

# Caratterizzazione acustica di alcune tipologie di dossi

P. Cicoira<sup>a</sup>, P. Miori<sup>b</sup>, P. Simonetti<sup>c</sup>

<sup>a</sup> *Libero professionista - Trento*

<sup>b</sup> *Comune di Trento*

<sup>c</sup> *Provincia autonoma di Trento*

Fra gli interventi di contenimento del rumore in ambito urbano individuati dal Piano di Risanamento Acustico (PRA) della città di Trento è ricorrente la proposta di ridurre la velocità dei veicoli in transito in determinati segmenti stradali, provvedimento realizzabile con la posa in opera di dossi rallentatori in conglomerato bituminoso o prefabbricati. Al fine di scegliere su basi oggettive i dossi che meglio rispondono alle esigenze di contenimento della velocità e, conseguentemente, del rumore è stata condotta una sperimentazione in un'area periferica su un tratto (650 m) di strada chiusa al traffico. Sono state esaminate otto diverse tipologie di veicoli (4 leggeri e 4 pesanti) e per ogni dosso sono stati eseguiti quattro passaggi a diverse velocità e rilevati i corrispondenti parametri acustici in tre posizioni microfoniche e la velocità prima e dopo ciascun dosso.

## INTRODUZIONE

Il Comune di Trento, in collaborazione con l'Università di Ferrara, ha predisposto negli anni 1997-1999 il Piano di Risanamento Acustico. Fra gli interventi di bonifica, proposti dal citato piano, spicca la necessità di ridurre la velocità dei veicoli. Tale obiettivo si prospetta non solo ai fini di un miglioramento acustico, ma anche per migliorare la messa in sicurezza delle strade di quartiere, spesso contraddistinte da una velocità di percorrenza troppo elevata.

Fra le soluzioni indicate, quella dei dossi rallentatori è la più nota e, senza dubbio, la maggiormente diffusa nelle realtà locali.

La letteratura di settore, in ambito nazionale ed europeo, non dispone di verifiche sistematiche degli effetti sui livelli di inquinamento acustico prodotti da queste tipologie di intervento, ma fornisce solo informazioni sommarie. Pertanto, allo scopo di proporre e selezionare le iniziative migliori finalizzate alla riduzione del rumore, tenendo conto del rispetto della sicurezza stradale, si è ravvisata la necessità di compiere una serie di sperimentazioni sistematiche in tale ambito.

Nel presente studio è stata fatta distinzione fra due gruppi di dossi:

- dossi prefabbricati;
- dossi costruiti in opera.

Attraverso la costruzione in opera di diversi tipi di dossi, è stata valutata l'eventuale efficacia sulla riduzione del livello sonoro e, nel contempo, sul comportamento dell'automobilista. Il conseguimento di tali obiettivi è stato perseguito anche mediante l'impiego di diverse tipologie di veicoli, allo scopo di considerare il parco mezzi tipicamente circolante nelle città.

In particolare, si è operata una distinzione fra *veicoli leggeri* e *veicoli pesanti*, per consentire nelle fasi successive la creazione di diversi scenari a seconda del tipo di strada che si andrà, di volta in volta, ad analizzare.



FIGURA 1. Dosso prefabbricato



FIGURA 2. Dosso costruito in opera

## INDAGINE SPERIMENTALE

La sperimentazione dei vari tipi di dossi è stata eseguita su un tratto di strada di lunghezza pari a 650 metri, a doppio senso, collocato nell'area dell'Interporto di Trento. I dossi sono stati posizionati sulla strada ad una distanza media fra loro di 120 metri, sufficiente per evitare interferenze nella rilevazione della rumorosità e della velocità dei singoli veicoli.

L'area dell'Interporto è interessata dalla presenza di altre sorgenti di rumore, fra le quali l'autostrada, che si trova ad una distanza di circa 200 metri, e la ferrovia.

Relativamente al rumore prodotto dall'autostrada, si evidenzia che è costante e poco influente rispetto ai fenomeni acustici oggetto della sperimentazione; per contro, le misure fonometriche sono state sospese durante il passaggio di convogli ferroviari e durante il transito dei mezzi pesanti operanti nell'area interportuale.

Nel corso della sperimentazione sono state verificate le prestazioni acustiche di sei diversi tipi di dossi costruiti in opera e di tre prefabbricati. I dossi sono stati costruiti in conformità a quanto stabilito dalle disposizioni ministeriali.

Su ogni dosso rallentatore sono transitate otto diverse tipologie di veicoli (autobus, camion, camioncino, furgone, auto di grossa cilindrata, auto di media cilindrata, auto di piccola cilindrata, motorino), effettuando quattro passaggi per ognuna delle diverse tipologie. In particolare, due passaggi sono stati effettuati a velocità discrezionale del guidatore e due ad una velocità prestabilita in funzione del tipo di dosso. Per ogni transito sono stati rilevati i livelli di rumorosità in ingresso, in corrispondenza ed in uscita del dosso rallentatore, contemporaneamente alla velocità in ingresso e in corrispondenza del medesimo.



FIGURA 3. Passaggio tipo

In tutti e tre i punti di misurazione il microfono è stato posizionato ad un'altezza da terra di 1.5 metri e ad una distanza dalla corsia di marcia di 3.5 metri. Ciascuna misurazione ha avuto una durata tale da includere l'intero evento sonoro prodotto dal transito dei veicoli. Per ogni transito sono stati rilevati i seguenti parametri: "time history", analisi in frequenza, velocità di transito (in ingresso ed in corrispondenza del rallentatore), tipologia del veicolo.

Per il rilevamento della velocità sono stati impiegati due apparecchi radar a microonde, contenuti in scatole in alluminio e installati su pali posti su carrelli appositamente realizzati per favorirne la movimentazione.



FIGURA 4. Installazione degli apparecchi



FIGURA 5. Apparecchio di misurazione

## ELABORAZIONE DEI DATI

Sono stati acquisiti gli andamenti temporali ("time history") di 288 transiti rilevati nei 3 diversi punti (per un totale di 864 diagrammi). Mediante i software di elaborazione dei dati fonometrici, per ogni passaggio è stata eseguita l'analisi della "time history" per determinare i profili sonori dei singoli eventi, nonché lo spettro sonoro per bande a terzi d'ottava nell'intervallo di frequenza compreso fra 25 Hz e 10 kHz. Inoltre, per consentire il confronto della rumorosità prodotta dai diversi tipi di

rallentatori è stato impiegato il valore globale e spettrale del SEL.

In funzione del tipo di rallentatore e del tipo di mezzo utilizzato per il passaggio sono stati determinati:

- il valore medio logaritmico dei livelli di SEL(A);
- il valore medio delle velocità;

- i valori medi logaritmici dei SEL per ciascuna banda di frequenza.

Inoltre, per confrontare i livelli equivalenti orari, che si potrebbero ottenere con determinate ipotesi di flusso veicolare, sono stati calcolati i valori di SEL(A), distinti nelle seguenti categorie: *veicoli leggeri* e *pesanti*.



FIGURA 6. Veicoli pesanti



FIGURA 7. Veicoli leggeri

Per ogni dosso rallentatore, allo scopo di caratterizzare la rumorosità dei mezzi pesanti, è stata eseguita la media logaritmica dei SEL(A) sulle prime tre tipologie di veicoli (autobus, camion, camioncino) e, successivamente, sulle rimanenti per ottenere un dato rappresentativo anche dei veicoli leggeri.

Il livello orario è stato ottenuto applicando la formula di seguito riportata, che tiene conto del numero di veicoli, distinti fra leggeri e pesanti, e del livello di rumorosità, espresso in SEL(A), relativo a ciascun dosso.

$$L_{Aeq, h} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{3600} \left( V_L \cdot 10^{\frac{SEL(A) \text{ leggeri}}{10}} + V_p \cdot 10^{\frac{SEL(A) \text{ pesanti}}{10}} \right) \right] \text{ dB(A)}$$

dove:

- 3600 è la durata di un'ora in secondi;
- $V_L$  è il numero di veicoli leggeri su base oraria;
- $V_P$  è il numero di veicoli pesanti su base oraria;
- $SEL(A)$  leggeri è il livello sonoro medio prodotto dai veicoli leggeri in funzione del tipo di dosso;
- $SEL(A)$  pesanti è il livello sonoro medio prodotto dai veicoli pesanti in funzione del tipo di dosso.

Essendo il  $SEL(A)$  riferito ad un secondo, il rapporto sul tempo di riferimento di un'ora, pari a 3600 secondi, permette di ottenere un livello continuo equivalente ( $L_{Aeq,h}$ ) su base oraria.

I valori di  $SEL(A)$ , distinti fra veicoli leggeri e veicoli pesanti, sono riportati nella Tabella 1, suddivisi fra le varie posizioni microfoniche.

**Tabella 1.** Risultati delle misurazioni (la velocità è espressa in km/h)

Tipo di dosso	In ingresso del dosso				In corrispondenza del dosso				In uscita del dosso	
	SEL(A) leggeri	Vel. leggeri	SEL(A) pesanti	Vel. pesanti	SEL(A) leggeri	Vel. leggeri	SEL(A) pesanti	Vel. pesanti	SEL(A) leggeri	SEL(A) pesanti
C37	74.4	37	82.1	38	75.3	30	86.1	27	76.3	86.7
C36	74.7	35	82.6	35	74.4	29	86.4	28	75.5	86.6
C45	75.3	41	85.6	39	75.1	39	85.1	35	75.8	85.7
C44	75.4	41	86.3	39	75.3	40	83.8	39	76.7	85.8
C53	77.0	45	84.4	41	76.9	45	83.1	38	78.1	86.0
D53	77.1	47	84.8	42	77.4	48	85.2	45	77.3	85.2
P37	74.3	33	85.0	32	74.8	28	89.2	26	75.6	87.1
P45	73.8	38	84.5	38	74.1	30	86.1	32	75.9	87.6
P53	76.6	48	86.0	42	76.9	42	85.4	40	77.8	85.8

A titolo esemplificativo, nelle Tabelle 2 e 3, sono stati definiti due scenari caratterizzati da una diversa composizione del traffico veicolare. In particolare, è stata

ipotizzata una composizione di traffico con una percentuale di veicoli pesanti variabile nella misura del 5 e 10%.

**TABELLA 2.** 1<sup>a</sup> Ipotesi di traffico: 1000 veicoli leggeri e 50 veicoli pesanti

Tipo di dosso	In ingresso del dosso			In corrispondenza del dosso			In uscita	Differenze	
	(1) $L_{Aeq,h}$	Velocità leggeri	Velocità pesanti	(2) $L_{Aeq,h}$	Velocità leggeri	Velocità pesanti	(3) $L_{Aeq,h}$	(2) - (1)	(3) - (1)
C37	70.0	37	38	71.8	30	27	72.7	1.8	2.7
C36	70.3	35	35	71.4	29	28	72.1	1.0	1.8
C45	71.6	41	39	71.3	39	35	71.9	-0.3	0.3
C44	71.9	41	38	71.1	40	39	72.7	-0.8	0.7
C53	72.5	45	41	72.2	45	38	73.7	-0.3	1.2
D53	72.7	47	42	73.0	48	45	72.9	0.3	0.2
P37	70.7	33	32	73.0	28	26	72.4	2.2	1.6
P45	70.2	38	38	71.1	30	32	72.7	0.9	2.5
P53	72.6	48	42	72.7	42	40	73.4	0.1	0.8

TABELLA 3. 2<sup>a</sup> Ipotesi di traffico: 1000 veicoli leggeri e 100 veicoli pesanti

Tipo di dosso	In ingresso del dosso			In corrispondenza del dosso			In uscita	Differenze	
	(1) L <sub>Aeq,h</sub>	Velocità leggeri	Velocità pesanti	(2) L <sub>Aeq,h</sub>	Velocità leggeri	Velocità pesanti	(3) L <sub>Aeq,h</sub>	(2) - (1)	(3) - (1)
C37	70.9	37	38	73.2	30	27	74.0	2.3	3.1
C36	71.3	35	35	73.0	29	28	73.6	1.7	2.3
C45	72.9	41	39	72.5	39	35	73.2	-0.4	0.3
C44	73.3	41	38	72.1	40	39	73.8	-1.2	0.4
C53	73.3	45	41	72.9	45	38	74.6	-0.5	1.3
D53	73.6	47	42	73.9	48	45	73.8	0.3	0.2
P37	72.1	33	32	75.0	28	26	73.9	2.9	1.8
P45	71.6	38	38	72.7	30	32	74.3	1.1	2.7
P53	73.7	48	42	73.7	42	40	74.4	-0.1	0.6

Analogamente, una valutazione sull'intero periodo di riferimento diurno o notturno può essere fatta sostituendo ai flussi veicolari orari ( $V_L$  e  $V_P$ ) quelli giornalieri, nonché modificando il rapporto del tempo di riferimento, utilizzando 57600 s per il periodo diurno e 28800 s per quello notturno.

Tuttavia, si fa presente che l'obiettivo di questa sperimentazione è stato di analizzare le differenti prestazioni acustiche dei vari tipi di dosso, le quali sono ininfluenti rispetto ad una valutazione su base diurna piuttosto che su base oraria.



FIGURA 8. Passaggio su dosso artificiale

### Analisi dei risultati

Da una prima valutazione dei valori ricavati nelle tabelle (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ipotesi), si può osservare che i dossi per velocità inferiori ai 30 km/h, essendo caratterizzati da una maggiore altezza (6-7 cm), producono degli incrementi di rumorosità più elevati rispetto agli altri tipi di dossi. Ciò è imputabile essenzialmente ad un maggiore impatto delle ruote dei veicoli con l'ostacolo e ad una brusca accelerazione immediatamente dopo l'ostacolo. Tale affermazione, in termini generali, è confermata sia per il *dosso prefabbricato* sia per quello *costruito in opera*.

In contro tendenza è invece il dato rilevato in corrispondenza del dosso tipo C44. Tale differenza risulta più marcata nella 2<sup>a</sup> ipotesi, quella in cui la percentuale dei mezzi pesanti è superiore.

Da una valutazione del profilo temporale si evince che in prossimità del dosso il profilo sonoro è più piatto e conseguentemente restituisce un valore di SEL(A) inferiore.

Allo scopo di comprendere la causa di questo risultato è necessario considerare il parametro velocità analizzando la velocità *prima del dosso* e quella *sul dosso*, la stessa non si discosta in maniera significativa, essendo contenuta entro un range di 1 km/h. Infatti, il veicolo prima del dosso procede a velocità costante, con accelerazione uguale a zero, mentre sul dosso viene sollevato il piede dall'acceleratore anche se il veicolo non subisce un rallentamento significativo. In un mezzo pesante gran parte del rumore prodotto è causato dalla rumorosità dello scarico, di qui il motivo per cui in fase di rilascio dell'acceleratore la rumorosità allo scarico cala

sensibilmente e, conseguentemente, il valore di SEL(A) nei pressi del dosso.

Diversamente, nel caso dei veicoli leggeri, i valori di SEL(A) in corrispondenza del dosso sono paragonabili a quelli rilevati in ingresso (i valori si discostano in misura non superiore a 0.9 dB(A)), con valori più elevati per dossi con profilo di altezza di 7 cm. Infatti, se per un verso la velocità è più bassa in corrispondenza del dosso, per contro i livelli di rumorosità sono compensati da un aumento della rumorosità prodotta dall'impatto delle ruote e dal rumore delle sospensioni nella fase di superamento dell'ostacolo.

Paradossalmente, se consideriamo l'impiego di un dosso tipo C44 sembrerebbe che nella 2<sup>a</sup> ipotesi, in cui è previsto un raddoppio dei mezzi pesanti, si possa avere una riduzione dei livelli di rumorosità (il miglioramento calcolato è pari a 1.2 dB(A) contro 0.8 dB(A) della 1<sup>a</sup> ipotesi). Questa affermazione trova supporto solo in termini relativi ma non in quelli assoluti, poiché l'aumento della percentuale di veicoli pesanti determina un aumento della rumorosità complessiva, nonostante localmente, in corrispondenza del dosso, non sia in discussione un qualche miglioramento. A questo proposito si ricorda che, negli algoritmi di calcolo dei livelli di rumorosità prodotti dal traffico veicolare, per ogni veicolo pesante vengono normalmente associati 8 veicoli leggeri.

Fatta esclusione per quanto rilevato nell'impiego del dosso tipo C44, nei rimanenti casi la situazione è decisamente a sfavore di questo tipo di soluzione che, se per un verso costringe il veicolo a procedere a velocità ridotta, per contro invita a una condotta di guida a "singhiozzo" (decelerazione-accelerazione) che produce, in termini di livelli di rumorosità, incrementi tanto più elevati quanto minore è la velocità di percorrenza del dosso.

Nel caso di un dosso P37 si sono rilevati gli incrementi maggiori con un valore massimo di 2.9 dB(A) nella 2<sup>a</sup> ipotesi. Un incremento così elevato equivale, in termini esemplificativi, ad un raddoppio dei volumi di traffico veicolare, a condizione che la velocità rimanga costante.

Facendo un confronto fra i dossi prefabbricati e quelli costruiti emergono interessanti considerazioni. Nel precisare, innanzitutto, che il confronto è operato fra dossi di pari caratteristiche, in termini di altezza massima e di velocità di percorrenza, si evidenzia che, relativamente al dosso C37 (costruito in opera per velocità inferiori a 30 km/h), questi risulta meno rumoroso di circa 0.5 dB rispetto ad un analogo dosso prefabbricato (nel punto in corrispondenza del dosso), mentre in uscita risulta peggiore di circa 1 dB(A).

Diversa considerazione viene invece formulata analizzando il confronto fra un dosso costruito C45 ed un analogo dosso prefabbricato. In questo caso è palese un chiaro e netto beneficio a favore del dosso costruito in opera, sia per quanto riguarda i livelli di rumorosità in

corrispondenza del dosso (circa 1 dB(A)) sia in uscita dal medesimo (oltre 2 dB(A)).

Per quanto riguarda il confronto fra i dossi a velocità inferiore a 50 km/h, non si rilevano differenze significative (inferiori ad 1 dB in corrispondenza del dosso), con un miglioramento più accentuato per il dosso C53, peraltro vanificato da un dato peggiore in uscita: è stato calcolato un incremento di 1.2 e 1.3 dB(A), rispettivamente nella 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ipotesi di traffico (vedi tabelle).

La dispersione dei livelli di rumorosità in uscita dal dosso è imputabile ad una significativa variazione di velocità fra un transito e l'altro, dovuta al fatto che tanto più il veicolo rallenta per affrontare il dosso, tanto maggiore sarà la fase di accelerazione successiva. Infatti, è in questa fase che si registrano i livelli di rumorosità più elevati.

Differenze apprezzabili sono state rilevate anche in corrispondenza del dosso, nel caso in cui confrontiamo dossi prefabbricati con dossi costruiti in opera di pari velocità e di pari altezza. Tale differenza è imputabile ad un differente profilo e all'impiego di un materiale differente.



FIGURA 9. Dossi prefabbricati e costruiti in opera

## CONCLUSIONI

Dalla precedente analisi si possono enucleare, in particolare, le seguenti considerazioni:

- la riduzione di velocità risulta significativa solamente per i dossi più alti;
- il beneficio in termini acustici indotto dalla riduzione della velocità viene compensato dalla maggiore rumorosità dovuta alla presenza del dosso;
- i dossi prefabbricati da 5 e 7 cm e i dossi costruiti in opera da 6 e 7 cm, impiegati per ottenere una maggiore riduzione della velocità, inducono nel complesso un significativo aumento della rumorosità;
- i dossi più bassi non inducono aumenti significativi della rumorosità;
- i dossi costruiti in opera determinano un aumento di rumorosità meno accentuato rispetto a dossi di pari caratteristiche prefabbricati.