



LINEE GUIDA
per la
Caratterizzazione Acustica
delle Aree Urbane

2001

Coordinamento a cura di: **Roberto Sogni**
Eccellenza Agenti Fisici - Sezione di Piacenza

La redazione del documento è stata curata da uno specifico **Gruppo di Lavoro** composto da:

Sezione di Piacenza: **Anna Callegari, Lorenzo Orlandini**
Sezione di Reggio Emilia: **Mauro Confetti, Maurizio Poli**
Sezione di Modena: **Andrea Franchini**
Sezione di Ravenna: **Patrizia Luciali**
Sezione di Rimini: **Stefano Renato De Donato**
Ingegneria Ambientale: **Cristina Regazzi**

INDICE

1	Introduzione.....	4
2	Obiettivi specifici delle Linee Guida.....	5
3	Indagini preliminari, metodologia di misura, elaborazione dei dati.....	7
3.1	Schema del campionamento.....	8
3.1.a	Strade.....	8
3.1.b	Linee ferroviarie.....	13
3.1.c	Sorgenti fisse.....	13
3.2	Passaggio dalla descrizione puntuale alla descrizione areale.....	13
3.3	Misure in continuo	14
4	Gestione, rappresentazione, aggiornamento e diffusione dei dati	14
4.1	Gestione dei dati.....	14
4.2	Rappresentazione dei dati.....	17
4.3	Diffusione dei dati.....	17
4.4	Aggiornamento dei dati.....	18
5	Conclusioni.....	18
	Bibliografia.....	19

1 Introduzione

La caratterizzazione acustica del territorio ha assunto negli anni un'importanza sempre maggiore, in particolare a partire dal 1991 con l'emanazione del DPCM 1° marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno" ed in seguito della Legge 447/95 "Legge Quadro sull'inquinamento acustico" e dei successivi decreti applicativi. La necessità di avviare specifiche politiche di risanamento (Piani di risanamento comunali – art. 7 L. 447/95, Piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore – D.M. 29.11.2000), e pertanto di individuare una scala di priorità di intervento, ha sottolineato l'esigenza di acquisire una conoscenza sistematica dei livelli di rumore sul territorio e della loro evoluzione temporale.

Anche la Proposta di Direttiva europea sul rumore ambientale (2000) [1] prevede l'esecuzione di misure e/o l'applicazione di modelli di calcolo, ai fini di una "mappatura acustica strategica", vale a dire di una mappa volta alla caratterizzazione acustica complessiva di una certa zona.

La conoscenza dei livelli di rumore che caratterizzano una determinata area, più o meno ampia, ha una sua fondamentale utilità, non soltanto in quanto permette di descrivere lo stato acustico dell'ambiente, ma anche perché fornisce una base indispensabile per la pianificazione e la programmazione territoriale ed urbanistica, così come per la pianificazione del risanamento acustico.

Ovviamente, in base a quelli che sono gli obiettivi specifici che si vogliono raggiungere, la caratterizzazione acustica deve essere progettata e realizzata secondo ben precisi criteri e metodologie, che possono, talora, differire in misura anche sostanziale [2, 3].

Anche alla luce del quadro normativo vigente o di cui si prevede l'emanazione, si possono individuare i principali obiettivi di un'azione di caratterizzazione acustica territoriale:

- verificare il rispetto, da parte di una o più sorgenti di rumore, di determinati valori di riferimento;
- verificare il rispetto dei limiti fissati dalla normativa;
- identificare le sorgenti di rumore ed il loro specifico contributo;
- fornire gli elementi di conoscenza dello stato acustico dell'area di interesse, al fine di descriverne l'evoluzione temporale e di diffondere le informazioni ai vari livelli istituzionali ed alla popolazione;
- determinare i livelli di esposizione al rumore della popolazione, eventualmente anche ai fini di una stima degli effetti sulla salute;
- individuare le "aree critiche" in cui ci si ha un potenziale significativo superamento dei limiti fissati dalla zonizzazione acustica e per le quali si rende necessario un piano di risanamento acustico;
- fornire gli elementi utili alla predisposizione di un piano di risanamento;
- fornire informazioni utili alla pianificazione territoriale;
- valutare uno stato ante operam e/o post operam (es.: valutazione di impatto acustico, di clima acustico, ecc.);
- raccogliere dati acustici utili per sviluppare, verificare o tarare modelli di calcolo.

La precisa definizione degli obiettivi specifici dell'indagine è un passo fondamentale da compiere prima di qualsiasi altra azione; ciò anche al fine di non sprecare tempo e risorse in attività i cui risultati potrebbero essere alla fine poco utili o addirittura inutilizzabili. La "domanda" di informazione derivante dalla normativa italiana, dalle esigenze delle amministrazioni locali, dalle proposte di normative europee, ecc. è, infatti, estremamente disomogenea ed è compito arduo cercare con una sola "risposta" di soddisfare esigenze anche molto differenziate.

In funzione dello scopo dell'indagine acustica, vengono scelte le modalità di campionamento del rumore. Il rumore ambientale, in particolare in ambito urbano, è caratterizzato da una certa variabilità sia nel tempo sia nello spazio: la molteplicità di sorgenti presenti, le diverse modalità di funzionamento delle stesse, la presenza degli edifici costituiscono alcuni degli elementi che determinano l'estrema complessità dell'ambiente sonoro. La definizione delle modalità di esecuzione delle misure è pertanto un problema piuttosto complesso ed è necessario fornire un'indicazione precisa e dettagliata delle modalità scelte e seguite in una determinata indagine.

Quale che sia la metodologia individuata, si ritiene fondamentale il riferimento alla definizione di mappatura acustica data da ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente), attraverso il CTN_AGF (Centro Tematico Nazionale Agenti Fisici); la mappatura acustica è una descrizione dei livelli sonori, ottenuta attraverso un'attività di raccolta di dati acustici che soddisfa a certi requisiti [4]:

1. *“Riferirsi a posizioni o situazioni, dei cittadini esposti, omogenee tra loro (non ha senso ad esempio assommare insieme misure relative a posizioni interne alle abitazioni senza distinguere se le finestre erano aperte o chiuse);*
2. *Utilizzare una metodologia che consenta il confronto dei risultati, a distanza di tempo, con quelli ottenuti successivamente con la stessa metodologia;*
3. *Rendere semplice la descrizione del risultato dell'indagine;*
4. *Consentire la descrizione dello stato di contesti acustici valevoli per ampie porzioni della popolazione con un ragionevole dispendio di energie ed in un tempo sufficientemente breve.”*

I dati così ottenuti potranno essere utilizzati per la determinazione di opportuni indicatori, la cui principale caratteristica deve essere quella di rendere immediatamente confrontabile nel tempo lo stato acustico del territorio in esame. Tutto ciò anche con lo scopo, peraltro espressamente previsto dalla Proposta di Direttiva europea, di informare i cittadini e di aumentarne il senso di responsabilità in riferimento a questa problematica ambientale, e, conseguentemente, di incrementare il livello di attenzione politica ed amministrativa sul tema specifico [5].

2 Obiettivi specifici delle Linee Guida

La necessità di predisporre Linee Guida per la caratterizzazione acustica nasce principalmente dall'esigenza di uniformare le metodiche di approccio allo studio del rumore ambientale in modo da rendere più omogenei, e quindi più facilmente confrontabili, i risultati delle elaborazioni ottenute nelle diverse realtà territoriali.

A partire dall'analisi della bibliografia disponibile e delle specifiche esigenze emerse sul territorio di competenza, il gruppo di lavoro dei tecnici di Arpa Emilia-Romagna, incaricato di predisporre le Linee Guida, ha convenuto di finalizzare il documento ad uno specifico e limitato obiettivo, nella consapevolezza che il raggiungimento di tale obiettivo non consentirà comunque di soddisfare appieno la "domanda" informativa che da più parti proviene all'Agenzia, ma che, in ogni caso, potrà fornire un utile strumento verso l'acquisizione di un significativo grado di conoscenza dei livelli di rumorosità sul territorio e dei conseguenti livelli di esposizione della popolazione.

Le Linee Guida hanno lo scopo di definire strategie di campionamento per la raccolta di dati acustici utili ad uno *screening* delle aree urbane che consenta, con tempi e costi contenuti, di caratterizzare, limitatamente al periodo diurno, lo stato acustico del territorio in esame e di individuare le potenziali aree di criticità, sulle quali pianificare, successivamente, eventuali ulteriori indagini di dettaglio. Tale *screening* dovrà consentire peraltro, in caso di compresenza di più fonti di rumore, di valutare separatamente il contributo delle principali sorgenti sonore individuate: traffico veicolare, ferroviario e altre sorgenti fisse significative (attività industriali e artigianali, attività commerciali e ricreative, ecc.).

Per le finalità che si propone, questo tipo di caratterizzazione acustica non è vincolata all'esecuzione di misure strumentali che si mantengano strettamente aderenti al dettato normativo. Gli elementi di conoscenza necessari possono, infatti, essere acquisiti anche con una metodologia semplificata che, pur rispettando i principi generali sottesi alle indicazioni della normativa vigente, consenta l'acquisizione di alcuni dati acustici fondamentali, facilmente aggiornabili nel tempo, ed altresì utili per un primo indicativo confronto con i limiti derivanti dalla zonizzazione acustica del territorio.

A livello metodologico si farà sostanzialmente riferimento ad un campionamento di tipo sorgente-orientato [6] che, pur se in generale ritenuto non particolarmente idoneo alla realizzazione di mappe acustiche, risulta di estrema utilità qualora si persegua l'obiettivo di una descrizione dei livelli di rumore in ambito urbano che:

- risponda sostanzialmente ai requisiti della normativa italiana in termini di posizione di misura;
- mantenga il riferimento topografico;
- sia in grado di discriminare le sorgenti di rumore e di identificare le aree critiche.

I livelli di rumore così ottenuti, che caratterizzano di fatto le sorgenti cui sono riferiti, vengono poi estesi, secondo un'opportuna convenzione, alle aree limitrofe alle sorgenti stesse, ai fini della mappatura del territorio in classi di rumorosità.

Questa procedura può consentire, inoltre, una stima indicativa e conservativa delle percentuali di popolazione esposta a determinate fasce di rumorosità. Tale stima sarà più o meno precisa, anche in funzione della disponibilità, presso le amministrazioni comunali interessate, degli strumenti informativi più moderni e aggiornati (anagrafe informatizzata con georeferenziazione dei numeri civici e dei relativi residenti). Potrebbe peraltro risultare utile anche una valutazione indicativa dell'entità della popolazione esposta a livelli superiori a determinate soglie, significative per quanto riguarda il manifestarsi di alcuni particolari effetti del rumore quale, ad esempio, l'*annoyance* nel periodo diurno.

Il gruppo di lavoro ha preso inoltre in esame il complesso problema della caratterizzazione acustica in periodo notturno (dalle ore 22 alle ore 6). In tale periodo, soprattutto quando si prendano in considerazione zone urbanizzate, le principali

difficoltà sono legate all'estrema variabilità dei livelli non solo di ora in ora, ma molto spesso anche fra giorni diversi della settimana: ciò implica che le misure debbano essere prolungate per l'intero periodo notturno e ripetute per più giorni.

A completamento dell'attività di mappatura acustica il gruppo di lavoro ritiene opportuno che si proceda ad alcune rilevazioni in continuo, per più giorni consecutivi, con il limitato obiettivo di caratterizzare una o più aree circoscritte, potenzialmente critiche o particolarmente rappresentative, anche per acquisire elementi significativi per la definizione di una graduatoria di priorità nella programmazione degli interventi di risanamento. L'esecuzione di tali misure, oltre a consentire una verifica della classe di rumorosità attribuita in periodo diurno, permette contestualmente di acquisire i necessari elementi di conoscenza relativamente al periodo notturno.

È peraltro necessaria una riflessione sul tema specifico delle misure nel periodo notturno, da cui possano scaturire alcune indicazioni sui parametri da utilizzare, al fine di costruire una solida banca dati su cui fondare rielaborazioni future. Il parametro attualmente di uso comune, cioè il livello L_{Aeq} , non sembra infatti essere, sul periodo di riferimento notturno, il solo indicatore rappresentativo: i livelli statistici (L_n), il numero di eventi sonori, il livello massimo degli eventi, la differenza fra il livello massimo ed il livello di fondo, sono parametri acustici che, unitamente al livello equivalente, permettono di meglio caratterizzare il periodo notturno.

In realtà, tenuto conto della maggiore sensibilità dei cittadini alle sollecitazioni acustiche notturne, occorrerebbe partire proprio da un'analisi approfondita del disturbo alla popolazione nel periodo notturno, costruire di conseguenza il migliore indicatore e definire gli appropriati valori-guida. L'importanza di questo approccio è stata peraltro recentemente sottolineata anche dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità) [7].

3 Indagini preliminari, metodologia di misura, elaborazione dei dati

Le modalità che seguono fanno riferimento alla rumorosità in periodo diurno ed all'area urbanizzata, dove per aree urbanizzate si intendono zone in cui vi è presenza di agglomerati di edifici.

L'obiettivo è una mappatura acustica del territorio urbanizzato di un Comune per classi di 5 dBA.

Il metodo proposto prevede che la misurazione del rumore venga effettuata separatamente per le tipologie di sorgenti più significative presenti in una determinata area territoriale. In linea di massima si individuano tre tipologie di sorgenti significative per la determinazione del campo sonoro in ambito urbano:

- traffico veicolare;
- traffico ferroviario;
- altre sorgenti fisse significative (es. complessi industriali/ artigianali/ centrali termiche, ecc..).

Viene escluso il rumore dovuto al traffico aereo in quanto la valutazione dello stesso richiede un indicatore diverso dal livello equivalente e fa riferimento ad una durata del periodo diurno e notturno diversa rispetto alle sorgenti sopra ricordate.

Per la descrizione della rumorosità prodotta dal traffico veicolare si suggerisce la metodica di seguito riportata (punto 3.1.a), che in generale fa riferimento ad un campionamento sorgente-orientato [6].

Tale campionamento deriva anche dall'esigenza di mantenere le posizioni di misura il più possibile conformi al dettato normativo, che prevede misure ad 1 metro dalla facciata degli edifici a filo della sede stradale o ad 1 metro dalla perimetrazione esterna degli stessi (cfr. D.M. 16.03.98). In tali condizioni, essendo la struttura urbanistica delle nostre città caratterizzata da edifici dei centri storici con facciate a filo della sede stradale e da edifici nelle aree periferiche con perimetrazione esterna prospiciente le strade, le misurazioni effettuate a bordo strada risultano di fatto conformi alla normativa italiana vigente.

Nel caso di differenti distanze dalla sorgente delle potenziali posizioni di misura, si privilegeranno le postazioni più prossime alla sorgente stessa.

Specifiche indicazioni per la valutazione del rumore prodotto da traffico ferroviario e da sorgenti fisse significative sono riportate ai punti 3.1.b e 3.1.c.

La strumentazione utilizzata per le misure dovrà essere conforme alle prescrizioni della normativa vigente.

Come modalità operativa, per quanto riguarda l'altezza da terra del microfono durante la rilevazione del rumore, vengono indicate due opzioni:

- altezza del microfono pari a 1.5 m;
- altezza del microfono pari a 4.0 m.

Nel primo caso le misure saranno più agevoli; tale scelta è accettabile in considerazione del carattere indicativo e non fiscale della campagna di misura per la caratterizzazione acustica del territorio. Nel secondo caso le misure presentano una maggiore difficoltà esecutiva, ma hanno il vantaggio di essere conformi, come altezza di misura, a quanto indicato nel D.M. per la misura del rumore stradale e ferroviario. Pur considerando accettabili le due alternative, si ritiene preferibile, quando possibile, optare per l'altezza del microfono da terra pari a 4 metri. Condizione necessaria è che, scelta l'altezza a cui effettuare le misure, questa sia mantenuta coerente per tutte le rilevazioni riferite alle diverse sorgenti, durante l'intera campagna.

3.1 Schema del campionamento

3.1.a Strade

Come già ricordato, lo scopo del lavoro di caratterizzazione acustica è quello di portare ad una prima conoscenza dei livelli di rumore presenti sul territorio che possano dare indicazioni sulla localizzazione di zone acusticamente critiche, sulle quali prevedere la successiva realizzazione di valutazioni eseguite in conformità alla normativa vigente. Per caratterizzare il campo sonoro urbano determinato dal traffico veicolare, è opportuno diminuirne la complessità spaziale attraverso una stratificazione delle strade effettuata principalmente in funzione della gerarchia dei volumi di traffico. Per ottenere il massimo di informazione possibile sui flussi di traffico sarà necessario acquisire tutta la documentazione specifica ed avviare una stretta collaborazione fra ARPA ed uffici comunali e provinciali competenti in materia. In primo luogo si dovrà quindi identificare la rete viaria principale caratterizzata da flussi di traffico medio-alti, tipicamente volumi di traffico maggiori o uguali a 200 veicoli equivalenti per ora (veq/h), dove il numero di veicoli equivalenti si ottiene considerando che 1 veicolo

pesante equivale a 8 veicoli leggeri [8]. Indicativamente i flussi possono essere suddivisi in due categorie: fra 200 e 500 veq/h e maggiori di 500 veq/h. Le strade identificate, se necessario, vengono a loro volta suddivise in archi caratterizzati da flussi di traffico omogenei.

I volumi di traffico da considerare come rappresentativi della strada in esame sono quelli presenti fra le ore 9 e le ore 12 dei giorni feriali. Non andranno inoltre considerate, per le strade che ne possono risentire, le giornate caratterizzate da eventi particolari (mercati, fiere,...).

Su ogni arco stradale così individuato si effettua una misurazione di 10 minuti. Contestualmente alla misura di rumore dovranno essere effettuati rilievi del traffico transitante suddividendo i veicoli fra leggeri e pesanti (assumendo la definizione del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) [8], si può considerare come pesante un veicolo di peso maggiore a 4.8 t). Tali rilievi risulteranno utili anche per la conferma dell'appartenenza della strada alla classe attribuita.

Il disegno della viabilità principale suddivide il territorio considerato in "sub-zone" delimitate dalla viabilità principale e caratterizzate da un certo numero di vie con traffico locale. Le strade appartenenti ad ogni "sub-zona" possono, a loro volta, essere suddivise per flusso di traffico, tipologia, collocazione, pendenza, manto stradale, struttura degli edifici all'intorno, ecc..

Alcune indicazioni per il raggruppamento delle strade sono di seguito riportate.

Per quanto riguarda il manto stradale dovranno essere separatamente considerate le seguenti tipologie:

- asfalto poroso/non poroso;
- porfido, pavé o acciottolato.

Per quanto riguarda i flussi di traffico, si possono raggruppare le strade della viabilità secondaria facendo riferimento alla Tabella 1.

Tabella 1. Raggruppamento delle strade della viabilità secondaria	
Gruppo	Numero veicoli equivalenti/ora (*)
1	< 30
2	30 ÷ 80
3	80 ÷ 200

(*) 1 veicolo pesante equivale a 8 veicoli leggeri [8]

Gli intervalli di flusso di traffico sopra riportati sono il risultato di una rielaborazione dei dati relativi ad un'indagine svolta a Rimini [6] con microfono posto a 1.5 metri d'altezza. Nello studio citato, in una strada con situazione media rispetto alle altre variabili, gli intervalli di traffico indicati corrispondevano rispettivamente a valori di $L_{Aeq} < 55$ dBA, fra 55 e 60 dBA e fra 60 e 65 dBA.

Ricordando che l'aggregazione di strade simili riguarda strade secondarie, altre variabili assumono importanza minore sulla valutazione del L_{Aeq} , pur potendo essere considerate come eventuali criteri di diversa aggregazione. In particolare:

- velocità di percorrenza: su strade locali la velocità dovrebbe mantenersi normalmente al di sotto dei 50 km/h. Possono eventualmente essere considerate a parte strade su cui la velocità media di percorrenza risultasse fra 50 e 70 km/h;

- occorrerà, inoltre, porre particolare attenzione alla possibilità di discriminare le strade interessate da eventuali limitatori fisici di velocità;
- distanza del microfono dalla linea di flusso del traffico equivalente (vedi definizione di cui alla successiva equazione (1)): possono essere considerate simili le strade per cui il rapporto fra le distanze (d) rimane minore di 1.5;
 - pendenza: possono essere considerate simili le strade fino a pendenze di circa il 7% in quanto l'errore sul L_{Aeq} si mantiene intorno a 1 dB [8];
 - possono essere considerate simili le strade ad U (edifici su entrambi i lati) e L (edifici su un solo lato) purché, nel caso di strade a L, la misura sia fatta sul lato di presenza degli edifici;
 - in particolare, per strade caratterizzate da basso flusso veicolare (gruppo 1) dovrà essere posta attenzione all'eventuale discriminazione delle strade per le quali la rumorosità indotta da altre sorgenti (rumore di fondo) possa risultare comparabile con quella prodotta dal traffico circolante sulla medesima strada.

Per ottenere una descrizione dei livelli di rumore presenti in queste "sub-zone", che costituiscono la maggior parte del territorio, si individua, per ogni sub-zona e per ogni gruppo di strade omogenee, almeno una "strada-campione" sulla quale effettuare le misurazioni. La scelta della strada-campione all'interno di ogni gruppo dovrà essere cautelativa, si considererà pertanto quella caratterizzata dal flusso di traffico maggiore. Come già indicato per le strade primarie, anche in questo caso la misura di rumore dovrà essere accompagnata dalla contestuale rilevazione del traffico transitante, con suddivisione dei veicoli in leggeri e pesanti.

Ai fini della mappatura, i livelli di rumore rilevati nelle strade-campione verranno considerati validi per tutte le strade appartenenti allo stesso gruppo.

Il tempo di riferimento nel quale effettuare le misurazioni è quello diurno. All'interno di tale periodo di riferimento la fascia oraria in cui eseguire le misure è quella compresa fra le ore 9 e le ore 12 [9]. Per determinare il tempo totale di rilevazione (T_m) su un singolo punto, si fa riferimento alla seguente relazione che consente di predeterminare l'incertezza (ΔL_{Aeq}) sul valore di L_{Aeq} misurato [10]:

$$T_m = \frac{3600 \left[\mathbf{y}^2 + \mathbf{a} + \frac{\mathbf{a}\Delta v^2}{v^2} \right]}{N \left[(\Delta L_{Aeq})^2 - \frac{\mathbf{a}\Delta d^2}{d^2} \right]} \quad (1)$$

dove:

$$\alpha = 100/[\ln(10)]^2 = 18.86$$

N = n. veicoli/ora

v = velocità media dei veicoli (m/s);

Δv = incertezza sulla determinazione di v . Si può assumere, indicativamente, $\Delta v = 3$ m/s [11].

d = distanza fra il punto di osservazione e la linea di flusso di traffico (m). Per strade a due corsie $d = \sqrt{d_1 d_2}$ [12] con d_1 e d_2 distanza fra il punto di osservazione e la prima e la seconda linea di flusso di traffico (m).

Δd = incertezza sulla determinazione di d (m). Si può assumere, indicativamente, $\Delta d = 0.5$ m [11].

$$\Psi = \frac{\sqrt{p_l} * 10^{L_{wl}/10} \mathbf{s}_l + \sqrt{p_p} * 10^{L_{wp}/10} \mathbf{s}_p}{10^{L_w/10}}$$

dove p_l e p_p sono le percentuali di veicoli leggeri e pesanti, L_{wl} , L_{wp} e \mathbf{s}_l , \mathbf{s}_p rispettivamente i livelli di potenza sonora per le stesse classi e le deviazioni standard della media delle distribuzioni e L_w è il livello medio di potenza sonora.

Tale relazione permette di ricavare il tempo di misura, dato un certo flusso di veicoli/ora, affinché l'imprecisione sul L_{Aeq} resti all'interno di un prefissato valore.

Assumendo che [13]:

$$L_{wl} = 71.9 + 23.8 \log(v)$$

$$L_{wp} = 84.5 + 18.9 \log(v)$$

$$\mathbf{s}_l, \mathbf{s}_p = 4 \text{ dB},$$

e considerando una situazione media in cui:

$$d = 4 \text{ m} \quad \text{con} \quad \Delta d = 0.5 \text{ m}$$

$$v = 13.9 \text{ m/s (50 km/h)} \quad \text{con} \quad \Delta v = 3 \text{ m/s}$$

la (1) fornisce i valori di T_m per un'imprecisione sul L_{Aeq} pari a 2 dB, per diverse percentuali di veicoli pesanti. In funzione di quanto sopra si sono stimati i tempi medi di misura, in multipli di 10 minuti, in relazione a diversi intervalli di flusso veicolare e a diverse percentuali di veicoli pesanti; i risultati sono riassunti in Tabella 2.

Tabella 2. Tempi medi di misura in relazione a flussi veicolari e percentuali di veicoli pesanti

Flusso veicolare (n. veicoli transitanti/ora)	Tempo di misura (minuti) 0% veicoli pesanti	Tempo di misura (minuti) 2% veicoli pesanti	Tempo di misura (minuti) 5%-10% veicoli pesanti
< 30	20	30	40
30 ÷ 80	10	20	20
80 ÷ 200	10	10	10

Nella pagina seguente viene riportata la scheda di raccolta dati per le misure relative al traffico stradale.

Si sottolinea, infine, l'opportunità di sottoporre a verifiche di affidabilità la metodologia di campionamento stratificato applicata alle aree urbane: in particolare è possibile effettuare misure in un ulteriore campione di punti opportunamente scelti così da valutare l'omogeneità acustica dei gruppi di strade preventivamente identificati e l'errore percentuale commesso [6].

SCHEMA RACCOLTA DATI - STRADE

Nome strada:Tipologia:.....

Punto di misura (n° civico):.....(identificare punto in pianta) Coord. UTM:.....

Larghezza strada (m):N°carreggiate/corsie:.....

Dist. microfono: da centro strada (m)...../da sup. riflettente (m).....

Pavimentazione tipo:

Pendenza strada (se Si indicare la pendenza media): NoSi (%)

Sezione strada (barrare classe di appartenenza):

(U)

(L)

(___)

N° medio di piani degli edifici (solo per sez. ad U ed L):

data						
ora d'inizio						
durata (min)						
N. veic. legg.						
N. veic. pes.						
Vel. media (km/h)						
Leq						
Max L						
L 1						
L 10						
L 50						
L 90						
L 99						
Min L						

Nome operatore:.....

3.1.b Linee ferroviarie

Per caratterizzare il campo sonoro determinato dal traffico ferroviario al di fuori delle stazioni (queste ultime sono meglio configurabili come sorgenti fisse significative), è opportuno suddividere la linea in tratti omogenei per velocità di percorrenza e caratteristiche orografiche della linea stessa. Su ogni tratto ferroviario così individuato si procede alla misurazione del SEL per ogni tipologia di treno transitante (merci, regionale, interregionale, espresso, intercity, eurostar) e si calcola il L_{Aeq} diurno, in dBA, tenuto conto del numero di passaggi per le diverse tipologie di treno, secondo la:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^P n_i 10^{0.1 SEL_i} \right) - k \quad (2)$$

dove:

P = numero di tipologie di treni individuate

n_i = numero di treni della i -esima tipologia transitanti in periodo diurno

SEL_i = valore del SEL medio per la i -esima tipologia di treno

k = 47.6 dBA

3.1.c Sorgenti fisse

Come ultima fase della mappatura acustica, nel caso vengano individuate, in un'area, sorgenti significative diverse dalle strade o dalla linea ferroviaria, si procederà ad una valutazione della rumorosità nell'intorno della sorgente al fine di caratterizzare il campo sonoro prodotto.

Preso atto della diversità di tipologia di queste sorgenti, all'interno delle quali possono ricadere porti, industrie, stazioni ferroviarie, ecc., il tempo di misura dovrà essere tale da caratterizzare in modo compiuto la rumorosità prodotta dalla sorgente nel periodo diurno.

Indicazioni metodologiche possono essere individuate anche nelle normative tecniche di riferimento (ad esempio, la norma UNI 10855/99 "Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti" o la norma UNI 9884/97 "Caratterizzazione acustica del territorio mediante la descrizione del rumore ambientale").

3.2 Passaggio dalla descrizione puntuale alla descrizione areale

Partendo dalla prima fase della mappatura (strade), il valore misurato indurrà sull'area contenente la prima fila di edifici prospicienti la strada stessa la classe di rumore corrispondente. La mappatura sarà inoltre "gerarchizzata", partendo dalle strade con rumorosità più contenuta fino a quelle più rumorose.

Per le classi di rumorosità e per i corrispondenti colori da adottare nella cartografia si farà riferimento alla Tabella 3, riportata nel seguito.

A questo primo tematismo si sovrapporrà quello relativo alle ferrovie ed infine quello delle sorgenti puntuali. In tutte le aree di intersezione, la classe sarà definita calcolando la somma energetica dei diversi contributi in termini di L_{Aeq} riferito al periodo diurno. Per le aree in zone periferiche aperte o in spazi ove il tessuto urbano abitativo è rado, in prossimità di strade o ferrovie, la classe di rumorosità attribuita si estende per una fascia di 30 metri per lato per le strade e di 50 metri per lato per le linee ferroviarie.

Evidentemente l'eventuale superamento del limite di immissione, in porzioni del territorio limitrofe alle infrastrutture ferroviarie, andrà verificato anche in relazione ai limiti associati alle fasce A e B così come definite dallo specifico Decreto n. 459 del 18.11.1998.

L'applicazione del metodo proposto per la definizione acustica delle aree non è in grado di coprire uniformemente tutta l'area urbana. Di conseguenza rimarranno non classificate e quindi non colorate alcune zone interne rispetto alla collocazione delle sorgenti individuate. È possibile, in generale, attribuire un minore problema acustico a tali zone che, proprio per la loro collocazione, risulteranno in parte schermate dagli edifici sul fronte stradale o comunque distanti dalle sorgenti significative. È in ogni caso opportuno procedere alla descrizione di queste zone attraverso alcune ulteriori misure puntuali, stime e semplificazioni o attraverso l'applicazione di un idoneo modello di calcolo.

3.3 Misure in continuo

Nei punti scelti per le rilevazioni in continuo, in quanto potenzialmente critici o particolarmente rappresentativi, verrà posizionata strumentazione adeguata all'uso anche in assenza di operatori, collocata all'interno di *box* o laboratori mobili; in ogni caso, tale strumentazione dovrà poter registrare anche la *time history* su tutto il periodo di rilevazione con risoluzione temporale fino ad un secondo, e permettere quindi:

- una descrizione accurata di tutto il periodo di misura;
- il calcolo dei parametri, citati nel capitolo 2, per il periodo notturno;
- l'esecuzione di ulteriori elaborazioni che si rendessero necessarie (eliminazione a posteriori di eventi anomali, individuazione di particolari transiti, ecc...).

La durata delle rilevazioni di questo tipo, che, come si è sottolineato non dovrà essere mai inferiore alle 24 ore, per consentire di descrivere l'andamento del rumore su un ciclo comunque già significativo, potrà essere prolungata per più giorni, fino ad una settimana, qualora si ritenga importante, per la caratterizzazione dell'area in esame, indagare la variabilità infrasettimanale ed in particolare fra i giorni feriali (lunedì - venerdì) ed il fine settimana.

Nel caso in cui la sorgente specifica in esame sia il traffico veicolare, è opportuno che alle misure fonometriche siano abbinati rilievi dei flussi di traffico.

4 Gestione, rappresentazione, aggiornamento e diffusione dei dati

4.1 Gestione dei dati

Gli obblighi posti in capo alle amministrazioni pubbliche ai vari livelli (in particolare ai Comuni) ed agli organi di controllo rende ormai indispensabile l'utilizzo di sistemi informatici per la raccolta e sistematizzazione dei dati relativi alle fonti di rumore presenti sul territorio. Per catasto del rumore si intende uno strumento che consente

l'archiviazione, la gestione e l'interrogazione di dati riguardanti le fonti di rumore ed i livelli di rumorosità, rilevati nel corso di campagne di monitoraggio o simulati mediante l'utilizzo di modelli [14].

I vantaggi dell'utilizzo di strumenti informatici sono:

- capacità di gestione di grandi quantità di dati;
- rapidità nell'interrogazione ed estrazione delle informazioni;
- possibilità di aggiornamento progressivo della banca dati;
- possibilità di "interfacciamento" diretto con strumenti GIS.

Il progetto di realizzazione del SIRA (Sistema Informativo Regionale Ambientale) della Regione Emilia-Romagna, attualmente in fase di sviluppo, prevede peraltro la progressiva implementazione delle banche dati inerenti le diverse matrici ambientali. Anche gli archivi inerenti le informazioni sulle fonti di rumore ed i monitoraggi ambientali dovranno essere integrati nel sistema in via di sviluppo, che prevede l'utilizzo di *data base* Oracle per la condivisione delle informazioni a livello regionale.

Poiché nell'ambito della redazione del Piano di risanamento acustico del Comune di Bologna [15] è stato predisposto da ARPA un prodotto in ACCESS® per la memorizzazione dei dati derivanti da monitoraggi ambientali, si ritiene che il modello dati di questo archivio possa essere utilizzato come primo riferimento per la costituzione della banca dati di livello regionale, all'interno della quale dovranno essere raccolti, in maniera uniforme, i dati derivanti dalle attività di monitoraggio svolte da ARPA.

Nonostante lo *screening* per la mappatura acustica proposto preveda l'acquisizione di solo alcuni dei dati di seguito indicati, il *data base* presenta la possibilità di inserire tutti i dati necessari a descrivere in modo sufficientemente preciso la localizzazione del punto di misura, il contesto urbanistico, le sorgenti sonore incidenti, le condizioni di misura, i risultati dei rilievi.

Si suggerisce pertanto che, durante lo svolgimento delle indagini, vengano raccolte tutte le informazioni necessarie ad una descrizione quanto più dettagliata dei parametri sopracitati per consentire l'utilizzo dei dati rilevati per successive elaborazioni statistiche, anche diverse da quelle finalizzate alla applicazione del metodo di mappatura proposto; le informazioni ritenute, almeno in una prima fase, indispensabili per lo *screening* sono evidenziate in grassetto.

L'archivio dei dati è strutturato in *form* distinte: una prima scheda di tipo "*anagrafico*" contiene informazioni finalizzate ad identificare l'esatta ubicazione del punto di misura e le caratteristiche della zona indagata: **indirizzo e numero civico, coordinate UTM, quartiere, classe acustica della zona**, caratteristiche urbanistiche (intese come distribuzione e caratteristiche degli edifici in corrispondenza del punto di misura).

Una successiva scheda "*rilievi acustici*", oltre ad indicare il soggetto che ha svolto le misure, contiene informazioni sulle condizioni di rilievo e i dati relativi alle singole misure, in particolare:

- dati generali (codice identificativo, **data, ora di inizio e di fine**, tempo di riferimento);
- la strumentazione utilizzata e le condizioni di rilievo (**tipo di fonometro**, analizzatore statistico, presenza di registrazione magnetica, analisi spettrale, tipo di ponderazione e costante di tempo, **altezza del microfono dal piano stradale, distanza del microfono da eventuali superfici riflettenti**, condizioni meteorologiche);
- le **sorgenti sonore influenti** (traffico stradale, traffico ferroviario, attività industriali, aeroporto, altre sorgenti);

- i livelli sonori misurati; in particolare dovrebbero essere riportati : L_{Aeq} , L_{max} , L_{min} e livelli statistici (L_1 , L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99}) ed eventualmente, **se disponibili**, i valori rilevati o calcolati di **L_{Aeq} diurno**, **L_{Aeq} notturno**, **L_{den}** e **L_{night}** .

Ad ogni postazione possono essere ovviamente associate più schede rilievi.

Collegate alla scheda rilievi vi sono schede secondarie in cui inserire informazioni sulle sorgenti di rumore influenti sulla misura.

Nella *scheda traffico stradale* possono essere individuati, per una stessa postazione di misura, più tronchi viari a loro volta singolarmente descritti attraverso vari parametri specifici: **il nome e la tipologia di strada, il numero di carreggiate e corsie, la pendenza (se > 7%), la tipologia della pavimentazione stradale, i flussi di traffico suddivisi in leggeri e pesanti, la distanza del fonometro dall'asse e dal ciglio della strada.**

La scheda dedicata al *traffico ferroviario* è suddivisa in due parti: la prima dedicata all'inserimento di informazioni sulle caratteristiche del tronco ferroviario (**numero binari**, presenza di scambi, larghezza della sezione ferroviaria, pendenza, **distanza del punto di misura dal binario**, **numero di treni stimato nel periodo diurno / notturno**, tipo di tracciato), la seconda per la memorizzazione di dati specifici sul transito di singoli convogli e la loro rumorosità (**tipo convoglio**, numero carrozze, velocità, **SEL**, L_{Aeq} , durata dell'evento).

Un'ulteriore scheda è predisposta per l'inserimento di informazioni inerenti *altre sorgenti sonore* incidenti sulla misura (descrizione della sorgente, tipologia -continua/discontinua-, distanza della strumentazione dalla sorgente).

Il *data base* è dotato di un'interfaccia utente semplice e di funzionalità di interrogazione elementari. Lo strumento di interrogazione dovrebbe comunque consentire di formulare anche richieste più articolate, tali da aggregare le informazioni contenute nel catasto in modo personalizzabile e non vincolato a schemi precostituiti [14].

In prospettiva l'archivio dovrà essere interfacciato con strumenti GIS: in tal modo le possibilità di interrogazione potranno essere estese anche su base territoriale, consentendo di allargare significativamente le possibilità di ricerca e le potenzialità di utilizzo delle informazioni presenti in banca dati. Ad esempio si potrebbe chiedere al sistema di visualizzare tutti i punti nei quali si è riscontrato un superamento dei limiti normativi e di colorare i punti di rilievo in modo diverso in funzione dell'entità del superamento riscontrato.

La possibilità di collegare il *data base* con strumenti GIS risulta inoltre di fondamentale importanza ai fini della costruzione degli strumenti conoscitivi necessari alla definizione dei piani di risanamento ed alla pianificazione acustica del territorio.

Dall'elaborazione dei dati georeferenziati presenti nel *data base* è possibile costruire le mappe del rumore che, incrociate con le carte della zonizzazione acustica, consentono di individuare le aree caratterizzate da maggiore criticità. La disponibilità di dati informatizzati sulla popolazione residente nelle varie zone del territorio consente poi di effettuare delle stime di esposizione della popolazione ai vari livelli di rumore.

Il catasto dei rilievi acustici collegato al GIS si trasforma quindi in un vero e proprio strumento di conoscenza ed interpretazione del fenomeno e più in generale in un sistema di supporto alle decisioni in tema di pianificazione territoriale. Attraverso tale supporto infatti è possibile sovrapporre i diversi strati informativi (sorgenti e ricettori presenti sul territorio, localizzazione delle postazioni di misura, mappe di zonizzazione acustica, mappe del rumore) prefigurando l'interazione con altri strumenti di pianificazione e controllo del territorio (PRG, PUT,...).

4.2 Rappresentazione dei dati

In relazione alle considerazioni riportate nel paragrafo precedente, si suggerisce l'utilizzo di prodotti GIS per la restituzione cartografica delle mappe del rumore. Per facilitare il confronto delle diverse situazioni, anche prescindendo dall'utilizzo del GIS, si propone la standardizzazione dei colori, da adottare nella cartografia tematica, secondo lo schema riportato in Tabella 3.

Tabella 3. Standardizzazione dei colori da adottare per la realizzazione delle mappe acustiche

Classe di Rumorosità	L_{Aeq} (dBA)	Colore
A	< 50	Verde
B	50 ÷ 55	Giallo
C	55 ÷ 60	Arancio
D	60 ÷ 65	Rosso
E	65 ÷ 70	Blu
F	> 70	Violetto

4.3 Diffusione dei dati

Nell'ambito del progetto di realizzazione del SIRA sono già previste modalità di visibilità delle banche dati attraverso un interfaccia *web* che permetterà di consultare ed interrogare gli archivi attraverso Internet/Intranet a qualsiasi utente abilitato; il sistema consentirà altresì di esportare i dati per consentirne l'elaborazione in locale. Anche per il settore dell'acustica si dovrà quindi definire:

- chi potrà accedere alle banche dati;
- quali informazioni dovranno essere rese disponibili;
- la forma di restituzione.

Oltre all'area ristretta, nella quale si accederà tramite identificazione, si prevede la realizzazione di un'area pubblica, aperta a tutti, nella quale saranno presenti i dati da "pubblicizzare", che potranno essere sotto forma di elaborazioni statistiche e cartografie tematiche.

Il sistema si propone di rispondere all'esigenza di disporre dei dati necessari ai diversi soggetti istituzionali per diffondere periodicamente le informazioni relative allo stato dell'ambiente (ad esempio: relazione biennale sullo stato acustico del territorio comunale, relazioni sullo stato dell'ambiente regionali e provinciali, siti Internet) e di conseguenza soddisfare i bisogni della cittadinanza che, a seguito dell'aumentata sensibilità ai problemi ambientali, richiede con sempre maggiore insistenza informazioni sul problema dell'inquinamento acustico.

In relazione a ciò, in prospettiva, si dovrebbe dedicare una sezione del catasto per la registrazione delle misurazioni condotte ai fini della vigilanza e del controllo sul territorio, che, benché non strettamente finalizzato alla realizzazione della mappatura

acustica, fornisce indicazioni sull'effettivo disturbo arrecato alla popolazione ed ulteriori elementi utili alla individuazione delle aree critiche ed alla predisposizione dei piani di risanamento.

4.4 Aggiornamento dei dati

In base alle caratteristiche intrinseche della componente rumore (che non subisce variazioni rilevanti nel tempo se non intervengono modifiche significative delle sorgenti), ed in considerazione dei costi e dell'impegno necessario a realizzare l'indagine di campo e le successive elaborazioni, si ritiene che l'aggiornamento complessivo del monitoraggio acustico possa avvenire ad intervalli di tempo piuttosto lunghi (ad esempio, ogni 5 – 10 anni), anche con riferimento alle tempistiche previste per gli strumenti della pianificazione urbanistica. Si ritiene altresì che verifiche ed aggiornamenti parziali debbano essere effettuati ogni due anni in riferimento alla predisposizione della relazione biennale sullo stato acustico da parte del Comune. In particolare, nei casi in cui si verificano modifiche sostanziali della situazione urbanistica o l'organizzazione della viabilità provochi modifiche rilevanti nelle condizioni di traffico, la mappatura dovrà essere rivista, eventualmente limitando l'indagine e l'aggiornamento delle mappe alle porzioni di territorio in cui tali modifiche abbiano prodotto effetti rilevabili dal punto di vista acustico.

5 Conclusioni

Pur nella difficoltà di conciliare le procedure definite dalla normativa vigente con la necessità di ottenere risultati corretti e fruibili attraverso un ragionevole dispendio di risorse e di tempi, la volontà di predisporre un testo indicante linee operative per la caratterizzazione acustica del territorio è parsa non solo di un certo interesse, ma sicuramente quasi indispensabile.

Non è infatti immaginabile poter soddisfare la sempre più frequente e diffusa domanda di conoscenza dello stato di inquinamento acustico delle aree urbane predisponendo campagne di monitoraggio con metodi di campionamento rigorosamente rispondenti alle norme fissate dalla normativa in vigore. Un necessario compromesso appare dunque l'unica strada percorribile purché, ed il documento insiste in modo deciso su questo punto, vengano chiaramente stabiliti a priori gli obiettivi che ci si pone quando si opera uno studio sull'entità e sulla diffusione del rumore in ambiente esterno. Dal punto di vista tecnico-metodologico il criterio proposto, quale miglior compromesso tra correttezza e ripetibilità dei dati e necessità di procedure snelle e gestibili, è quello di campionamenti sorgente-orientati, i cui risultati possono soddisfare alcune esigenze, tra le quali, ad esempio, quella di discriminare le diverse sorgenti di rumore ed i loro contributi e l'identificazione delle aree potenzialmente più critiche.

Dall'applicazione di tale procedura si può redigere un rapporto, ovviamente insufficiente a fornire tutte le possibili risposte (entità e diffusione del rumore su tutto il territorio, impatto sulla popolazione, rigoroso confronto con i limiti fissati, ecc.), ma indubbiamente utile al fine di ottenere una serie di precise informazioni, che possono

almeno in buona parte soddisfare quelle che sono le esigenze attualmente più spesso manifestate dalle Amministrazioni locali e sicuramente assai avvertite anche dall'opinione pubblica.

Le presenti Linee Guida, che nascono dall'esperienza di mappatura acustica realizzata nella città di Rimini nel 1996-'98, sono attualmente in fase di avanzata applicazione a Russi (RA) e Riccione (RN), mentre altre campagne di misura verranno presumibilmente avviate in tempi brevi. Queste esperienze permetteranno un'ulteriore validazione del metodo proposto anche al fine di apportare le eventuali correzioni che si rendessero necessarie.

Bibliografia

1. Commissione delle Comunità Europee, *Proposta di direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale*, COM(2000) 468, 2000/0194(COD), Bruxelles 26.07.2000
2. Brambilla G., *Tecniche per la caratterizzazione acustica territoriale*, in *Il controllo dell'ambiente*, Pitagora editrice, Bologna, 1994, pp. 437-446
3. Franchini A., Magnoni M., Bertoni D., *Gli studi sperimentali sul rumore urbano: obiettivi e metodologie*, in *Il controllo dell'ambiente*, Pitagora editrice, Bologna, 1994, pp.451-463
4. Poggi A., Fagotti C., Casini D., Manciocchi T., Gabrieli T., *Linee Guida per la progettazione di reti di monitoraggio e per il disegno di stazioni di rilevamento relativamente all'inquinamento acustico*, RTI CTN_AGF 3/2001, ANPA - CTN_AGF, 2001
5. Poggi A., Fagotti C., Casini D., Brambilla G., Gabrieli T., *Linee Guida per la rilevazione di dati utili per la stesura della relazione biennale sullo stato acustico del comune*, RTI CTN_AGF 2/2001, ANPA - CTN_AGF, 2001
6. De Donato S.R., Vecchione R., Busca F., *Caratterizzazione acustica del territorio di Rimini. Un metodo basato su misure sorgente-orientate e campionamento statistico*, *Rivista Italiana di Acustica*, 1999, vol. 23, n. 1-2, pp. 41-47
7. Berglund B., Lindvall T., Schwela D.H., (eds.), *Guidelines for Community Noise*, World Health Organization, Geneva, 1999
8. Cannelli G.B., Glück K., Santoboni S., *A mathematical model for evaluation and prediction of the level of traffic noise in Italian towns*, *Acustica* 53, 31, 1983, pp. 31-36
9. Bertoni D., Franchini A., Magnoni M., *Il rumore urbano e l'organizzazione del territorio*, Pitagora, Bologna, 1988
10. De Donato S.R., Morri B., *Determinazione del tempo minimo di integrazione per la misura del Leq con un dato livello di confidenza nell'ipotesi di distribuzione poissoniana del flusso veicolare*, in *Atti del 25° Congresso Nazionale AIA*, Perugia, 1997, vol. 1, pagg. 585-592
11. De Donato S.R., Morri B., *A statistical model for predicting the road traffic noise based on Poisson type traffic flow*, *Noise Control Engineering Journal*, 49 (3), 2001 May-June, 137-143
12. Shuoxian Wu, *A simple method for predicting kerbside L10 level from a free multi-type vehicular flow*, *Applied Acoustics*, 20, 1987, pp. 15 - 22

13. Jones R.R.K., Hothersall D.C., Effect of operating parameters on noise emission from individual road vehicles, *Applied Acoustics*, 13, 1980, pp. 121-136
14. Beria d'Argentina M., Curcuruto S., Simonetti P., Piani comunali e inquinamento acustico Procedure e profili urbanistici e ambientali, *Il Sole 24 Ore*, Pirola S.p.A., 1997
15. Comune di Bologna – Ambiente, *Piano comunale di disinquinamento acustico*, Bologna, 2000