

INFRASTRUTTURE STRADALI A SAN PAOLO DEL BRASILE: METODOLOGIA SEGUITA PER LA PROGETTAZIONE DELLE BARRIERE ACUSTICHE IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE STRADALI ED AL PARCO AUTOMOBILISTICO

Raffaele Pisani (1), Chiara Devecchi (1), Paolo Onali (1)

1) Studio di Ingegneria Acustica Pisani, Rivoli (TO)

1. Premessa

In Brasile non è sviluppata, sotto il profilo ingegneristico, la metodica di progettazione delle opere di riduzione del rumore per le infrastrutture di trasporto. È stato necessario mettere a punto un metodo di progettazione evoluto che tenga conto del numero di corsie e della particolare orografia del terreno. La previsione del rumore immesso nel territorio, calcolata dal modello numerico di simulazione, ha evidenziato le criticità esistenti e consentito di definire gli interventi di mitigazione. Il metodo *NMPB Routes 96* utilizzato in Europa non si adatta alle autostrade brasiliane perché i mezzi pesanti e le pavimentazioni sono diverse (cemento al posto dell'asfalto). Per questo motivo, è stato messo a punto un metodo di calcolo basato sulla potenza sonora misurata appositamente. Per poter redigere i progetti che sono stati commissionati in tratti diversi del Rododanel (tangenziale di San Paolo di Brasile lunga 175 km) si è reso necessario realizzare, attraverso misure in loco, una cospicua banca dati della potenza sonora emessa da tratti di autostrada in funzione della tipologia di pavimentazione, numero di corsie, pendenza, composizione del traffico. Le potenze sonore, determinate per le autostrade brasiliane, si discostano da quelle proposte nella normativa europea.

2. Metodologia seguita per la progettazione delle barriere acustiche

Il territorio interessato dalla tangenziale di San Paolo è orograficamente complesso per la presenza di numerose favelas che si incontrano lungo il tracciato. Alcuni tratti della tangenziale, già aperti al traffico, hanno consentito precise misurazioni per la progettazione delle barriere acustiche. Altri lunghi tratti, invece, sono in fase di realizzazione e, anche per essi, devono essere previste barriere acustiche. Il tracciato autostradale si sviluppa su quattro corsie per carreggiata e le due carreggiate sono separate da una fascia spartitraffico superiore a 12 m. I mezzi pesanti sono obbligati a percorrere le prime due corsie ed è prevista, per ciascuna carreggiata, una corsia di emergenza di 3 m. L'autostrada corre in una sede che è stata preventivamente realizzata demolendo tutte le case che si collocano all'interno di una fascia di 50 m per lato. Il metodo di progettazione delle barriere deve essere messo a punto considerando i seguenti aspetti: a) la potenza sonora emessa da ciascuna delle singole corsie; b) la larghezza delle carreggiate e la

distanza dei ricettori più esposti non inferiore a 50 m; 3) i limiti di legge che sono legati al rumore di fondo preesistente. Le aree nelle quali sono stati realizzati i dieci progetti sono collocate sia lungo tratti del Rodoanel già aperti al traffico, sia lungo i tratti in fase di realizzazione. Per questo motivo, i progetti hanno seguito metodologie diverse in quanto sono presenti i due seguenti casi:

1. autostrada in esercizio: si è reso necessario misurare il rumore prodotto dal traffico in diversi punti del territorio, che è stato normalizzato rispetto ad un traffico medio giornaliero fornito da Dersa.
2. autostrada in progetto: in questo caso, si rende necessario stimare il rumore futuro mediante un calcolo teorico che si basa sulla geometria del tracciato previsto, sul traffico ipotizzato e sulla distanza ed altezza degli edifici investiti dal rumore.

Il rumore di fondo preesistente all'entrata in esercizio della nuova infrastruttura, necessario per la determinazione del livello di soglia, è determinato dal traffico sulla viabilità locale, dalle attività dell'uomo, dagli stabilimenti industriali, etc. Anche esso può essere determinato attraverso misurazioni specifiche, ovvero utilizzando un modello di previsione che considera il traffico sulle strade prossime al punto di osservazione. In entrambi i casi è possibile determinare il rumore presente nell'area abitata ed eseguire una valutazione diretta del disturbo per confronto con i limiti di legge ammessi dalle vigenti normative. Per definire i limiti da non superare si è reso necessario redigere un modello della viabilità ordinaria nei casi in cui la tangenziale è aperta al traffico e misurare direttamente il rumore di fondo nei casi in cui la tangenziale è in costruzione. Per quanto riguarda il calcolo di previsione del rumore, si è reso necessario determinare la potenza sonora per diverse situazioni di tracciato, asfalto, etc. ed inserire, nel modello previsionale, il dato corretto con i flussi di traffico di progetto. Per la corretta progettazione delle barriere è importante la risoluzione geometrica del modello: ogni corsia ha una potenza sonora diversa dalle altre in quanto è diverso il rapporto tra veicoli leggeri e pesanti. In molti casi, le aree edificate sono delle favelas con basse abitazioni, alte 6 m, il territorio non è piano, ma presenta delle pendenze rilevanti in quanto il tracciato scorre in trincea o su viadotti. Dai dati geometrici sopra riportati, si evince che il territorio deve essere modellato con definizione massima di 1 m. Questo si ottiene dettagliando anche le linee di rumore, una per corsia, con la precisa determinazione della potenza sonora per metro lineare in base alla seguente distribuzione del traffico rilevata sulla località:

Tabella 1 - distribuzione del traffico

	Emergenza	1a corsia	2a corsia	3a corsia	4a corsia
Leggeri %	-	10	20	30	40
Pesanti %	-	70	30	0	0
Velocità km/h	-	60	70	80	90

3. La determinazione della potenza sonora

Si ricorda che il livello di potenza sonora, emesso da un metro di corsia, è dato dalla seguente relazione:

$$(1) \quad L_w = L'_w(Q, p) + K_{pendenza} + K_{pavimentazione} + K_{saturazione} \quad [dB(A)]$$

che prevede la conoscenza del livello di potenza sonora nominale $L'_w(Q, p)$ in condizioni normali (asfalto normale, pendenza zero e traffico riferito ad una situazione di fluidità). Il livello di potenza reale L_w si ottiene correggendo la potenza nominale con fattori correttivi più oltre esposti. La potenza sonora è ricavata mediante misure in con-

dizioni standard ed a una distanza dalla tangenziale pari alla distanza di una carreggiata. Si realizza un modello geometrico della sezione di territorio piano con asfalto normale e si misura il livello di pressione sonora a due altezze diverse (1.5 m e 5 m). I dati raccolti, unitamente a quelli misurati del traffico e della velocità stimata dei diversi mezzi, hanno consentito, mediante la legge di regressione, di ricavare la seguente relazione di **potenza sonora nominale $L'_w(Q, p)$** :

$$(2) \quad L'_w(Q, p) = 11,86 \cdot \log_{10} \left(Q \cdot \left(1 + (e-1) \cdot \frac{p}{100} \right) \right) + 50,68 \quad [\text{dB(A)}]$$

dove:

Q è il flusso medio orario di veicoli leggeri e pesanti e p è la percentuale media oraria di mezzi pesanti;

e indica l'equivalente energetico che equipara l'energia sonora emessa dal camion a quella emessa da un numero di auto che deve essere determinato. Si determina l'equivalente energetico o attraverso misure dirette del SEL.

Il valore correttivo K_{pendenza} è stato determinato mediante misure in sezioni con diverse pendenze stradali, riferendo la potenza sonora ad un flusso di traffico di normalizzazione e procedendo mediante analisi di regressione. Per il Rodoanel, gli addendi correttivi dei livelli sono riportati nella seguente tabella 2:

Tabella 2 – Addendi correttivi dei livelli

	K_{pendenza} dB
In discesa (pendenza minore del 5 %)	-1.5
Pianeggiante	0.0
In salita (pendenza superiore al 10 %)	+2.2

Molte autostrade brasiliane presentano una pavimentazione realizzata con lastre di cemento. Le numerose misure condotte in diverse sezioni, con pavimentazioni in cemento e pavimentazione in asfalto, hanno consentito di determinare i seguenti addendi correttivi $K_{\text{pavimentazione}}$ del livello di potenza nominale (Tabella 3):

Tabella 3 – Addendi correttivi del livello di potenza nominale

Tipo di pavimentazione	$K_{\text{pavimentazione}}$ dB
asfalto	0,0
cemento	+ 1,5
asfalto drenante	- 3,0

Molti tratti della tangenziale di San Paolo raggiungono facilmente il livello di saturazione, specialmente dove ci sono immissioni di veicoli provenienti da grosse aree abitate (ad es. Embù, Sao Bernardo do Campo, Osasco, etc.). Le condizioni di saturazione del traffico riducono la velocità dei veicoli e dei mezzi pesanti, rilievi di rumore nelle condizioni di saturazione (dalle ore 6:00 alle ore 8:00 del mattino e dalle ore 17:00 alle ore 20:00) hanno consentito di ricavare i valori correttivi $K_{\text{saturazione}}$ mediante la seguente relazione:

$$(3) \quad K_{\text{satrazione}} = 5,94 \cdot \left(\frac{Q \cdot \left(1 + (e_{tr} - 1) \cdot \frac{p}{100} \right)}{C} \right)^2 + 2,06 \cdot \left(\frac{Q \cdot \left(1 + (e_{tr} - 1) \cdot \frac{p}{100} \right)}{C} \right) - 0,11 \quad [\text{dB(A)}]$$

dove:

e_{tr} indica l'equivalente trasportistico dei camion, normalmente posto pari a 2,5, che tiene conto del rallentamento determinato dall'ingombro del mezzo pesante rispetto al leggero

C è la capacità massima di corsia, in veicoli/h, desunta dalle relazioni di deflusso di traffico che legano velocità dei mezzi, percentuale di mezzi pesanti p , flusso di traffico complessivo Q .

4. Conclusioni

La progettazione delle barriere acustiche è stata eseguita assimilando le diverse corsie per carreggiata ad altrettante linee di emissione sonora con potenza sonora determinata dai flussi di traffico per corsia, dalla velocità media dei singoli mezzi per corsia, dalle caratteristiche del tracciato stradale in relazione al tipo di pavimentazione, pendenza e saturazione, etc. Definita la sorgente sonora come linee di emissione sonora multiple contemporanee si determina, nel punto ricettore il livello sonoro complessivo ed il contributo delle singole corsie. Nella maggior parte dei casi analizzati, si è rilevato che il 50% dell'energia proviene dalle prime corsie per la preponderanza dei mezzi pesanti. Nella figura 1 si riporta il risultato di questa analisi per un ricettore distante 60 m dalla carreggiata vicina.

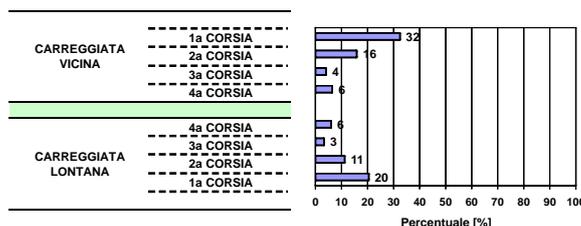


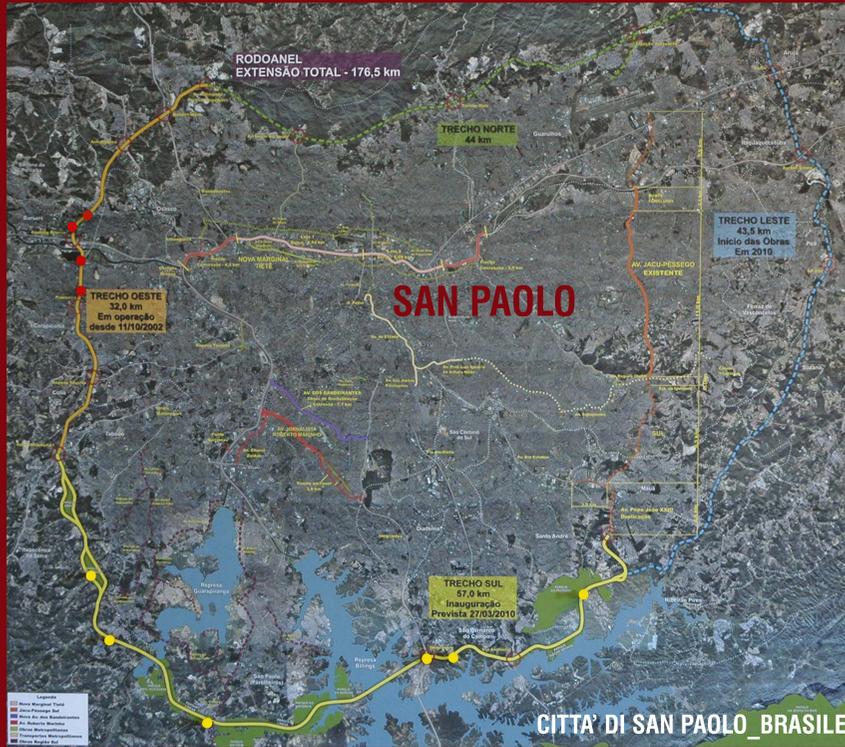
Figura 1 – Contributo percentuale dell'energia immessa da ciascuna corsia sul ricettore posto a 60 m dalla carreggiata

La condizione riportata in figura 1 si riferisce ad una distanza tra ricettore e bordo autostrada appena fuori la fascia di dominio di 50 m. I contributi delle singole corsie cambiano all'aumentare della distanza del ricettore dall'autostrada in quanto, normalmente, tutta la sede stradale ha una larghezza complessiva di circa 60 m. Tale scenario consente un dimensionamento più corretto dell'altezza delle barriere acustiche, in quanto è stato desunto, per ogni ricettore, il contributo dell'emissione sonora di ciascuna corsia e dimensionata una barriera anche nella fascia spartitraffico ove sono a disposizione 12 m di terreno libero da ingombro.

5. Bibliografia

- [1] Pisani R., Devecchi C., Onali P. *Infrastrutture stradali a San Paolo del Brasile: le normative brasiliane sul rumore in relazione all'impostazione metodologica seguita per la riduzione del rumore*, in atti del convegno AIA 2010.
- [2] NBR 10151: 2000, *Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento*.

INFRASTRUTTURE STRADALI A SAN PAOLO DEL BRASILE: METODOLOGIA SEGUITA PER LA PROGETTAZIONE DELLE BARRIERE ACUSTICHE IN RELAZIONE ALLE CARATTERISTICHE STRADALI ED AL PARCO AUTO



METODO PER IL PROGETTO DI BARRIERE ACUSTICHE TENUTO CONTO DELLA VIGENTE NORMATIVA IN BRASILE

AUTOSTRADA ESISTENTE



AUTOSTRADA IN PROGETTO

