

# INSERIMENTO AMBIENTALE DI BARRIERE ANTIRUMORE PER TRAFFICO VEICOLARE

Carlo Baistrocchi\*, Elena Baistrocchi\*\*, Nicola Bloise\*\*\*, Luciano Rocco\*\*\*\*

\* Università degli Studi di Firenze, Dipartimento Processi e Metodi della Produzione Edilizia

\*\* Università degli Studi di Firenze, Dipartimento Biologia animale e genetica

\*\*\* ANAS, Compartimento della viabilità della Toscana

\*\*\*\* Università degli Studi di Firenze, Centro Audiologia

## Premessa

Il ricorso a barriere antirumore per la protezione di nuclei abitati dal rumore del traffico stradale o ferroviario pone, al di là del problema acustico che si intende risolvere, l'esigenza di armonizzare il manufatto con il contesto. Tale esigenza, se trascurata, fa sì che in alcuni casi la soluzione di un problema, il rumore, ne generi altri, quali gli impatti ambientale, estetico e psicologico.

Nella presente memoria vengono discussi gli aspetti della progettazione di barriere antirumore, spesso trascurati da progettisti e committenti, legati all'inserimento ambientale ed architettonico; vengono considerati anche l'effetto psicologico sulla popolazione residente e sugli utenti dell'infrastruttura stradale. Altri aspetti connessi alla progettazione di barriere antirumore, oltre al fondamentale studio acustico, comprendono [1]:

- la scelta dei materiali, in funzione delle prestazioni e dell'estetica;
- il dimensionamento ed il calcolo strutturale, da effettuarsi, secondo le recenti indicazioni normative internazionali, considerando sia i carichi statici (peso proprio della struttura, peso proprio degli elementi, neve) che i carichi dinamici (vento, pressione conseguente al passaggio dei veicoli, carico della neve nel caso di operazioni sgombraneve, urto di veicoli);
- la durabilità, sia dei materiali strutturali che dei rivestimenti protettivi, tenuto conto che l'ambiente stradale è altamente aggressivo;
- la sicurezza, connessa sia alle qualità intrinseche dei materiali utilizzati, che alle operazioni di cantiere previste per la realizzazione dell'opera, che, infine, all'esercizio dell'opera stessa;
- la manutenzione, intesa come accessibilità all'opera, modularità dei componenti, definizione e programmazione delle attività di manutenzione;
- la definizione dei costi.

Ciascuno degli aspetti sopra elencati deve essere considerato in una progettazione di qualità finalizzata ad una realizzazione a regola d'arte. Essi verranno richiamati in questa sede solo per quanto interessa gli aspetti in esame.

## Inserimento ambientale ed architettonico

Uno studio di inserimento ambientale delle barriere antirumore, che consideri sia gli effetti sull'ambiente che gli effetti sulle persone (i soggetti da proteggere e gli utenti dell'infrastruttura), è previsto, in alcuni casi, da leggi e da norme vigenti.

Le barriere antirumore, quali misura di mitigazione degli effetti negativi operati dalle infrastrutture di trasporto (strade e ferrovie) sull'ambiente, rientrano nella Valutazione di impatto ambientale (VIA) cui tali infrastrutture sono soggette. La valutazione deve avvenire tenendo conto degli effetti diretti e indiretti delle opere previste sull'uomo e sulle singole componenti ambientali [2].

Il recente Decreto del Ministero dell'Ambiente 29 novembre 2000 [3] stabilisce i criteri tecnici per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori di servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, ivi comprese le autostrade, dei piani degli interventi di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto nell'esercizio delle infrastrutture stesse. Il decreto prescrive che i progetti esecutivi degli interventi di risanamento, fra i quali il più comune è costituito

dall'installazione di barriere antirumore, comprendano *la valutazione dell'inserimento ambientale dell'intervento e la motivazione tecnica ed ambientale delle scelte effettuate*.

La norma tecnica europea EN 1794, sugli aspetti non-acustici delle barriere antirumore, riguarda nella prima parte [4] «Prestazioni meccaniche e stabilità» e nella seconda parte [5] «Sicurezza e considerazioni legate all'ambiente».

Requisiti inerenti l'inserimento ambientale delle barriere antirumore sono inoltre generalmente contenuti - insieme alle specifiche acustiche, strutturali e di scelta dei materiali - nelle Norme tecniche dei vari gestori (ANAS, Autostrada del Brennero S.p.A., ecc.) [6] [7].

Già il termine «barriera» (*sbarramento per segnare un confine o chiudere un passaggio*, Il dizionario della lingua italiana, Devoto-Oli) implica alcuni degli effetti favorevoli e sfavorevoli che il manufatto può determinare: arresto della trasmissione del rumore, limitazione della visibilità, impedimento od ostacolo all'attraversamento.

#### *Limitazione della visibilità*

Entrambe le viste, dalla comunità e dalla strada, devono essere considerate.

All'abbattimento del rumore realizzato da una barriera è sempre associata una perdita di visibilità. L'efficacia della barriera è limitata infatti ai soli ricettori che rientrano nella zona d'ombra ovvero ai soli spazi, edifici, o porzioni di edifici, ai quali la barriera preclude la vista dei veicoli in transito.

In alcuni casi, la schermatura visiva della sorgente di rumore può già da sola, a prescindere dall'effettiva attenuazione del rumore che realizza, costituire una efficace mitigazione dell'impatto ambientale della strada. Ciò è vero ad esempio per le barriere vegetali: esse sono di grande effetto su coloro che subiscono l'inquinamento acustico; già una fila o due di alberi dà la sensazione che il rumore sia meno intenso. Una volta nascosto alla vista, il traffico si sente anche meno intensamente. Questa misura, pur essendo totalmente inefficace sotto il profilo acustico, rientra fra quelle adottate con buon gradimento della popolazione dal Land di Salisburgo [8].

Al contrario può accadere, soprattutto se barriere artificiali sono state costruite troppo vicine alle abitazioni, che la limitazione della visibilità produca un effetto psicologico negativo sulle persone, a prescindere dall'attenuazione perseguita. Indagini a carattere sociale condotte in Olanda [9], confermate dall'esperienza dell'ANAS, hanno mostrato che spesso coloro che beneficiano dell'effetto della barriera acustica dimenticano i livelli di rumorosità precedenti alla installazione della stessa e manifestano insoddisfazione per la riduzione o perdita totale di visibilità. La predominanza visiva di una barriera in prossimità di abitazioni è ridotta quando la barriera è posta ad una distanza pari almeno da due a quattro volte l'altezza della barriera stessa [10].

Dal punto di vista della strada, lunghe e monotone pannellature poste su entrambi i lati possono provocare negli automobilisti sensazioni di stanchezza visiva, di disagio e di angoscia note come «effetto tunnel».

#### *Ostacolo all'attraversamento*

Le barriere interferiscono con l'accessibilità degli spazi. Anche in questo caso la limitazione può avere effetti positivi o negativi.

Tra gli effetti secondari legati alla realizzazione di barriere antirumore emerge spesso, da risultati di inchieste sui soggetti interessati, la sensazione di maggior sicurezza in rapporto alla strada [13]. Inoltre, le barriere possono costituire un'efficace protezione delle aree adiacenti alla strada dal lancio di rifiuti dai veicoli in transito.

Con accorgimenti opportuni è possibile prevedere varchi delimitati all'interno della barriera senza pregiudicarne l'efficacia acustica: in corrispondenza del varco può essere realizzata una barriera arretrata di lunghezza pari almeno al varco stesso, più due volte la distanza fra barriera principale e barriera arretrata.

In ambito extraurbano l'apertura di nuove vie di percorrenza ha senza dubbio un forte impatto sull'equilibrio di un ecosistema; è facile, fra l'altro, che la costruzione di una strada porti alla

frammentazione di unità naturali preesistenti; le conseguenze sulla fauna terrestre sono ben prevedibili: oltre ai mammiferi, che peraltro in fase di attraversamento costituiscono un pericolo per l'incolumità dell'uomo, le principali vittime dello sviluppo di reti stradali sono gli anfibi (in primo luogo i rospi).

Gli anfibi rappresentano un elemento primario nella catena alimentare, ed hanno anche un grande valore come indicatori ambientali (il loro stato può fornire ottime stime sulle condizioni dell'ambiente). Allo stadio larvale, ad esempio, essi sono sensibili all'inquinamento idrico; in fase adulta, vivendo nell'ambiente subaereo, possono essere vittime di altre condizioni (inquinamento aereo, incendi, deforestazione, distruzione dell'habitat, ...). In fase riproduttiva un grave rischio è rappresentato appunto dall'attraversamento delle strade: nel periodo dell'ovodeposizione infatti gli anfibi attraversano le strade due volte, durante la migrazione verso l'area riproduttiva ed il ritorno. Ogni anno vengono investiti milioni di anfibi; il transito su una strada di campagna di una o due auto ogni 15 minuti può già essere causa della mancata sopravvivenza di un'intera popolazione.

Una delle possibili soluzioni alle stragi è la costruzione di barriere anti-attraversamento. In Italia sono state costruite per la prima volta in Lombardia, vicino al lago d'Idro negli anni '80; si tratta comunque di opere costose e di non facile realizzazione. Le barriere antirumore, nate per altro scopo, possono fungere naturalmente anche da barriere anti-attraversamento per la fauna; in questo caso occorre considerare che la presenza di una barriera richiede comunque la realizzazione di un percorso alternativo per l'animale. In alcuni paesi, in particolare in Germania, sono stati sperimentati passaggi sotterranei che accolgono anfibi, rettili e mammiferi di piccola mole e consentono loro l'attraversamento della strada in sicurezza. La costruzione di sovrappassi su infrastrutture, utilizzati soprattutto da ungulati e da altri mammiferi terrestri, può avere anche l'ulteriore scopo di consentire l'attraversamento umano. Eventuali sovrappassi devono essere progettati in modo da invitare gli animali; è necessario a tal fine un adeguato studio dimensionale e vegetazionale. Anche queste opere comportano dei costi e delle progettazioni alle quali l'Italia forse non è ancora preparata. Una diversa soluzione è data dalla costruzione di siti di ovodeposizione alternativi, in modo che gli anfibi non abbiano più la necessità di attraversare la strada. Un progetto di questo tipo è stato realizzato per la prima volta con successo a Pontassieve [11].

Le barriere antirumore possono invece costituire un ostacolo pericoloso per l'avifauna. «Invisibile serial killer»: così la LIPU (Lega Italiana Protezione Uccelli) ha definito le barriere trasparenti le quali, non essendo ben visibili in determinate condizioni di luce, possono causare la morte degli uccelli che vi sbattono contro. Ad esempio, è stato riscontrato che le barriere installate a Modena nelle aree PEEP di Via S. d'Acquisto e di Via M. Capitani, lunghe rispettivamente 600 m e 350 m, sono state causa del decesso, in meno di cinque mesi dalla posa in opera, di 85 esemplari di uccelli appartenenti a 19 specie diverse. Per evitare questo inconveniente viene talvolta adottato l'espedito di applicare sulle lastre sagome adesive di uccelli rapaci a scopo dissuasivo. Secondo quanto rilevato dalla LIPU, questa soluzione risulterebbe insufficiente a garantire l'incolumità dell'avifauna nel caso di strutture ad elevato sviluppo lineare. Dal punto di vista estetico la soluzione appare evidentemente per quello che è: un rimedio appiccicato a posteriori. Soluzioni più valide, sotto questo profilo, risultano essere l'impiego di lastre colorate o con motivi (strisce, quadrati, ecc.) realizzati in fabbrica mediante serigrafia o spazzolatura. Allo scopo di rendere visibile una barriera trasparente risultano utili anche i filamenti neri di poliammide che possono essere inglobati nelle lastre di metacrilato, con funzioni di dissipazione di energia d'urto e di collegamento dei frammenti in caso di rottura.

### *Barriere in ambito urbano*

La limitazione della visibilità e l'ostacolo all'attraversamento che le barriere antirumore realizzano ne rendono generalmente inadeguato l'inserimento in ambito urbano lungo strade fiancheggiate da case. Inoltre, le interruzioni in corrispondenza delle intersezioni viarie ne ridurrebbero fortemente l'attenuazione. Nel caso poi in cui al rumore del traffico si sommi il rumore dovuto ad altre sorgenti, per esempio ad attività lavorative o di svago, le barriere potrebbero determinare un

peggiore anziché un miglioramento dell'ambiente sonoro a causa delle riflessioni che generano. In ambito urbano le barriere possono essere utilizzate vantaggiosamente a protezione di aree a fruizione pedonale (parchi pubblici, spazi gioco, zone pedonali di particolare pregio, aree destinate allo svolgimento di attività all'aperto); di piste ciclabili; di abitazioni basse ed arretrate rispetto alla sede stradale; oppure a mitigazione dell'inquinamento prodotto da tratti autostradali o da circonvallazioni periferiche, da viadotti e da cavalcavia [12].

Un'efficace barriera antirumore in ambito urbano, sia pure nata per altri scopi, è costituita dal tradizionale muro di recinzione di cui abbiamo a Firenze diffusi esempi lungo strade strette del centro storico e delle zone collinari, a chiusura di giardini e parchi privati.

### *Impatto estetico, inserimento nel paesaggio*

In generale, l'aspetto di una barriera influisce fortemente sulla sua accettazione da parte della comunità e sulla percezione della sua efficacia.

In base a studi di psicoacustica è stato constatato che esiste, come si è accennato, una stretta correlazione tra l'efficacia acustica percepita ed un progetto di inserimento nel paesaggio bene accolto. Anche se tale correlazione è difficile da quantificare, si può ritenere che la compatibilità del trattamento estetico generi una certa percentuale di attenuazione psicologica «eccedente», che, di fatto, migliora la prestazione della barriera. La qualità visiva è dunque senza dubbio un fattore molto importante di cui è necessario tenere conto per ridurre l'invasione delle barriere [7].

Nella progettazione di barriere si possono distinguere due approcci in relazione all'estetica dell'intervento: rendere la barriera omogenea al contesto, e dunque meno intrusiva possibile, riprendendone materiali e colori, oppure, al contrario, renderla elemento prominente. Entrambi gli approcci possono essere utilizzati nello stesso progetto, differenziando, per esempio, il lato verso la strada da quello verso la comunità [10]. In zona rurale viene generalmente preferita dalla comunità la prima soluzione [13]. La scelta di materiali e colori deve essere in ogni caso effettuata sulla base di un attento studio tecnico e cromatico, tendente sia ad individuare le caratteristiche intrinseche dei materiali, in relazione all'aggressività ed alle sollecitazioni degli agenti esterni, che a valutare le reazioni psico-visive indotte dall'uso di differenti colorazioni sulla comunità residente e sugli utenti dell'infrastruttura.

### *Percezioni della comunità*

Complessivamente la reazione della comunità alle barriere antirumore appare positiva; si rileva tuttavia, come già accennato, una varietà di reazioni specifiche. I residenti presso le barriere rilevano in genere una maggiore facilità di conversazione entro casa, migliori condizioni di sonno, un ambiente più rilassante, le finestre vengono aperte più spesso e gli spazi esterni vengono più usati durante l'estate. Fra i vantaggi non-acustici percepiti in alcuni casi vi sono un aumento della riservatezza, un'aria più pulita, una vista migliore, prati ed arbusti più sani. Le reazioni negative comprendono la limitazione della vista, già ricordata, una sensazione di imprigionamento, una riduzione della circolazione dell'aria, una perdita di luce naturale, la presenza di riflessi luminosi, la scarsa manutenzione della barriera [13] [14].

Il successo della barriera sulla popolazione dipende non solo dalla entità della attenuazione ottenuta, ma anche dal livello di rumore precedente alla installazione della barriera: la gente sembra preferire barriere antirumore che risolvono completamente un problema acustico modesto piuttosto che barriere che solo parzialmente risolvono un problema più gravoso [9]. La diminuzione del disturbo, per una stessa riduzione di livello sonoro, appare più importante quando il livello iniziale è superiore a 63 dBA [5].

Si può dunque ritenere che esista una soglia di impatto ambientale oltre la quale i benefici acustici prodotti dalla barriera non sono più in grado di compensarne gli svantaggi.

Vediamo ora quali sono i principali strumenti a disposizione dei progettisti per l'inserimento ambientale delle barriere antirumore.

### *Dimensionamento*

Un drastico abbattimento di rumore può essere ottenuto interponendo barriere altissime e lunghissime tra la sorgente ed il ricevitore o addirittura confinando la strada in un tunnel artificiale insonorizzato: in tali casi la soluzione del problema acustico si accompagnerebbe probabilmente ad un impatto visivo intollerabile. Il problema fondamentale dello studio dimensionale consiste nell'individuare, anche tenuto conto del rapporto costi-benefici, quando le dimensioni di una barriera diventano tali da controbilanciare i vantaggi introdotti dalla riduzione di rumore.

L'altezza complessiva della barriera può essere ridotta, a parità di prestazioni acustiche, attraverso deflettori variamente sagomati [9].

### *Scelta della tipologia*

Le barriere antirumore possono essere costruite nei materiali più diversi ed in diverse combinazioni degli stessi, ad esempio: pannelli in doppia lamiera metallica di alluminio o acciaio con interposto materiale fonoassorbente, pannelli di legno, pannelli in calcestruzzo armato, eventualmente accoppiati con pannelli fonoassorbenti in materiali alleggeriti o porosi (argilla espansa, pomice, cemento legno, ecc.); pannelli in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa; pannelli in poliestere rinforzato; lastre trasparenti (vetro, policarbonato, polimetilmetacrilato); barriere in muratura (blocchi di calcestruzzo, laterizio, ecc.) eventualmente realizzate con elementi a cavità risonanti fonoassorbenti; barriere vegetative realizzate con strutture portanti (in legno, calcestruzzo, acciaio, plastica riciclata, ecc.) predisposte per contenere essenze vegetali. Barriere antirumore possono essere realizzate anche in forma di terrapieno, a pendenza naturale o compresso, eventualmente integrato da vegetazione.

Le tipologie prevalenti variano a seconda dei paesi. In Italia sono maggiormente diffuse le barriere metalliche, ma stanno aumentando le barriere in legno e quelle trasparenti. In Germania i manufatti sono stati inseriti come elementi il più possibile naturali a Colonia; gli si è invece conferito un carattere industriale marcato ad Hannover. In Olanda le barriere antirumore, frequentemente argini in terrapieno, vengono utilizzate per creare variazioni di pregio nel paesaggio, spesso rendendole percorribili. In Francia si tende ad evitare l'immagine della barriera di disegno industriale e si tenta di caratterizzarla caso per caso, spesso con murales: i risultati sono barriere indipendenti, oggetti quasi scultorei aggiunti all'ambiente [9]. Negli Stati Uniti i tre quarti delle barriere antirumore sono costruiti in calcestruzzo (con altezze fino a 11,9 m per barriere gettate in opera) o in muratura (con altezze fino a 6,9 m) [15].

### *Composizione*

Oltre a disporre di una vasta scelta tipologica, i progettisti possono intervenire sulla forma della barriera per adattare l'opera al contesto, eventualmente sfruttando i suggerimenti che quest'ultimo fornisce, per esempio attraverso la topografia. Alcune variabili di progetto hanno influenza anche sulle prestazioni acustiche oltre che sull'estetica dell'opera: è chiaro che le scelte attinenti i vari aspetti della progettazione, fra loro correlati, devono essere continuamente confrontate e verificate. Vediamo alcuni esempi.

Quando diverse barriere sono installate lungo la stessa strada, può essere ricercato un senso di continuità o, al contrario, può essere conferito a ciascuna barriera un carattere individuale; occorre considerare che eventuali variazioni possono essere percepite solo dall'automobilista, che ha una visione dinamica dell'intervento, e non dalla comunità residente, che ne ha invece una visione statica.

La barriera può essere costruita a distanza uniforme dalla strada e ad altezza e quota costanti; al contrario possono essere introdotti dei cambi di allineamento compatibilmente con i vincoli imposti dalla topografia del luogo e dai componenti del sistema. Variazioni di altezze e di quote di imposta della barriera possono essere risolte con profilo frastagliato o smussato.

Anziché essere interrotta bruscamente, la barriera può essere scalata progressivamente in altezza. La terminazione può essere nascosta in un terrapieno od in una collinetta.

Curvare le estremità della barriera allontanandosi dalla strada smorza l'impatto visivo e contemporaneamente riduce il rumore generato passando in corrispondenza delle estremità stesse.

Una curvatura della barriera può essere conferita anche sul piano verticale, con effetti sulle caratteristiche acustiche e su quelle estetiche-espressive dell'opera. Analogamente possono avere duplice funzione i profili superiori della barriera, variamente sagomati, ai quali si è già accennato.

Certi elementi del disegno della barriera dovrebbero essere considerati separatamente per i due lati, verso la strada e verso le aree adiacenti. Diversa è infatti l'angolazione della vista di ciascun lato. In conseguenza dell'angolo stretto secondo cui l'utente dell'infrastruttura vede la barriera, una serie di listelli di legno separati, come quelli utilizzati in alcuni prodotti per contenere il pannello fonoassorbente, apparirà come una gradevole superficie piena di legno. Diverse sono anche le velocità alle quali il manufatto è visto dai due lati e di conseguenza diversa sarà la percezione della tessitura, di eventuali motivi, dei dettagli costruttivi ed, in generale, del grado di rifinitura dell'opera.

Si evidenzia, per inciso, come la progettazione dei dettagli e la cura nell'esecuzione non attengano solamente all'estetica dell'opera, ma abbiano in molti casi delle notevoli implicazioni sulla sua funzionalità; importanti dettagli costruttivi per prevenire la compromissione delle prestazioni acustiche della barriera comprendono, per esempio, la realizzazione di drenaggi per l'acqua, o l'eliminazione degli spazi vuoti orizzontali e verticali fra pannello e pannello, fra pannello e montanti, fra pannello e cordolo di fondazione o New Jersey.

#### *Integrazione con essenze vegetali*

Le barriere artificiali possono anche essere impiegate, opportunamente mimetizzate, nell'ambito di protezioni vegetali, per ridurre l'impatto estetico delle prime o migliorare l'efficacia acustica delle seconde. L'integrazione deve seguire criteri scientifici ed estetici che non ne vanifichino le funzioni. Le specie arboree ed arbustive andranno scelte sulla base di un approfondito studio fitotecnologico, in cui siano individuati anche il sesto di impianto, i criteri per l'attecchimento e la probabilità di sopravvivenza nel tempo. Il materiale piantumato deve essere idoneo per l'ambiente stradale ove lo sporco della strada, gli scarichi delle auto ed eventualmente il sale sparso durante la stagione invernale prevalgono, ma dove le risorse idriche o i fondi per il mantenimento o la falciatura possono scarseggiare.

#### *Manutenzione*

L'impatto della barriera andrebbe valutato non solo nel breve, ma anche nel lungo termine; infatti gli effetti negativi del manufatto possono evolversi nel tempo. Nella progettazione della barriera occorre pertanto considerare anche le modalità di manutenzione della stessa nel tempo, in particolare [1]:

- l'accessibilità alla barriera e alle sue parti, anche in presenza di traffico;
- la modularità dei componenti della barriera, in modo da rendere possibili eventuali sostituzioni e garantire adeguate scorte di magazzino;
- la prevenzione, per quanto possibile, dagli atti di vandalismo;
- le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, classificate in un programma con indicazione del tipo di attività manutentiva, dell'ingombro previsto della sede stradale e del personale necessario.

#### *Coinvolgimento della popolazione*

La reazione della comunità alle barriere antirumore è, come si è detto, un fattore determinante per il buon esito dell'intervento. È importante quindi predisporre un piano accurato di coinvolgimento civico per favorire l'accettazione delle barriere; se infatti la comunità interessata ha un ruolo nel processo di sviluppo del progetto, accoglierà più facilmente in modo favorevole le barriere.

## Conclusioni

Il ricorso a barriere antirumore, quale mezzo spesso indispensabile per la riduzione dell'inquinamento acustico dovuto ai traffici stradale e ferroviario, implica numerosi effetti sull'ambiente e sull'uomo dei quali occorre tener conto al fine di sfruttare al meglio le potenzialità positive e ridurre al minimo quelle negative. Le protezioni antirumore devono essere viste come opere edilizie e quindi studiate anche secondo criteri architettonici. Esse possono essere parte dell'arredo urbano e del paesaggio.

Nella memoria si è voluto dar conto della complessità dell'argomento senza poterlo approfondire adeguatamente. Il gruppo di progetto, per poter affrontare lo studio dei fattori ai quali si è accennato, dovrà comprendere specialisti in diverse discipline.

## Bibliografia

[1] A. Demozzi, P. Simonetti, G. Brero, *Caratteristiche non-acustiche delle barriere antirumore*, Atti del convegno Traffico e Ambiente, Trento, 2000

[2] D.P.R. 12 aprile 1996, Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'art. 40, comma 1, della legge 22 febbraio 1994, n.146, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale, G.U. n. 210 del 7/9/96

[3] Decreto del Ministero dell'Ambiente 29 novembre 2000, Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore, G.U. n. 285 del 6/12/00

[4] EN 1794-1: 1998 - Road traffic noise reducing devices – Non acoustic performance – Part 1: Mechanical performance and stability requirements

[5] EN 1794-2: 1998 - Road traffic noise reducing devices – Non acoustic performance – Part 2: General safety and environmental requirements

[6] ANAS Compartimento della viabilità per la Toscana, Capitolato speciale d'appalto protezioni antifoniche, norme tecniche, 1998

[7] Commissione interaziendale ANAS, Ente Ferrovie dello Stato, Soc. Autostrade, AISCAT, Ministero dell'Ambiente, Istruzioni per l'inserimento ambientale delle infrastrutture stradali e ferroviarie con riferimento al controllo dell'inquinamento acustico, a cura dell'ANAS e della Soc. Autostrade, 1992

[8] A. Denk, *Misure di protezione dall'inquinamento acustico dovuto al traffico*, Atti del XXIV Convegno Nazionale AIA, Trento, 12-14 giugno 1996

[9] G. Mucci, L. Rocco, *Barriere antirumore per il traffico stradale*, Maggioli editore, Rimini, 1993

[10] G. G. Fleming, H. S. Knauer, C. S. Y. Lee, S. Pedersen, FHWA Highway Noise Barrier Design Handbook, Federal Highway Administration, Washington D.C., 2000

[11] C. Scoccianti, *SOS anfibi*, Piemonte parchi, anno XI, n. 65, Febbraio 1996

[12] C. Fagotti, A. 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, Firenze, 1998

[13] D. Bertoni et al., *Gli effetti del rumore dei sistemi di trasporto sulla popolazione. Lo studio sulla collettività modenese*, Pitagora editrice, Bologna, 1994

[14] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, *Highway Traffic Noise in the United States. Problem and Response*, Washington D.C., Aprile 2000

[15] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Natural Environment Noise Team, *Highway Traffic Noise Barrier Construction Trends*, Washington D.C., Aprile 2000