma preveda una valutazione tecnico-politica integrata nella più complessiva azione di governo dell'Amministrazione. È necessario quindi che nel momento in cui ci si accinge a varare il piano di risanamento siano bene individuati i percorsi amministrativi con cui si intersecano le proposte tecniche e gli indirizzi e le scelte necessariamente politiche che il piano comporta.

In realtà il piano di risanamento comunale sarà costituito da due elementi: l'intervento di parte pubblica e l'insieme dei piani di risanamento aziendali. Ad un primo esame può sembrare che questo secondo elemento del piano sia del tutto estraneo alla logica di programmazione tecnico-politica che ispira l'iniziativa di parte pubblica. Questo è senz'altro vero se riferito al singolo caso, dove la parte pubblica si limiterà ad esigere il rispetto dei limiti, e sarà una scelta autonoma del privato adottare l'una o

l'altra soluzione. L'esperienza di questi anni ha però spesso messo in evidenza che alcune tipologie di problemi da "sorgenti private" possono essere molto ricorrenti in una certa area, finendo per assumere il significato di un problema strutturale, magari legato a comparti produttivi specifici o a situazioni urbanistiche particolari, che richiede soluzioni di tipo collettivo. Così anche in questo caso sarà più facile trovare risposte efficaci all'inquinamento acustico se l'Amministrazione locale avrà scelto come orientare tali soluzioni con gli strumenti della programmazione urbanistica, con piani di incentivi, o con accordi di programma, che possono costituire di fatto un elemento di piano di risanamento "pubblico" per l'inquinamento acustico da sorgenti "private".

Il piano di risanamento, per quanto detto, non sarà quindi il progetto dell'intervento che riporta entro i limiti di legge i livelli sonori della città, ma piuttosto un insieme coordinato di interventi di progressiva mitigazione e miglioramento.

Gli interventi saranno quindi numerosi, multiformi, differiti nel tempo e relativi ciascuno a piccole porzioni del tessuto urbano o a specifiche sorgenti "estese". Quindi più che puntare ad un piano "progetto", ovvero investire risorse per ottenere comunque un elaborato che descriva opere da realizzare, è più opportuno lavorare ad un piano "processo", ovvero a costruire la struttura e le condizioni amministrative che consentano una iniziativa concreta di progressiva bonifica acustica.

In questo senso sarà particolarmente importante curare le modalità di fruizione delle risorse che saranno rese disponibili con i piani di risanamento regionali previsti dalla normativa.

Breve introduzione tecnica

Prima di addentrarci nella parte più tecnica di questo lavoro, ci sembra importante introdurre le grandezze di cui tratteremo. I nostri risultati e i limiti normativi fanno sempre riferimento al Livello Equivalente L_{Aeq} ponderato con il filtro A, che approssima la risposta in frequenza dell'udito. Questo è una media nel tempo della pressione sonora al quadrato (che è proporzionale all'energia trasportata dal suono). Per definizione il livello equivalente corrisponde a quel livello sonoro che, mantenuto costante per tutto il periodo di misura, contiene la stessa energia del rumore misurato e si esprime in dB (decibel).

La misura in decibel non è direttamente (ovvero linearmente) propor-

zionale all'energia sonora: queste sono legate da una relazione logaritmica. Infatti il decibel è ottenuto da 10 volte il logaritmo in base 10 del rapporto tra il quadrato della pressione sonora ed un valore di riferimento (costante).

Questo porta a un comportamento del livello equivalente che non è intuitivo. Se abbiamo infatti, ad esempio, due livelli equivalenti di uguale durata di valore 50 e 60 dB, mentre la loro media aritmetica è 55 dB, la loro media energetica è di 57.4 dB. Analogamente la somma energetica dei due livelli è 60.4 dB.

L'uso del dB in acustica è dettato da esigenze di comodità per comprimere la scala di variazione della pressione acustica che usualmente si può incontrare. Infatti un intervallo di 120 dB, che è quello tra il minimo livello udibile e quello massimo (senza danni immediati e permanenti al timpano), corrisponde ad un rapporto tra le energie sonore di 1.000 miliardi (10^{12}), un intervallo che sarebbe molto poco pratico da maneggiare. La non linearità della scala è inoltre giustificata dalla risposta soggettiva dell'uomo al rumore, che è anch'essa approssimativamente logaritmica.

La non linearità della scala deve essere comunque sempre ben tenuta in considerazione in quanto, ad esempio, 60 dB di pressione sonora non sono in realtà il triplo di 20 dB, ma corrispondono ad un'energia 10.000 volte maggiore. Ad un dimezzamento dell'energia sonora corrisponde infatti un calo di "soli" 3 dB. Questo aspetto deve essere sempre considerato, ad esempio, nella valutazione degli interventi di bonifica del rumore dai quali, soprattutto in ambiente urbano, non ci si devono aspettare risultati in termini di miglioramento superiori a 2-5 dB per ogni intervento singolo.

Anche se l'uso del livello equivalente è molto comodo in quanto permette di riassumere con un unico numero il rumore di una determinata postazione, questa descrizione è però ovviamente incompleta, perché si trascurano totalmente altre caratteristiche importanti del rumore quali il suo spettro in frequenza, la sua dinamica (differenza tra il valore minimo e massimo), la distribuzione dei livelli e l'intensità e il numero degli eventi sonori più elevati, tutti fattori importanti per quantificare il danno o il disturbo dovuto al rumore.

1. LE MISURE E I RISULTATI

1.1 Introduzione

La Unità Operativa di Fisica Ambientale ha iniziato a rilevare il rumore da traffico all'interno della Provincia di Firenze sin dal 1987, con l'ausilio di mezzi mobili appositamente attrezzati (1 fino al 1993, e 5 dopo). La maggior parte di queste misure sono state eseguite a Firenze. Nel corso di questi anni sono state effettuate nel Comune più di 300 campagne di misura su più di 170 differenti siti per un totale di oltre 1.300 giorni di misura complessivi. Molto importante risulta l'omogeneità di queste misure dal punto di vista tecnico-strumentale, che ci consente di avere dati confrontabili tra di loro.

Nel corso degli anni le campagne di misura sono state indirizzate ai seguenti obiettivi (dettati spesso anche dai diversi "committenti"):

- a) di nostra iniziativa abbiamo svolto indagini che cercavano di determinare il clima acustico della città, nel suo complesso o in zone limitate (ad esempio il centro storico o i vari quartieri), e di indagare la situazione di aree omogenee per tipologia (come l'indagine all'interno dei giardini comunali). Sempre di nostra iniziativa abbiamo eseguito campagne di misura volte ad approfondire gli aspetti tecnico/scientifici di indagine e di efficacia delle soluzioni di rimedio, in particolare da quando (nel 1993) la U.O. ha avuto a disposizione un metodo efficace di conteggio del traffico basato su videoregistrazione;
- b) in collaborazione con il Comune, ovvero con interventi concordati per tempi e modi, sono state eseguite misure per determinare l'efficacia di interventi di bonifica (ad esempio nel 1989 per l'introduzione del limite di 30 km/h nel centro storico) o per altri obiettivi (come l'indagine della rumorosità degli autobus ATAF all'interno del progetto Metanobus);

c) su richiesta del Comune o di altri (ASL, associazioni ambientaliste e cittadini), "a posteriori" di un intervento sulla viabilità (strutturale e/o gestionale), siamo stati chiamati a verificarne gli effetti sul rumore dell'area interessata a seguito di lamentele nate dalla nuova situazione viaria (vedi interventi di Piazza Pier Vettori, Viale Gori e via del Motrone). Inoltre alcuni interventi sono stati richiesti per la verifica dei livelli di singole situazioni, a seguito di lamentele dei cittadini per gli elevati livelli di rumore.

Come è evidente sono stati molteplici i motivi da cui si sono originate le misure eseguite. Il risultato finale è stato comunque di accumulare negli anni una grande quantità di dati che mediamente erano significativi delle tipiche situazioni cittadine. Infatti mentre nei primi anni la ricerca dei "punti caldi" per il rumore è stata un tema conduttore predominante, con il passare del tempo la scelta dei punti dove misurare ha portato ad una maggiore omogeneità globale.

Ci siamo quindi posti il problema della possibilità di utilizzare tutti questi dati in maniera complessiva, e come darne una descrizione semplice e facilmente utilizzabile anche da non esperti di acustica.

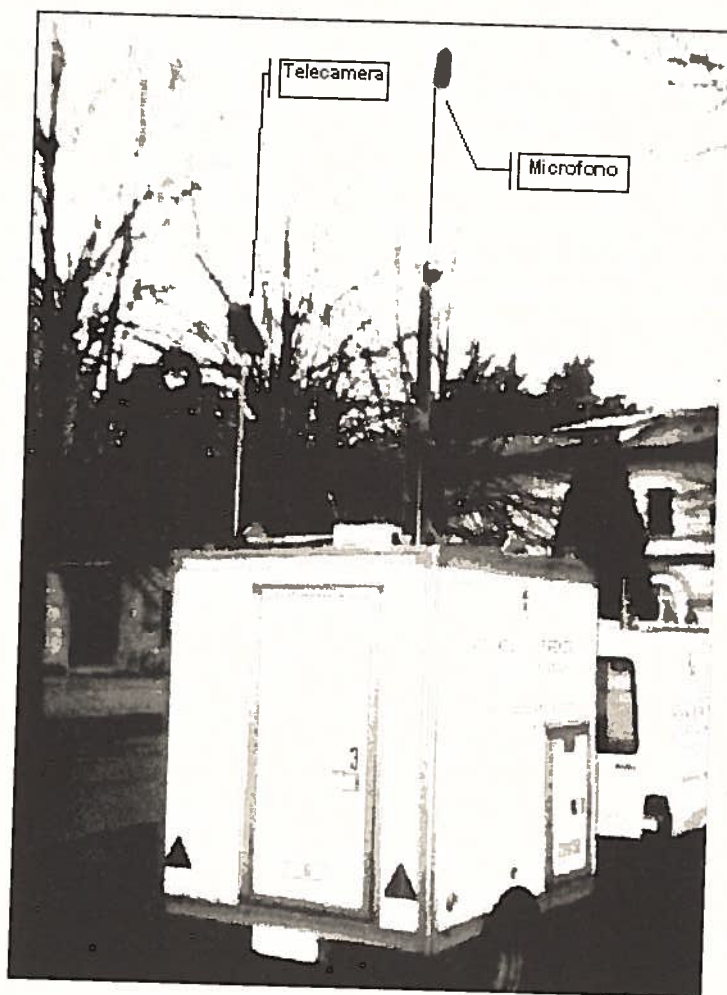
La nostra metodologia di misura in questi anni non ha subito variazioni, rendendo quindi omogenee e confrontabili tra loro tutte le misure eseguite. La strumentazione acustica utilizzata è sempre stata di classe 1 secondo le norme tecniche specifiche, con il microfono posizionato a 4.5 metri dal suolo [1]. La scelta dell'altezza non è stata casuale, ma dettata da esigenze tecniche e non. In particolare il posizionamento a questa altezza rende i livelli misurati poco influenzati dai rumori ambientali spuri presenti in stretta prossimità del luogo di misura (ad esempio voci di persone), oltre ad evitare che solo le sorgenti più vicine contribuiscano al rumore.

In questo modo ai livelli misurati contribuisce una porzione più lunga della strada, eliminando inoltre l'effetto di schermo delle sorgenti vicine rispetto a quelle più lontane. Un vantaggio non trascurabile del posizionamento alto del microfono è poi la prevenzione degli atti vandalici su tali mezzi di misura, che stazionano per diversi giorni in luoghi non presidiati.

Molto importante ai fini di tutela della salute pubblica è inoltre il fatto che l'altezza di misura corrisponde a circa il primo piano delle abitazioni. Questo permette quindi di misurare dei valori che si correlano meglio al disturbo della popolazione residente rispetto a quelli misurati ad altezze

inferiori, fornendo importanti informazioni sull'immissione del rumore all'interno delle abitazioni [2].

Il posizionamento dei mezzi mobili di misura è in genere sempre stato a bordo strada, evitando di posizionarsi troppo vicino alle facciate delle abitazioni e ad altre superfici/volumi disturbanti che potessero influenzare i livelli misurati.



In questo capitolo vogliamo riassumere i risultati fondamentali a seguito di una analisi accorpata di tutte le misure. In particolare esporremo i risultati dell'elaborazione di un modello acustico di previsione dei livelli sonori a Firenze partendo da macro-variabili, modello che riteniamo molto utile per individuare le cause e le possibilità di intervento per il risanamento acustico cittadino.

Con lo stesso fine sono impostate anche le altre sezioni, nelle quali ci si addentra nell'esame delle macro-variabili precedenti, e si mostrano gli effetti di queste in situazioni puntuali, evidenziando quindi i limiti, le possibilità e gli errori da evitare quando si prendono determinate decisioni amministrative o tecniche a livello locale sul traffico.

Prima di approfondire con strumenti di analisi di dettaglio quello che è possibile capire dall'esame dei livelli sonori rilevati nelle strade della città di Firenze, analizziamoli in maniera qualitativa (al termine di questo capitolo è riportata una tabella con tutti i valori misurati durante questi anni). Innanzitutto possiamo vedere che vi è una grande varietà di livelli sonori tra una strada l'altra. I livelli sonori diurni variano da un minimo di 51.9 ed un massimo di 78.8 dB, mentre quelli notturni variano dai 43.8 dB ai 76.1 dB. La media aritmetica dei livelli è di 69.9 e di 65.5 dB di giorno e di notte rispettivamente. Se esaminiamo la differenza tra i livelli sonori diurni e quelli notturni ci accorgiamo che questa è generalmente intorno ai 5 dB, e che più raramente si avvicina ai 10 dB. Come conseguenza di questo fatto, poiché i limiti notturni sono 10 dB più bassi di quelli diurni, i superamenti dei limiti saranno di norma più gravi nel periodo notturno che in quello diurno.

Nella figura 1 è rappresentato l'andamento temporale dei livelli sonori, ora per ora, in una delle postazioni di misura dove il contributo del traffico veicolare è preponderante: come si può vedere il livello sonoro è molto stabile per buona parte della giornata, ed inizia a calare nel corso della notte solo dopo le 22, per raggiungere i livelli minimi fra le 4 e le 5 della notte; dopo di che ritorna rapidamente ai valori tipici diurni: queste caratteristiche dell'andamento temporale sono comuni alla maggior parte delle strade fiorentine da noi esaminate. Nella figura 2 invece l'andamento dei livelli nel tempo è molto più frastagliato, e indica anche "a vista" che non è il traffico la sorgente prevalente di rumore. Gli elevati picchi dei livelli che si osservano con ricorrenza intorno alle 2 di notte sono dovuti agli automezzi spazzatrici della piazza.

Firenze - Via della Scala

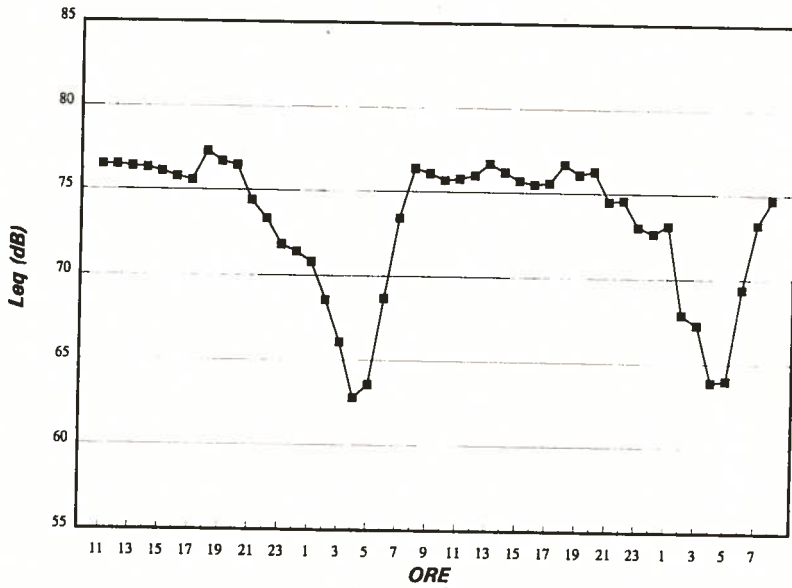


Figura 1

Firenze - P.zza San Lorenzo

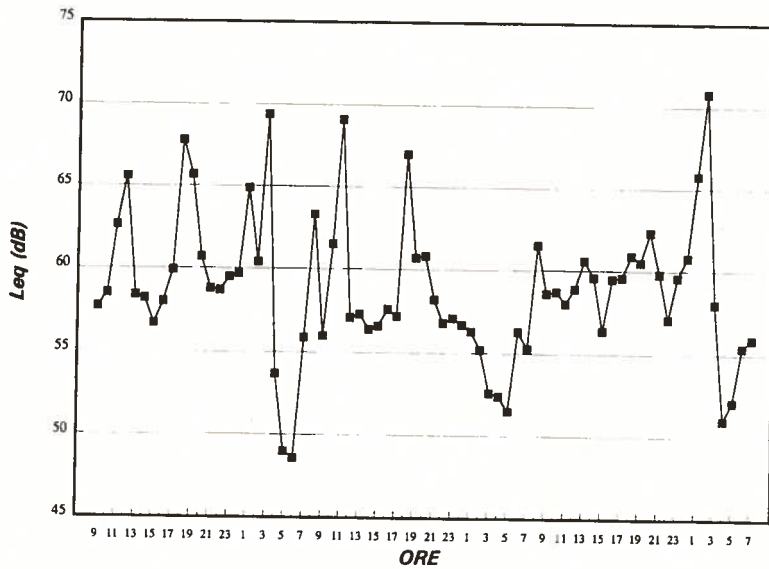


Figura 2

1.2 Il modello acustico della città

In allegato a questo lavoro abbiamo riportato una tabella con tutte le misure eseguite nel Comune di Firenze in questi anni. Una tabella del genere però non fornisce nessuna indicazione realmente utile agli amministratori pubblici che devono affrontare globalmente la soluzione del problema rumore. Tabelle o mappe di rumore sono invece diffuse, e spesso richieste dalle Amministrazioni locali, e sono alla base di assurde classifiche di rumorosità tra diverse città. L'assurdità di questo è determinata dalle caratteristiche fisiche del rumore, che si propaga ed è molto sensibile alle discontinuità sui cammini di propagazione. Ogni misura è solo indicativa della situazione puntuale misurata e non estensibile all'area circostante. Ad esempio la misura in facciata di un edificio prospiciente una strada rumorosa non è affatto significativa per il suo retro, dove possono tranquillamente esserci livelli inferiori di 20-25 dB.

Un contributo significativo alla soluzione del problema del rumore deve evidenziarne le cause e individuare le linee di intervento che possono essere specifiche per le diverse città.

Per poter offrire al comune un contributo in questo senso ci siamo posti il problema di elaborare un "modello" acustico di Firenze basato su parametri non strettamente acustici, ma comunque significativi per gli effetti che producono. Ogni postazione di misura è stata quindi classificata in base a questi parametri, e un'analisi globale di tutte le misure ha portato a dare un "peso" acustico in dB a ciascun fattore.

Per non appesantire inutilmente la fruizione di questo lavoro non entreremo nel dettaglio dei metodi statistici e matematici, rimandando per questo agli articoli scientifici già pubblicati sull'argomento [3]. Al solo scopo di informazione citiamo comunque i metodi statistici utilizzati che sono stati [4-6]:

- 1) test parametrici (T-test per campioni indipendenti e analisi della varianza (ANOVA e MANOVA)) e non parametrici (Mann-Whitney U test e Kruskal-Wallis test) per verificare la reale significatività dei parametri scelti;
- 2) per i fattori significativi, il loro peso è stato determinato tramite regressione multilineare con variabili categorizzate (introdotte nel modello come variabili mute (dummy)).

I dati analizzati sono i Livelli Equivalenti L_{Aeq} pesati con il filtro A, relativi al periodo diurno (6-22) e notturno (22-6). I livelli di ogni sito mi-

surato sono stati suddivisi per campagna di misura in feriali, prefestivi e festivi (e mediati su tutta la durata della campagna). Ogni sito di misura è stato caratterizzato dall'importanza della strada rispetto al traffico, seguendo la classificazione delle strade adottata dal comune di Firenze in preparazione della zonizzazione acustica. Questa suddivisione comprende tre classi di strade: classe A - principali strade urbane e extraurbane di scorrimento e attraversamento; classe B - strade secondarie rispetto alla classe A ma comunque importanti; classe L - strade interessate da traffico locale. Queste strade dovrebbero corrispondere a quelle che nella zonizzazione del territorio caratterizzano rispettivamente le classi IV, III e II. Per ogni sito è stata poi considerata la caratteristica della strada suddividendola in 3 tipologie: strade ad U (ovvero carreggiata stretta rispetto all'altezza degli edifici che la costeggiano su entrambi i lati); strade ad L (strada fiancheggiata da una sola fila di edifici); strade piane (senza edifici che la fiancheggiano in prossimità). Sono stati poi considerati anche i seguenti fattori: tipo di superficie stradale (asfalto, pietra o pavé); transito di autobus pubblici (ATAF); posizione all'interno della ZTL; l'anno e la stagione della misura. Questi fattori sono stati considerati sia singolarmente, sia in interazione tra di loro.

Non tutti i fattori precedenti hanno mostrato di influenzare i livelli sonori con una sufficiente significatività statistica ($p < 0.05$), ovvero all'interno di una classificazione non sempre sono state evidenziate affidabili differenze tra le varie classi. In particolare non ci sono differenze statisticamente significative:

- a) al variare del tipo di superficie stradale (questo per lo scarso campione di strade con coperture differenti dall'asfalto);
- b) tra la tipologia U e L;
- c) tra i livelli notturni e i giorni settimanali (riassunti come feriali, prefestivi e festivi);
- d) tra le diverse stagioni, e tra l'estate (luglio e agosto) e le altre stagioni considerate complessivamente.

Ricordiamo che questa significatività deve essere intesa in modo statistico. Ad esempio il non considerare significativa la differenza tra l'estate e le varie stagioni deve essere inteso nel complesso di tutta la città e limitatamente alle misure eseguite, mentre singole misure ripetute sullo stesso sito possono mostrare differenze. Queste differenze scompaiono però quando considerate nel complesso di tutte le postazioni.

Ci sono invece differenze statisticamente significative per i livelli equivalenti:

- 1) tra i tipi di strade (A, B e L);
- 2) tra strade con tipologia piana e strade fiancheggiate da edifici (L e U);
- 3) solo sui livelli diurni tra feriali, prefestivi e festivi;
- 4) tra strade dove passano i mezzi pubblici (ATAF) e dove non passano;
- 5) tra strade di tipo Locale (L) se nella ZTL o no;
- 6) tra strade di tipo Locale (L) se ci passano gli autobus o no.

Con metodi di regressione lineare multipla con variabili mute (controllando le assunzioni di omoscedasticità, indipendenza e normalità dei residui) è stato dato un peso in decibel a ciascun fattore, ottenendo i risultati seguenti (arrotondati a 0.5 dB):

FATTORE	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno
Strada di tipo A	8.5	9.5
Strada di tipo B	6.5	7.5
Giorno Prefestivo	1.5	n.s.
Giorno Feriale	3.0	n.s.
Passaggio di autobus ATAF	2.5	3.0
Strada fiancheggiata da case	2.5	2.0
Strada di tipo locale con transito di autobus ATAF	3.0	3.0
Strada di tipo locale nella ZTL	2.0	3.0
Costante	58.0	54.5

L'errore standard sui parametri è in genere inferiore a 0.5 e l'errore standard sulla regressione completa è di circa 3 dB. Il significato della costante è quello del livello minimo che si trova in città senza la presenza degli altri fattori. Nel periodo diurno corrisponde quindi ad una strada con traffico locale, di giorno festivo, senza passaggio di autobus, non fiancheggiata da edifici e fuori dalla ZTL. Tutti i contributi si sommano a questa costante. Quindi una strada con traffico di tipo A, di giorno feriale, fiancheggiata da edifici e con passaggio di autobus ha un livello di $58 + 8.5 + 3 + 2.5 + 2.5 = 74.5$ dB. Nel caso di una strada con traffico di tipo locale, con transito di autobus, fiancheggiata da edifici e nella ZTL avremo di notte $54.5 + 3 + 2 + 3 + 3 = 65.5$ dB.

Sintetizziamo la tabella precedente per le tipologie di strade probabilmente più frequenti a Firenze per i due periodi diurni e notturni dei giorni feriali per dare un'idea dei livelli "medi" che ci possiamo aspettare a Firenze (fuori dalla ZTL):

tipo di strada	L _{Aeq} DIURNO	L _{Aeq} NOTTURNO
A	74.0	69.0
B	72.5	67.0
L	66.0	56.5

Nella sezione dedicata agli effetti sanitari del rumore vedremo che questi livelli, specialmente per le strade A e B, possono avere una ripercussione notevole sulla salute della popolazione. Rispetto alla classificazione del territorio, si vede anche come siano ampiamente superati i limiti stabiliti in linea di principio dal DPCM. Infatti i limiti per la classe IV sono di 65 dB diurno e 55 dB notturno, per la classe III 60/50 dB e per la classe II 55/45 dB.

I risultati dell'analisi precedente si prestano quindi a predire con una buona approssimazione i livelli di rumore a bordo strada delle diverse situazioni cittadine, ma si prestano molto bene anche ad un altro utilizzo, che è quello di evidenziare i contributi più significativi al rumore nelle diverse situazioni. Per esempio si osserva come sia molto importante la presenza di transiti ATAF in ogni tipologia di strada. Questo risultato è facilmente comprensibile nel periodo diurno, e sarà maggiormente approfondito nella sezione 1.5, considerando la notevole rumorosità del parco di autobus pubblici attualmente circolante. Nel periodo notturno, dove la frequenza dei transiti si riduce notevolmente, il termine correttivo potrebbe essere invece non direttamente collegato al passaggio degli autobus, ma a una velocità media dei flussi di traffico più elevata, e quindi a una maggiore rumorosità media del singolo veicolo (vedi sezione 1.4).

Come si vede nella tabella ci sono due termini correttivi specifici per le strade locali, legati alla presenza del transito degli autobus nella strada, e all'appartenenza o meno della strada locale alla ZTL. L'interpretazione di questi fattori richiede un minimo di analisi e di attenzione, in particolare nel periodo notturno, quando la ZTL non è attiva e il transito degli autobus è molto limitato.

Il termine correttivo diurno legato alle strade locali (la maggioranza)

nella ZTL è probabilmente legato a due fattori. Il primo, non completamente spiegato dal termine specifico, è dato dalla presenza di edifici su entrambi i lati della strada. All'interno della ZTL le strade sono in media infatti più strette che al di fuori della cerchia dei viali, e la presenza di queste strade strette e fiancheggiate da edifici piuttosto alti su entrambi i lati provoca sicuramente un innalzamento dei livelli acustici.

Il secondo fattore è legato invece alla diversa distribuzione della tipologia dei veicoli circolanti dentro la ZTL, in particolare la maggiore incidenza sui flussi complessivi di ciclomotori e autobus, come verrà meglio spiegato nel paragrafo 1.5.

Nel periodo notturno, il termine correttivo legato alle strade locali nella ZTL tiene probabilmente conto dell'aumento dei flussi di traffico che si verifica, in quanto non ci sono più restrizioni al traffico e analogamente al periodo diurno le strade sono più strette (e fiancheggiate da edifici).

Nel periodo notturno, il termine correttivo legato alle strade locali con presenza di transito di autobus è di più difficile interpretazione. Probabilmente esso è legato ancora a una velocità media dei flussi di traffico più elevata, e quindi a una maggiore rumorosità media del singolo veicolo. Questo effetto è maggiore nelle strade locali rispetto alle altre in quanto in queste i livelli sonori sono più bassi.

Abbiamo eseguito anche un'analisi sull'andamento negli anni dei livelli, che indica un decremento "medio" di 0.15 dB per anno. Questa diminuzione non è rilevabile strumentalmente di anno in anno, ma certamente apprezzabile nei 10 anni misurati. Dato il limitato valore di questa diminuzione, si può anche sospettare un artefatto dell'analisi di regressione, dovuto ad esempio ad una non omogenea scelta dei punti di misura. Questo è possibile, ma un'analisi sull'andamento dei flussi di traffico rilevati dalle postazioni fisse del Comune nei vari anni (sulle postazioni e sui mesi che sono sempre presenti) ha portato a risultati praticamente coincidenti (la regressione tra 10 volte il logaritmo in base 10 della somma dei flussi sulle postazioni considerate e gli anni ha portato ad un coefficiente di -0.10, indicando quindi una effettiva diminuzione dei flussi).

La diminuzione dei livelli determinata dalla regressione appare comunque molto contenuta, anche considerando il rinnovo del parco veicolare circolante forzato da altre motivazioni (inquinamento atmosferico). In base ai nuovi valori di omologazione acustica delle autovetture infatti (vedi

paragrafo 3.3) ci si poteva attendere un miglioramento più marcato, a parità circa di flussi di traffico.

Le spiegazioni potrebbero essere diverse e alcune sono già riportate in letteratura [9]. Nella situazione specifica di Firenze, un importante fattore potrebbe essere dovuto all'incremento dei flussi di ciclomotori, che hanno un peso acustico maggiore rispetto alle autovetture (compensando la diminuzione dei flussi con una maggiore rumorosità del singolo veicolo), e inoltre per la loro piccola massa "sfuggono" al conteggio delle spire magnetiche, in particolare in presenza di congestione del traffico, mascherando così l'incremento dei transiti.

Riassumendo in breve i risultati di questa sezione, possiamo affermare di aver prodotto un modello acustico della città di Firenze dal quale si possono sintetizzare le seguenti conclusioni:

- 1) In città sono in media presenti elevati livelli di rumore, che sono mediamente superiori di più di 10 dB rispetto a quelli previsti dalla classificazione acustica del territorio.
- 2) Contribuiscono a questi livelli oltre agli elevati flussi di traffico delle cause specifiche, alcune delle quali chiaramente individuabili.
- 3) Il rumore in città è rimasto sostanzialmente invariato nel corso degli ultimi 10 anni.

1.3 Gli effetti dell'organizzazione della circolazione

Nel corso di questi anni abbiamo studiato diverse situazioni in cui la modifica della circolazione ha portato alla formazione di comitati cittadini di protesta, oppure non ha fornito i risultati sperati.

Purtroppo il nostro intervento in questi casi è spesso avvenuto a posteriori, ovvero dopo che le modifiche erano già state attuate, oppure con uno scarso preavviso, il che non ha permesso una accurata analisi acustica preliminare, con il conseguente miglior indirizzo degli interventi.

Un intervento sulla viabilità emblematico per la totale trascuratezza delle ricadute acustiche è stato quello effettuato in piazza Pier Vettori nel 1994.

All'origine dell'intervento vi era la necessità di creare delle corsie preferenziali per il trasporto pubblico in via del Ponte Sospeso verso il ponte alla Vittoria. Per ottenere questo è stata tolta la caratteristica di rotatoria intorno alla piazza per il traffico proveniente dal viale Aleardi, indirizzan-

do così il traffico che proveniva dal Viale, e diretto verso il ponte alla Vittoria e via del Bronzino, in via Pisana e in Via Cavallotti. Chi proveniva invece da via Pisana poteva continuare verso via del Ponte Sospeso.

Subito dopo la modifica si è creato un comitato di protesta in Via Cavallotti (dove è presente anche una scuola).

Cosa era successo? Facendo riferimento al modello acustico di Firenze, si era trasformata una strada (via Cavallotti), da "locale" (con livelli presunti di 66 dB di giorno e 56.5 dB di notte) in "importante strada di scorrimento" (con livelli misurati di 71 dB di giorno e 64.8 dB di notte). In letteratura è ormai assodato che un incremento di questo genere porta alla formazione di comitati spontanei di protesta.

Non essendo ingegneri del traffico non abbiamo la presunzione di dire come si poteva creare una corsia preferenziale in quella situazione, ma è evidente che sono stati commessi due errori fondamentali dal punto di vista dell'inquinamento acustico:

- a) non è stata prevista una protesta quasi certa da parte dei cittadini;
- b) sono stati divisi i flussi di traffico (questo punto verrà meglio spiegato nel seguente paragrafo).

Situazioni analoghe a questa si presentano negli interventi che abbiamo osservato in V.le Gori/Via Geminiani (anche qui è presente una scuola), dove è stato incanalato il traffico che precedentemente era indirizzato in via di Carraia, oppure quello di via del Motrone che adesso sostiene parte del traffico di via Pratese.

Il comune denominatore di questi tre casi è la prevedibilità delle reazioni della popolazione e la complessità nell'intervento sui flussi di traffico in ambito urbano già densamente edificato.

1.4 Gli effetti del numero e della velocità dei veicoli

L'intervento principe per ridurre il rumore da traffico è quello dato dalla riduzione del numero dei veicoli in circolazione.

In effetti questo intervento è risolutivo solo nel caso di creazione di zone strettamente pedonali. In tutti gli altri casi è soltanto uno dei possibili interventi che concorrono a raggiungere il livello di bonifica acustica richiesto.

Raggiungere una diminuzione di 10 dB sui livelli intervenendo solo sui flussi implica una drastica riduzione del traffico circolante. Infatti l'anda-

mento del livello equivalente ha una dipendenza logaritmica dai flussi, ovvero (nel caso di traffico fluido) segue una legge del tipo (raffigurata anche nella figura 3) [7]: $LA_{eq} = \text{Const.} + 10 * \log(\text{flusso})$

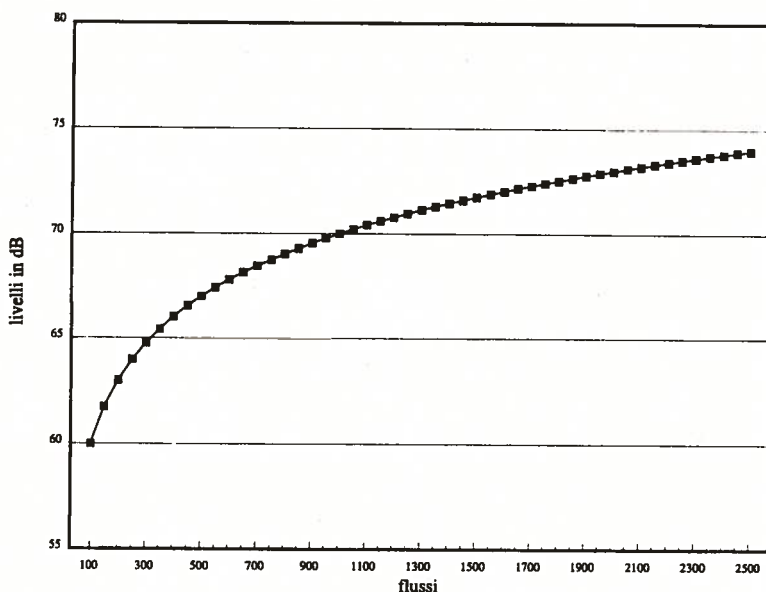


Figura 3

Una riduzione di 10 dB sul livello equivalente indica una necessaria riduzione di un fattore 10 sui flussi, considerando costanti anche le altre variabili che determinano il rumore del traffico (ovvero la composizione e la velocità media). Analogamente un dimezzamento dei flussi porta a una diminuzione del rumore di “soli” 3 dB.

In molti casi però è possibile l'inibizione parziale o totale del traffico a determinate categorie di veicoli in certe strade, in aree ben delimitate, in orari prestabiliti. Rientra in questa categoria di interventi l'adozione a Firenze della ZTL. L'esperienza fiorentina ha mostrato però risultati in un certo modo deludenti, rispetto alla portata dei provvedimenti adottati.

Fin dalla prima introduzione della ZTL, questa U.O. eseguì misure al fine di valutarne l'efficacia, mostrando diminuzioni contenute in 1-2 dB o addirittura nulle a seconda delle postazioni di misura. Una campagna mirata eseguita nel 1995 in occasione della limitazione dei flussi di traffi-

co in via Nazionale ha confermato un guadagno nullo sul livello equivalente.

Questi risultati a prima vista sconcertanti hanno però delle spiegazioni ben precise che cercheremo di motivare analizzando in dettaglio il caso di via Nazionale.

Tra ottobre e novembre 1995 è stato modificato l'accesso a via Nazionale vietando il transito alle autovetture private dalle 7.30 alle 18.30. Abbiamo eseguito misure contemporanee di traffico e rumore prima dell'introduzione della ZTL (26-27 ottobre 1995) e dopo (2-3 novembre e 5-7 dicembre 1995) ottenendo i risultati riassunti nella seguente tabella.

Periodo	ZTL	L _{Aeq} 7.30-18.30	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno
26-17/10/95	NO	73.7	73.2	70
2-3/11/95	SI	73.7	73.2	69.5
5-6/12/95	SI	74.0	73.4	70.2

Le misure eseguite sui flussi di traffico hanno dato invece i seguenti risultati, nella fascia oraria della ZTL, espressi come variazione percentuale rispetto alla situazione senza la ZTL:

Periodo	Flussi totali	Motocicli	Autovetture	Pesanti e Autobus
2-3/11/95	-31%	-28%	-34%	-22%
5-6/12/95	-24%	-9%	-34%	-29%

La riduzione del 30% dei flussi di traffico avrebbe dovuto comportare almeno la diminuzione dei livelli di 1-2 dB, che però non si è osservata. Da notare che la limitazione è imposta solo alle automobili. La forte limitazione nel transito dei motocicli agli inizi di novembre è probabilmente dovuta ad equivoci sulle limitazioni al traffico introdotte dall'ordinanza comunale, nonché all'effetto della presenza di pattuglie di vigili all'ingresso di via Nazionale, che poi non è stata mantenuta.

Le ragioni diventano evidenti quando si osservano i contributi delle varie classi di veicoli al rumore totale. Questo si può ottenere tramite una regressione (non lineare) tra i livelli equivalenti e i flussi di traffico scom-

posti per categorie di veicoli. I risultati di questa analisi (i flussi sono superiori ovvero veicoli transitanti in 30 minuti) sono:

TRAFFICO NON LIMITATO

$$LA_{eq} = 44.2 + 10 * \log_{10}(\text{auto} + 1.7 * \text{ciclomotori} + 8.8 * (\text{pesanti} + \text{autobus})) + 2.4 (\text{se il flusso totale è inferiore a } 200) + 1.5 (\text{se il flusso totale è inferiore a } 300)$$

TRAFFICO LIMITATO

$$LA_{eq} = 44.2 + 10 * \log_{10}(\text{auto} + 3.1 * \text{ciclomotori} + 8.8 * (\text{pesanti} + \text{autobus})) + 2.4 (\text{se il flusso totale è inferiore a } 200) + 1.5 (\text{se il flusso totale è inferiore a } 300)$$

Un modello di questo tipo ha una applicazione che è rigorosa solo puntualmente, e non può essere estesa senza ulteriori controlli ad altre situazioni. I due termini aggiuntivi che dipendono dai flussi totali tengono conto di un fenomeno ben noto, ovvero che se la strada si presenta libera, la velocità media aumenta, incrementando così il termine medio di emissione della singola sorgente media (ovvero un mezzo è più rumoroso a velocità più alte).

Il coefficiente moltiplicativo sui flussi dei ciclomotori, degli autobus e dei mezzi pesanti (sopra i 35 quintali), tiene conto di quanto è più rumoroso il veicolo medio della classe rispetto ad un'auto media. Si vede quindi che i pesanti sono (insieme agli autobus) quasi 9 volte più rumorosi delle auto (il che vuol dire quasi 10 dB in più), mentre il motorino medio è (in questa situazione di traffico) da 1.7 (circa 3 dB) a 3.1 (circa 5 dB) più rumoroso dell'auto media. Da notare l'incremento della rumorosità media dei ciclomotori con l'introduzione della ZTL, effetto sicuramente dovuto ad un sostanzioso aumento della velocità media di questi in presenza di strada più libera dalle auto, e non coperto abbastanza dai termini correttivi collegati al flusso.

Un modello di questo tipo spiega quindi in maniera molto chiara gli scarsi risultati ottenuti in termini di riduzione di rumore (chiaramente altri indicatori ambientali possono invece avere ottenuto risultati migliori): il beneficio ottenuto dalla riduzione sui flussi di traffico è stato completamente riassorbito dalla maggiore rumorosità dei singoli veicoli "medi" a causa della loro maggiore velocità, dovuta al fatto che la strada si presen-

tava più libera. Inoltre la limitazione al traffico ha in pratica inciso solo sulla classe più silenziosa di veicoli, escludendo quelle più rumorose (in questo caso i ciclomotori e gli autobus, mentre per i pesanti la loro consistenza numerica era comunque già molto bassa).

Il modello precedente, oltre a spiegare il perché del modesto risultato, permette di ipotizzare comunque anche altri scenari di intervento, che possiamo riassumere nella tabella seguente (durante l'orario di introduzione della ZTL), simulando l'eliminazione di determinate classi di veicoli, e introducendo limitazioni sulla velocità:

Possibili Scenari Livello Equivalente LAeq (dB)

prima dell'introduzione della ZTL	73.7
stato attuale	74.0
attuale, senza limitazione velocità, escludendo completamente le auto	72.7
attuale ma con limitazione velocità	72.5
attuale, con limitazione velocità, escludendo completamente le auto	70.5
attuale, senza limitazione velocità, escludendo completamente i ciclomotori	69.5
attuale, con limitazione velocità, escludendo completamente i ciclomotori	68.0
attuale, escludendo completamente ciclomotori e auto	65.0

Dagli scenari ipotizzati si osserva come è possibile una riduzione di ben 9 dB, ma a patto di eliminare completamente dal traffico i ciclomotori e i le auto. Nella sezione dedicata alle possibilità di intervento si approfondirà questo aspetto, in particolare come sia possibile far rispettare bassi limiti di velocità in città senza la necessità di dover presenziare la strada con pattuglie di Polizia Municipale.

L'effetto della velocità sui livelli prodotti dagli autoveicoli è stata oggetto di due interventi mirati. Il primo è stato condotto già nel 1990 in occasione dell'introduzione del limite di 30 Km/h nel centro storico fiorentino. I primi risultati mostrarono un effetto nullo del provvedimento che evidenziava sostanzialmente il non rispetto dell'ordinanza da parte della cittadinanza. Per verificare questo fu condotto un esperimento in col-

laborazione con il Comune misurando prima i livelli di rumore in situazione normale, poi facendosi affiancare da una pattuglia di Vigili, con l'autovelox ben in vista. In questo caso fu riscontrata una diminuzione di ben 3 dB sui livelli misurati. Da notare che pochissimi mezzi passarono davanti all'autovelox a 30 Km/h, ma tutti gli automezzi procedevano comunque ad andatura costante senza accelerazioni o decelerazioni apprezzabili, confermando che non solo la limitazione della velocità, ma anche l'andatura costante contribuisce ad una riduzione dei livelli. Appare quindi fondamentale come "bonifica acustica" l'educazione del cittadino.

Un altro studio mirato alla quantificazione dell'effetto della velocità è stato condotto con la facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze, dipartimento di Ingegneria Civile, Sezione Trasporti. In una tesi di laurea [8] svolta presso la nostra U.O. sono state studiate le relazioni che intercorrevano tra velocità e livelli sonori in ambiente urbano. I risultati salienti di questo lavoro sono riassumibili nelle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}\text{AUTOVETTURE } LA_{eq} &= 49 + 0.17 * v \text{ (Km/h)} \\ (LA_{eq} &= 55.8 \text{ per } v=40 \text{ Km/h})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{CICLOMOTORI } LA_{eq} &= 48 + 0.28 * v \text{ (Km/h)} \\ (LA_{eq} &= 59.2 \text{ per } v=40 \text{ Km/h})\end{aligned}$$

Queste relazioni mostrano come un incremento della velocità di 20 Km/h porti ad un'aumento medio di 3.4 dB per le auto e di 5.6 dB per i ciclomotori per quanto riguarda le medie energetiche dei livelli (ed un aumento ancora più marcato, rispettivamente di 4.2 e 6 dB, sui livelli massimi).

Come si osserva dalla tabella che segue questo paragrafo (dove sono riassunte delle misure brevi contemporanee di traffico e rumore a Firenze), il problema maggiore che affligge la ZTL fiorentina è comunque rappresentato dai flussi sicuramente troppo elevati per una zona a traffico limitato.

Infatti i quasi 1.700 veicoli/ora in Piazza Frescobaldi non sembrano proprio un ottimo esempio di "traffico limitato".

Anche se il quadro disegnato finora sembra sconcertante, a volte però i risultati dei provvedimenti di limitazione del traffico in termine di soddi-

sfazione della popolazione esposta sono superiori a quelli che si ottengono in puri termini di riduzione del Livello equivalente.

Emblematico di questo è un intervento che è stato effettuato in accordo con il Comune di Certaldo nel 1991. Questa cittadina è attraversata dalla SS429, con una notevole presenza di traffico pesante anche in strade piuttosto strette (come Borgo Garibaldi). Su protesta della popolazione il Sindaco intervenne sulla circolazione vietando l'attraversamento di Certaldo ai camion superiori ai 110 quintali. In quell'occasione, e con l'importante collaborazione del Comune, fu eseguita una approfondita analisi del traffico cittadino e dei livelli di rumore prima e dopo l'ordinanza. Il risultato fu una riduzione sul Livello equivalente di 1 dB, prodotto dalla riduzione di circa il 10 % del solo traffico pesante.

L'effetto sulla popolazione fu però molto più importante di quanto la semplice variazione di un solo dB sul livello equivalente potesse spiegare. Tutti quanti, infatti, dopo il provvedimento sostenevano che la situazione era nettamente migliorata. Le spiegazioni di questa discordanza sono ormai ben note. In primo luogo c'è un effetto di maggiore sicurezza per le persone che vivevano o lavoravano lungo Borgo Garibaldi, una strada stretta e tortuosa. Eliminando poi i transiti più rumorosi e ben identificabili come quelli dei camion più grossi, il disturbo diminuisce più di quanto la diminuzione dell' L_{Aeq} possa spiegare, in quanto è ormai noto come il disturbo sia collegato non solo al livello medio (L_{Aeq}) ma anche al numero e al livello di eventi chiaramente udibili sopra il livello medio. Un altro risultato dello studio, molto importante per il Comune, fu il rendersi conto che ben la metà del traffico leggero che transitava sulla SS429 era dovuto ai residenti nel comune. Una consistenza così elevata non era spiegabile se non dovuta a "cattive abitudini" dei cittadini, forse rese ancora più evidenti da una regolamentazione della circolazione interna non proprio ottimale.

L'esperienza di Certaldo ha confermato come sia molto importante per il disturbo da traffico la presenza di eventi sonori che superano in modo evidente il livello medio presente nell'area. In tal senso l'esperienza fiorentina, che per ragioni di decongestionamento del traffico ha puntato molto sull'uso del ciclomotore, va in senso contrario. Infatti all'interno del centro storico il traffico è attualmente formato principalmente da autobus del servizio pubblico e da ciclomotori. Nella sezione seguente si vedrà come questi siano proprio i mezzi più rumorosi. Per i ciclomotori, in parti-

colare, l'abitudine diffusa alla manomissione del motore o dell'impianto di scarico (una nostra indagine non strumentale portò a stimare una percentuale di manomissioni evidenti di almeno il 30%) nonché la cattiva abitudine civica di guidarlo sempre "a tutto gas", può rendere questi mezzi particolarmente fastidiosi, nonostante che i livelli di rumorosità siano nettamente migliorati con l'ultima generazione di scooter.

Concludendo questa sezione, un piano di risanamento comunale per il contenimento del rumore da traffico dovrà affrontare la riduzione della velocità, soprattutto in congiunzione con provvedimenti di limitazione della circolazione. In particolare, più che di contenimento della velocità in senso stretto, il primo scopo dovrà essere quello di rendere fluido il traffico, evitando in particolare andature "stop and go".

Misure brevi (15 minuti) di rumore e traffico a Firenze

POSTAZIONE	DATA	ORA	L _{Aeq}	FLUSSI VEICOLARI			
				leggeri	pesanti	totali	% Pesanti
B.go Ognissanti	19-mar-92	09.00	76,8	1152	52	1204	4,3
B.go Ognissanti	21-mar-92	08.15	74,5	604	16	620	2,6
B.go Ognissanti	06-ago-92	09.30	72,3	632	12	644	1,9
B.go Ognissanti	06-ago-92	11.00	73,4	776	8	784	1,0
B.go Ognissanti	08-ago-92	09.30	71,4	492	16	508	3,1
B.go San Frediano	09-apr-92	09.00	72,8	736	56	792	7,1
B.go San Frediano	10-set-92	09.15	72,4	524	28	552	5,1
Lungarno Torrigiani	28-mar-92	11.00	65,8	876	24	900	2,7
Lungarno Torrigiani	01-ago-92	09.30	70,1	688	28	716	3,9
Lungarno Torrigiani	04-ago-92	09.00	68,6	732	52	784	6,6
P.zza D'Azeglio	04-lug-92	08.45	70,2	376	16	392	4,1
P.zza D'Azeglio	07-lug-92	08.45	72,4	772	40	812	4,9
P.zza D.'Azeglio	08-gen-92	10.00	72,2	468	40	508	7,9
P.zza del Carmine	15-gen-92	12.00	62,8	268	0	268	0,0
P.zza del Carmine	17-gen-92	10.00	63,2	208	12	220	5,5
P.zza del Carmine	09-giu-92	09.15	65,9	280	12	220	5,5
P.zza Frescobaldi	25-lug-29	09.15	65,9	280	8	288	2,8
P.zza Frescobaldi	09-apr-92	09.30	77,0	1472	152	1624	9,4
P.zza Frescobaldi	23-lug-92	09.30	75,8	1596	76	1672	4,5
P.zza Goldoni	25-ago-92	10.15	74,2	1056	60	1116	5,4
P.zza Goldoni	27-ago-92	09.00	75,3	1080	76	1156	6,6
P.zza Indipendenza	05-feb-92	08.15	67,6	868	36	904	4,0
P.zza Indipendenza	16-lug-92	09.00	69,2	1256	24	1280	1,9
P.zza Indipendenza	18-lug-92	08.15	68,6	844	4	848	0,5
P.zza Libertà	14-mar-92	09.15	74,0	2676	116	2792	4,2
P.zza Libertà	17-mar-92	08.00	77,2	4320	168	4488	3,7
P.zza Libertà	18-lug-92	09.00	73,0	2420	80	2500	3,2
P.zza Libertà	21-lug-92	10.00	75,0	3048	140	3188	4,4
P.zza N. Sauro	26-mar-92	10.45	73,3	516	40	556	7,2
P.zza n. Sauro	28-mar-92	08.30	71,2	296	32	328	9,8
P.zza N. Sauro	20-ago-92	10.30	69,6	468	24	492	4,9
P.zza N. Sauro	22-ago-92	09.15	66,7	368	12	380	3,2
P.zza Pitti	08-gen-92	10.00	68,6	568	32	600	5,3
P.zza Pitti	07-lug-92	10.30	69,3	808	64	872	7,3
P.zza Pitti	09-lug-92	08.30	69,4	684	44	728	6,0
P.zza poggi	04-apr-92	10.45	71,6	1152	44	1196	3,7
P.zza Poggi	29-ago-92	10.00	67,7	780	32	812	3,9
P.zza Poggi	01-set-92	08.00	72,6	1688	72	1760	4,1
P.zza Rucellai	17-mar-92	09.30	74,9	780	92	872	10,6
P.zza Rucellai	19-mar-92	08.30	72,3	676	68	744	9,1
P.zza Rucellai	02-lug-92	08.15	71,7	384	20	404	5,0
P.zza Salvemini	21-mar-92	09.15	72,7	956	36	992	3,6
P.zza Salvemini	24-mar-92	08.45	72,6	1068	104	1172	8,9
P.zza Salvemini	25-lug-92	11.30	70,5	1416	20	1436	1,4
P.zza San Felice	13-gen-92	12.00	72,0	964	36	1000	3,6
P.zza Strozzi	08-ago-92	10.30	69,3	728	16	744	2,2

POSTAZIONE	DATA	ORA	L _{Aeq}	FLUSSI VEICOLARI			
				leggeri	pesanti	totali	% Pesanti
P.zza Strozzi	18-ago-92	09.30	69,2	496	40	536	7,5
P.zza S. Croce	04-gen-92	11.00	71,2	568	52	620	8,4
P.zza S. Croce	21-lug-92	10.45	71,4	1240	36	1276	2,8
P.zza S. Firenze	04-ago-92	09.45	66,7	588	28	616	4,5
P.zza S. Trinita	31-mar-92	08.30	73,8	1160	188	1348	13,9
P.zza S. Trinita	18-ago-92	10.15	68,2	508	40	548	7,3
P.zza S. Trinita	20-ago-92	09.00	70,6	656	40	696	5,7
Via del Prato	30-lug-92	13.00	73,8	1120	32	1152	2,8
Via del Prato	01-ago-92	08.30	69,2	456	44	500	8,8
Via della Scala	02-apr-92	08.30	75,0	712	124	836	14,8
Via della Scala	04-apr-92	09.30	75,0	512	84	596	14,1
Via della Scala	27-ago-92	09.45	75,7	572	108	680	15,9
Via della Scala	29-ago-92	09.00	75,0	476	104	580	17,9
Via della Mattonaia	07-feb-92	10.45	71,0	424	8	432	1,9
Via dela Mattonaia	11-feb-92	09.00	71,9	456	16	472	3,4
Via La Pira	13-gen-92	13.00	73,5	552	88	640	13,8
Via La Pira	15-gen-92	11.00	72,5	584	72	656	11,0
Via la Pira	16-lug-92	08.30	72,1	536	80	616	13,0
Via San Gallo	01-set-92	08.45	69,4	432	28	460	6,1
Via San Gallo	03-set-92	09.00	69,8	420	16	436	3,7
Via S. Agostino	11-feb-92	10.00	71,3	340	20	360	5,6
Via S. Agostino	28-lug-92	14.30	69,7	412	20	432	4,6
Via S. Agostino	30-lug-92	12.00	71,9	616	8	624	1,3
V.le Rosselli	05-set-92	10.15	75,0	3612	108	3720	2,9
Albereta	17-mar-94	13.00	52,9*	380	8	388	2,1
A. Moro (Arno)	23-set-94	10.00	69,3*	1680	148	1828	8,1
Bellariva	16-set-94	10.00	57,3*	2112	120	2232	5,4
D'Azeglio	06-spt-94	11.00	60,0*	252	20	272	7,4
D'Azeglio	06-apr-94	11.00	60,0*	632	20	652	3,1
Elia della Costa	19-apr-94	10.00	56,1*	1492	44	1536	2,9

* Misura eseguita dentro il giardino

1.5 Il peso acustico dei vari mezzi

Che tutti i veicoli non producano gli stessi livelli di rumore è cosa ovvia, non semplice è però quantificare le differenze esistenti in condizioni di traffico reale. Le norme di omologazione dei veicoli infatti stabiliscono delle procedure di misura e fanno riferimento a dei parametri che solo in casi particolari riproducono le reali condizioni d'uso dei veicoli.

Nelle nostre indagini abbiamo cercato di quantificare in situazioni reali quale fosse il rumore attribuibile ad una classe di veicoli. Con una operazione di media quindi abbiamo potuto verificare quanto l'auto "media" fosse più o meno rumorosa ad esempio del "motociclo medio". Queste differenze cambiano tra un luogo e l'altro, poiché dipendono ovviamente dalle condizioni di marcia dei veicoli e dalla tipologia della postazione di misura.

Nella seguente tabella riassumiamo il rapporto rispetto "all'automobile media", nelle diverse situazioni da noi misurate. Nel leggere i dati, il valore del rapporto indica quanta energia sonora in più una classe ha rispetto a quella più silenziosa (che è quella delle automobili). Se ad esempio il rapporto è 2, significa il doppio dell'energia sonora, oppure 3 dB in più sui livelli medi.

PESO ACUSTICO RELATIVO TRA LE VARIE
CATEGORIE DI VEICOLI

Postazione	Auto	Ciclomotori e motocicli	Pesanti	Autobus
P.zza P. Vettori	1	1.0	2.8	45.0
Cavour	1	1.0	1.0	10.0
Nazionale con ZTL	1	3.0	8.8	8.8
Nazionale senza ZTL	1	1.7	8.8	8.8
Orsini	1	1.0	9.4	9.4
Salutati	1	1.0	6.6	6.6
Bande nere	1	1.0	6.5	6.5
Mosse	1	1.0	9.0	9.0
Pira	1	1.0	7.1	7.1

Come si osserva dalla tabella, l'auto "media" produce lo stesso rumore del ciclomotore "medio", mentre è evidente un maggior peso acustico degli autobus e dei mezzi pesanti, con un rapporto che è di circa 1 a 10. Questo significa ad esempio che il rumore mediato nel tempo di 10 autovetture è equivalente a quello di un autobus, o anche che in una strada con un flusso medio di 1.000 veicoli/ora, dove non transitano autobus, troviamo livelli paragonabili a quelli di un'altra dove transitano solo 100 autobus.

Una analisi più fine, mediata su alcune postazioni, è stata eseguita in occasione della tesi citata (par. 1.4, [8]), ed i risultati sono riassunti nella seguente tabella, in cui sono riportati i livelli medi (calcolati a 25 m di distanza) anche per categorie specifiche di veicoli.

Livelli di rumore prodotti dalle varie classi di autoveicoli

Veicoli	Livelli sonori (in DB(A))			Rapporti rispetto alle AUTO		
	SEL	L _{Aeq}	L _{MAX}	SEL	L _{Aeq}	L _{MAX}
Ciclomotori e motocicli	67.0	61.1	66.0	1.8	1.7	1.9
Autovetture	64.4	58.8	63.1	1.0	1.0	1.0
Ciao	65.5	59.7	64.3	1.3	1.2	1.3
Vespa	66.8	60.6	65.9	1.7	1.5	1.9
Furgone	66.1	60.7	64.4	1.5	1.5	1.3
Golf	66.1	59.7	64.2	1.5	1.2	1.3
Uno	63.0	57.8	61.7	0.7	0.8	0.7

Questa tabella evidenzia come in realtà il rapporto tra ciclomotori e autovetture sia circa di 1.8, e come anche all'interno delle classi generiche di veicoli ci possano essere differenze.

L'effetto dei pesi acustici delle tabelle precedenti appare evidente nei casi reali analizzati nella tabella seguente.

Flussi di traffico - valori orari medi e totali giornalieri

Posizione	Flussi orari								Flussi Totali		
	Auto	Moto	Bus	Pes	Tot	%Auto	%Moto	%Bus	Totale 24h	Flussi equiv.	Rap.
Cavour	262	426	47	6	740	35.4	57.6	6.2	17760	27936	1.6
Orsini	646	268	32	4	950	68.0	28.2	3.4	22800	30058	1.3
Salutati	701	206	31	5	943	74.3	21.9	3.3	226332	27470	1.2
Bande Nere	187	103	28	2	320	58.4	32.2	8.8	7680	11640	1.5
Mosse	651	317	26	39	1033	63.0	30.7	2.5	24792	37272	1.5
Nazionale No ZTL	578	250	13	7	848	68.2	29.5	1.5	20352	30096	1.5
Nazionale Si ZTL	427	222	10	7	666	64.1	33.3	1.5	15984	24494	1.5
La Pira	244	378	42	3	667	36.6	56.7	6.3	16008	22596	1.4

Partendo dai flussi orari medi giornalieri e dai pesi acustici delle varie classi sono stati calcolati il numero giornaliero totale dei veicoli, nonché il totale "equivalente", ottenuto sommando il numero giornaliero totale di veicoli nelle varie classi, moltiplicato per il loro peso acustico. Nell'ultima colonna è riportato il rapporto tra numeri equivalenti e flussi reali. Il significato del numero equivalente è in pratica quello di considerare il contributo al rumore da parte delle classi di veicoli più rumorose come scomposto nel numero equivalente dei veicoli più silenziosi (numero che è dato dal valore dei pesi acustici relativi).

Osservando la tabella è facile notare come dai flussi equivalenti si possano avere delle sorprese. Per esempio, se confrontiamo Via Cavour con via Coluccio Salutati, in percentuale il flusso orario in via Coluccio Salutati è superiore del 27 % rispetto a via Cavour, mentre in termini di flussi equivalenti in realtà si equivalgono. La diversa composizione del traffico tra le due strade comporta quindi che il numero di sorgenti di traffico in termini di singole sorgenti minime sia lo stesso in quanto, in questo caso, il flusso degli autobus pubblici è più elevato.

Da questo esempio appare chiaro come i livelli di rumore prodotti dal traffico possano essere influenzati in maniera rilevante dalla composizione dei veicoli che formano il flusso totale.

1.6 I ciclomotori

In questi ultimi tempi si è sviluppata una discussione molto accesa sull'impatto ambientale dei ciclomotori. In questo capitolo vorremmo affrontare il problema di una corretta valutazione del contributo al rumore di questi veicoli.

Non ci occuperemo quindi di aspetti che sicuramente contribuiscono alla cattiva fama di questi mezzi, come la scarsa attenzione dei guidatori al codice della strada, oppure la manomissione evidente e non consentita degli impianti di scarico.

L'alta diffusione dei motocicli e dei ciclomotori a Firenze e in altre città della Toscana, rispetto alla media nazionale, è una realtà che oseremmo definire storica. Negli ultimi anni, anche per l'introduzione in commercio di mezzi facilmente guidabili, comodi e con buone prestazioni (e quindi utilizzabili anche per il pendolarismo dai comuni limitrofi), la diffusione dei ciclomotori ha avuto un importante incremento, avvenuto probabilmente per due ragioni. La prima causa è l'intasamento sempre più evidente della circolazione delle autovetture (e dei mezzi pubblici diretti verso il centro della città). Il ciclomotore è molto meno afflitto da questi problemi, e quindi risponde in modo ottimale alla necessità di una rapida mobilità in città. La seconda è dovuta alla possibilità di raggiungere senza restrizioni anche il centro cittadino, nelle zone a traffico limitato, senza problemi di parcheggio (situazione questa che ha portato alla pessima abitudine di intendere il motorino come un mezzo con cui sia possibile compiere tragitti da porta a porta, abitudine difficile da sradicare).

In particolare, la possibilità di poter accedere alla ZTL con poche restrizioni ha portato nel centro storico ad avere un intenso flusso di traffico formato in maniera prevalente da questi mezzi. Infatti se fuori dalla ZTL la percentuale di ciclomotori nel flusso totale è di circa il 30%, all'interno è in genere intorno al 50%, e anche superiore nelle ore centrali della mattina e del pomeriggio.

Ricordando poi che il "peso acustico" dei ciclomotori è circa 1.5 - 1.8 rispetto ad un'autovettura, l'aumento dei flussi di questi veicoli e la variazione di composizione del traffico all'interno della ZTL ha sicuramente comportato un deterioramento della qualità acustica della Zona a Traffico Limitato.

In queste strade ciò ha di fatto annullato l'unico limite effettivo all'in-

quinamento acustico sin qui applicato, cioè l'impossibilità fisica a sostenere volumi di traffico elevati.

Concludendo questa breve sezione su un mezzo di trasporto che suscita attualmente molte perplessità ambientali, riteniamo che il "motorino" non sia un mezzo da demonizzare e combattere, ma solo da regolamentare.

Infatti la rumorosità di questi mezzi in assetto "legale" di marcia, sia pur superiore a quella degli autoveicoli, non è elevata in assoluto e tende sempre più a diventarne simile. La possibilità di poter circolare liberamente dentro la ZTL ha però in parte vanificato gli effetti di questa all'interno del centro storico.

Pur senza scordarci gli effetti benefici che questo mezzo ha sulla circolazione cittadina (evidenti ad esempio nei giorni di pioggia quando parte dei ciclomotoristi utilizza le autovetture), che ha portato ad una politica che privilegia proprio l'uso del "motorino", il prossimo passo per un miglioramento ambientale del centro storico non potrà non considerare una sua regolamentazione più stretta, introducendo limitazioni all'accesso e alla sosta, e spostando ad altre categorie di veicoli (a inquinamento nullo come le biciclette o i mezzi elettrici, senza dimenticare il mezzo pubblico) i "privilegi" di cui adesso quel mezzo gode.

1.7 Conclusioni

Nei precedenti capitoli abbiamo cercato di evidenziare come intervengono nel determinare i livelli sonori prodotti dal traffico tre fattori principali:

il volume totale di traffico
la velocità media dei veicoli
la composizione dei veicoli

Abbiamo anche cercato di spiegare come questi parametri sono tra loro correlati, e come intervenendo solo su uno, spesso senza ulteriori interventi di tipo amministrativo o progettuale, i risultati sono vanificati.

Abbiamo anche elaborato un modello che potrebbe essere preso a base per una valutazione del rumore di Firenze, e che evidenzia possibili strategie di risanamento.

A conclusione del capitolo segue un elenco di tutte le misure eseguite fino al 1996. Osservando la tabella sorge spontanea la domanda se a Firen-

ze esistono aree silenziose. La risposta è Sì, e sono molte di più di quanto si pensi.

Infatti le caratteristiche fisiche di propagazione del suono sono tali che basta una barriera sufficientemente spessa ed elevata per garantire dei livelli sonori non solo accettabili, ma addirittura "di qualità".

Le nostre misurazioni, eseguite a bordo strada, evidenziano sicuramente dei livelli elevati, misurati in prossimità della facciata degli edifici. Ma spesso sul retro degli edifici, nelle corti e nei giardini chiusi, nelle strade senza sfondo, nelle strade che sono veramente solo locali (ci accede solo chi ci abita) oppure nei grandi parchi pubblici (Albereta, Boboli, Cascine etc) sono presenti livelli che di giorno sono inferiori ai 55 dB.

La valutazione di quanto una città è rumorosa, o meglio di qual è la "dose" di rumore subita dalla cittadinanza, non può quindi prescindere dalla considerazione dei livelli effettivi anche sul retro degli edifici, dalla disposizione delle camere da letto rispetto alle strade, dalle abitudini di vita e dal luogo di lavoro.

Chiarire meglio questo punto ci preme molto. Purtroppo, vengono fatte classifiche superficiali di "rumorosità" delle città basandosi su poche misure, eseguite spesso cercando situazioni rumorose.

Questo confronto è assurdo perché non è un confronto fra città, ma tra punti di misura singoli, posizionati anche in diverse città.

Anche il nostro modello ha in sé dei limiti intrinseci, anche se è sicuramente un notevole passo avanti rispetto a queste misure spot, poiché limita il confronto al rumore delle strade.

L'unico confronto che ha un significato vero è quello di mettere in relazione tra città la distribuzione percentuale dell'esposizione della popolazione al rumore (ad esempio poter affermare che il XX % della popolazione è esposto a più di YY dB di notte). La conoscenza di questo valore è poi importante per valutare l'efficacia di un piano di risanamento comunale, e l'evolversi nel tempo della "qualità acustica della città".

Un esempio chiarisce meglio la differenza tra questo tipo di approccio e la misura casuale. In via Cavour ci sono più di 75 dB di giorno e quasi 70 dB la notte, valori sufficienti in una classifica per punti a porre Firenze tra le città più rumorose d'Italia. In via Canova (lungo la strada) si rilevano 71 e 64 dB rispettivamente di giorno e di notte. Misurando non a bordo strada, ma più all'interno, in prossimità dei palazzi abitati, questi valori diventano 56 dB di giorno e 50 di notte. Da un punto di vista di tutela della

salute della popolazione interessa conoscere l'esposizione della popolazione di Firenze ai livelli notturni, poiché sono questi che influenzano in modo determinante il sonno. È necessario quindi sapere quanta gente è esposta a quali livelli. Ma allora quanta gente dorme in via Cavour esposta in facciata a 70 dB? Quanta gente dorme nei palazzi di via Canova esposta a 50 dB? E se in via Cavour gli abitanti dormissero tutti non nelle stanze prospicienti la via, ma sul retro, con livelli che tranquillamente potrebbero essere inferiori di 10-20 dB? Ecco quindi che i 70 dB misurati lungo strada potrebbero non avere alcuna rilevanza su scala cittadina, sia per la bassa percentuale di popolazione esposta, sia perché probabilmente non vi è esposta affatto. Anzi, se tutta la città dormisse con livelli in facciata di 50 dB come in Via Canova, si potrebbe affermare tranquillamente che Firenze è la città dove in Italia si dorme meglio, ribaltando i risultati di una classifica assurda. Il problema quindi di avere 70 dB la notte in via Cavour sarebbe non più un problema di tutela della salute, ma di standard qualitativi della città da migliorare.

La determinazione della distribuzione dell'esposizione non è una cosa semplice da realizzare, come si può intuire dall'esempio, perché richiede un dettaglio di conoscenza non solo della città e dei livelli misurati lungo le strade, ma anche delle abitudini di vita e di uso degli edifici e dei livelli nelle parti protette dalla strada, anche ai vari piani delle abitazioni. La distribuzione dell'esposizione può comunque essere determinata in modo molto affidabile con indagini e misure mirate, ricorrendo a tecniche di tipo statistico-epidemiologico.

Questa U.O. ha da tempo l'intenzione di avviare un'indagine conoscitiva di questo tipo, ma dato l'enorme impegno di persone e mezzi necessari, purtroppo non è stato ancora possibile procedere.

TUTTE LE MISURE

Dati medi per campagna di misura 1987 - 1996

Solo giorni feriali

G indica che la misura è stata eseguita all'interno del giardino

Nome		Data	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno	classe strada
5 vie (1)		ott-96	66,9	59,8	L
5 vie (2)		ott-96	63,3	55,5	L
Agnolo		mar-88	72,0	64,6	B
Albereta	G	feb-94	56,2	49,3	-
Alberti		giu-93	75,3	70,4	A
Aleardi		mar-87	75,0	69,5	A
Aleardi		giu-87	75,2	69,1	A
Aleardi		mag-89	74,9	69,8	A
Alfani		apr-88	70,4	64,2	B
Aretina		apr-87	72,8	66,3	A
Aretina		set-87	72,1	67,4	A
Aretina		ma-89	72,5	67,2	A
Azeglio		mar-90	65,7	55,6	B
Azeglio		feb-92	70,9	65,9	B
Azeglio		lug-92	71,0	65,3	B
Azeglio	G	mar-94	61,2	52,2	-
Bande nere		mag-96	70,8	62,6	L
Bandi		apr-90	58,6	55,4	L
Baracca		mar-90	74,8	69,8	A
Baracca		ago-90	72,3	66,8	A
Baracca		ago-93	75,5	68,4	A
Baracca-Carraia	G	ott-94	61,8	60,5	-
Bargellini		feb-90	64,4	59,8	L
Bellariva	G	set-94	57,0	51,4	-
Boboli (Bruciatore)	G	mag-94	50,3	43,7	-
Boboli (Regina)	G	mag-94	52,4	43,0	-
Bolognese		gen-90	74,5	68,6	A
Brozzi		giu-92	65,9	61,0	B
Brunelleschi		set-87	64,4	51,2	L
Brunelleschi		mar-92	62,1	52,7	L
B. Montelupo		lug-90	73,3	68,0	A
Cambi (per Zeus)		gen-94	62,2	55,8	L
Campania		set-94	64,9	56,7	L
Canova		mag-90	70,6	63,2	B
Canova		feb-91	71,2	63,9	B
Canova		gen-94	69,8	63,1	B
Canova (interno)		feb-94	56,3	50,1	L
Carmine		lug-90	65,5	62,5	B
Carmine		gen-92	63,9	57,8	B
Carmine		lug-92	67,4	64,0	B
Carraia		apr-94	66,2	63,7	A
Carraia		giu-94	69,8	65,4	A

Nome		Data	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno	classe strada
Cascine cornacchie	G	nov-93	51,8	52,0	-
Cascine Pavoniere	G	set-93	59,6	55,7	-
Cascine Pratone	G	set-93	53,5	48,1	-
Castri		apr-91	64,5	56,4	L
Cavallotti		mar-94	71,0	64,8	A
Cavour		mar-87	75,9	69,3	B
Cavour		set-94	76,3	68,4	B
Cavour (Anna)		feb-90	73,7	67,1	B
Cavour (prefettura)		lug-87	75,9	69,9	B
Cavour (prefettura)		set-87	75,9	69,4	B
Cavour (prefettura)		ott-87	76,3	70,2	B
Cavour (prefettura)		feb-88	76,8	69,6	B
Cavour (prefettura)		feb-90	76,3	69,7	B
Cavour (prefettura)		lug-93	76,2	69,2	B
Celso		set-89	73,0	67,7	A
Circondaria	G	ago-93	62,7	54,1	-
Corcos		mag-90	59,8	49,7	L
Cure		dic-89	68,9	64,9	A
Dalmazia		apr-87	75,2	68,0	A
Dalmazia		ago-87	72,5	66,6	A
Dalmazia		ago-93	72,2	72,3	A
Dei		apr-93	72,2	72,3	A
Diacceto J.		lug-96	71,2	66,5	B
Diaz		feb-90	73,4	69,1	B
Diaz		nov-90	72,8	67,5	B
Diaz		giu-91	72,7	67,1	B
Diaz		dic-91	74,8	70,1	B
Duomo (Marchi)		mar-87	74,8	69,0	B
Duomo (Marchi)		lug-87	73,7	69,3	B
Duomo (Marchi)		set-87	74,8	68,7	B
Duomo (Marchi)		set-87	74,9	68,6	B
Duomo (Marchi)		feb-88	74,2	68,5	B
Duomo (Marchi)		giu-88	73,1	73,4	B
Duomo (Marchi)		feb-89	75,2	69,5	B
Duomo (Marchi)		mag-89	73,2	66,9	B
Duomo (Martelli)		feb-89	75,3	68,5	B
Elia Della Costa	G	apr-94	59,9	51,7	-
Erbosa		ott-87	71,2	64,6	A
Etruria		lug-90	72,6	68,2	A
Etruria		feb-91	73,4	68,6	A
Europa		apr-87	74,2	69,7	A
Europa		ott-87	73,6	68,0	A
Europa		feb-89	74,3	67,6	A
Martelli		dic-91	77,3	71,5	B
Martini		mar-91	71,2	64,0	B
Masaccio		dic-89	73,9	71,5	B
Mattonaia		feb-92	70,5	67,4	B
Medaglie d'oro	G	dic-93	61,2	54,2	-

Nome		Data	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno	classe strada
Mercadante		ott-92	66,1	59,7	B
Mezzo		apr-90	76,3	70,2	A
Milton		ott-87	74,1	68,2	A
Minghetti		ago-95	69,1	64,5	L
Minzoni		gen-90	75,5	69,5	A
Morgagni		ago-87	71,6	64,9	A
Moro (Arno)	G	set-94	69,3	65,5	-
Mosse		apr-87	75,5	69,5	A
Mosse		lug-87	74,8	69,8	A
Mosse		set-87	75,9	69,3	A
Mosse		mar-89	76,5	69,9	A
Mosse		mag-89	75,5	70,4	A
Mosse		gen-90	76,3	71,0	A
Mosse		giu-92	75,6	71,1	A
Mosse		giu-93	76,0	71,2	A
Mosse		lug-96	76,8	71,6	A
Motrone 1		ott-95	64,7	59,8	A
Motrone 2		ott-95	65,3	58,1	A
Motrone 3		ott-95	64,0	57,6	A
Motrone 4		ott-95	69,6	63,0	A
Nazionale		apr-88	72,8	69,0	B
Nazionale		nov-95	73,0	69,6	B
Nazionale		dic-95	73,6	70,3	B
Niccolini		apr-88	70,7	68,2	L
Novella		giu-88	64,7	60,5	B
Novella		dic-91	69,5	76,1	B
Novelli	G	set-93	59,4	51,6	-
Ognissanti		apr-92	74,3	70,2	L
Ognissanti		ago-92	72,8	67,6	L
Ognissanti		mar-96	70,7	66,7	L
Olio		nov-94	71,3	64,0	L
Orsini		gen-96	74,6	68,6	A
Orticoltura	G	giu-94	58,7	49,7	-
Pannunzio		apr-91	63,9	54,7	L
Pettini	G	mag-94	58,0	43,0	-
Piagge		ott-91	64,4	63,0	L
Piagge		mar-94	65,7	62,4	L
Pienza		gen-94	61,7	52,6	L
Pietrapiana		giu-88	70,0	62,3	L
Piombino		mar-91	70,8	64,8	A
Pira		feb-88		66,2	B
Pira		feb-89	74,4	64,0	B
Pira		feb-90	74,1	68,0	B
Pira		gen-92	72,8	64,8	B
Pira		lug-92	73,0	66,1	B
Pira		lug-93	71,4	63,2	B
Pisana		feb-94	75,2	69,9	A
Pistoiese		giu-91	73,2	69,4	A

Nome		Data	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno	classe strada
Pitti		feb-90	69,3	65,9	B
Pitti		gen-92	68,9	65,2	B
Pitti		lug-92	68,8	65,2	B
Ponte Rosso		gen-90	73,8	67,1	A
Pratese		mag-88	76,8	71,1	A
Pratese		nov-90	73,1	68,2	A
Pratese		ott-95	72,6	65,3	A
Prato V.		feb-92	71,8	66,2	B
Prato V.		lug-92	70,6	65,4	B
Pucci		giu-93	73,0	63,5	B
P. Giraldi		mag-88	75,8	70,9	A
P. Prato		apr-87	73,5	70,8	A
P. Prato		set-87	75,4	71,3	A
P. Prato		mag-88	76,4	71,4	A
P. Prato - Vu		set-87	75,2	70,6	A
P. Romana		mar-87	74,6	67,5	A
P. Romana		ago-87	71,2	66,3	A
P. Romana		mag-89	74,8	69,5	A
Ricasoli		set-87	65,2	58,6	L
Ridolfi		apr-88	72,3	69,7	B
Ronco corto		set-96	73,5	67	A
Rosselli		mar-89	76,9	71,8	A
Rosselli		set-92	75,6	72,3	A
Rucellai		mar-92	73,3	68,2	L
Rucellai		giu-92	73,3	68,2	L
Rucellai		nov-95	65,9	59,1	L
Saggina		mar-91	65,2	56,1	L
Sala		mag-91	54,3	49,8	L
Salci		apr-91	61,4	51,8	L
Salutati		mar-96	73	67,5	A
Salvemini		mar-92	71,4	66,1	L
Sauro		mar-92	72,5	69,4	L
Sauro		ago-92	69,1	66,2	L
Scala		feb-88	70,4	67,4	B
Scala		apr-92	77,6	72,4	B
Scala		ago-92	75,9	70,5	B
Senese		mar-87	72,7	67,0	A
Senese		giu-87	73,7	69,0	A
Senese		feb-89	74,1	69,7	A
Serragli		lug-90	72,0	66,7	B
Serragli		ago-93	72,5	69,2	B
Servi		mar-87	73,3	66,7	B
Servi		set-87	72,5	68,1	B
Servi		feb-89	74,8	63,1	B
Signoria		mar-87	64,1	55,4	L
Signoria		lug-87	67,9	62,6	L
Signoria		feb-92	61,1	51,0	L
Specchio		apr-91	53,0	43,8	L

Nome		Data	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno	classe strada
Strozzi P.		lug-89	71,1	65,5	L
Strozzi P.		ago-90	70,9	64,7	L
Strozzi P.		ago-92	69,3	65,6	L
Strozzi P.		ago-93	69,9	64,7	L
Strozzi via		giu-88	71,7	64,2	A
S. Agostino		feb-92	71,1	66,1	B
S. Agostino		lug-92	69,9	66,2	B
S. Agostino		lug-93	71,0	66,4	B
S. Annunziata		feb-92	67,8	61,4	B
S. Annunziata		lug-92	66,2	61,2	B
S. Caterina		ott-87	70,8	66,2	B
S. Croce		feb-88	70,8	65,9	L
S. Croce		feb-89	71,1	65,7	L
S. Croce		gen-92	71,2	66,1	L
S. Croce		lug-92	69,9	65,1	L
S. Croce		ago-93	67,1	63,0	L
S. Felice		apr-87	71,3	65,5	B
S. Felice		mag-87	71,4	65,7	B
S. Felice		feb-88	71,7	65,3	B
S. Felice		giu-88	71,5	65,2	B
S. Felice		giu-88	71,5	65,2	B
S. Felice		gen-92	71,9	67,2	B
S. Firenze		feb-92	67,9	63,3	B
S. Firenze		ago-92	66,0	61,4	B
S. Frediano		mar-88	69,5	64,5	B
S. Frediano		apr-92	72,1	67,0	B
S. Frediano		set-92	72,0	66,7	B
S. Gallo		giu-88	67,6	60,8	L
S. Gallo		feb-90	68,1	60,0	L
S. Gallo		feb-92	71,1	64,3	L
S. Gallo		set-92	68,2	62,7	L
S. Jacopo		mar-96	69,5	58,7	L
S. Lorenzo		feb-92	61,8	65,7	L
S. Lorenzo		lug-92	59,5	63,8	L
S. Trinita		mar-92	73,0	66,2	B
S. Trinita		ago-92	68,7	62,6	B
Talenti		giu-87	75,2	69,8	A
Talenti		feb-89	76,4	69,5	A
Tanini (Galluzzo)	G	set-94	55,7	44,7	-
Tasso	G	set-94	62,9	62,6	-
Tornabuoni		feb-88	72,2	67,0	B
Torrigiani		mar-92	66,9	61,1	B
Torrigiani		ago-92	66,7	63,9	B
Treccia		apr-91	58,6	47,3	L
Ugnano		mag-91	60,0	61,0	L
Unita		apr-92	68,8	64,8	L
Vanni		mag-93	77,6	73,4	A
Vettori I		feb-94	72,0	65,3	A

Nome		Data	L _{Aeq} diurno	L _{Aeq} notturno	classe strada
Vettori 2		feb-94	70,1	64,3	A
Vettori 3		mar-94	69,2	62,8	A
Vittoria P.te		mag-96	74	68,2	A
Vogel	G	feb-94	57,2	50,4	-
Volta		apr-90	73,4	66,5	A
Volterranea		nov-96	71,3	65,9	A
Zecca		giu-91	74,9	72,1	B

2. GLI EFFETTI DEL RUMORE SULLA SALUTE*

2.1 Introduzione

In questo capitolo cercheremo di riportare una sintesi dei risultati dei numerosi studi realizzati da vari ricercatori sui problemi sanitari causati dal rumore dei mezzi di trasporto (traffico urbano) negli ambienti di vita, trattando in particolare gli effetti non uditivi del rumore. I rischi diretti sul sistema uditivo sono spesso presenti nell'ambiente di lavoro, ma sono assai improbabili, per durata di esposizione e livelli, negli ambienti di vita.

Gli effetti extrauditivi del rumore si possono grossolanamente suddividere in due grandi categorie: effetti di "disturbo delle attività" e effetti "fisiologici". Per evidenziare questi effetti si ricorre a indicatori comportamentali di benessere nel primo caso, e a indicatori sanitari (per modificazioni croniche o transitorie) nel secondo caso.

La dimostrazione di tali effetti negativi, e soprattutto la ricerca di un legame diretto tra livello sonoro e effetto, non è semplice per due ragioni fondamentali. La prima è da ricercarsi nelle schematizzazioni che vengono fatte riguardo alla descrizione del rumore. L'uso ormai generalizzato di valori medi (Livello equivalente e derivati, integrato al più dalla misura del livello massimo e dal numero di superamenti di un livello massimo istantaneo stabilito) come descrittori del livello di esposizione è giustificato soprattutto da ragioni di semplicità e facile confronto (oltre che comunque da una ormai certa correlazione con gli effetti), ma presuppone due fondamentali assunzioni che non sempre sono giustificate; la prima è che gli effetti sono proporzionali alla dose "energetica" assorbita (in analogia con gli effetti uditivi del rumore), la seconda che le altre caratteristi-

* Questo capitolo è stato redatto dal dott. Gaetano Marchese

che fisiche del rumore (come la sua storia temporale e lo spettro in frequenza) non contribuiscono in maniera importante alla definizione degli effetti, o almeno non in misura tale da giustificarne la maggiore complessità di misura.

La seconda ragione è invece direttamente collegata alla risposta estremamente soggettiva dell'individuo al rumore. Infatti i livelli ambientali che causano qualche disturbo dipendono dall'attività e dal quadro contestuale del singolo individuo.

La presente rassegna non intende essere ovviamente esaustiva di tutti gli studi eseguiti in questo campo. Per approfondire ulteriormente i temi trattati o solo accennati rimandiamo alla bibliografia annessa e ai riferimenti in essa contenuta [10-15].

In questo documento ci siamo posti l'obiettivo, senza trascurare di evidenziare le incertezze ancora presenti, di mostrare l'importanza di alcuni effetti non uditivi del rumore, concentrandoci sul rumore da traffico e sugli effetti che sembrano ormai avere una rilevanza importante al fine di una tutela igienico sanitaria della popolazione.

Affronteremo perciò le problematiche associate al disturbo da rumore in generale anche come *causa o aggravante di situazioni di stress*, entrando in dettaglio negli effetti sul *sistema cardiocircolatorio* e sul *sonno*. Una sezione sarà dedicata agli *effetti sui bambini*, che come vedremo sono molto importanti, concludendo con un raffronto tra le conclusioni di questi studi e la situazione fiorentina.

2.2 Il disturbo dovuto al rumore

Il ricercatore francese M. Vallet afferma che *“la sopravvivenza, di qualsiasi specie vivente si tratti, è funzione di un adattamento alle modificazioni dell'ambiente di vita”*.

La trasformazione del nostro ambiente determinata dal rumore è da ritenersi fra le più rilevanti avvenute in questo secolo. L'adattamento che l'uomo deve intraprendere riguardo al rumore (la cui necessità è quindi indice del rumore come causa di disturbo) è di due tipi. Innanzitutto c'è un adattamento *comportamentale*. Ad esempio: insonorizzazione degli edifici (come l'installazione di doppi vetri); trasloco in abitazioni situate in zone meno rumorose; cambiamento delle abitudini di vita (orari di lavoro e di riposo); modifica dell'uso dei locali domestici rispetto a quella

progettuale (scelta dell'uso di un locale in funzione dei livelli di rumore presenti).

Accanto all'adattamento comportamentale ne troviamo un altro di tipo *funzionale* (sia fisiologico che psicologico) che l'uomo deve temere in maniera particolare per i possibili effetti negativi sulla sua salute, e sul quale le possibilità di una sua possibile azione cosciente (in contrasto con l'adattamento comportamentale) sono limitate.

Gli esseri umani esposti ad uno stesso ambiente rumoroso non utilizzano le stesse strategie di adattamento comportamentale. Queste saranno quanto mai varie e dipenderanno dalle caratteristiche individuali, da esperienze precedenti di situazioni simili, da precise motivazioni, o anche dall'umore. A titolo di esempio: se esposti al rumore notturno, alcuni utilizzeranno tappi per le orecchie, altri sonniferi o tranquillanti, altri ancora miglioreranno l'isolamento acustico dell'abitazione, o addirittura cercheranno di traslocare in zone meno rumorose.

Quando il livello di rumore si colloca al di sotto di 80 dB(A), la soglia che genera il disturbo dipende più dalla sensibilità individuale che dal reale livello in decibel. In tali condizioni tutti gli specialisti ritengono che la previsione dell'impatto del rumore da traffico, dominante nell'ambiente quotidiano delle nostre città, non può essere derivato unicamente dalla misura del rumore: infatti, quando si esamina il campione delle risposte individuali, i livelli sonori spiegano una limitata parte della variabilità di queste ultime.

Per meglio spiegare la molestia, e gli effetti di questa, bisogna spingersi oltre e considerare le variabili tipologiche individuali, le caratteristiche socioeconomiche e culturali dell'ambiente di vita e le precedenti esperienze di ciascuno.

Ad esempio di quanto detto sopra è da riportare il caso di persone che, trasferendosi da zone rurali tranquille in abitazioni di zone urbane rumorose, si affermano meno nel lavoro rispetto a quelli che già vivevano da più anni nello stesso ambiente (Leboyer 1976). Il rumore rappresenta perciò un prezzo da pagare per approfittare dei vantaggi della vita cittadina. Ed infatti questo valore di scambio è confermato nel campo lavorativo ove è dimostrato che gli operai, che hanno scelto volontariamente di cambiare lavoro e si trovano in un ambiente più rumoroso rispetto a prima, non si lamentano di tale situazione (Morin 1987).

Pertanto si può affermare che, nell'ambiente di vita come in quello di

lavoro, la molestia espressa sarà più debole se le persone si trovano soddisfatte della loro situazione, corrispondente alla scelta fatta.

Una inchiesta psicosociologica condotta in Svezia e in Italia nel 1969 (Jonsson) evidenzia come le differenze culturali incidano sulle manifestazioni di molestia di una popolazione urbana. Sono state messe a confronto due città, Stoccolma e Ferrara. In un campione di residenti intervistati il traffico stradale risultava un problema per il 3% della popolazione di Stoccolma e per il 7% di quella di Ferrara. Le persone poi che dichiaravano una lieve molestia derivante dal rumore del traffico erano il 61% in Svezia e il 49% in Italia, a differenza di un dato sovrapponibile nelle 2 città, rispettivamente 23% e 21%, relativo alla denuncia di una forte molestia. La differenza più netta si aveva però sulle richieste di intervento dei cittadini per ridurre il rumore, 12% a Stoccolma e 4% a Ferrara. La conclusione è che, nei confronti di un ambiente rumoroso, la popolazione svedese era più sensibile ed esigente rispetto a quella italiana.

Nonostante i problemi evidenziati, ovvero la variabilità delle risposte dovuta alle diverse sensibilità individuali, il disturbo rimane comunque una nozione molto utile al fine di proporre delle soglie di rumore ammissibili, in particolare quando si tratta di rumore da traffico stradale. Infatti se invece delle risposte individuali si esaminano quelle medie di gruppi di popolazione con la stessa esposizione, le correlazioni che si trovano tra il campione di popolazione indagato e i livelli misurati sono in genere buone, e sono molto migliorate (fino a raggiungere valori di circa l'80%) in studi recenti, eseguiti affinando le metodologie di misura. Inoltre uno studio di Vallet (1990) evidenzia una stabilità dei livelli soglia per la molestia. Nel corso di 4 indagini svolte dal 1963 al 1988 su residenti di abitazioni poste lungo le strade, le soglie per l'insorgere del disturbo appaiono stabilizzarsi a 60 dB(A) in Leq 8-20h misurato in facciata. Questi risultati giustificano quindi l'adozione di norme che fissino le soglie di rumore da non superare negli ambienti di vita.

In uno studio recente condotto in Italia si è evidenziato che, sia in periodo notturno che diurno, il disturbo comincia a manifestarsi per livelli (Leq del periodo di riferimento) superiori ai 50-55 dB. Di giorno la percentuale di disturbati diviene rapidamente significativa al di sopra dei 60-65 dB a finestre chiuse e dei 55-60 dB, a finestre aperte. In periodo notturno invece il disturbo a finestre aperte cresce già rapidamente a partire dai 50-55 dB mentre a finestre chiuse la soglia non risulta significati-

vamente variata rispetto a quella diurna, ma si registra una più unanime avversione a livelli superiori ai 65-70 dB.

2.3 Gli effetti non uditivi del rumore

È importante sottolineare che tali effetti implicano che il sistema uditivo sia in grado di trasmettere le informazioni ricevute. Gli effetti di queste informazioni si evidenziano poi nell'organismo in altri sistemi, ma non in quello uditivo. La difficoltà degli studi sugli effetti non uditivi deriva dalla non specificità di questi effetti, che in genere rientrano in quelli tipici delle situazioni di "stress".

Molte risposte fisiologiche e specifiche al rumore sono reversibili e normali; queste comprendono effetti sulla circolazione sanguigna periferica, sul ritmo cardiaco, sulla dilatazione delle pupille, su funzioni renali e ghiandolari ecc., e sono tipiche delle reazioni di "allarme" dell'uomo. Questi effetti però possono ugualmente essere provocati dalla presenza o dall'interazione di molti fattori, di tipo ambientale e personale. Il rumore si inserisce quindi in questo contesto come causa o concausa di questi effetti tramite il disturbo o la reazione di allarme che provoca. Il rumore è pertanto difficilmente dissociabile dall'insieme dei fattori ambientali esterni ed interni all'individuo.

Una prima valutazione degli effetti del rumore si è basata sulla considerazione che "una persona in buona salute non ha bisogno di assumere farmaci". Un effetto quantificabile è quindi il consumo di farmaci di una popolazione residente in una zona rumorosa. I numerosi studi realizzati su questo tema evidenziano che il tasso di consultazione del medico e l'assunzione di farmaci di vario tipo è più alto fra i residenti in zone rumorose rispetto alle zone più calme. Da uno studio svolto in Olanda risulta che la prescrizione di farmaci anti-ipertensivi è aumentata di pari passo all'aumento del traffico dell'aeroporto di Amsterdam, in particolare nelle zone esposte a Leq (24 ore) da 69 a 78 dB(A). Nelle stesse zone risultano aumentati, rispetto alle zone tranquille, i consulti psichiatrici, i ricoveri ed il consumo di tranquillanti. Sembrerebbe dunque che il rumore fosse all'origine di un malessere tale da produrre, nelle persone esposte, comportamenti da malati bisognosi di cure.

Per comprendere come i fenomeni non uditivi possano prodursi a segui-

to dell'esposizione al rumore cominciamo ad analizzare nei suoi diversi aspetti il concetto di "stress".

2.3.1 Stress e sindrome generale di adattamento

"Stress" è una parola molto diffusa nella società moderna e di cui non è facile trovare una definizione esaustiva. Lo stress è innanzitutto una risposta dell'organismo; ciò implica l'esistenza di uno "stimolo" che può provocare una qualsiasi "risposta". La percezione dello "stimolo", e quindi l'entità della "risposta", non è univoca per tutti gli esseri viventi, ma per tutti si manifesta una elevata sensibilità a cambiamenti anche minimi dello spazio vitale. Questo ci porta a considerare lo stress, sulla base della nozione stimolo - risposta, come l'insieme di quei processi che implicano la cosiddetta "interazione" (tra stimolo e risposta). Tali processi in genere corrispondono ad un fenomeno fisiologico, ma molto spesso il concetto di stress è collegato ad un insieme di alterazioni funzionali, il cui confine con manifestazioni patologiche dell'organismo è quanto mai sottile da delineare.

Il sistema uditivo sembra essersi sviluppato filogeneticamente come un sistema di "avvertimento" che segnala ai centri superiori l'avvicinarsi di un pericolo e, mediante i collegamenti con il sistema nervoso autonomo, prepara l'organismo alla risposta. Lo stato di stimolazione somatica indotto da segnali acustici risulta essere molto simile alla "reazione di allarme" da segnali potenzialmente pericolosi o comunque tali da preparare l'organismo alla "lotta o fuga". Questo si verifica attraverso una serie di modificazioni transitorie fisiologiche: aumento della frequenza cardiaca, vasocostrizione periferica e vasodilatazione centrale, contrazione della muscolatura scheletrica, aumento della secrezione surrenalica ecc. Questo insieme di risposte fisiologiche è stato selezionato dall'evoluzione per aumentare la possibilità di sopravvivenza (attiva e passiva) ma al tempo stesso si tratta di reazioni che "in natura" dovrebbero essere transitorie e occasionali. Le alterazioni fisiologiche dovute al rumore discenderebbero proprio dalla frequente attivazione di queste "contromisure".

È stato dimostrato che animali da esperimento esposti ad un rumore di fondo costante reagivano ad una stimolazione acustica improvvisa molto più violentemente rispetto ad animali sottoposti allo stesso stimolo improvviso, ma in ambiente silente. Questo dimostrerebbe che in seguito a

stimolazioni con rumore di fondo, si passerebbe più facilmente ad uno stato di allarme.

Il rumore riveste pertanto un significato tale da limitare in teoria le possibili capacità di adattamento dell'organismo: in questo senso vanno ricordati gli studi di Finkle, Poppen e Vallet che negano la possibilità di assuefazione al rumore.

Tra i molti ricercatori che hanno studiato le reazioni fisiologiche non uditive indotte da stimoli sonori, vale la pena di citare le ricerche di Davis e Jansen. In particolare questi ricercatori hanno ipotizzato che le risposte fisiologiche al rumore rappresentino il tentativo dell'organismo di recuperare un equilibrio, "omeostasi", turbato dall'esposizione stessa al rumore. Le risposte variano in rapporto alle caratteristiche fisiche dello stimolo sonoro (intensità, frequenza, durata) e da individuo ad individuo, con una diversa tendenza all'adattamento.

Davis e Jansen hanno raggruppato le seguenti reazioni fisiologiche al rumore:

- vasocostrizione periferica con conseguenti variazioni della frequenza cardiaca e della pressione arteriosa;
- respirazione più lenta e profonda;
- variazione della sudorazione;
- modificazione della tensione muscolare scheletrica;
- variazione della motilità gastrointestinale ed aumento delle secrezioni gastriche;
- aumento delle catecolamine ematiche (adrenalina e noradrenalina) ed urinarie.

Riferendoci ancora una volta alle differenze individuali, ad uno stesso stimolo alcuni soggetti reagiscono con una risposta che coinvolge l'organismo nel suo insieme, altri con il coinvolgimento di un solo sistema (ad es. ritmo cardiaco, pressione arteriosa ecc.).

La posizione dei ricercatori non è unanime in merito alla considerazione che già il fatto di evidenziare una qualsiasi forma di adattamento funzionale dell'organismo rappresenti l'inizio di una alterazione organica, anatomicamente rilevabile, e quindi un evento patologico. Su questo le conclusioni dei ricercatori si dividono all'incirca in parti uguali. In generale non si è ancora giunti a poter determinare se e in che modo questo insistere di alterazioni fisiologiche e metaboliche protratte sul lungo periodo possa, in generale, di per sé determinare l'insorgere di vere e proprie

patologie. Su due aspetti più specifici della reazione fisiologica al rumore, però, oggi si è in grado di evidenziare il nesso tra la reazione allo stimolo acustico e manifestazioni patologiche rilevanti: infarto miocardico e disturbi del sonno.

2.3.2 Rumore e sistema cardiovascolare

Le inchieste epidemiologiche sulle malattie cardiovascolari svolte a Caerphilly e Speedwell, 2 cittadine inglesi, risultano fra le più ampie mai effettuate per indagare sull'associazione tra rumore del traffico e fattori di rischio predisponenti alla comparsa di disturbi cardiaci (Babisch, Ising, Elwood, e altri 1990-1994). Un campione di popolazione di Berlino è stato utilizzato come controllo. Tale campione esposto a livelli più alti di rumore, da 60 a 80 dBA, ha mostrato, tenuto conto dei fattori di confondimento, un aumento del 20% del rischio per la comparsa di Infarto Miocardico. Secondo uno degli autori, Babisch, *il livello di rumore da traffico compreso tra 66 e 70 dBA rappresenterebbe la soglia per l'aumento del rischio di comparsa di malattie cardiovascolari*. Babisch si è spinto oltre ed ha concluso che benché variazioni così contenute del RR (Rischio Relativo) non siano facilmente dimostrabili con una sufficiente significatività statistica, non sono per questo da trascurare. Infatti, data la elevata frequenza della patologia in oggetto, tali variazioni significherebbero che, sulla base della stima del rischio e dell'elevata percentuale di persone esposte al rumore di strade ad intenso traffico, la mortalità da infarto miocardico indotta da tale esposizione risulterebbe 10 volte maggiore rispetto alla mortalità per tumore causata dalle sostanze inquinanti emesse dal traffico veicolare. L'autore sostiene infine che in Germania circa il 2% di incidenza di Infarto Miocardico potrebbe essere evitata qualora la popolazione fosse esposta a livelli di rumore da traffico inferiori a 70 dBA.

In effetti i risultati degli studi sopra descritti non raggiungono ancora una significatività statistica soddisfacente, in quanto il numero di casi di Infarto Miocardico nei gruppi esposti a livelli più elevati risulta troppo piccolo. Tuttavia, visto che il rischio di Infarto Miocardico aumenta in dipendenza della "dose di esposizione", e che esiste una precisa indicazione sulla possibile patogenesi (metabolismo del magnesio) che leggherebbe il rumore ad una degenerazione cardiaca, questo è già più che sufficiente dal lato scientifico per proporre provvedimenti utili a ridurre il rumore da traffico nei centri abitati.

2.3.3 Rumore e disturbi del sonno

Il disturbo del sonno, in rapporto al rumore causato dai mezzi di trasporto, è un problema denunciato con insistenza dai residenti presso strade ad intenso traffico, aeroporti ed altre zone urbane rumorose. D'altra parte non bisogna dimenticare che circa il 15% della popolazione in Europa e nel Nord America soffre di disturbi del sonno non legati al rumore. È per questo motivo che le ricerche devono chiarire se il rumore, per le persone che soffrono di insonnia, è da considerare un capro espiatorio che nasconde altri problemi individuali o se al contrario è veramente in grado di alterare, anche per livelli modesti, il normale decorso del sonno.

Le risposte a questi quesiti ci pervengono da due tipi di approccio. Il primo è di tipo epidemiologico, e ne abbiamo già accennato in precedenza: si tratta di valutare l'impatto del rumore sul consumo di farmaci e le malattie connesse a disturbi del sonno; il secondo è fisiologico, basato sulle registrazioni EEG e ECG durante il sonno, al fine di evidenziare le modificazioni legate all'ambiente sonoro.

Effetti del rumore sulla struttura del sonno

Vallet e Blanchet dimostrano chiaramente nei loro studi in condizioni reali che l'esposizione al rumore durante il sonno porta ad effetti caratterizzati da una diminuzione del tempo di comparsa del primo episodio di sonno paradossale (meglio conosciuto come fase REM), dalla riduzione della durata del sonno lento profondo e da un aumento del numero di risvegli nel corso della notte.

Si è inoltre potuto constatare che questi disturbi del sonno dipendono più dalla presenza di livelli di picco che si discostano significativamente dal livello medio di rumore, che dal valore assoluto del livello medio.

Chiaramente nei risultati ottenuti da questi studi esiste una grande variabilità che trova spiegazione nelle differenze inter-individuali e nelle condizioni sperimentali con cui sono state condotte le ricerche. Ad esempio l'età gioca un ruolo importante nella reattività notturna al rumore; infatti i soggetti giovani (21-27 anni) che dopo esposizione al rumore sono posti in ambienti più calmi presentano una fase di addormentamento più rapida ed uno stadio di sonno lento profondo più lungo. Al contrario le persone più anziane (63-73 anni) presentano, nelle stesse condizioni, un aumento del sonno paradossale. Queste modificazioni sono in rapporto alle variazioni fisiologiche del sonno in funzione dell'età, ed infatti i soggetti

giovani presentano una fase maggiore di sonno lento profondo, la quale è estremamente ridotta e a volte assente nelle persone anziane. Anche il sesso dell'individuo è importante, dato che si è potuto accertare che le donne sono più sensibili ai rumori isolati rispetto agli uomini.

Pur tenendo conto delle variazioni sopra accennate, c'è da parte degli studiosi la certezza che l'esposizione duratura al rumore notturno causi delle modificazioni alla struttura globale del sonno che conducono a quella considerata caratteristica delle persone depresse. In particolare si osserva:

- diminuzione del tempo di comparsa del primo episodio di sonno paradossale;
- riduzione o addirittura abolizione degli stadi di sonno lento profondo;
- aumento dei risvegli nel corso della notte;
- prolungamento della fase di addormentamento.

I disturbi del sonno causati dal rumore portano pertanto, sul piano soggettivo, ad una cattiva qualità del sonno e, al risveglio, ad una riduzione delle prestazioni psicomotorie e all'alterazione dell'umore.

La reazione vegetativa al rumore durante il sonno

Se gli studi fin qui riportati evidenziano l'importanza, in termini socio-sanitari, di tutelare la qualità del sonno rispetto al disturbo da rumore, gli studi sulla reazione vegetativa al rumore aiutano a definire i limiti per garantire un buon sonno.

Muzet ha analizzato, in condizioni di laboratorio, la reattività vegetativa di 26 soggetti esposti, per 14 notti consecutive, a rumori isolati di traffico veicolare, in tutto 90 ogni ora, che variavano da 40 a 65 dB(A). Questi studi hanno messo in evidenza una reazione a due stadi del ritmo cardiaco e della vasomotricità in risposta a rumori compresi fra 60 e 65 dB(A). Dopo ciascuno di questi rumori si evidenziava un aumento della frequenza cardiaca ed una vasocostrizione periferica, seguite in assenza di rumore da una notevole e repentina diminuzione della frequenza e da vasodilatazione. L'esame dei risultati per fasce orarie mostra che non si verifica alcun adattamento nel corso della stessa notte. Inoltre, dopo 14 notti di esposizione, mentre sul piano soggettivo e sul tracciato EEG si può rilevare un certo adattamento, la reattività cardiovascolare persiste immutata.

Questi risultati, e in particolare l'assenza di adattamento a lungo termine, sono stati confermati da Vallet su soggetti esposti per cinque anni a

rumori da traffico veicolare. La risposta cardiaca persiste con un'alterazione del ritmo nell'ordine di 10 battiti al minuto.

La reattività cardiovascolare appare dunque il testimone più attendibile degli effetti del rumore sul sonno nelle varie fasce d'età, più dei risvegli o delle variazioni di durata degli stadi del sonno. Questi risultati sono confermati ed estesi da un recente lavoro di Hofman (1995). Le principali conclusioni di questo studio sono le seguenti:

- picchi sonori dovuti al rumore da traffico (ad esempio per il passaggio di mezzi pesanti) causano un aumento del ritmo cardiaco come risposta allo stimolo;
- la frequenza cardiaca media dipende dai livelli di rumore;
- non si notano segni di adattamento al rumore;
- la risposta ai picchi sonori non è ridotta dall'isolamento acustico (non è quindi importante, fino a certi livelli, il livello assoluto del picco, ma la differenza tra il livello medio e quello di picco).

Quest'ultimo risultato è particolarmente sconcertante in quanto mostra che, ad esempio, l'installazione di doppi vetri può non risolvere il disturbo del sonno.

Riassumendo, i precedenti studi, ed in particolare Vallet (1983), identificano circa a 37 dB(A) di livello equivalente e 45 dB(A) di livello massimo di picco i livelli interni alle abitazioni oltre i quali si verifica una alterazione del sonno.

Questi risultati sono coerenti con la raccomandazione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, che fissa intorno a 35 dB(A) di livello equivalente il limite notturno all'interno delle abitazioni.

Un limite di questi studi sulle relazioni tra rumore e sonno è che i risultati sono presentati come rumore interno, mentre i regolamenti che fissano i livelli da non superare si basano sulle rilevazioni fatte a livello della facciata dell'edificio.

2.4 Gli effetti del rumore sui bambini

I bambini sono quotidianamente esposti a numerose sorgenti di rumore. A partire dall'ambiente domestico (radio, televisione, hi-fi), che secondo alcuni autori (Wachs 1980) rappresenta una fonte di rumori particolarmente a rischio per l'infanzia, fino alle istituzioni che i bambini frequentano (asili, scuole, impianti sportivi ecc.) se collocate presso strade ad intenso

traffico, ferrovie ed aeroporti. Inoltre gli ambienti scolastici inadeguati dal punto di vista acustico (aule, palestre, refettori) diventano fonte di inutile esposizione.

Nel caso dei bambini gli effetti fisiologici indotti dal rumore, sin qui descritti per gli adulti, assumono delle particolarità degne di menzione specifica. Ad esempio, durante il sonno la funzionalità cardiovascolare varia più intensamente rispetto ai soggetti adulti.

Ma a questi effetti vanno aggiunti quelli negativi che il rumore può avere sull'apprendimento e sullo sviluppo intellettuale ed affettivo dei bambini.

2.4.1 Gli effetti fisiologici

Gli studi di Ando e Hattori dimostrano che nei bambini si verifica una interazione con l'ambiente sonoro già prima della nascita. Nelle conclusioni di uno studio su questi aspetti Olivier, Lafon e Duclos suggeriscono che le donne in gravidanza dovrebbero essere categoricamente protette dall'esposizione a livelli sonori superiori a 80 dB(A). Questo livello dovrebbe ulteriormente essere abbassato se si considerano gli studi di Busnel, i quali mostrano che nel feto di sei mesi si produce con il tempo una diminuzione della risposta cardiaca a rumori con esposizione di 76 dB(A). Già nella vita fetale, l'ambiente sonoro in cui vive la madre avrebbe dunque influenza sul nascituro, attraverso delle complesse reazioni fisiologiche tra la madre ed il bambino.

Più autori sono concordi nel segnalare il minor peso alla nascita dei bambini nati da madri esposte durante la gravidanza a rumori ambientali intensi (aeroporti o strade rumorose). Questo fenomeno, così come la maggiore frequenza di prematuri nelle zone rumorose (Rehm e Jansen, Lawrence, Takahashi), sarebbe legato ad una alterazione nella madre delle concentrazioni di ormone lattogeno placentare, molto simile all'ormone della crescita.

Si deve necessariamente sottolineare che questi effetti deriverebbero dallo stress legato al rumore, in quanto le donne sono più sensibili a questo nel corso della gravidanza.

È importante riportare anche i risultati dello studio che Ando e Hattori hanno eseguito nei pressi dell'aeroporto di Osaka, dimostrando che la reazione al rumore degli aerei dipendeva, nei bambini, dall'ambiente dove

risiedeva la madre durante la gravidanza. Se la madre risiedeva nei pressi dell'aeroporto già prima o nei primi mesi di gravidanza, circa il 48% dei bambini continuava a dormire nonostante il passaggio degli aerei; mentre questo si verificava solo nel 15% dei bambini le cui madri si erano trasferite nella zona dell'aeroporto negli ultimi 4 mesi di gravidanza o dopo la nascita.

Questo aspetto, apparentemente favorevole, deve però essere rapportato agli effetti sulla madre, sapendo benissimo che il rumore è causa di reazioni da stress. Pertanto il bambino in gestazione, pur essendo ben protetto nell'utero della madre, è sensibile all'ambiente sonoro in cui la madre vive.

Ulteriori ricerche potranno fornire maggiori certezze sui differenti effetti nel bambino, causati da esposizioni ad ambienti eccessivamente rumorosi, soprattutto a seconda della fase di maturazione genetica in cui essi si producono.

2.4.2 Gli effetti sull'apprendimento e sullo sviluppo intellettuale

Livelli sonori elevati a scuola o nell'ambiente domestico possono alterare il numero e la qualità, oltre che il contenuto delle comunicazioni verbali. In generale, le ricerche più recenti hanno riguardato il comportamento di allievi ed insegnanti di scuole di primo e di secondo grado. In Inghilterra, Portogallo, Svizzera, Hong Kong, Francia, Italia e Spagna gli studi hanno tutti fatto emergere il disturbo per gli insegnanti che devono alzare il tono in modo sensibile, con la conseguenza di una marcata fatica vocale. Così come sottolineato da Sargent, questa fatica appare a livelli di rumore esterno relativamente modesti, 60 dB(A), espresso come livello statistico L10. Gli studi condotti in Olanda hanno messo in evidenza la perdita di intelligibilità del contenuto del messaggio verbale quando il livello di rumore interno, causato dal traffico stradale esterno, raggiunge un livello inferiore di 15 dB(A) a quello del discorso. Gli autori di questi studi situano il livello massimo esterno in 57 dB(A) come livello equivalente (Leq), che corrisponde ai 60 dB(A) in L10 individuati da Sargent come soglia della fatica vocale degli insegnanti.

Lo studio delle modalità di perturbazione (EPA) ha mostrato che, in

presenza di rumore, i ragazzi confondono certe consonanti così da rendere poco comprensibile specialmente la fine delle parole.

Una ricerca condotta nella città di Bordeaux, in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente francese, ha fornito precise indicazioni riguardanti l'influenza del rumore sul livello di attenzione degli allievi. Tra le esperienze condotte, una appare molto significativa. Dato che un professore pronuncia frasi costituite in media da 27 parole, si constata che gli allievi non comprendono più il senso generale della frase a partire dal momento in cui 5 parole della frase stessa sono male o per nulla comprese. Su questa base si osserva che i tassi di errore di comprensione degli allievi ai test (parole emesse da un altoparlante) sono molto diversi a seconda dell'ambiente sonoro:

- livello sonoro di 55 dB(A): tasso di errore del 4.3%;
- livello sonoro di 60 dB(A) o più (finestre aperte e traffico all'esterno): tasso di errore del 15% .

Questi risultati possono condurre a decisioni radicali, come è avvenuto in California, dove una scuola situata nei pressi di un aeroporto è stata spostata una volta dimostrato che l'insegnamento doveva essere interrotto per oltre un terzo del tempo. Queste lunghe interruzioni facevano sì che il rumore rendesse totalmente incomprensibile il discorso dei professori.

In questo campo, come in quello della sanità, i periodi di osservazione limitati nel tempo, pur permettendo di evidenziare microeffetti, non consentono di sapere quali possano essere le ripercussioni a lungo termine, come ad esempio il buon esito degli studi. Comunque è ormai noto che la perturbazione dell'intelligibilità del parlato dovuta al rumore può avere gravi ripercussioni quando si tratta della formazione di allievi e dello sviluppo mentale delle giovani generazioni. La mancanza di una sufficiente conoscenza non permette loro, in effetti, di ricostruire le parti del messaggio verbale eventualmente mascherate dal rumore. Da qui nascono gli effetti negativi sullo sviluppo del linguaggio e l'acquisizione della lettura, sia nei soggetti più piccoli, da 1 a 6 anni, sia in quelli della scuola primaria (5-7 anni), fasce di età che sono cruciali per lo sviluppo intellettuale.

Cohen ha mostrato inoltre che, in presenza di rumore da traffico stradale, tutte le comunicazioni diventano rumore (suono senza significato), sia che ciò avvenga a scuola o davanti al televisore di casa.

In conseguenza a queste difficoltà possono verificarsi disturbi del linguaggio scritto o parlato, ritardi nell'acquisizione della lingua e una dimi-

nuzione della ricchezza del vocabolario utilizzato. In uno studio (Cohen et al.) 54 allievi del corso elementare, abitanti a differenti piani di un edificio di 32 piani situato in prossimità di un'autostrada molto trafficata, sono stati sottoposti ad una prova di lettura e a un test di discriminazione uditiva (test di Wepman). Il rumore misurato all'interno degli appartamenti va da 55 a 66 dB(A) in base al piano: 66 dB(A) all'8 piano e 55 dB(A) al 32 piano. Gli autori concludono che il livello di rumore nell'appartamento consente di spiegare una buona percentuale della varianza concernente la discriminazione uditiva, e che quest'ultima spiega ugualmente una buona parte della varianza riguardante l'attitudine a leggere.

Recentemente, negli Stati Uniti è stato osservato che bambini esposti a casa propria ad una contemporanea presenza di sorgenti sonore (radio, TV, elettrodomestici) che gli autori hanno definito "noise confusion", sembrano imparare più lentamente degli altri a parlare nel corso dei primi due anni della loro vita.

L'esposizione prolungata al rumore nella vita quotidiana genera dunque effetti duraturi. È possibile che i bambini esaminati abbiano appreso a filtrare i rumori e ad adattarsi ad un ambiente rumoroso, ma questo adattamento provoca comunque un deficit delle capacità verbali. L'Agenzia americana per la Protezione dell'Ambiente (EPA) stima che il rumore in casa possa essere talmente negativo per ciò che riguarda l'apprendimento del linguaggio e della lettura da non poter essere compensato dal livello socioculturale dei genitori.

Una ricerca molto dettagliata sul disturbo specifico subito dai ragazzi è in corso a Monaco di Baviera (Hygge e Evans, 1993). L'obiettivo è quello di esaminare 400 ragazzi che risiedono nelle adiacenze del vecchio (ormai dismesso) e del nuovo aeroporto della città, valutando sui primi l'effetto della diminuzione del rumore e sui secondi le conseguenze della comparsa del rumore. L'indagine comporta misure di parametri biochimici e fisiologici oltre ad un esame delle capacità intellettuali dei giovani. La prima fase dell'inchiesta ha messo in evidenza che i ragazzi esposti al rumore mostrano elevati livelli di ormoni legati allo stress (adrenalina). Essi mostrano un adattamento percettivo al rumore, ma manifestano per contro un deficit nella lettura e negli esercizi di memoria, difficoltà che aumentano sensibilmente via via che gli esercizi divengono più complessi. I risultati più recenti (1995) indicano per le zone prossime al vecchio aeroporto, attraverso misure delle attività cognitive (memoria a lungo termine, appren-

dimento della lettura e padronanza del vocabolario), che la situazione va migliorando e che le differenze fra allievi esposti e non esposti al rumore tendono a diminuire. Al contrario, nelle zone prossime al nuovo aeroporto appaiono differenze significative di abilità tra gli allievi residenti nelle aree relativamente calme e quelli più direttamente esposti.

Dobbiamo infine segnalare altri effetti quali manifestazioni di aggressività, di irritabilità, di fatica e di agitazione che possono deteriorare il clima sociale ed essere causa di conflitti.

I risultati di queste ricerche possono essere così sintetizzati:

- l'acquisizione del linguaggio e lo sviluppo dell'attenzione sono negativamente influenzati dalla presenza di elevati livelli sonori nell'ambiente domestico (il livello di rumore in casa, determinato soggettivamente, rappresenta il miglior predittore del livello di sviluppo (Wachs)) e a scuola;
- vivere in un ambiente costantemente rumoroso riduce l'attitudine a isolare un segnale dall'insieme dei segnali uditivi (Goldman e Sanders).

Si ritiene inoltre che il rumore, che rende difficili le comunicazioni verbali, possa favorire la comparsa di un sentimento di isolamento impedendo la socializzazione dei ragazzi e dando origine a difficoltà relazionali.

Il rumore sembra essere dunque un fattore di rischio per la salute dei ragazzi e dei bambini in particolare, tanto sul piano fisiologico che su quello psicologico anche se, come ci ricorda lo stesso M. Vallet, spesso loro stessi sono all'origine di manifestazioni rumorose che esprimono la gioia di vivere.

2.5 Considerazioni conclusive

Per l'OMS *“La Salute non è solamente assenza di malattia, ma uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale”*. Questa definizione appare appropriata anche in relazione agli effetti del rumore sull'uomo.

Ancora oggi tale concetto “globale” di salute non è da tutti accettato. Da molti infatti il rumore è considerato semplicemente un evento fisico che agisce solo sul sistema uditivo; sarebbe come affermare che il cibo agisce solo sull'apparato digerente o l'aria che respiriamo solo sull'apparato respiratorio.

Un elemento assolutamente da valutare, in relazione agli effetti del rumore, è rappresentato dalla struttura temporale dell'individuo, l'insieme

cioè del giorno e della notte. Le nostre funzioni biologiche infatti seguono dei ritmi "circadiani", assimilabili a delle sinusoidi, di circa 24 ore. Questi ritmi, generati dal nostro stesso organismo, sono sincronizzati con l'alternarsi di luce e oscurità, ma soprattutto con l'ora abituale del risveglio. In questo quadro generale di sincronizzazione, l'ambiente sonoro assume il ruolo di un "direttore d'orchestra". È pertanto evidente che, studiando gli effetti del rumore sull'uomo, è necessario valutare l'insieme dell'esposizione a cui l'organismo è sottoposto nell'arco delle 24 ore.

Dai numerosi studi citati nella presente rassegna, appare evidente che il rumore modifica molte funzioni fisiologiche e causa delle reazioni che coinvolgono l'insieme dell'organismo, considerato nel suo complesso e non come giustapposizione di sistemi con funzioni diverse.

Sintetizzando gli studi citati in questo lavoro si possono identificare delle soglie di rumore per i vari effetti. In particolare:

- *livelli all'interno:*
 - 45 dB di livello equivalente nel periodo diurno e serale all'interno delle abitazioni e soprattutto nell'ambiente scolastico, per non compromettere l'intelligibilità della parola;
 - 35 dB di livello equivalente nel periodo notturno per non alterare il sonno.
- *livelli all'esterno:*
 - sotto i 55 dB di livello equivalente il disturbo da rumore è lieve anche se iniziano modificazioni del sonno;
 - tra 55 e 60 dB di livello equivalente l'impatto è ancora limitato ma può iniziare a disturbare le persone più sensibili (bambini ed anziani) e si chiudono le finestre;
 - tra 60 e 65 dB di livello equivalente iniziano a manifestarsi comportamenti per ridurre il disturbo, e comunque gli effetti sull'alterazione del sonno sono evidenti;
 - sopra 65 dB di livello equivalente sono compromesse le attività che richiedono l'intelligibilità della parola, e il sonno è notevolmente alterato.

Esaminando i dati relativi al rumore da traffico veicolare che l'U.O. di Fisica Ambientale di ARPAT di Firenze ha rilevato sin dal 1987, nelle principali strade del Comune di Firenze essi si attestano normalmente sopra i 70 dB(A) durante il giorno e sopra i 65 dB(A) durante la notte. È

pertanto logico pensare che un notevole numero di cittadini residenti a Firenze sia esposto di giorno, ma soprattutto di notte, all'esterno e all'interno delle abitazioni, a livelli di rumore ritenuti pericolosi per gli effetti sulla salute.

A nostro giudizio, pur esprimendo la necessità di approfondire le ricerche con studi epidemiologici specifici e a lungo termine, i risultati ci portano alle seguenti considerazioni:

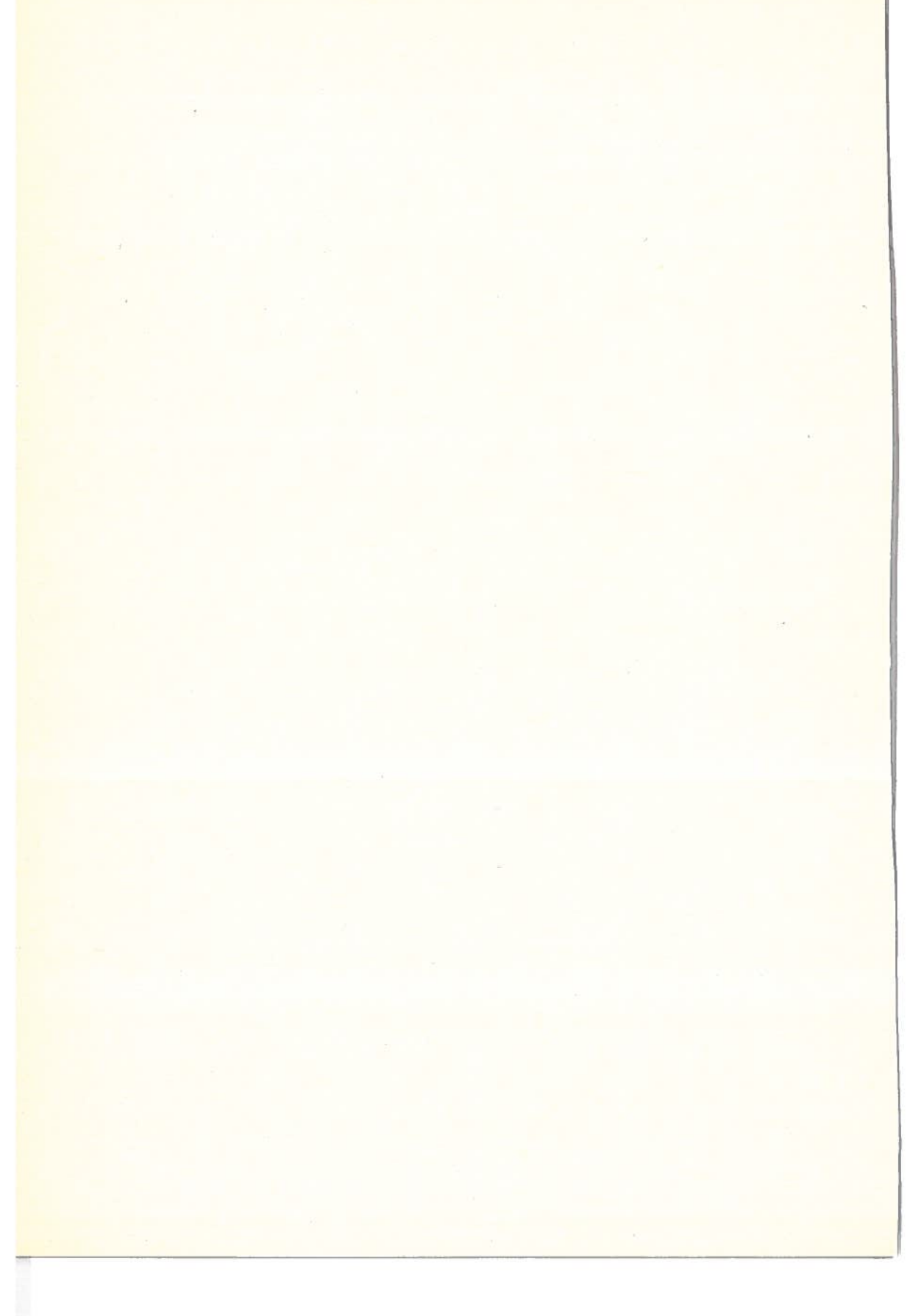
- gli effetti sulla salute, come evidenziato negli studi sopra citati, cominciano a manifestarsi a seguito di una esposizione continuativa a livelli superiori a 60 dB(A);
- la maggior parte della popolazione fiorentina, come del resto quella di quasi tutti i centri urbani medio-grandi in Italia, risulta esposta ai suddetti livelli di rumore ed inoltre vive in ambienti di vita e di lavoro assolutamente non soddisfacenti dal punto di vista acustico;
- un consistente numero di residenti nei suddetti centri risulta pertanto esposto ad un potenziale rischio per la salute, riferito in particolare alla cosiddetta "SINDROME DA STRESS", che può manifestarsi, in rapporto alle caratteristiche individuali, con modalità diverse ma in genere riconducibili a:
 - ALTERAZIONI PSICO-EMOTIVE
 - DISTURBI DEL SONNO
 - DISTURBI SENSORIALI
 - ALTERAZIONI NEURO-ENDOCRINE
 - DISTURBI RESPIRATORI
 - ALTERAZIONI CARDIOCIRCOLATORIE
 - DISTURBI DIGESTIVI

A seguito delle considerazioni appena fatte, nel caso specifico della realtà di Firenze, si rende necessario che in assenza di uno strumento importante, quale è la classificazione del territorio comunale in zone acustiche, il rumore prodotto dal traffico veicolare sia affrontato facendo riferimento non alla normativa vigente, ma a criteri igienico-sanitari di tutela della salute dalla molestia, in quanto tale condizione è alla base del disagio che genera lo stress.

Obiettivi primari di tale tutela possono essere ben riassunti dall'esigenza di mantenere i livelli esterni in facciata degli edifici al di sotto dei 65 dB(A) nel periodo diurno e al di sotto dei 55 dB(A) in quello notturno. In relazione alla gravità degli effetti del rumore sullo sviluppo psicosocia-

le del bambino è importante garantire livelli diurni in prossimità delle scuole inferiori a 55 dB(A) (anche se ciò è spesso inefficace se non accompagnato da una adeguata cura delle caratteristiche acustiche interne).

Tenuto poi conto dell'esigenza di garantire un limite di 35 dB(A) di livello equivalente all'interno delle abitazioni anche a finestre aperte per una buona qualità del sonno, sarebbero auspicabili provvedimenti volti a limitare ulteriormente i livelli sonori notturni nel periodo estivo, mirati soprattutto a ridurre il numero e l'intensità dei singoli eventi sonori.



3. I RIMEDI

3.1 Premessa

Il problema di ridurre l'inquinamento acustico di una città non presenta oggi soluzioni "chiavi in mano", ed i provvedimenti in qualche modo efficaci intervengono comunque a modificare sensibilmente modalità di vita o caratteristiche della città. Spesso sono inoltre necessari investimenti rilevanti o piani di intervento da perseguire con coerenza per diversi anni. Tutto questo fa sì che la definizione degli interventi "antirumore" non sia un problema essenzialmente tecnico ma piuttosto politico, sia pure con elevati contenuti tecnici. Il nostro ruolo ci impone quindi di limitarci ad individuare il panorama dei provvedimenti efficaci, una parte dei quali potrebbero essere assunti in un piano di intervento ed altri, invece, scartati in base alla valutazione di una serie di scelte e conseguenze per la vita della città che non ci compete.

3.2 Tipologia degli interventi

Gli interventi tecnicamente possibili per ridurre il rumore prodotto dal traffico veicolare in ambiente urbano possono essere raggruppati in 2 grandi categorie:

- 1) quelli che non dipendono dalle decisioni delle Autorità locali, ma che piuttosto sono il frutto di una evoluzione tecnologica dei veicoli. Tale evoluzione è in parte spontanea, guidata da esigenze di mercato che prediligono prodotti più silenziosi, e dall'altro lato è finalizzata a rispettare i limiti di omologazione imposti a livello internazionale (e per quanto ci riguarda in sede europea) che progressivamente riducono la rumorosità massima consentita ai veicoli di nuova produzione.

- 2) Quelli che dipendono dalle decisioni delle Autorità locali che si articolano in tre diverse tipologie:
- realizzazione di infrastrutture,
 - emanazione di leggi o regolamenti,
 - conduzione di campagne di educazione-promozione o vigilanza per la modifica dei comportamenti individuali.

Per la normativa attualmente vigente in Italia questa tipologia di interventi dipende in massima parte dall'iniziativa dell'Amministrazione Comunale, anche se Stato e Regione possono intervenire in qualità di finanziatori e coordinatori dei progetti previsti.

In questa parte dello studio illustreremo brevemente l'entità prevista dei provvedimenti di tipo 1) per chiarire quanto ampia possa essere la necessità di intervento che ricade sulle decisioni dell'autorità locale, al fine di ricondurre il più rapidamente possibile la rumorosità entro i limiti di accettabilità universalmente riconosciuti. Esamineremo poi in dettaglio tutte le possibili tipologie di provvedimenti con i quali localmente si può intervenire per ridurre l'inquinamento acustico.

3.3 Provvedimenti indipendenti dalle decisioni delle autorità locali

In questa categoria si raggruppano sostanzialmente tutti gli interventi per modificare alla fonte le caratteristiche di emissione sonora dei singoli veicoli così da ridurre la rumorosità.

La rumorosità dei veicoli a motore è riconducibile a due gruppi di sorgenti sostanzialmente indipendenti tra loro: da un lato quelle correlate al motore, e dall'altro quelle dovute al rotolamento dei pneumatici.

Nel primo gruppo vanno considerate tutte quelle sorgenti di emissione sonora associate al funzionamento del motore e alla trasmissione del moto alle ruote: semplificando possiamo dire che tutte queste dipendono dal regime di funzionamento del motore in maniera praticamente indipendente dalla velocità di marcia del veicolo.

L'attenzione dei costruttori si è rivolta fin da subito al contenimento di queste sorgenti, a cominciare dall'adozione del silenziatore di scarico. Anche in questi ultimi anni si è registrato un continuo progresso verso la realizzazione di motori sempre più silenziosi, spinti anche dall'esigenza del consumatore di avere un'auto silenziosa almeno all'interno dell'abitacolo.

Al fine di limitare comunque la rumorosità di queste sorgenti, l'omologazione dei veicoli a motore è, da diversi decenni, subordinata al rispetto dei limiti massimi di emissione sonora verificato in una prova standardizzata di accelerazione del veicolo. Tale prova è concepita per creare situazioni realistiche di marcia del veicolo durante le quali sia esaltata la rumorosità associata al motore.

In figura 1 sono riportati i valori massimi che la normativa ha imposto col passare degli anni per l'omologazione dei vari tipi di veicoli e che hanno rilevanza (paragrafo 1.5) nel delineare il livello di rumorosità complessivo della nostra città.

Osservando la figura possiamo notare che i costruttori negli anni dal '82 al '89 non sono stati "costretti" dalla normativa a ridurre la rumorosità dei loro veicoli. Gli effetti di questa lunga stasi tecnologica si registrano con qualche anno di ritardo sulla qualità del parco veicolare in circolazione.

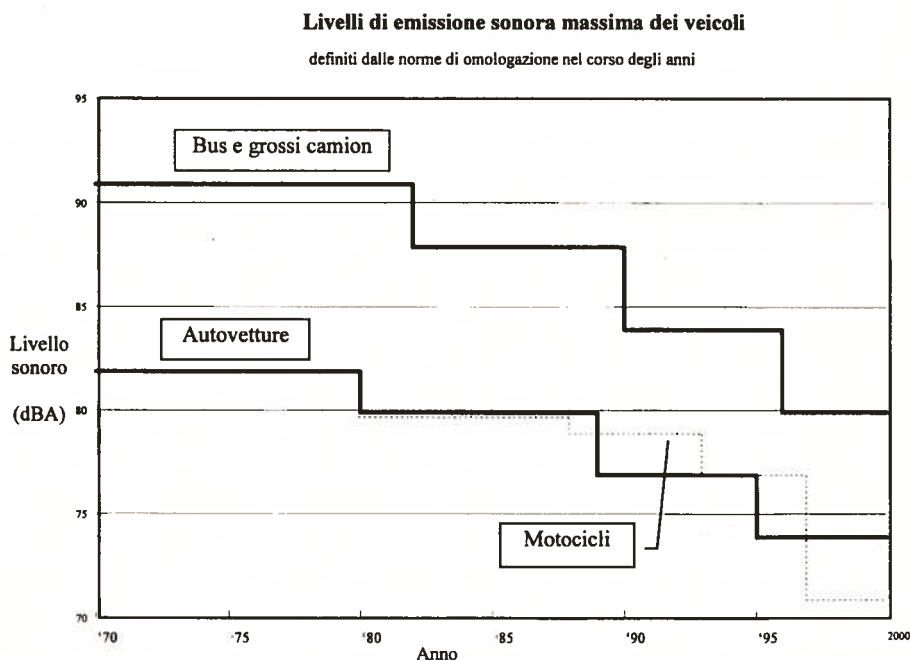


Figura 1

In particolare la flotta di autobus dell'ATAF risponde in buona parte ancora ai criteri previsti prima del 1982 e in parte a quelli entrati in vigore allora. In ogni caso se esaminiamo l'andamento della rumorosità nel tempo prendendo queste tabelle a riferimento, possiamo sintetizzare l'evoluzione delle automobili dal 1982 ad oggi con un miglioramento medio inferiore a 0.5 dB l'anno, mentre quella degli autobus risulta di poco inferiore. È evidente che l'evoluzione della normativa, seppur importantissima, è così lenta da far prevedere ancora diversi decenni prima che si consegua alla fonte quella decina di decibel di riduzione di cui c'è bisogno per riportare il clima acustico delle nostre città entro i limiti che oggi sono considerati accettabili.

Dobbiamo comunque rilevare che per quanto riguarda le automobili e i motocicli l'esigenza di comfort di marcia dei consumatori ha portato ad una forte pressione nei confronti dei costruttori che si è tradotta nella disponibilità di veicoli con emissioni sonore molto più contenute di quelle massime accettate ai fini dell'omologazione. In altre parole la riduzione della rumorosità conseguita dai produttori per queste categorie di veicoli è progredita più rapidamente di quanto imposto dalla normativa. Ciò non è altrettanto vero per quanto riguarda i mezzi pesanti ed in particolare gli autobus: infatti le determinazioni effettuate sulla rumorosità dei veicoli dell'ATAF [16] hanno dimostrato che i veicoli in questione rientrano appena nei limiti massimi consentiti dalle norme in vigore al momento della loro omologazione.

Questa normativa, come già è stato detto, opera solo su uno dei due tipi di emissioni sonore dei veicoli, quindi se il miglioramento delle emissioni sonore dei motori non sarà accompagnato da una pari riduzione del rumore di rotolamento, i progressi in termini di riduzione della rumorosità complessiva saranno ancora più lenti e contenuti di quelli precedentemente descritti. Il rumore di rotolamento è stato preso in esame a livello tecnologico solo recentemente, ed è scarsamente diffusa la consapevolezza dell'importanza che questo ha nel determinare l'emissione sonora complessiva del veicolo. Questo è prodotto da una serie di meccanismi diversi, riconducibili comunque all'impatto del battistrada delle gomme sulla pavimentazione stradale. Tale rumorosità aumenta fortemente al crescere della velocità del veicolo, oltre che dipendere dalla tipologia dei pneumatici e dalla pavimentazione stradale stessa.

Grossolanamente possiamo dire che il rumore di rotolamento diviene

preponderante al di sopra dei 50 km orari per le automobili e al di sopra degli 80 km orari per i veicoli pesanti.

Pertanto in città, soprattutto nelle ore notturne, realisticamente sono frequenti le situazioni in cui il traffico veicolare leggero ha una rilevante quota di emissioni attribuibili al rumore di rotolamento, mentre questo è quasi sempre trascurabile per quanto riguarda gli spostamenti urbani dei veicoli pesanti.

Purtroppo il ritardo con cui il problema del rumore di rotolamento è stato affrontato da un punto di vista tecnologico si traduce anche nel fatto che a tutt'oggi non esiste una metodologia standardizzata, universalmente riconosciuta, di misurazione delle prestazioni acustiche dei pneumatici, né, tanto meno, una norma di omologazione che fissi dei limiti massimi di emissione e che cadenzi nel tempo l'evoluzione tecnologica richiesta dai produttori.

D'altra parte è evidente dall'esperienza quotidiana di ciascuno (vedi ad esempio la pubblicità) che il comfort di marcia non è ancora una delle caratteristiche salienti per la vendita dei pneumatici e quindi anche la pressione nei confronti dei produttori spontaneamente effettuata dal mercato è assai modesta.

In conclusione, almeno per i prossimi 10 anni non ci possiamo attendere che l'evoluzione tecnologica dei veicoli a motore sia tale da risolvere il problema dell'inquinamento acustico urbano. Pertanto in assenza di altri provvedimenti resterà una elevata quota di abitazioni esposte a livelli sonori in facciata che superano di oltre 10 dB i limiti di accettabilità oggi universalmente riconosciuti.

3.4 Possibili interventi di riduzione del rumore da parte dell'autorità locale

3.4.1 *Ridurre i volumi complessivi di traffico*

La riduzione complessiva dei volumi di traffico che globalmente transitano nelle strade della città è senza dubbio il primo provvedimento a cui si può pensare per ottenere una riduzione del rumore. Ma un'analisi della concreta fattibilità di una riduzione globale dei volumi di traffico, che sia di entità sufficiente a produrre effetti apprezzabili dal punto di vista acustico, porta a ridimensionare l'importanza da attribuire ad una strategia

di intervento che persegua essenzialmente questo obiettivo. Infatti possiamo assumere una proporzionalità diretta tra numero di veicoli circolanti e pressione quadratica media di rumore: ciò significa che a un dimezzamento dei volumi complessivi di traffico sarà associata una diminuzione di 3 dB dei livelli medi di rumorosità. Per avere un'idea dell'entità di riduzione dei volumi di traffico ottenibile con provvedimenti praticabili possiamo prendere a riferimento l'efficacia dei provvedimenti fortemente restrittivi applicati alla circolazione veicolare, sia pure per brevi periodi di tempo, in ottemperanza ai cosiddetti blocchi del traffico per l'inquinamento atmosferico: la figura 2 mostra la diminuzione nel numero di veicoli circolanti nelle zone centrali della città a seguito di uno di questi provvedimenti.

Si capisce che anche con interventi che sono percepiti come fortemente restrittivi delle possibilità di circolazione non si ottengono riduzioni superiori al 25-30% del numero dei transiti (-1dB); pertanto non è possibile immaginare di poter conseguire facilmente e nel breve periodo risultati consistenti di riduzione del rumore seguendo unicamente questa strategia, ed è forte il rischio di intraprendere provvedimenti i cui effetti non risultino poi neanche rilevabili (vedi paragrafo 1.4). Solo se l'obiettivo di ridurre il numero di veicoli circolanti sarà perseguito con azioni incisive ed impegnative da parte dell'Amministrazione si potranno ottenere risultati quantitativamente significativi dal punto di vista del rumore. A questo scopo sono possibili due tipologie di intervento che possono essere adottate separatamente o insieme. La prima consiste in un intervento di tipo strutturale che realizzi un forte potenziamento delle strutture di trasporto pubblico tale da modificare le abitudini e le necessità di vita di gran parte della popolazione.

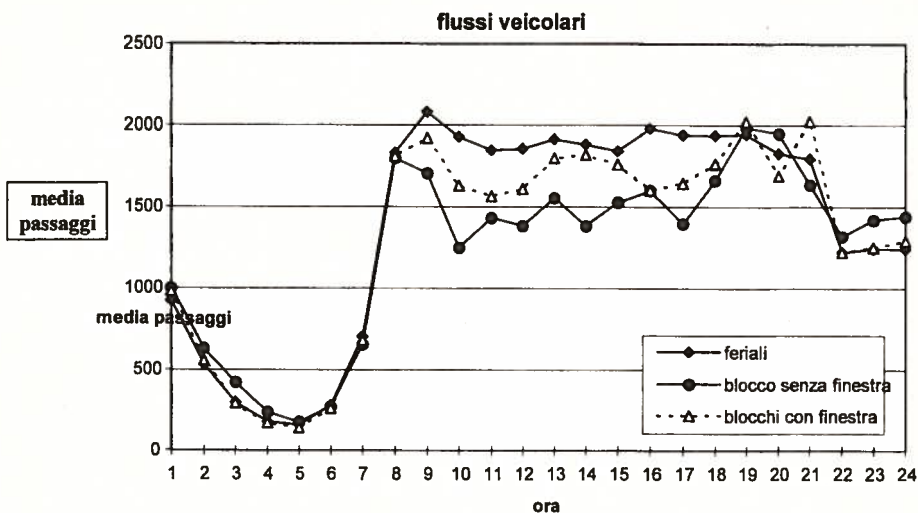


Figura 2

La seconda consiste in una politica di ridefinizione del tessuto urbano che preveda una redistribuzione dei servizi e delle attività amministrative e produttive tale da minimizzare gli spostamenti della popolazione favorendo la vita di quartiere (accorciamento delle distanze) e riducendo le necessità di spostamento fisico delle persone (telematica, servizi porta a porta, snellimento amministrativo). Nello stesso tempo dovranno essere prese iniziative tese a modificare le abitudini dei cittadini aumentando significativamente la quota di mobilità pedonale o in bicicletta. Iniziative di questo tipo prevedono una campagna di educazione e promozione di questi nuovi “mezzi di trasporto” che dovrà essere accompagnata dalla realizzazione di condizioni anche infrastrutturali che rendano possibile e agevole tale tipo di mobilità. A questo scopo pensiamo che sia sufficiente prendere ad esempio quanto già sviluppato in alcuni paesi del nord Europa dove, pur con condizioni climatiche avverse, già una fetta importante della mobilità urbana è affidata a spostamenti pedonali o in bicicletta, e dove i piani del traffico recenti applicano tecniche scientifiche di promozione atte a trasferire ulteriori quote della mobilità urbana verso questi mezzi [17].

3.4.2 Ridurre le quote di mezzi pesanti circolanti

Nei paragrafi precedenti è stato messo in evidenza che dal punto di vista acustico alcuni veicoli hanno un peso più rilevante di altri nel determinare la rumorosità complessiva della città. In particolare, abbiamo stabilito che nel contesto del traffico urbano un veicolo pesante può produrre la rumorosità di dieci autovetture. Pertanto una politica che mirasse alla riduzione selettiva del numero di transiti di mezzi pesanti potrebbe ottenere risultati particolarmente significativi anche senza intervenire con un contenimento dei volumi complessivi di traffico. Affinché il provvedimento sia efficace l'intervento deve essere mirato a quelle particolari zone dove l'incidenza della rumorosità da veicoli pesanti è particolarmente significativa.

3.4.3 Insonorizzazione della flotta degli autobus pubblici

Gli autobus rivestono un ruolo importantissimo nel determinare la rumorosità della città. Questo, oltre che un'esperienza comune, è un dato quantificato nel rapporto di circa 1:10 tra la rumorosità di questi veicoli e quella di un'autovettura media in condizioni ordinarie di traffico. Di conseguenza in alcune zone della città non è pensabile alcuna riduzione significativa della rumorosità senza un intervento che riduca quella emessa dagli autobus. La sproporzione tra la rumorosità degli autobus e quella delle autovetture è tale da rendere paradossalmente negativi, dal punto di vista acustico, i provvedimenti di potenziamento del trasporto pubblico.

Nell'affrontare questo problema bisogna necessariamente tener conto del fatto che questi veicoli hanno una vita media così lunga che non è possibile affidare al solo rinnovamento della flotta le aspettative di una diminuzione delle loro emissioni sonore. In passato è stata condotta una ricognizione sommaria sui veicoli esistenti dalla quale è risultato evidente che l'aspetto acustico è così gravemente trascurato nella loro progettazione che sono ipotizzabili modifiche efficaci anche sugli attuali veicoli circolanti.

L'azione a questo riguardo potrebbe quindi articolarsi su due direzioni:

1) introdurre la valutazione della rumorosità degli autobus come un criterio importante per la scelta e l'acquisto dei nuovi veicoli, attivando eventualmente rapporti specifici con le aziende costruttrici per il conseguimento di forniture con prestazioni particolarmente ottimizzate dal punto di vista acustico;

2) attivare un intervento di modifica progressiva della flotta esistente secondo progetti di trasformazione messi a punto e verificati su prototipi.

A questo scopo va segnalato che il Comune di Firenze ha ottenuto l'approvazione di uno specifico e consistente stanziamento per un progetto mirato finanziato dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del suo piano triennale. Nell'ambito di tale progetto sono stati messi a punto due prototipi di insonorizzazione dei modelli più diffusi del vecchio parco mezzi dell'ATAF. Tali prototipi hanno dimostrato la fattibilità di un intervento di insonorizzazione con una efficacia dell'ordine di 10 dB a costi unitari molto contenuti [18].

3.4.4 Aumentare le strade "locali"

L'indagine statistica sui livelli sonori nelle strade di Firenze, riportata al paragrafo 1.2, mette in evidenza che la rumorosità delle strade è nettamente connessa con la loro funzione nel sistema di circolazione della città. In particolare le strade che non sono attraversate da flussi di collegamento risultano da 5 a 10 dB più silenziose delle altre. La quantità e l'estensione di strade di questo tipo dipendono dai criteri di organizzazione dei flussi di traffico così come saranno definiti dal piano del traffico stesso. Nel recente passato a Firenze si è assistito frequentemente a soluzioni che, al fine di snellire la viabilità, hanno frazionato i flussi di traffico su molteplici direttrici togliendo a molte strade locali questa loro caratteristica. Nel ridisegno della viabilità tale tendenza va invertita, tenendo sempre presente il costo ambientale di ogni suddivisione di un flusso di traffico su più rami. Viceversa, in molte situazioni, opportuni accorgimenti possono evitare che quote spesso marginali di traffico utilizzino a scopo di transito strade secondarie, come spesso avviene oggi, nella continua ricerca di scorciatoie o viabilità alternative. Siamo convinti che uno studio accurato della viabilità che tenesse conto del valore delle strade non di attraversamento potrebbe intervenire su molti particolari del disegno dei flussi di traffico e, anche in assenza di interventi sulle infrastrutture, accrescere significativamente il numero e l'estensione delle strade locali. Con ciò si realizzerebbe uno dei provvedimenti più potenti per ridurre la percentuale di popolazione esposta a livelli eccessivi di rumorosità.

3.4.5 Creare zone a 30 Km/h

È stato dimostrato che la riduzione della velocità in area urbana a 30 Km/h produce una diminuzione della rumorosità pari 2-4 dB. È altrettanto evidente, e la stessa esperienza fiorentina degli anni passati lo dimostra, che la semplice istituzione del divieto non è di nessuna efficacia pratica, e che questo limite di velocità può realisticamente essere imposto solo nelle strade che non presentino traffico di attraversamento. Con creazione di zone a 30 Km/h non si intende quindi la definizione di limiti di velocità da imporre nelle strade, ma un vero e proprio provvedimento di ristrutturazione urbanistica di aree a prevalente carattere di strada locale in cui si vuole che sia privilegiata la mobilità pedonale e ciclabile, e nelle quali la stessa struttura architettonica della zona induca gli automobilisti a moderare la velocità. In sintesi, la strada a 30 Km/h presenta la seguenti caratteristiche (vedi figure da 3 a 7):

- sezione stradale ridotta;
- marciapiedi larghi;
- profilo non rettilineo (ottenuto eventualmente modulando la larghezza dei marciapiedi, o la disposizione degli spazi per la sosta);
- attraversamento pedonale alla stessa quota del piano del marciapiede (che costituisce un dosso rallentatore per le auto);
- pista ciclabile e parcheggi per i residenti.

L'esperienza di molte realizzazioni all'estero (in primo luogo in Germania) dimostra che questo insieme di provvedimenti strutturali che trasformano una strada qualunque in una zona a 30Km/h sono efficaci nel modificare lo stile di guida e nel ridurre la velocità dei veicoli, ottenendo di conseguenza alcuni dB di riduzione della rumorosità. Un ulteriore vantaggio deriva poi da una migliore vivibilità dell'area nel suo complesso [19].

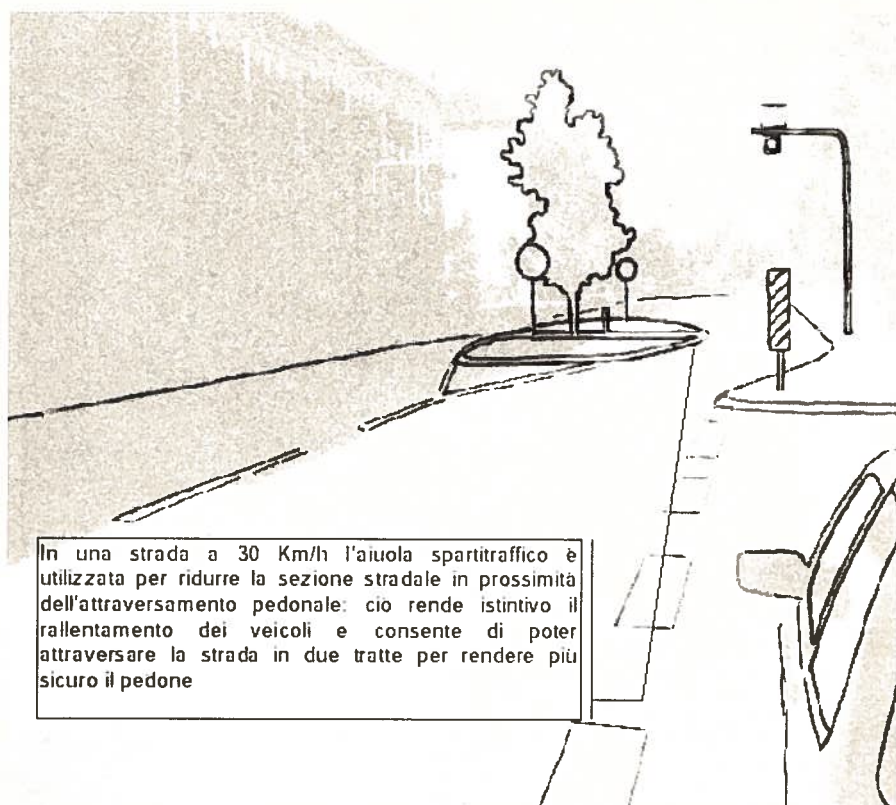


Figura 3

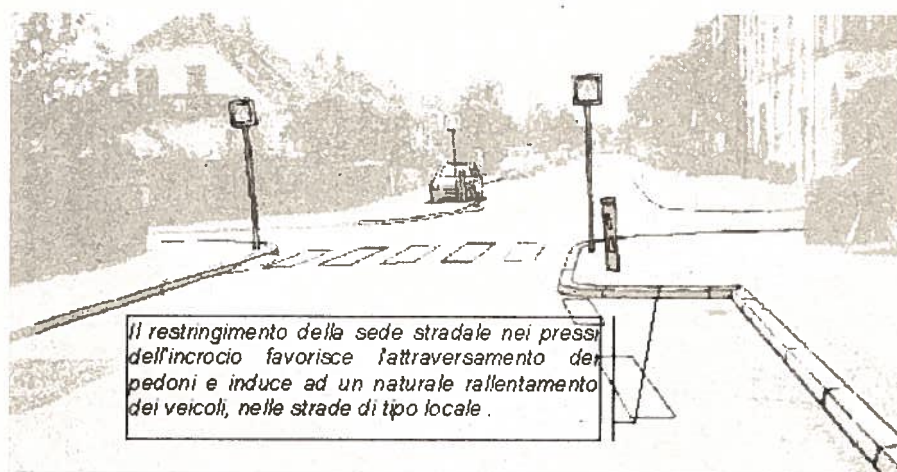
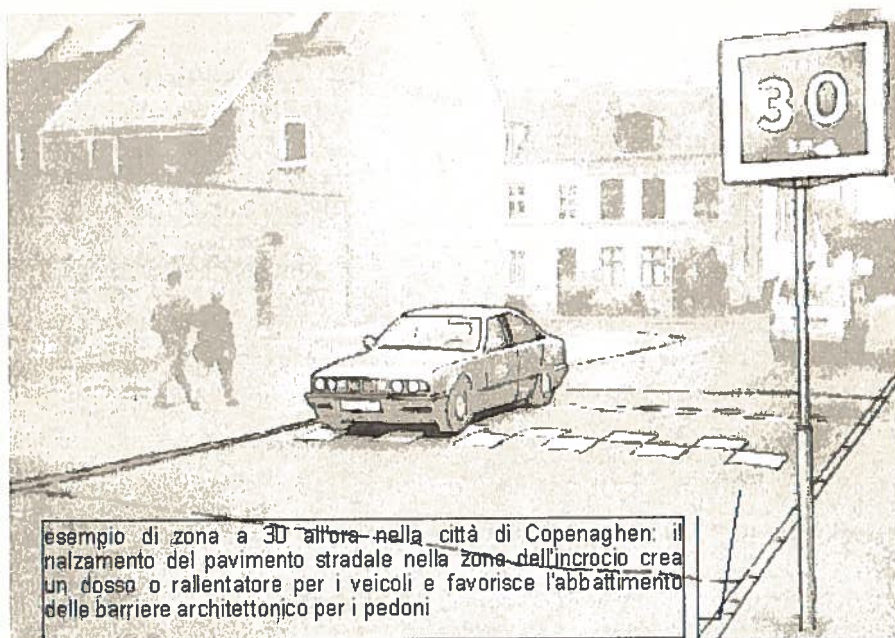
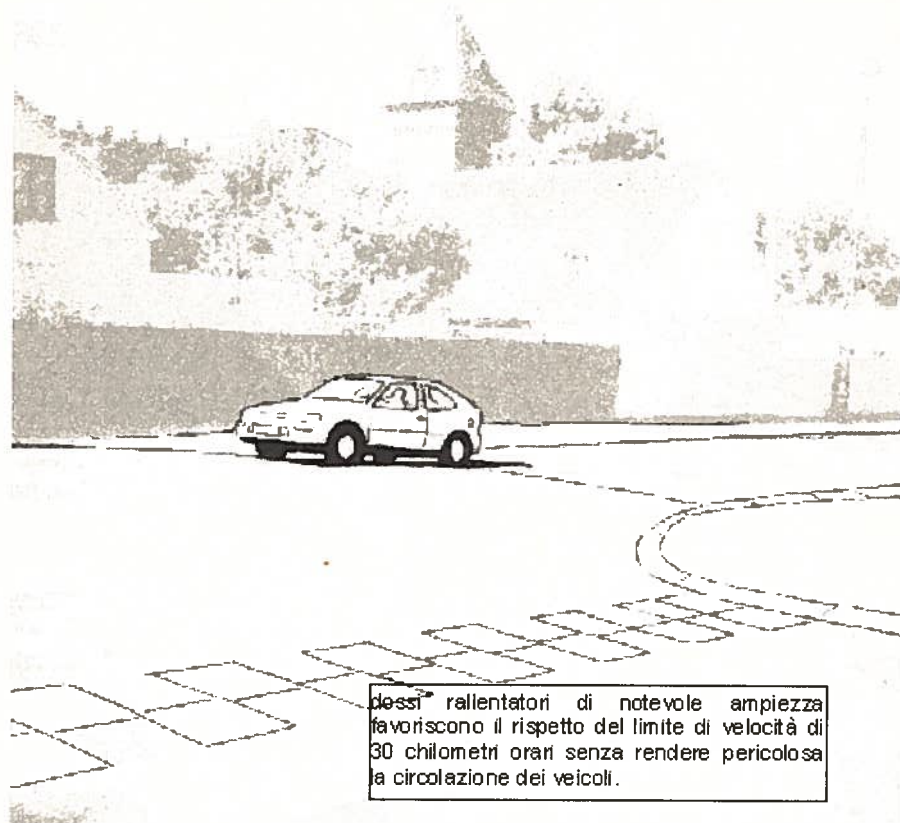


Figura 4



esempio di zona a 30 all'ora nella città di Copenhagen: il rialzamento del pavimento stradale nella zona dell'incrocio crea un dosso o rallentatore per i veicoli e favorisce l'abbattimento delle barriere architettoniche per i pedoni

Figura 5



essi rallentatori di notevole ampiezza
favoriscono il rispetto del limite di velocità di
30 chilometri orari senza rendere pericolosa
la circolazione dei veicoli.

Figura 6



la costruzione di chicanes mediante l'utilizzo di piccole aiuole rende naturale una progressione a velocità costante e moderata dei veicoli nelle strade locali. Il restringimento della sede stradale nei pressi dell'incrocio favorisce l'attraversamento dei pedoni e induce ad un naturale rallentamento dei veicoli

Figura 7

3.4.6 Modifica dei comportamenti abituali

Vi sono una serie di comportamenti individuali che possono sensibilmente modificare il livello di emissione sonora del proprio veicolo. Sarebbe importante intraprendere azioni mirate a modificare i comportamenti scorretti, soprattutto in merito alle due seguenti questioni.

Rispetto dei limiti di velocità

È noto che la rumorosità di ciascun singolo transito e quella complessiva dipendono significativamente dalla velocità di marcia dei veicoli. Recentemente, proprio nella nostra città, è stato condotto uno studio che ha messo in evidenza una crescita della rumorosità di circa 3 dB per ogni incremento di 10 km/h della velocità [8]. In ambiente urbano ed in periodo diurno le opportunità di guidare a velocità superiore ai limiti consentiti sono assai limitate e ristrette a tratti bene individuati della viabilità, mentre in periodo notturno, nelle ore di rarefazione del traffico veicolare, è frequente un aumento della velocità media di percorrenza, e il superamento dei limiti di velocità può facilmente verificarsi in molte strade della città. Questo contribuisce sicuramente ad elevare il livello medio di rumorosità notturno e soprattutto ad aumentare la frequenza di singoli eventi sonori particolarmente disturbanti per la loro capacità di incidere sulla qualità del sonno.

Più in generale, è importante rilevare come lo stile di guida complessivo contribuisca a modificare sensibilmente la rumorosità emessa dai veicoli nel percorrere un determinato tragitto. Numerosi studi [20] hanno determinato che uno stile di guida aggressivo, a fronte di un irrisorio risparmio sui tempi di percorrenza, produce un sensibile aumento dei consumi e un significativo incremento della rumorosità media del veicolo, come riassunto nella seguente tabella.

Tipo di Veicolo	Potenza (kW)	Stile di Guida A = aggressivo C = Calmo	Tempo per percorrere 10 km nel traffico urbano	Livello di rumore medio (L_{Aeq}) in dB	Risparmio di Carburante (% A-C)
Auto	53	A	39	72.6	29.8
		C	40	67.8	
Auto	95	A	39	69.8	21.6
		C	44	64.9	
Auto	55	A	34	68.2	19.1
		C	36	62.8	
Auto	37	A	33	68.6	31.5
		C	33	64.9	
Auto	51	A	34	67	27.8
		C	35	62	
Motociclo	13 (250)	A	34	76.1	
		C	35	68.8	
Motociclo	34 (500)	A	28	79	
		C	30	73	
Motociclo	44 (570)	A	29	72.6	
		C	30	64.5	
Motociclo	66 (100)	A	31	76.2	
		C	34	68.2	

Sarebbe pertanto importante mettere in atto una serie di iniziative formative e repressive che inducessero ad uno stile di guida pacato ed al rispetto dei limiti di velocità anche in presenza di strade libere e condizioni di traffico favorevoli, soprattutto in periodo notturno.

Conformità dei silenziatori di scarico

Il problema della manomissione o sostituzione delle marmitte è relativo essenzialmente ai motoveicoli, e in parziale diminuzione rispetto agli anni passati. Ciò nonostante va rilevato che, mentre un motorino produce in media una rumorosità non molto diversa da quella di un'autovettura, la manomissione dei dispositivi di silenziamento dello scarico rende la sua rumorosità anche alcune decine di volte maggiore di quella originaria.

Questo fa sì che anche un numero limitato di veicoli manomessi circolanti possa avere un peso non trascurabile sul livello di rumorosità media. In ogni caso questi costituiscono la causa di eventi sonori con elevati livelli di picco il cui disturbo, soprattutto in periodo notturno, è maggiore del loro effetto sul livello medio complessivo.

D'altra parte la repressione di questi comportamenti scorretti non necessita di particolari procedure di verifica sistematica dei veicoli circolanti

(tipo bollino verde per le auto), in quanto i veicoli manomessi sono facilmente individuabili durante la circolazione.

3.4.7 Barriere urbane

Le barriere antirumore sono forse tra i più conosciuti rimedi contro l'inquinamento acustico ma, per la loro natura, trovano possibilità di applicazione molto limitate in area urbana. In particolare, nell'adozione di queste nell'ambito della strategia più complessiva per la riduzione dell'inquinamento acustico, vanno tenute presenti alcune controindicazioni che ne sconsigliano l'adozione indiscriminata:

- 1) il costo elevato. L'installazione infatti di una barriera antirumore prevede spese nell'ordine del milione di lire per metro lineare di strada.
- 2) L'efficacia limitata ai soli edifici in ombra alla barriera. Ciò significa in pratica che l'efficacia delle barriere è limitata a quelle abitazioni alle quali la barriera toglie la vista degli autoveicoli in transito. Pertanto in tutte le strade costeggiate da abitazioni non è possibile prevedere soluzioni efficaci oltre il primo piano. La protezione di edifici più alti, ma prossimi alle linee di traffico, specialmente per carreggiate molto larghe, richiederebbe la realizzazione di imponenti tunnel a fonici (barriere più tetto a baffles fonoisolanti-fonoassorbenti di costo elevatissimo e di dubbia tollerabilità architettonica).
- 3) Modifica della accessibilità degli spazi. Solo con accorgimenti opportuni è possibile prevedere *alcuni varchi delimitati* all'interno di una barriera senza pregiudicarne l'efficacia.

In linea generale è sensato ipotizzare l'utilizzo di barriere in ambito urbano limitatamente ai seguenti scopi:

- protezione di aree a fruizione pedonale (parchi pubblici, spazi giochi, zone pedonali di particolare pregio, aree destinate allo svolgimento di attività all'aperto)
- protezione di piste ciclabili
- protezione di abitazioni basse e arretrate rispetto alla sede stradale
- mitigazione dell'inquinamento prodotto da tratti autostradali o circonvallazioni periferiche, viadotti e cavalcavia, previa verifica di collocazione opportuna rispetto alle abitazioni disturbate.

Per quanto riguarda soprattutto i primi tre punti, non va trascurata la possibilità di realizzare le protezioni con dune in terra opportunamente piantumate o con veri e propri "biomuri", integrando così nella barriera anche

una funzione di arredo a verde e una di trattamento fonoassorbente per mitigare gli effetti di amplificazione sonora dovuti a riflessioni multiple.

3.4.8 Asfalti Fonoassorbenti

L'utilizzo di asfalti fonoassorbenti è senz'altro uno dei rimedi che negli ultimi anni ha guadagnato la maggiore notorietà, ma il suo utilizzo in ambito urbano non è affatto scontato. Questo tipo di asfalti infatti è già in uso da diversi anni sulle strade di grande comunicazione extra urbane e sulle autostrade, nelle quali si ottiene una riduzione della rumorosità del transito dei veicoli intorno ai 3-6 dB, principalmente per effetto della diminuzione del rumore di rotolamento. Le prime prove effettuate con asfalti porosi in ambito urbano hanno dimostrato una analoga efficacia anche in questo contesto da parte dei manti appena installati, anche se il principio di funzionamento è probabilmente diverso da quello considerato nelle strade extra urbane. Purtroppo però le loro prestazioni hanno dimostrato di degradarsi rapidamente nel tempo, fino a riprodurre nel giro di qualche mese quelle di un asfalto convenzionale.

Questo comportamento è attribuito prevalentemente alla presenza di polvere e sporczia che finisce, a causa anche della bassa velocità dei veicoli, col riempire i pori degli asfalti, eliminando rapidamente la loro peculiarità. In questo momento sono in fase di sperimentazione dei nuovi tipi di asfalto fonoassorbente che dovrebbero garantire una maggiore durata delle loro prestazioni anche in ambiente cittadino: si tratta di asfalti a doppio strato nei quali quello più superficiale ha una porosità più fine e funge da filtro rispetto a quello sottostante a grana più grossa. Un progetto di sperimentazione di questi tipi di asfalto è in corso proprio a Firenze, finanziato dal Ministero dell'Ambiente; ARPAT ne sta studiando le prestazioni nel suo complesso ed in particolare anche la durata dell'effetto di abbattimento dei livelli sonori [21,22]. Nel tratto in studio l'effetto di riduzione sonora ottenuto a traffico costante è pari a 3-4 dB e durante il primo anno di invecchiamento si sono avute diminuzioni delle prestazioni del tutto trascurabili. La sperimentazione è tuttora in corso, anche al fine di poter meglio definire la vita media dell'efficacia di questi manti, poiché, dalle estrapolazioni oggi effettuate, questa potrebbe anche essere confrontabile con quella del manto stesso, aprendo così la possibilità di un uso estensivo di asfalti fonoassorbenti anche nel contesto urbano: risultati definitivi a riguardo sono attesi per l'estate 1999.

3.5 Adempimenti alla nuova legge quadro

In questo paragrafo conclusivo vogliamo sottolineare in che modo alcune delle norme introdotte con la legge 447/95 possono contribuire alla pianificazione della riduzione del rumore in città. Come abbiamo visto nell'introduzione normativa, diverse disposizioni della nuova legge introducono criteri di programmazione e pianificazione al fine di conseguire una progressiva riduzione del rumore nell'ambiente. Il Comune infatti, dopo aver fatto la classificazione acustica del territorio, può efficacemente sfruttare l'articolo 8 che introduce l'obbligo per i centri commerciali e le attività produttive di produrre una valutazione di impatto acustico della loro attività. Sempre lo stesso articolo 8 introduce anche l'obbligo della valutazione di clima acustico per la costruzione di nuove aree abitative o di recettori sensibili quali scuole e ospedali. Entrambe queste disposizioni dell'articolo 8 consentiranno, se ben utilizzate, di tener conto non solo del rumore prodotto dalle infrastrutture di nuova progettazione, ma anche di quello conseguente all'incremento dei volumi di traffico che tali nuove realizzazioni necessariamente produrranno. Questa diventa così una nuova possibilità di intervento sul sistema del traffico con l'attribuzione, almeno in fase di progettazione, di una seppur parziale responsabilità ai titolari delle nuove opere realizzate (va sottolineato che durante la fase di esercizio essi di norma non rispondono dei superamenti dei limiti derivanti dal traffico indotto). Vi è inoltre la possibilità di rivedere i regolamenti comunali, edilizio e di igiene, così da configurare un insieme di procedure con le quali governare in dettaglio l'utilizzo delle possibilità tecniche sin qui viste, fino dalla fase di progettazione dei nuovi insediamenti o delle espansioni urbanistiche. Tali norme, quindi, possono impedire di dover ricorrere tardivamente a piani di risanamento perché si è omessa una necessaria cautela nella progettazione, o addirittura possono suggerire di inibire alcune nuove realizzazioni perché queste di fatto comprometterebbero gli standard di qualità ambientale che si sono conquistati o che abbiamo programmato di raggiungere negli anni a venire.



CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Al termine di questo lavoro vogliamo presentare alcune considerazioni conclusive: nella prima parte del libro abbiamo visto che è disponibile un quadro complessivo della situazione acustica del comune di Firenze sufficientemente dettagliato ed affidabile da poter costituire un riferimento sicuro per ulteriori valutazioni. Le tecniche di indagine con le quali questo quadro di riferimento è stato prodotto ci consentono di tenere sotto controllo l'evoluzione del livello di inquinamento acustico della città di Firenze sia in termini globali sia analizzando situazioni puntuali o aspetti di dettaglio. Il comune di Firenze potrà utilizzare questi riferimenti e queste tecniche sia nella fase di messa a punto che in quella di verifica dei piani di risanamento acustico che vorrà mettere in atto.

I livelli di inquinamento acustico che queste misure mettono in evidenza, come abbiamo mostrato nella seconda parte di questo libro, incidono in maniera significativa sullo stato di salute della popolazione fiorentina: è una situazione di grave compromissione della vivibilità della città che si manifesta con effetti per la salute di tipo aspecifico. Forse è per questo aspetto che la gravità dell'impatto sulla salute di questa forma di inquinamento non è avvertita con piena consapevolezza dalla popolazione e forse nemmeno dalle autorità, e sono molte, che con la loro attività amministrativa o di pianificazione condizionano in maniera significativa l'evoluzione dei tassi dell'inquinamento acustico. Ma se vogliamo comprendere fino in fondo la gravità, o la rilevanza, di questa forma d'inquinamento per la popolazione, dobbiamo andare al di là della concezione di salute come assenza di malattie, e prendere questa parola nel suo significato più esteso, di benessere cioè psicofisico e sociale. In questo senso il rumore incide sulla nostra salute a più livelli: abbiamo visto che può generare vere e proprie patologie, ma è altrettanto importante stimare quanto i livelli di inquina-

mento acustico compromettono la fruibilità di certi luoghi, nel senso della capacità di tenervi relazioni sociali: di parlare e ascoltare, di svolgervi positivamente le attività di svago o quelle che richiedono particolare attenzione. Se posti in quest'ottica, scopriremo che diventa importante tutelare anche spazi in cui, dato il breve periodo di permanenza, siamo abbastanza al sicuro dal rischio per l'organismo, ma ai quali vogliamo far mantenere la loro qualità di spazi di relazione sociale: pensiamo ad esempio al percorso casa scuola dei bambini o dei ragazzi, o alle piazze della città. Se accettiamo questo punto di vista, prima di avviarsi sulla strada dei piani di risanamento occorre forse fare un piccolo ribaltamento di prospettiva che rende più evidente e spedito il percorso successivo: dobbiamo affiancare all'idea di lotta al rumore quella di tutela delle aree protette, concetto che mutuiamo da altri ambiti della tutela dell'ambiente. Dobbiamo cioè avviare un'azione su due percorsi: uno è quello di ridurre la rumorosità delle sorgenti e dei luoghi, l'altro è quello di individuare le zone che vogliamo guadagnare o conservare ad un livello sufficientemente basso di rumore che garantisca una buona vivibilità del luogo. Per queste aree ci saranno azioni di salvaguardia che dovranno coinvolgere, dal piano del traffico all'annona, al turismo, tutte le attività che possano valorizzare la loro caratteristica di area silenziosa, garantendone la conservazione e il progressivo miglioramento nel tempo. Le azioni in positivo, la valorizzazione, sono una prospettiva che meglio si addice alla tutela della salute in senso lato, come prima sottolineato, e che può mettere in campo risorse più ingenti e più efficaci di quelle che sono disponibili per la "lotta al rumore". Se questa strada sarà intrapresa con decisione dall'amministrazione comunale si aprirà per noi una nuova sfida culturale ed operativa: quella di specializzare la descrizione e l'approccio all'inquinamento acustico in funzione delle attività sensibili che vogliamo prendere in esame e tutelare, siano questa il riposo notturno, lo studio o le diverse attività ricreative.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C.Fagotti e altri, *Monitoraggio Acustico: Il Mezzo Mobile Ideale*, in *Atti del XXIII Congresso Nazionale AIA*, Bologna, 1995.
- [2] Delibera Giunta Regionale Toscana n.488 del 25/1/1993, *Linee guida per l'applicazione sul territorio regionale dei disposti del DPCM 1.3.91*.
- [3] C.Fagotti A. Poggi, *8 years of noise monitoring in Florence*, in *Atti del 18th AICB International Congress for Noise Abatement*, Bologna, 1995.
- [4] S.Siegel, N.J. Castellan, *Nonparametric statistics*, McGraw-Hill, 1988
- [5] J.H. Zar, *Biostatistical analysis*, Prentice-Hall, 1984.
- [6] SPSS User's Guide, *Release 6*.
- [7] P.Nelson, *Trasportation noise reference book*, Butterworth & Co, 1987.
- [8] A.Gesualdo, *Modelli di previsione del rumore da traffico: valutazione teorica e sperimentale*, tesi a.a. 1994/95, Università di Firenze, Facoltà di Ingegneria.
- [9] U.Sandberg, *Effect of Regulations on Road Vehicle Noise*, *Noise News International* (1995) **3**, 82.
- [10] D.Bertoni, A.Franchini, M.Magnoni, *Il rumore urbano e l'organizzazione del territorio*, Pitagora, 1988.
- [11] D.Bertoni e altri, *Gli effetti del rumore dei mezzi di trasporto sulla popolazione*, Pitagora, 1994.
- [12] A.Peretti, *Rumore e ambienti scolastici*, (R.Pompoli ed.), Atti seminario AIA Ferrara, 1995
- [13] W. F. Hofman, A. Kumar, J. H. M. Tulen, *Journal of Sound and Vibration* (1995) **179**, 577-589.
- [14] M.Vallet e altri, *Journal of Sound and Vibration* (1983), **90**, 173-191.

- [15] H.Ising, W.Babisch, B.Kruppa, *Atti XVIII congresso AICB*, Bologna, Settembre 1995.
- [16] Regione Toscana, Giunta Regionale, *L'impiego del gas naturale per un trasporto pubblico rispettoso dell'ambiente*, 1992
- [17] A.Vermie, *The mitigation of traffic noise in Urban Areas*, in *Atti del simposio "The mitigation of traffic noise in Urban Areas"*, Nantes, 1992.
- [18] R.Ciuffi, P.Rissone, M.Toderi, *Retrofit per l'insonorizzazione dei bus urbani*, in *25° Congresso nazionale AIA*, Perugia, 21-23 Maggio 1997.
- [19] B.Gandino D. Manuetti, *La città possibile*, Red Edizioni, 1995.
- [20] P.Nelson, *Controlling vehicle noise. A general review*, in *Atti del simposio "The mitigation of traffic noise in Urban Areas"*, Nantes, 1992.
- [21] P.Battini e altri, *Contributo di un asfalto fonoassorbente a doppio strato nella riduzione di rumorosità da traffico: confronto tra dati sperimentali e teorici*, in *Atti del XXVI Convegno Nazionale AIA*, Torino 1998
- [22] D.Casini e altri, *Prestazioni acustiche di asfalti fonoassorbenti a doppio strato*, in fase di stampa, Firenze Giugno 1998.