

A N P A

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Dipartimento Stato dell'Ambiente, Prevenzione, Risanamento e Sistemi Informativi

Settore Laboratorio di Acustica *

Settore Componenti Biotiche **

LE BARRIERE VERDI

Per la riduzione dell'inquinamento acustico nel rispetto dell'ambiente

RTI 2/97-AMB-ACUS

dicembre 1997

S.Curcuruto, A.De Leo, D.De Taddeo, F.Giuliani *
M.Guccione **

INDICE

RINGRAZIAMENTI

INTRODUZIONE

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 1.1 Riduzione inquinamento acustico**
- 1.2 Valutazione dell'impatto ambientale e paesaggistico**
- 1.3 Normativa tecnica comunitaria**

2. RUOLO ECOLOGICO DELLA VEGETAZIONE

- 2.1 Ruolo ecologico.**
- 2.2 Miglioramento del paesaggio.**
- 2.3 Riduzione dell'impatto ambientale dovuto alla realizzazione di opere sul territorio**
- 2.4 Depurazione chimica dell'atmosfera per effetto della fotosintesi.**
- 2.5 Biorilevamento.**
- 2.6 Regolazione idro-termica dell'ambiente e salvaguardia del suolo**

2.7 Riduzione dell'inquinamento acustico

3. CLASSIFICAZIONE DELLE BARRIERE VERDI

3.1 Quinte vegetative e rilevati con coperture vegetali

3.2 Schermi a struttura mista

4. CAMPAGNA DI MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELLE BARRIERE VERDI

4.1 Rassegna di possibili procedure per la caratterizzazione acustica delle barriere

4.2 Campagna di misure in sito

CONCLUSIONI

BIBLIOGRAFIA

RINGRAZIAMENTI

Il contenuto di questo rapporto è stato realizzato con la cortese disponibilità di:

-AIPIN - ASSOC. ITAL. INGEGNERIA NATURALISTICA

-ANAS CENTRO SPERIMENTALE STRADALE - Cesano (Roma)

-COS - PRE S.p.A - Trieste

-G.E.C. - GENERAL ENGINEERING CONSULTING S.r.l. - Como

-GEO - ECOSTRUTTURE S.r.l. - Alba (Cuneo)

-GEOSINTEX S.r.l. - Sandrigo (Vicenza)

-ITALFERR - SIS T.A.V. S.p.A - Roma

-SEIC S.p.A. - Trieste

-TENSITER S.p.A. - Torino

In particolare, per l'indagine conoscitiva di tipo strumentale fino ad oggi effettuata, è risultata indispensabile la collaborazione con la Società Autostrade che, tra l'altro, proseguirà fino al completamento dello studio. A tal proposito, sentiti ringraziamenti vanno all'Ing. Camomilla ed ai collaboratori Dott. Battistoni e Dott. Tallarico.

Con la Società Autostrade sono state gettate le basi per una proficua e più ampia collaborazione.

INTRODUZIONE

La crescente sensibilità nei confronti dell'ambiente, sia da parte della popolazione sia da parte del mondo dei tecnici, ha portato, negli ultimi anni, ad un'attenzione via via maggiore verso quei sistemi di minimizzazione degli impatti ambientali che contengono un contenuto di "naturalità" sempre più prevalente. Così, anche nel caso dei problemi della difesa acustica, le barriere antirumore "combinata" hanno attirato un grande interesse degli operatori con un moltiplicarsi di offerte e proposte che tuttavia si collocano in un mercato ancora in evoluzione, carente dal punto di vista di riferimenti certi per quanto riguarda sia le tecniche sia le normative.

La finalità del presente studio è quella di definire, tra le diverse possibilità di schermi "naturali", quelli che meglio si adattano alle condizioni meteo-climatiche del nostro paese, così da individuare una o più tipologie di barriere verdi che possono costituire un riferimento per le prossime installazioni in relazione alla natura del territorio, agli spazi a disposizione e ai ricettori da proteggere.

Il presente rapporto si sviluppa in quattro sezioni al fine di costruire un percorso logico che aiuti a supportare la scelta di manufatti vegetali quali sistemi per la mitigazione dell'impatto acustico dovuto principalmente ad infrastrutture di trasporto.

Una prima parte è dedicata alla normativa di riferimento che permette di inquadrare il problema nella sua specifica dimensione; una seconda parte illustra le "qualità" delle barriere naturali; nella terza parte si espone una classificazione dei diversi sistemi vegetali o misti; nell'ultima parte si riportano i risultati di una campagna di misure in situ volta a determinare la resa acustica dei manufatti verdi nonché a mettere a punto una metodologia di misura applicabile per tali barriere.

Il lavoro avviato, e illustrato nel presente Rapporto tecnico, è la base per uno studio più approfondito che si svilupperà attraverso ulteriori indagini strumentali sulle diverse tipologie di barriere verdi presenti sul territorio nazionale nei tratti stradali, autostradali e ferroviari. Verrà inoltre messa a punto una metodologia di misura in situ affidabile e di facile attuazione, che potrà costituire l'oggetto di una norma tecnica specifica. Verrà altresì evidenziato l'aspetto eminentemente vivaistico dell'intervento soprattutto in termini di specie vegetale da utilizzare e di tecniche di irrigazione e di manutenzione da attuare.

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1.1 Riduzione inquinamento acustico

DPCM 1/3/91

Fissa i limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno.

Stabilisce la suddivisione del territorio comunale in sei diverse classi di destinazione d'uso: aree particolarmente protette, aree prevalentemente residenziali, aree di tipo misto, aree ad intensa attività umana, aree prevalentemente industriali ed aree esclusivamente industriali. Inoltre, per ognuna di esse, introduce dei limiti assoluti di immissione di rumore ambientale in termini di livello sonoro equivalente durante il periodo diurno e quello notturno.

Legge quadro sull'inquinamento acustico del 26/10/95 n.447.

E' la legge con la quale vengono stabiliti i principi fondamentali in materia di tutela dall'inquinamento acustico in ambiente esterno e nell'ambiente abitativo.

I Comuni, nonché i gestori delle infrastrutture di trasporto, dovranno in caso di superamento

dei valori limite provvedere all'adozione di piani di risanamento acustico per il contenimento delle emissioni sonore. Tra gli interventi di mitigazione del rumore, oltre quelli di carattere amministrativo e urbanistico (pianificazione e gestione del traffico stradale, ad esempio), grande importanza viene rivolta agli interventi di tipo passivo (installazione di barriere antirumore) a protezione dei ricettori particolarmente esposti al rumore ambientale.

1.2 Valutazione dell'impatto ambientale e paesaggistico

Se la normativa italiana in materia di inquinamento acustico prevede in maniera generica l'adozione di sistemi passivi, altre leggi prevedono l'obbligatorietà, da parte dei costruttori di opere, di tenere in debito conto l'impatto ambientale e paesaggistico che il potenziamento o la realizzazione di opere comporta.

DPCM 10/8/1988 n.377

Recepisce la direttiva del Consiglio delle Comunità europee n.85/337 del 27 Giugno 1985 concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati. L'art.1 lett.g include le "autostrade e vie di rapida comunicazione, i tronchi ferroviari per il traffico a grande distanza" tra le opere da sottoporsi alla procedura di Valutazione di Impatto ambientale.

DPCM 27 Dicembre 1988 (norme tecniche)

Prevede la stesura, per ciascuna opera, di un quadro di riferimento ambientale (art.5) riguardante lo studio di impatto da svilupparsi secondo determinati criteri descrittivi, analitici, previsionali, che "dovrà considerare le componenti naturalistiche ed antropiche interessate, le interazioni tra queste ed il sistema ambientale preso nella sua globalità" (All.1- Componenti e fattori ambientali). Sempre nell'All.1 delle norme tecniche i componenti e fattori ambientali sono così intesi:

- *gli ecosistemi*, complessi di componenti e fattori fisici, chimici e biologici tra loro interagenti ed interdipendenti, che formano un sistema unitario e identificabile (quali un lago, un bosco, un fiume, il mare) per propria struttura, funzionamento ed evoluzione temporale (lett. e);
- *salute pubblica*, come individui e comunità (lett.f);
- *rumore e vibrazioni*, considerati in rapporto all'ambiente, sia naturale che umano (lett.g);
- *paesaggio*, aspetti morfologici e culturali del paesaggio, identità delle comunità umane interessate e relativi beni culturali (lett. i), facendo riferimento anche agli aspetti legati alla percezione visiva. (All.II lett.I).

Regolamenti 2078/82 e 2080/92

Prevedono sostegni finanziari per interventi di forestazione e rinaturazione.

Capitolati tecnici

Le norme tecniche "Istruzioni per la redazione dei progetti di strade"- CNR Bollettino Ufficiale A. XIV n.77 prevedono, ai fini della stesura di un progetto, che lo stesso tenga conto delle "esigenze di inserimento nel paesaggio, delle modalità di rispetto delle zone soggette a vincoli particolari e del migliore adattamento delle opere d'arte al terreno" (p.to 5.1).

1.3 Normativa tecnica comunitaria

Distinguiamo alcune norme in vigore all'interno di alcuni paesi comunitari e le norme ISO, ancora in fase di definizione, valide per l'intero territorio della comunità europea.

ZTV-Lsw 88

è un disciplinare di prescrizioni tecniche tedesco per la costruzione delle barriere su strada che prevede anche il calcolo per la determinazione del grado di assorbimento.

RLE DS 800 01 03

è un disciplinare di procedure tecniche per la costruzione di barriere antirumore lungo la linea ferroviaria tedesca.

AFNOR S 31-089

è un disciplinare che illustra una metodologia di prova da eseguire per misurare le proprietà fisiche delle barriere antirumore.

ISO/FDIS 10847

"In situ determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all types".

2. RUOLO ECOLOGICO DELLA VEGETAZIONE

Molteplici sono gli impieghi a cui si presta la vegetazione in genere. Qui di seguito vengono illustrati i principali contributi forniti dalla vegetazione:

2.1 Ruolo ecologico.

Rappresenta un rifugio e un'occasione di riproduzione e mantenimento di specie animali e vegetali oltre quelle immesse artificialmente dall'uomo. Studiando il posizionamento e il percorso delle barriere, queste vengono a svolgere un ruolo fondamentale di corridoio ecologico indispensabile alla possibilità di connessione tra diverse aree naturali presenti nel territorio. Quando ben articolate sul territorio, le barriere verdi contribuiscono alla costituzione di quel "connettivo diffuso" (reti ecologiche) che comprende una serie di cosiddetti "corridoi biologici" atti alla conservazione e all'incremento della naturalità ambientale.

2.2 Miglioramento del paesaggio.

E' il più noto ruolo attribuito alla vegetazione, quello di apportare un miglioramento sostanziale del paesaggio e della qualità estetica dei luoghi, con una capacità di integrazione ambientale delle opere che influenza direttamente, ed in modo sempre positivo, l'accettabilità da parte degli utenti e delle popolazioni territorialmente coinvolte.

Le barriere verdi svolgono un importantissimo ruolo ambientale, contribuendo in modo significativo all'inserimento paesaggistico ed ecosistemico delle infrastrutture lineari, sempreché siano state concepite e realizzate con un processo di corretta analisi ed adeguata valutazione del contesto dei luoghi.

*Figura 1 - Esempio di integrazione paesaggistica delle barriere verdi (tratto da "Reti ecologiche .." di S.Malcevski et al.)
(omessa)*

La realizzazione di barriere ecologiche lungo le linee di comunicazione consente di ottenere una riduzione degli impatti negativi legati alla produzione di rumore e polveri; la qualità della loro realizzazione può svolgere un ruolo ecologico anche nei confronti dell'ecomosaico complessivo.

*Figura 2 -Positiva valenza estetica di una barriera antirumore (tratto da “Reti ecologiche ..” di S.Malcevschi et al.)
(omessa)*

2.3 Riduzione dell'impatto ambientale dovuto alla realizzazione di opere sul territorio

Nuovi elementi di riequilibrio ecosistemico e paesaggistico possono essere introdotti sfruttando le occasioni offerte dalla realizzazione di nuove infrastrutture.

Si tratterà evidentemente di adeguare le vecchie prassi progettuali in modo che tengano conto delle possibilità offerte dall'ingegneria naturalistica.

*Figura 3 - Esempi di riduzione di impatto ambientale di infrastrutture lineari (tratto da “Reti ecologiche ..” di S.Malcevschi et al.)
(omessa)*

2.4 Depurazione chimica dell'atmosfera per effetto della fotosintesi.

Il verde ha interferenze positive nei confronti della qualità dei parametri dell'aria per mezzo di meccanismi sia passivi che attivi. Il traffico stradale, ad esempio, quando supera certi livelli, produce materiale particolato fino a 70 volte rispetto all'atmosfera pulita. Particolato che viene intercettato dalle foglie provviste di peli o ricoperte di sottili strati di cere o resine. L'effetto filtrante delle polveri e del particolato da traffico è poi aumentato dall'azione di abbattimento della velocità del vento, con riduzioni di quest'ultima dell'ordine del 25%.

Tale effetto è anche importante per la favorevole limitazione alla diffusione non solo del particolato ma anche della frazione gassosa degli inquinanti. E proprio dalle assodate capacità di assorbimento dei gas derivanti dalla combustione, ha sicuramente origine uno dei principali riconoscimenti delle piante per la difesa dell'ambiente.

Seppure le concentrazioni di gas inquinanti abbiano raggiunto limiti di tossicità alla soglia di allarme per gli animali, uomo compreso, in alcuni tipi di piante si misurano livelli di tolleranza e di bioaccumulo piuttosto alti. Ciò significa che, una barriera vegetale posta lungo un'infrastruttura viaria, salvo che il livello di contaminanti non sia tale da distruggere qualsiasi tipo di pianta, con una buona selezione delle piante di cui è costituita, può proteggere l'ambiente circostante depurandone l'aria.

2.5 Biorilevamento.

La bioindicazione ha, rispetto ad indicatori chimici, il pregio di porre in evidenza le relazioni fra condizioni ambientali ed organismi viventi.

Va ricordato, a titolo di esempio, l'importante ruolo svolto da talune specie vegetali sulla bioindicazione di particolari inquinanti dovuti, come nel caso delle infrastrutture stradali, alle

combustioni dei motori ed agli attriti. In questo caso, monitorare l'accumulo di inquinanti sul territorio rispetto alla sede stradale consente di stabilire, ad esempio, la distanza entro la quale gli inquinanti ricadendo si depositano sulle coltivazioni, consentendo l'individuazione di una fascia di rispetto.

*Figura 4 - Funzione mitigatrice della vegetazione
(omessa)*

2.6 Regolazione idro-termica dell'ambiente e salvaguardia del suolo

Altra importante funzione delle piante è la difesa del suolo dove le radici degli alberi svolgono un'importante azione di "retinazione" della terra. Quest'azione è connessa con le proprietà della copertura vegetale di influenzare favorevolmente diversi parametri ambientali come la regimazione delle acque meteoriche, la riduzione del degrado del terreno a causa dei fenomeni di erosione e di desertificazione; il ruolo di bilanciamento ottimale dell'umidità microclimatica, del drenaggio delle acque in eccesso, della stabilizzazione dell'igroscopia atmosferica legata al peculiare fenomeno dell'evapotraspirazione.

2.7 Riduzione dell'inquinamento acustico

In un manufatto verde, è tutta la barriera, nella sua composizione, a svolgere un'azione di riduzione del rumore: alle alte frequenze lavorano meglio le foglie mentre, alle frequenze basse, un terreno poroso dà buoni risultati di abbattimento.

Azione di riduzione del rumore		
FOGLIAME	SUBSTRATO	RADICI
assorbimento e deviazione energia sonora	assorbimento e deviazione energia sonora	aumento di porosità della terra

Fogliame

L'azione di riduzione dell'inquinante da parte delle foglie (fig.5) avviene mediante:

-assorbimento e successiva trasformazione dell'energia sonora in calore in seguito al movimento dell'energia stessa sulle superfici delle foglie, dei rami, dei fusti ed ai conseguenti moti oscillatori smorzati;

-la deviazione dell'energia sonora, specialmente alle frequenze alte.

L'efficacia del fogliame è direttamente proporzionale alla densità, alle dimensioni e allo spessore delle foglie stesse.

Il contributo dato alla riduzione del rumore da parte delle foglie è più facilmente quantificabile con prove di laboratorio, lontano da interferenze ambientali (umidità, temperatura, vento, ecc.) e territoriali. In questa direzione si sono effettuati numerosi studi per la determinazione della reale capacità di abbattimento delle piante nel loro insieme e scomposte nelle diverse parti quali tronco, rami e foglie. Diverse esperienze in camera anecoica hanno identificato nelle foglie lunghe una decina di centimetri la parte della pianta più attenuante alle frequenze con lunghezza d'onda tra 8-16 cm (2-4 KHz).

*Figura 5 - Ruolo delle foglie nei confronti del rumore
(omessa)*

Terra

La terra gioca un ruolo importante nell'impiego di "soluzioni vegetali" in quanto, oltre che prestarsi come elemento integrante di tipologie di barriere (quinte vegetative, terre armate, muri vegetati), rappresenta, in qualità di terreno, la sede "ospitante" della barriera. E' indispensabile quindi considerarne la morfologia, se pianeggiante, rilevata o in trincea, al fine del conseguimento di un buon risultato.

L'azione di riduzione del rumore ad opera della terra avviene mediante:

-l'assorbimento di onde dirette radenti al suolo;

-la riflessione dell'onda sul suolo assorbente con conseguente perdita di energia.

Un buon risultato si ottiene con terre inerbate o comunque morbide; al contrario terreni pietrosi, sabbiosi o ghiacciati anziché assorbenti risultano riflettenti.

Radici

Le radici, insidiandosi tra le particelle del terreno, mantengono il contenuto in aria ottimale e impediscono la compattazione della massa di terreno, garantendo la giusta porosità del substrato, sia in termini di assorbimento acustico sia di ritenzione idrica. Quest'ultima risulta uno dei fattori a cui deve essere dedicato grande attenzione per la nutrizione e quindi la sopravvivenza delle piante.

*Figura 6 - Radice nel terreno - 1. L'apice della radice si insinua tra le particelle del terreno; 2. Pelo assorbente; 3. Particella di terra; 4. Aria. Il tratteggio indica l'acqua presente nel terreno.
(omessa)*

3. CLASSIFICAZIONE DELLE BARRIERE VERDI

Il quadro seguente riporta la classificazione e suddivisione delle barriere verdi secondo le diverse tipologie:

1. Quinte vegetative (siepi, fasce boscate, alberate, ecc.): composte da piantagioni semplici od associazioni complesse di specie arboree, arbustive ed erbacee;

2. Schermi a struttura mista: derivanti dalla combinazione di manufatti artificiali e piante, progettati per l'integrazione sinergica delle diverse componenti;

Terre armate rinforzate (t.a.r.): rilevati in terra e pietrame a sezione trapezoidale "retinati" con apposite geogriglie e ricoperti con vegetazione da coltivo;

Muri vegetati: manufatti artificiali opportunamente trattati e materiale vegetale sostenuto ed alimentato da sofisticati substrati (muri cellulari, strutture composite, strutture a gabbia).

3.1 Quinte vegetative e rilevati con coperture vegetali

Quinte vegetative

Barriera vegetale composta esclusivamente da specie arboree e/o arbustive appositamente organizzate in piantagioni lineari (siepi, fasce boscate, filari ecc.)(figg. 7-8).

Le quinte vegetative sono indicate in tutti i casi in cui c'è un'ampia disponibilità di spazio a lato dell'infrastruttura viaria in questione (20-30 mt.); sono tra le tipologie più conosciute e storicamente utilizzate(foto 2).

Tuttavia, numerosi errori sono stati fatti nel passato, e in parte si ripetono ancora oggi, nella scelta delle piante non perfettamente coerenti con la funzionalità e la congruità paesaggistica. (ex. Cipressus arizonica, Eucalyptus spp, ecc.)(foto1).

*Figura 7 - Andamento continuo di una quinta vegetativa
(omessa)*

*Figura 8 - Corretta composizione di una quinta vegetativa multispecifica e multistratificata
(omessa)*

*Foto 1 - Siepe tradizionale con specie esotiche
(omessa)*

*Foto 2 - Quinta vegetativa multispecifica
(omessa)*

Rilevati con copertura vegetale

Si tratta in pratica di accumuli lineari di terra opportunamente stratificata e piantumata con essenze erbacee, arbustive ed erbacee(figg. 9-10).

E' uno dei sistemi più "naturali", acusticamente funzionali e corretti da un punto di vista paesaggistico e ambientale.

Il loro grande limite risiede nella necessita di ampi spazi a lato dell'infrastruttura viaria da schermare, situazione poco frequente(foto 3-4).

*Figura 9 - Barriera combinata a rilevato in terra
(omessa)*

*Figura 10 - Terrapieno a pendenza naturale
(omessa)*

*Foto 3 - Rilevato inerbito
(omessa)*

*Foto 4 - Rilevato inerbito in accoppiamento con quinta vegetativa
(omessa)*

3.2 Schermi a struttura mista

Terre armate rinforzate vegetate

Sono rilevati di terra a sezione trapezoidale, composti da strati in terreno compresso, reti sintetiche quali geogriglie mono/biorientate atte ad aumentarne la capacità di autosostegno e geotessili tessuti e non, per prevenire la fuoriuscita di particelle fini(fig.11).

Il principio di funzionamento delle t.a.r. si basa sull'interazione tra due materiali (la terra e il sintetico) in modo che una parte delle sollecitazioni cui sarebbe sottoposto il terreno, vengano assorbite dal sistema di armatura.

*Figura 11 - Schema costruttivo di una T.a.r.
(omessa)*

L'utilizzo originario e primario è nel settore geotecnico dove vengono impiegate, di dimensioni notevoli come muri di sostegno o muri paramassi (foto 5).

*Foto 5 - T.a.r utilizzata come rete paramassi.
(omessa)*

Proposta come barriera antirumore

Nella funzione antirumore la t.a.r. assume sezioni, in termini soprattutto di larghezza, ridotte rispetto all'uso tradizionale (fig. 12).

*Figura 12 - Schema costruttivo di una t.a.r. ad uso specifico come barriera antirumore
(omessa)*

Come opera in terra si inserisce perfettamente nel contesto preesistente assumendo l'aspetto di un cordone verde che fiancheggia l'infrastruttura viaria (foto 6-8).

Presenta inoltre un ridotto impatto economico/operativo in quanto viene utilizzato quasi esclusivamente materiale presente in situ escludendo quindi oneri imputabili alle operazioni di approvvigionamento, trasporto ecc..(foto 7).

*Foto 6 - Effetto finale di una T.a.r. ad uso antirumore
(omessa)*

Le t.a.r. non necessitano, se non in casi eccezionali, di interventi di manutenzione, ma il manufatto richiede uno spazio minimo di almeno 2- 3 metri.

*Foto 7 - Costruzione di una t.a.r.
(omessa)*

*Foto 8 - Fianco ben vegetato di una t.a.r. di 4 anni
(omessa)*

Muri vegetati

Sono generalmente costituiti da manufatti artificiali quali calcestruzzo, acciaio, plastica e legno opportunamente trattati e materiale vegetale sostenuto ed alimentato da sofisticati substrati di coltivo (foto 9).

Pur basandosi sugli elementi già citati, ovvero terra e vegetale e il loro ruolo sinergico, il muro vegetato basa la sua capacità di abbattimento del suono su di un terzo elemento di tipo artificiale con il quale è costruita la sua struttura portante.

Questo manufatto rivestito di vegetazione è già di per sé, indipendentemente dalla sua collocazione fisica, un vero e proprio ostacolo alla trasmissione delle onde sonore

Il potere isolante di un muro vegetato si determina in campo o in laboratorio, il suo grado di assorbimento in camera anecoica.

Quest'ultima categoria di strutture è senz'altro la più complessa ed anche quella che presenta il maggior numero di proposte. Per il livello di antropizzazione del territorio europeo è quella che sicuramente ha più possibilità di trovare applicazione. In tale categoria di strutture sono a loro volta distinguibili tre sottogruppi: muri cellulari, strutture a gabbia e strutture composite.

*Foto 9 - Particolare di un muro vegetato ben riuscito
(omessa)*

Il rigoglio vegetativo delle barriere verdi è il risultato più auspicato e contemporaneamente il più difficile da ottenere. Esso dipende soprattutto dalle disponibilità idriche. E' indispensabile perciò valutare idonee soluzioni progettuali sia in termini di specie vegetali che di tecnologie di irrigazione.

Muri cellulari

Si rifanno prevalentemente al sistema Heinzmann e sono composti da moduli a vaschetta in calcestruzzo di vario design (circa 80 modelli a tutt'oggi) sovrapponibili teoricamente all'infinito, riempiti con terra vegetale (fig.13-14) e (foto 10).

Non necessitano di ancoraggi al suolo per altezze fino a 8-10 metri.

*Figura 13 - Schema di assemblaggio di un muro vegetato
(omessa)*

*Foto 10 - Esempio di muro cellulare utilizzato come muro di sostegno
(omessa)*

Proposta come barriera antirumore

E' un sistema che consente la verticalità del muro con notevole risparmio di spazio (fig. 15).

*Figura 14 - Particolare della vasca Heinzmann per la specifica realizzazione di barriere
antirumore
(omessa)*

*Figura 15 - Assemblaggio di vasche Heinzmann per la specifica realizzazione di barriere
antirumore
(omessa)*

Il sistema presenta ottima capacità di assorbimento del rumore dovuta, oltre che alla presenza di terra e vegetale, anche alla specifica tipologia costruttiva.

Tali manufatti si adattano bene sia ad ambienti extraurbani che urbani.

Struttura a gabbia

Sono pareti costituite da elementi semplici che, assemblati in vario modo, vanno a costituire una gabbia parallelepipedica anche in questo caso teoricamente indeterminata, riempibile di materiale inerte (pietrame, terra, ecc.)(fig 16). Gli elementi costitutivi sono di materiale vario come legno, legno impregnato, calcestruzzo vibrato armato (c.v.a), plastica riciclata, metallo (foto 11-12-13).

Non hanno necessità di ancoraggi al terreno per altezze fino a 5 metri (fig. 17).

*Figura 16 - Muro di sostegno o controripa
(omessa)*

*Foto 11 - Struttura a gabbia
(omessa)*

Utilizzo come barriera antirumore

*Figura 17 - Sezioni di vari modelli di strutture a gabbia
(omessa)*

*Foto 12 - Esempio di struttura a gabbia in elementi in cls con buon risultato di rinverdimento
(omessa)*

*Foto 13 - Particolare di una struttura a gabbia
(omessa)*

Strutture composite

Sono architetture complesse composte da elementi portanti di diverso materiale (acciaio, legno, metallo, plastica riciclata, cls, c.a.v.) che vanno a costituire delle pareti determinate a sezione ridotta (figg.18-19); (foto 14-15). Quasi sempre necessitano di ancoraggio al suolo.

*Figura 18 - Schemi costruttivi differenti di strutture composite
(omessa)*

*Figura 19 - Struttura composta prima del rinverdimento
(omessa)*

*Foto 14 - Muro vegetato a struttura composta brevetto "Mast"
(omessa)*

*Foto 15 - Muro vegetato a struttura composta in elementi prefabbricati in cls
(omessa)*

4. CAMPAGNA DI MISURE PER LA CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA DELLE BARRIERE VERDI

La tendenza ad un crescente impiego sulle infrastrutture di trasporto italiane delle barriere verdi come dispositivo antirumore determina l'esigenza di una valutazione dell'efficacia sonora di tali manufatti al fine di ricavare dati precisi necessari per caratterizzare al meglio un intervento di protezione acustica.

La finalità della campagna di misure, condotta dall'ANPA in collaborazione con la società Autostrade, attualmente in corso, è quella di determinare la resa acustica delle diverse tipologie di barriere verdi nonché di mettere a punto una metodologia di misura applicabile per tali manufatti vegetali.

4.1 Rassegna di possibili procedure per la caratterizzazione acustica delle barriere

L'efficacia acustica di una barriera antirumore, artificiale o naturale, può essere calcolata mediante tre diverse procedure:

1. Misure in laboratorio
2. Misure in campo aperto
3. Misure in sito.

Le misure in laboratorio vengono effettuate in ambienti fortemente controllati (camere anecoiche, ad esempio) e servono per definire le caratteristiche intrinseche delle barriere: nel nostro caso, ad esempio, per valutare l'influenza delle diverse parti di una specie vegetale (tronco, fusto, foglie) sull'attenuazione acustica della barriera anche in funzione delle frequenze impegnate. Questa metodologia risulta necessaria per affrontare in dettaglio il fenomeno di propagazione del rumore dalla sorgente, in genere un altoparlante con prescritte caratteristiche, fino al ricettore, il punto di misura, in condizione indisturbata e garantendo la ripetitività delle misure. Lo svantaggio è legato all'utilizzo di strumentazione molto sofisticata, ambienti di sperimentazione altamente controllati e riproducibilità limitata delle condizioni reali esistenti in sito.

Le misure in campo aperto sono eseguite in un campo di prova esterno su tratti di barriere vegetali. Tale prova effettuata in un ambiente controllato (terreno con determinate caratteristiche, assenza di ostacoli naturali, sorgente emittente artificiale) consente di valutare l'abbattimento del rumore tenendo conto anche degli aspetti geometrici (diffrazione del suono) ed ambientali (divergenza geometrica, assorbimento dell'aria). Il vantaggio di tale metodologia è che fornisce un'indicazione più ampia sulla resa acustica della barriera in esame garantendo anche la ripetitività e la confrontabilità delle misure sperimentali. L'handicap principale di tale procedura, che ne limita l'utilizzo, è la necessità di portare nel campo di prova un elemento di barriera.

In effetti risulta arduo portare sul campo di misura tratti di barriera vegetale da controllare, ad esempio una piantagione organizzata di siepi o una fascia vegetativa di varie specie arboree (foto 2); per di più, per eseguire un'indagine attendibile, occorre portare un manufatto uguale a quello in opera sull'infrastruttura stradale. Mentre risulta proprio impossibile verificare un rilevato artificiale, simile a quello della foto 3.

Le misure in sito rappresentano il sistema più immediato per controllare l'efficacia acustica di una barriera antirumore vegetale. In tal modo si apprezza il singolo manufatto, barriera con prescritte caratteristiche geometriche inserita in quel contesto territoriale, in relazione eventualmente ai ricettori presenti in zona.

Come suggerito dalla norma ISO/FDIS 10847 in fase di approvazione, è possibile adottare per le indagini in sito due diversi metodi di misura: il metodo diretto, che prevede il rilievo del livello sonoro in una medesima posizione ante e post operam, cioè prima e dopo l'installazione della barriera antifonica, ed il metodo indiretto, che propone il confronto tra i livelli di rumore in un punto non influenzato dalla presenza della barriera (equivalente alla situazione ante operam) ed in un punto protetto dalla barriera (situazione post operam) posto ad uguale distanza dalla sorgente sonora.

Il primo metodo assicura una notevole precisione ed affidabilità dei risultati a patto che vengano garantite delle condizioni di misura simili per i due differenti rilievi eseguiti prima e dopo la posa in opera delle barriere. Occorre in pratica effettuare la misura post operam con le medesime condizioni per la sorgente sonora (flusso di traffico, presenza di mezzi pesanti, condizioni della pavimentazione stradale, ecc.) e con le medesime condizioni ambientali

(velocità e direzione del vento, dati di temperatura e di umidità, condizioni meteorologiche, rumore di fondo, ecc.) della misura ante operam. Solo in questo modo si può essere sicuri della perfetta confrontabilità dei dati dei due differenti rilievi acustici.

Il secondo metodo è meno preciso ma è l'unico adottabile in assenza di rilievi acustici ante operam. In tal caso la misura viene eseguita non in una medesima posizione in due rilievi diversi ma in due posizioni differenti comunque equivalenti per la distanza della sorgente emittente e per l'ambiente di propagazione. Il vantaggio di tale procedura di misura è legato alla possibilità di registrare in contemporanea i due segnali, provenienti dalle due diverse posizioni, utilizzando uno strumento di misura (fonometro integratore) a doppio canale.

Sulla base di queste considerazioni si è scelto di eseguire la campagna di misure mediante indagine in sito e con rilievo indiretto, utilizzando uno strumento bicanale che consente di registrare in simultanea i livelli di rumore con e senza barriera.

4.2 Campagna di misure in sito

Metodologia adottata

La campagna di misure effettuata dall'ANPA, Settore Laboratorio di Acustica, in collaborazione con la società Autostrade, è stata strutturata in due fasi: una prima fase di misure, eseguita nel periodo autunnale, di cui vengono illustrati i risultati nel presente rapporto, e una seconda fase di misure, da realizzare nella prossima primavera che consentirà un approfondimento adeguato sull'argomento.

I rilievi acustici sono stati eseguiti lungo la rete autostradale italiana su quei manufatti vegetali che permettevano l'applicazione del metodo indiretto sopra citato. Non sempre infatti è stato possibile trovare dei siti accessibili per le misure (presenza di recinzione metallica invalicabile, presenza di fitti roveti, ecc.), oppure scegliere due posizioni di misura, relative alla situazione con e senza barriera, acusticamente equivalenti in termini di morfologia del sito (uguali caratteristiche del terreno, del corpo stradale, ecc.) e di paesaggio sonoro (uguale rumore di fondo).

L'indice acustico utilizzato in questa serie di misure è stato il livello sonoro equivalente ponderato A (L_{eqA}), con un tempo di integrazione di 1 secondo. Il parametro è senz'altro quello più utilizzato per la quantificazione del rumore ambientale e la scelta del tempo di integrazione è adeguata al tipo di misura da realizzare ed alla capacità di immagazzinamento dati dello strumento utilizzato (in pratica al diminuire del tempo di integrazione aumenta la quantità di dati che lo strumento deve gestire e memorizzare).

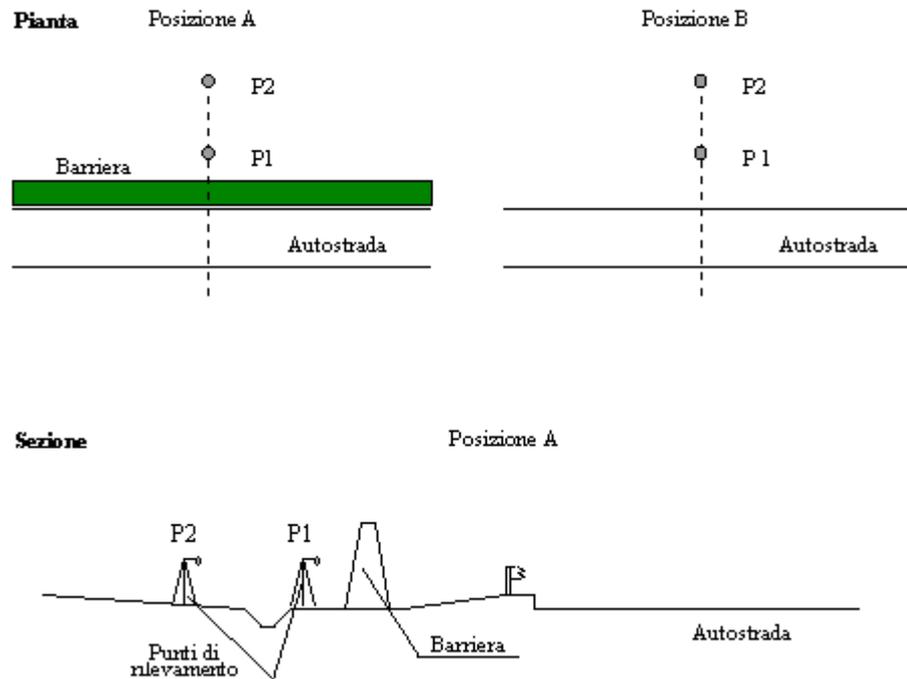
La strumentazione utilizzata è un fonometro integratore LARSON & DAVIS 2900, di classe 1 come definito negli standard I.E.C. (International Electrotechnical Commission) n° 651 del 1979 e n°804 del 1985. Tale apparecchiatura funziona anche come analizzatore di spettro, cioè consente il rilievo dello spettro del rumore di un certo segnale in bande 1/3 di ottava così da analizzare il fenomeno sonoro alle diverse frequenze.

Il LARSON & DAVIS 2900 è inoltre uno strumento di misura bicanale che permette di acquisire in tempo reale i segnali sonori di due diversi microfoni collegati e ciò permette di registrare simultaneamente lo stesso fenomeno sonoro percepito in due diverse posizioni.

Le misure sono state eseguite con la sorgente naturale di rumore, il traffico veicolare presente nella infrastruttura stradale per un tempo di 10 minuti, tempo sufficientemente significativo per caratterizzare la rumorosità stradale.

Ogni rilievo acustico ha previsto il posizionamento di un microfono dietro la barriera vegetale, posizione A, per ricevere il livello di rumore schermato e di un secondo microfono in un sito adiacente, a circa 15-20 m di distanza dal bordo laterale della barriera, non influenzato dalla presenza dello schermo, posizione B.

Rappresentazione schematica di un sito di misura



La misura è stata ripetuta per diverse posizioni (P1 e P2) poste su uno stesso piano ortogonale alla sorgente ma ad una differente distanza dalla barriera vegetale, in tal modo è stato possibile verificare l'abbattimento del rumore di tale manufatto al crescere della distanza sorgente-ricettore.

L'uso del fonometro bicanale ha consentito l'acquisizione in contemporanea dei segnali registrati dai microfoni posti nella posizione A e in quella B. I dati acustici ottenuti durante ogni singola misurazione risultano facilmente confrontabili in quanto si riferiscono allo stesso evento sonoro. In pratica, dopo ogni acquisizione è stato possibile ricavare la perdita per inserzione della barriera ("insertion loss") come differenza dei livelli sonori determinati in presenza ed in assenza della barriera. L'insertion loss rappresenta il miglior indice di valutazione dell'attenuazione acustica di una barriera antirumore.

In tal modo non è essenziale definire le caratteristiche della sorgente sonora (flusso veicolare esistente), condizioni meteorologiche (direzione e velocità del vento, temperatura e umidità), è sufficiente evitare di eseguire le misure in situazioni limite per il sito in esame, ovvero forte vento (velocità maggiore di 5 m/s), pioggia, nebbia, situazioni di traffico eccezionali.

Estremamente importante risulta invece assicurare la perfetta confrontabilità dei dati acustici ricavati da un microfono e dall'altro. Ciò si può garantire solo se le due posizioni ove eseguire la misura con barriera (posizione A) e quella senza barriera (posizione B) sono perfettamente equivalenti. Equivalenza significa medesima caratteristica del corpo stradale (rilevato, trincea, viadotto, ecc.), dell'ambiente circostante (presenza di ostacoli naturali, tipo di terreno vegetale) e uguale caratteristiche foniche (assenza di sorgenti di rumore secondarie capaci di influenzare le rilevazioni di rumore in uno dei due punti di misura).

Primi risultati dell'indagine in sito

Con riferimento alle barriere esaminate, si riportano di seguito i dati relativi a due manufatti che forniscono una buona resa come schermo antirumore (tav.1-2-3-4).

I grafici relativi alla storia temporale del segnale, per le barriere 1 e 2, evidenziano come il rumore, registrato simultaneamente con i due microfoni, con e senza barriera, presenta lo stesso andamento. I picchi di rumore evidenziati durante il periodo di misura avvengono all'incirca in corrispondenza di una medesima ascissa. Questo significa che il segnale registrato dai due microfoni si riferisce allo stesso evento sonoro, il passaggio dei veicoli stradali sulla infrastruttura vicina registrato con piccolissime differenze di tempo.

Esaminando più in dettaglio i due grafici relativi alla barriera 1, si nota che mentre nel primo, relativo ad una misura eseguita appena dietro la barriera, esiste una notevole corrispondenza tra l'andamento delle curve nella situazione senza e con barriera, nel secondo, relativo ad una misura fatta 6,5 m dietro lo schermo, cominciano a notarsi delle differenze molto piccole ma visibili tra la forma delle due curve (zona cerchiata). Ciò significa che al crescere della distanza dei microfoni dalla sorgente principale (la strada), cominciano a presentarsi altri fenomeni sonori (fruscio di piante vicine, presenza di folate di vento) che possono aver influenzato il segnale registrato da un microfono piuttosto che dall'altro. Nel nostro caso la differenza risulta essere davvero minima però questa osservazione suggerisce di porre la massima attenzione nella posizione dei due microfoni. In egual modo essi devono collocarsi lontano da ostacoli naturali o artificiali nonché da sorgenti puntuali di rumore, che possono rendere poco attendibile il confronto dei livelli di rumore registrati.

Andando ad esaminare i dati acustici scritti nelle tabelle relative alle barriere 1 e 2, si nota come l'attenuazione acustica della barriera diminuisca via via che ci si allontana dal manufatto. Andando a leggere i valori dei livelli di rumore registrati nelle misure acquisite per la barriera 1 e la 2 si può evidenziare qualche interessante osservazione.

Infatti per la barriera 1 i livelli sonori registrati dietro la barriera a 6,5 m risultano inferiori di quelli registrati a 1,5 m (65,3 dB contro 67,0 dB), mentre per la barriera 2 i livelli sonori ottenuti dietro la barriera a 8,5 m di distanza risultano più alti di quelli ricavati dietro la barriera a 6 m (61,3 contro 60,9 dB). Si fornisce adesso una spiegazione a tale apparente incongruenza.

La spiegazione è legata alla zona d'ombra esistente dietro uno schermo acustico. Quando si esegue la misura dietro la barriera, all'interno di questa zona d'ombra, l'effetto schermante dell'ostacolo si somma all'effetto di divergenza geometrica delle onde sonore. Quindi, come evidenziano le misure relative alla barriera 1, al crescere della distanza del ricettore (microfono) dalla sorgente il rumore diminuisce.

Al contrario quando si esegue la misura dietro la barriera, in un punto P_i esterno alla zona d'ombra, si verifica un aumento del livello di rumore al crescere della distanza dalla sorgente, come per le misure eseguite per la barriera 2. In pratica aumentando la distanza tra sorgente e ricettore si riscontra una diminuzione del livello sonoro percepito per effetto della divergenza geometrica, ma soprattutto si verifica un innalzamento del rumore per la limitata attenuazione acustica indotta dalla barriera.

Questo aspetto ha una enorme valenza nell'ambito del dimensionamento e nella scelta di una barriera verde, in quanto la resa acustica di tale manufatto antirumore deve essere valutata solo in relazione al ricettore da proteggere. In pratica la presenza di certe barriere vegetative nella rete stradale ha spesso un semplice effetto di mascheramento visivo della sorgente di rumore, piuttosto che di schermatura, e di conseguenza perde la reale funzione antirumore.

Nella prossima fase della campagna di misura sarà interessante fare un'analisi più approfondita sulle caratteristiche della zona d'ombra esistente dietro uno schermo vegetale anche in relazione alle caratteristiche del corpo stradale (trincea, rilevato). Inoltre sarà utile verificare l'attenuazione delle diverse barriere anche in termini di frequenza, controllando come il segnale di rumore viene modificato nei propri contenuti spettrali propagandosi attraverso la barriera vegetale. Interessante sarà anche ripetere le misure nella stagione primaverile quando lo stato di maturazione delle specie vegetative sarà diverso, in tal modo si potranno determinare eventuali cambiamenti stagionali dell'attenuazione acustica di una barriera verde.

CONCLUSIONI

Durante l'indagine illustrata nel presente rapporto tecnico, sono stati evidenziati diversi aspetti positivi. Le esperienze italiane riguardanti installazioni di barriere verdi, seppur sporadiche rispetto alla rete infrastrutturale di trasporto presente sul territorio, testimoniano un crescente interesse verso questo tipo di protezione antirumore.

E' evidente, tuttavia, l'ampio margine di sviluppo di tali tecniche, e la conseguente necessità di iniziative tese a colmare le carenze conoscitive in materia.

La consapevolezza che tali sistemi sono preferibili nella riduzione degli specifici impatti ambientali dovrà determinare indirizzi per ulteriori approfondimenti relativi non solo alle tecniche di realizzazione delle opere ma anche e soprattutto alla loro contestualizzazione nell'ambito territoriale.

In particolar modo occorre indagare sulle modalità pianificatorie degli interventi che debbono tenere in debito conto il corretto inserimento nel contesto naturale ed antropico del sito in cui si viene ad operare. Per far questo bisogna mettere a punto un approccio metodologico interdisciplinare teso ad includere ogni aspetto naturalistico, ingegneristico e socio-economico connesso a progetti di bonifica acustica.

Solo così, ciò che oggi viene ancora considerato un problema tecnico da risolvere (il rumore) potrà rappresentare un'occasione di sviluppo sostenibile e di effettivo miglioramento ambientale.

La campagna di misure in situ, di cui si sono illustrati i primi risultati, può non solo consentire una migliore comprensione del processo attenuativo indotto dalle diverse tipologie di barriere vegetali ma può altresì fornire degli strumenti utili per la definizione di una norma tecnica per tali manufatti. Infatti, sulla base di esperienze maturate sul campo, sarà possibile definire disciplinari e capitolati realistici e praticabili per imprese e committenze al fine di ottimizzare la progettazione, realizzazione e installazione di barriere verdi.

BIBLIOGRAFIA

1. Agostoni F., Marinoni C.M. - *Manuale di progettazione degli spazi verdi* -Ed. Zanichelli, Bologna, 1987;
2. Battistoni P. - *Filtri verdi per l'inquinamento* - Atti del convegno "Dal '96 al 2000: interventi sul territorio e rapporti tra impresa e committenza" - Flòroma Business '96: Ente Fiera di Roma, 1996;
3. Battistoni P., Poddi C., Grossoni P., Bussotti F., Cenni E. - *Attitudine delle barriere vegetale a ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico di origine stradale* - ACER, 4:12-17, 1995;

4. Battistoni P., Grossoni P., Bussotti F., Cenni E., Ferretti M. - *Biorilevamento degli inquinanti atmosferici* - AUTOSTRADE 4/ 1989 ;
5. Commissione " ANAS, Ferrovie, Autostrade, AISCAT, Ministero dell'Ambiente ", *Istruzioni per l'inserimento ambientale delle infrastrutture stradali e ferroviarie con riferimento al controllo dell'inquinamento acustico*, 1992;
6. D.P.C.M. 1/3/91- *Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno* - G.U n.57 del 8 Marzo 1991 serie generale;
7. Grossoni P. - *Effetti della vegetazione sul rumore* - Atti giornate di studio "Global change: il ruolo della vegetazione", Accademia dei Georgofili, Firenze, 1993;
8. *Legge quadro sull'inquinamento acustico 447/95* - G.U. n.125 del 30 Ottobre 1995 serie generale;
9. Malcevschi S., Bisogni L., Gariboldi A. - *Reti ecologiche ed interventi di miglioramento ambientale* - Il Verde Editoriale -1996;
10. Ratti A., *Terre armate* , VILLE E GIARDINI, 324:58-64, 1997;
11. Romani P., Martino A., Caracci C.- *Relazione sullo stato dell'arte in Italia e in Europa per ciò che attiene le barriere antirumore vegetali e/o miste*; Quaderno interno ITALFERR - SIS T.A.V.
12. Romani P., Ventura F., - *La rumorosità ambientale: il ruolo delle barriere acustiche*, Ed.Pitagora, 1990;
13. Sauli G., Sieben S. - *Tecniche di rinaturazione e di ingegneria naturalistica.*, Ed. Patron, Bologna, 1995.