

# Influenza delle superfici stradali sul rumore da traffico

## Importance of road surfaces on traffic noise



ENZO BONVINO, NAZZARENO NARDONE  
TE.MA.CO. S.r.l.

MAURO DE MARCHI  
ANAS - Comp. della viabilità per il Molise

### Riassunto

La propagazione del rumore veicolare dipende dal binomio strada-ambiente; la strada, infatti, attraverso le caratteristiche della sua superficie (porosità, tessitura, ecc.) influenza le modalità di propagazione del rumore poiché interagisce con le due principali sorgenti inquinanti: lo pneumatico ed il motore. Ne consegue che l'entità del disturbo arrecato dalla circolazione stradale, computata attraverso una recente metodica di riferimento, assume un significato ben più ampio, poiché conduce ad una classifica della rumorosità delle strade. Per assegnate condizioni e composizioni del traffico veicolare, si rileva, infatti, che differenti superfici stradali conducono a sostanziali differenze dei livelli sonori e, quindi, ad impatti sull'ambiente significativamente diversi. La procedura sperimentale seguita si avvale della norma UNI EN ISO 11819-1 di recente emanazione, applicata alle Strade Statali 87, 647, 17, 85. Per ognuna si è calcolato il parametro SPBI (Indice statistico applicato al traffico passante) che, basato sulla tipologia e sulla velocità della corrente veicolare, rappresenta un nuovo indicatore per il confronto acustico delle superfici stradali.

### Summary

*The diffusion of traffic noise depends on the relationship between road and environment; the road influences the diffusion of noise, through its structural characteristics (porosity, texture, etc), because of the interaction with the two main polluting sources: the tyre and the engine.*

*So, the entity of the disturb brought by traffic, from a recent survey, has a wider meaning, as it leads to classification of noisiness of roads.*

*Starting from an homogenous traffic level, the quantity and quality of noise emission depends on the type of road surface, with different environmental impacts. The experimental procedure showed in this paper is based on UNI EN ISO 11819-1 Standard, recently issued, applied on public roads 87, 647, 17, 85. For each road the SPBI parameter was calculated (statistic index applied on passing traffic). This parameter, based on the type and the speed of vehicles, represents a new indicator to carry out an acoustic comparison of road superstructures.*

## 1. LA NORMA UNI EN ISO 11819-1

### 2.1 Obiettivi della normativa

La normativa, utile per chi si occupa di previsioni e controlli sul rumore generato dal traffico stradale, descrive un metodo di confronto tra differenti superfici

ci stradali, classificate quantitativamente rispetto al rumore prodotto dal flusso veicolare.

Il metodo descritto è adoperato principalmente per due finalità:

- classificare la superficie stradale relativamente al rumore da traffico;

► valutare l'influenza della superficie stradale sul rumore da traffico.

La classificazione e la valutazione si realizzano attraverso la determinazione di un particolare indice di rumore, denominato SPBI (*Statistical Pass-By Index*), applicato al traffico passante, funzione:

- del livello di pressione sonora emesso dal veicolo;
- della tipologia del veicolo;
- della velocità del veicolo;
- delle condizioni atmosferiche in cui viene eseguita la prova.

Il metodo è applicabile in condizioni di velocità costanti ( $\geq 45$  km/h) e deflusso libero; in zone congestionate, nelle intersezioni stradali, ecc., la procedura fornisce risultati poco affidabili perché la superficie stradale riveste un ruolo marginale nella valutazione dell'inquinamento acustico.

## 2.2 Modalità operative in situ e a tavolino

Ogni veicolo analizzato è classificato in una delle tre categorie previste:

- autovetture per passeggeri (categoria 1);
- veicoli pesanti a doppio assale (categoria 2 a);
- veicoli pesanti multiassale (categoria 2 b).

Nel sito di prova, scelto in base alle condizioni di traffico, sicurezza ed operatività, si rilevano i seguenti dati:

- livello di pressione sonora massimo di ciascun veicolo in dB(A);
- velocità di ciascun veicolo (km/h);
- temperatura dell'aria e della pavimentazione (°C);
- condizione della superficie stradale;
- rumore di fondo in dB(A);
- velocità del vento (m/s).

Per ciascuna categoria dei veicoli normalmente in esercizio sulla strada, presa separatamente dalle altre, si effettuano delle misurazioni fonometriche e di velocità. Da queste si esegue una analisi di regressione lineare

al fine di ottenere una correlazione tra il massimo livello di pressione sonora<sup>(1)</sup> e il logaritmo decimale della velocità di ogni veicolo transitato. Naturalmente è opportuno che le misurazioni siano effettuate su un campione numeroso. Dalla retta di regressione ottenuta si determina, in corrispondenza della velocità di riferimento, il livello massimo medio di pressione sonora ponderato con filtro A. Questo livello è definito come livello sonoro del veicolo,  $L_{veh}$ , calcolato per ciascuna categoria di veicoli.

Allo scopo di caratterizzare acusticamente le superfici stradali, i livelli sonori relativi alle tre categorie di veicoli sono sommati sulla base di un criterio ponderale, attribuendo appropriati pesi alle tre categorie, in modo da fornire un unico indice che costituisce il parametro di riferimento finale.

Questo indice è definito indice statistico applicato al traffico passante (SPBI) e può essere usato per confrontare le superfici stradali in modo da determinare la loro influenza sul livello sonoro in corrispondenza di un flusso di traffico misto. Esso è determinato con la seguente relazione:

$$SPBI(dB) = 10 \text{Log} \left[ W_1 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}} + W_{2a} \left( \frac{V_1}{V_{2a}} \right)_{REF}^{L_{2a}} + W_{2b} \left( \frac{V_1}{V_{2b}} \right)_{REF}^{L_{2b}} \right]$$

essendo:

- $L_1, L_2, L_{2b}$ : livelli sonori dei veicoli ( $L_{veh}$ ) appartenenti alle categorie 1, 2a, 2b;
- $W_1, W_{2a}, W_{2b}$ : fattori di ponderazione;
- $V_1, V_{2a}, V_{2b}$ : velocità di riferimento delle singole categorie di veicoli.

## 2. Le strade

La sperimentazione utilizza le prove eseguite dal Laboratorio TE.MA.CO. S.r.l. di San Salvo (Chieti) nell'ambito di un più vasto programma sperimentale volto al controllo della qualità dei materiali impiegati per la realizzazione delle pavimentazioni drenanti e non.

(1) Il massimo livello di pressione sonora registrato dal fonometro durante un passaggio di veicolo, usando la ponderazione di frequenza A e la ponderazione temporale F.



Fig. 1 Posizione dei punti di misura

Le strade analizzate sono:

- ▶ S.S. 647, da Termoli a Campobasso, al km 73+768.
- ▶ S.S. 85, da Isernia a Venafro, al km 32+220.
- ▶ S.S. 17, da Isernia a Bojano, al km 186+900.
- ▶ S.S. 87, al km 186+890.

In corrispondenza dei citati tratti stradali i limiti di velocità sono imposti tra gli 80 km/h e i 90 km/h.

### 3. La sperimentazione

Per ciascuna delle sezioni stradali interessate dalla campagna sperimentale si sono rilevate le seguenti grandezze:

- ▶ Massimo livello sonoro, ottenuto con l'impiego del fonometro integratore classe 1, HD 9019, equipaggiato con idoneo schermo antivento che nelle condizioni ambientali della prova non ha influenzato le prestazioni dello strumento; naturalmente, all'inizio ed al termine delle misurazioni si è proceduto al controllo del misuratore di livello sonoro attraverso l'uso d'idoneo cali-

bratore sonoro, classe 1, HD 9101, fornito dal fabbricante del fonometro.

- ▶ Velocità istantanea del veicolo al passaggio davanti al microfono, ottenuta attraverso il misuratore di velocità tipo AutoveloX 104-C2.
- ▶ Temperature dell'aria e della superficie stradale lungo la linea di misura.
- ▶ Numero dei veicoli monitorati, distinti per categoria.
- ▶ Spessore medio e percentuale dei vuoti dello strato d'usura della pavimentazione in prossimità della linea di misura.
- ▶ Età e stato di manutenzione della sovrastruttura.

Le misurazioni fonometriche e di velocità sono state eseguite su passaggi di singoli veicoli, distinti chiaramente dal resto del traffico stradale e rientranti in una delle tre

categorie previste dalla Norma. In caso di dubbio, la relativa misurazione è stata scartata. Particolare attenzione è stata rivolta al posizionamento del microfono in campo sonoro libero; la Fig. 2 mostra lo schema utilizzato nel rilievo lungo la S.S. 85<sup>(2)</sup>.

Altre prove di laboratorio sono state effettuate e riportate nella Fig. 3 (analisi granulometrica della miscela d'aggregati secondo fasc. 4 CNR art. 11, costituenti lo scheletro litico dello strato d'usura, previa estrazione del bitume, secondo CNR – BU n. 38) e nella riepilogativa Tab.1.

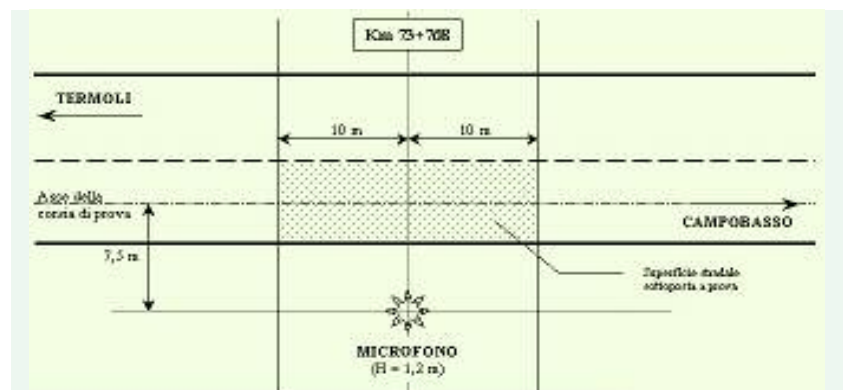


FIG. 2 La posizione del microfono

(2) Per le altre rilevazioni sperimentali, lo schema è rimasto in pratica lo stesso.



FIG. 3 Distribuzione granulometrica

#### 4. Analisi delle velocità

La Fig. 4 mostra gli istogrammi delle velocità ed alcuni descrittori statistici distinti per strada e per categoria di veicoli. Dall'esame dei rilievi effettuati con l'autovelox emerge quanto segue:

- ▶ Nella categoria autovetture (1), le frequenze più elevate si sono osservate in corrispondenza dei seguenti intervalli di velocità: S.S. 647-60÷70 km/h

(>30%), S.S. 85-50÷60 km/h (>36%), S.S. 87-50÷70 km/h (>58%), S.S. 17-50÷100 km/h (~84%). Per la categoria 2a: S.S. 647-50÷60 km/h (>25%), S.S. 85-40÷70 km/h (>90%), S.S. 87-50÷70 km/h (>65%), S.S. 17-50÷100 km/h (~70%). Infine, per la categoria 2b: S.S. 647-40÷50 km/h (~49%), S.S. 85-40÷60 km/h (>86%), S.S. 87-50÷60 km/h (~44%), S.S. 17-50÷60 km/h (~40%).

- ▶ I valori medi calcolati sono inferiori al limite di velocità previsto nelle sezioni stradali esaminate e per qualsivoglia categoria di veicoli.

TAB. 1

Rilievo	Data		S.S. 647	S.S. 85	S.S. 17	S.S. 87
			07/04/2005	08/08/2005	08/08/2005	13/10/2005
Strato d'usura	Età	mesi	< 12	< 4	< 6	< 12
	Stato di conservazione	-	buono	buono	buono	buono
	Conglomerato	-	drenante	drenante	drenante	chiuso
	Spessore	cm	4,6	5,2	4,2	3,5
	Basalto ( $\Phi > 5$ )	%	86,35	81,42	85,75	37,16
	Coeff.Frant.	%	92,14	91,86	94,74	96,78
	Bitume/Mix	%	4,45	4,66	4,49	4,43
	Marshall	kN	10,90	14,00	10,44	-
Linea di misura	Vuoti c.b.	%	19,02	18,03	18,68	11,75
	Permeabilità	dm <sup>3</sup> /min	54,54	19,11	36,00	-
	Asse fonometro	km.ca	73+768	32+220	186+890	116+290
Temperature min/max <sup>(9)</sup>	Aria	°C	15 / 19	24 / 25	25 / 30	12/18
	Superficie strada	°C	18 / 24	28 / 31	30 / 34	15/24
Ambiente	Limite velocità	km/h	80	90	90	90
	Rumore di fondo	dB	30	38	40	40
	Vento	-	assente	assente	assente	assente

- ▶ Il valore medio più elevato si presenta lungo la S.S. 17 per tutte le categorie veicolari, mentre quasi simili sono quelli ottenuti lungo le altre strade.
- ▶ Le deviazioni standard sono più accentuate per i veicoli pesanti e, in particolare, per quelli della categoria 2a.
- ▶ I valori più bassi del coefficiente di asimmetria si riscontrano lungo la S.S. 17 (categoria 1), S.S. 647 (categoria 2a), S.S. 17 (categoria 2b).
- ▶ Il coefficiente di Curtosi è più elevato lungo la S.S.647 per le categorie 1 e 2a.

(3) La Norma fornisce elementi per valutare l'influenza della temperatura sull'indice SPBI

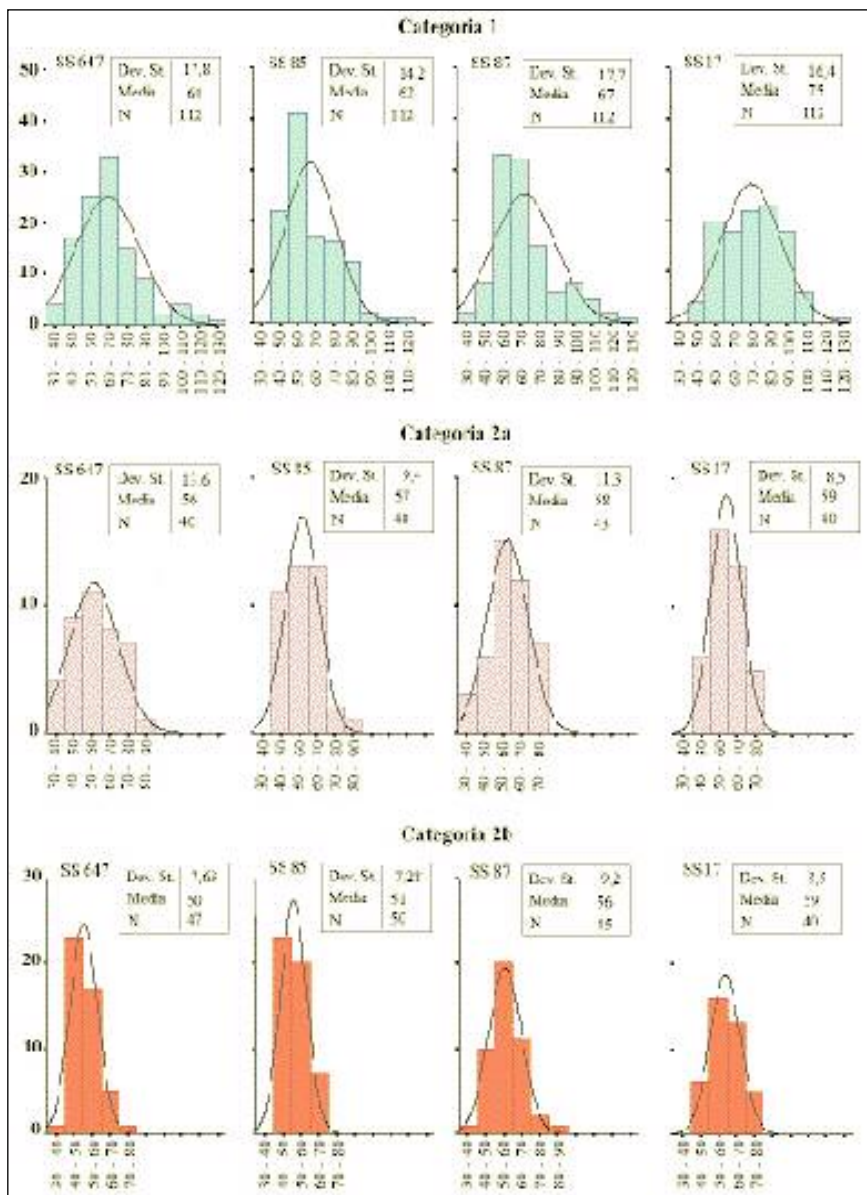


FIG. 4 Istogrammi delle velocità

- Gli intervalli di variazione delle velocità sono, com'era logico attendersi, più elevati per gli autoveicoli e più bassi per le altre categorie.
- Le deviazioni standard e le varianze sono molto più basse per i veicoli più pesanti.
- Le velocità massime raggiunte dagli autoveicoli superano notevolmente i limiti imposti.

## 5. Analisi del rumore

In analogia a quanto fatto per le velocità, si mostrano gli istogrammi di Fig. 5 relativi al rilievo dei livelli di pressione acustica distinti per strada e per categoria di veicoli.

L'esame degli istogrammi mostra una diversa situazione rispetto a quella esaminata per la variabile velocità; in particolare si è osservato quanto segue:

- Il passaggio dai veicoli leggeri a quelli più pesanti comporta un incremento sensibile dei livelli massimi sonori che per alcune strade è valutabile mediamente in 9 dB(A).
- La rappresentazione delle curve normali è certamente più simmetrica rispetto al parametro delle velocità, qualunque sia la strada e la categoria del veicolo esaminato.
- I valori massimi in assoluto superano i 93 dB(A) per tutte e tre le categorie dei veicoli.

## 6. Analisi di regressione

Tra le tre categorie di strade previste dalla Norma, si è scelta quella definita categoria di velocità stradale media<sup>(4)</sup>, correlata alla velocità media inferiore a 99 km/h. L'individuazione della categoria è molto importante perché da essa dipendono le velocità di riferimento  $V_{rif}$  ed i fattori di ponderazione  $W$ ,

pari rispettivamente ad  $V_{rif} = 80$  km/h (autoveicoli) o  $V_{rif} = 70$  km/h (veicoli pesanti) e  $W=0,800$  (autoveicoli) o  $W=0,100$  (veicoli pesanti). Gli uni e gli altri determinano il SPBI. In particolare, le velocità di riferimento rappresentano l'elemento d'ingresso nel piano di regressione Log velocità (ascisse) – Massimo livello sonoro (ordinate). Utilizzando il metodo dei minimi

(4) La categoria di velocità stradale media è solitamente presente nelle aree suburbane o nelle strade extraurbane

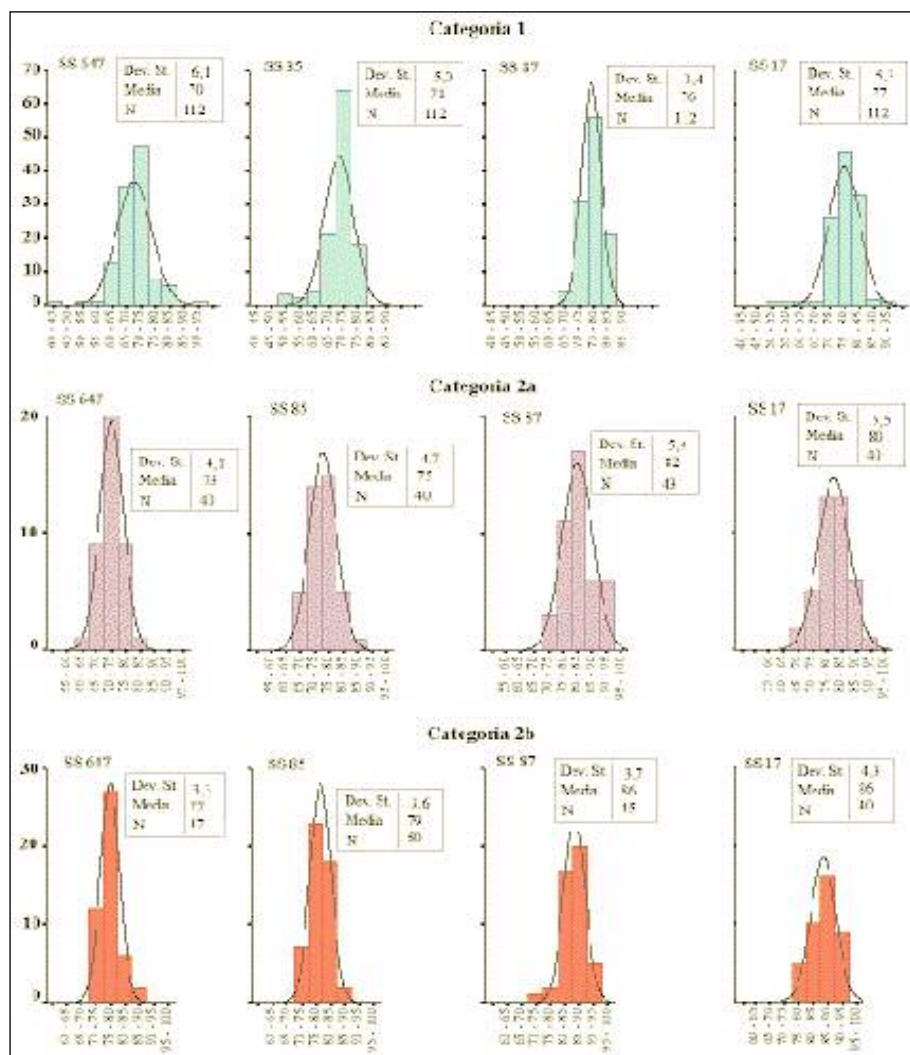


FIG. 5 Istogrammi dei livelli di pressione acustica

quadrati si è quindi proceduto ad adattare i dati sperimentali, distinti per strada e per categoria veicolare, ad una funzione lineare; la Fig. 6 mostra per ciascuna strada statale l'analisi compiuta per la categoria 2b. Poiché la velocità non è l'unico fattore che determina il disturbo acustico prodotto dai veicoli, le correlazioni ottenute sono matematicamente poco significative, soprattutto per i veicoli pesanti (Tab. 2).

Il livello sonoro ottenuto sull'asse delle ordinate intersecando la curva di regressione alla velocità di riferimento corrispondente a ciascuna categoria di veicoli è assunto

come livello sonoro del veicolo ed indicato con  $L_{veh}$ . In definitiva, per ciascuna strada statale, si sono ottenuti tre valori  $L_{veh}$ : per le autovetture, per i veicoli pesanti a doppio asse e per i veicoli pesanti multiassale. Per caratterizzare acusticamente le superfici stradali, i livelli sonori generati dalle autovetture e dai veicoli pesanti a due o più assi sono sommati sulla base di un criterio ponderale, attribuendo i pesi  $W$ , precedentemente definiti, alle tre categorie veicolari, in modo da fornire un unico indice (SPBI) che costituisce il parametro di riferimento finale (Fig. 7).

L'esame della Fig. 7 consente alcune riflessioni.

- Nel tratto della S.S. 87 l'indice SPBI assume il valore più alto, certamente attribuibile al conglomerato bituminoso impermeabile del manto d'usura.
- Lungo le altre strade statali, il cui strato superficiale è del tipo drenante, l'indicatore previsto dalla Norma è più basso, ma con alcuni distinguo. Se, infatti, si osserva la permeabilità determinata lungo la sezione della S.S. 17 ( $36 \text{ dm}^3/\text{min}$ ) si sarebbe orientati ad affermare che l'assorbimento acustico è maggiore rispetto a quello lungo la S.S. 85 ( $19 \text{ dm}^3/\text{min}$ ); dall'applicazione della procedura, invece, emerge esattamente il contrario.

TAB. 2 - Coefficienti di correlazione

Categoria	R
1	$0,411 \div 0,735^{(5)}$
2a	$0,000 \div 0,332$
2b	$0,025 \div 0,436$

(5) Il valore più elevato si è ottenuto lungo la S.S. 87 il cui manto d'usura è in conglomerato bituminoso chiuso.

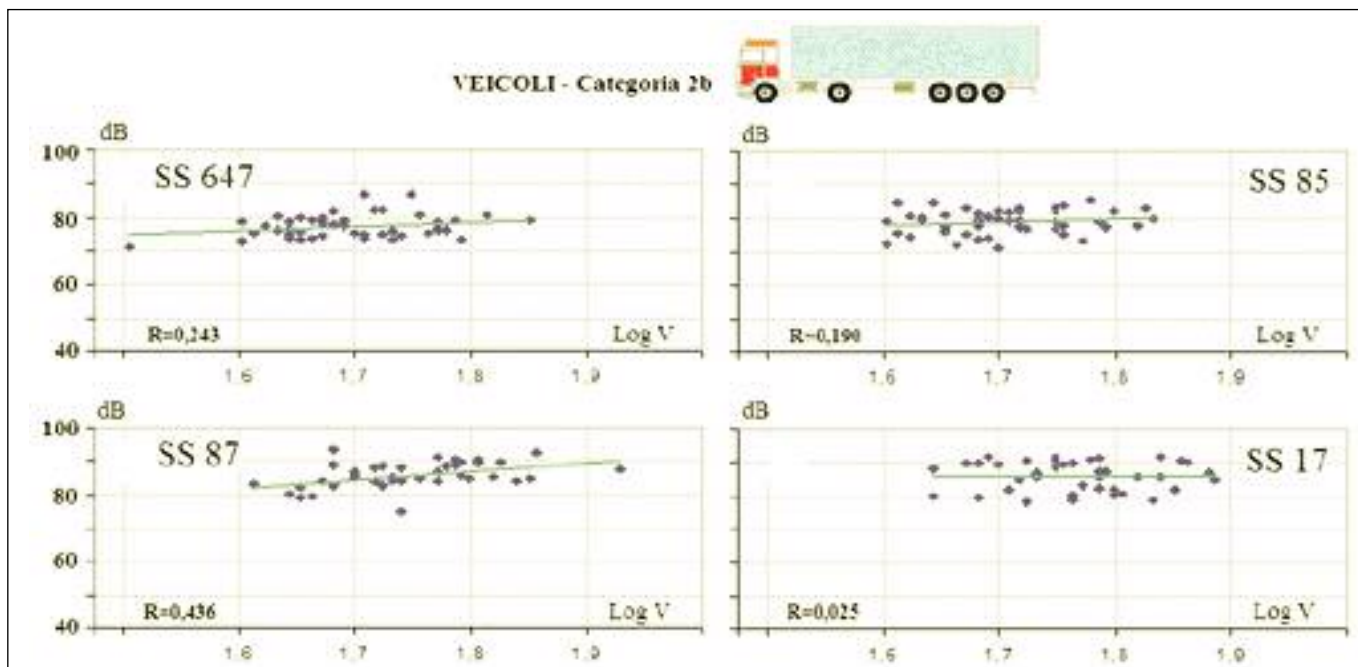


FIG. 6 Istogrammi dei livelli di pressione acustica

## 7. Conclusioni

L'applicazione della UNI EN ISO 11819-1 consente, attraverso la determinazione dell'indice SPBI, la valutazione della risposta delle superfici stradali in relazione al rumore generato dal traffico veicolare. L'obiettivo è certamente prioritario dato che coinvolge, nel tentativo di classificare e confrontare superfici a basso impatto acustico, amministratori pubblici e privati, imprese di costruzione e progettisti. La conoscenza delle velocità e dei massimi livelli di pressione acustica

rappresentano un aspetto fondamentale nelle scelte progettuali sull'interazione strada-ambiente (Fig. 8). Tuttavia, appare evidente che solo una lunga sperimentazione potrà fornire utili indicazioni per migliorare la procedura. Dall'esame dei dati ottenuti lungo le S.S. 647, 85, 17, 87, sembra, infatti, che alcune impostazioni normative portino a grossolane approssimazioni che potrebbero indurre a valutazioni errate. La prima considerazione riguarda l'utilizzo della funzione lineare per adattare nel piano semi-logaritmico le uniche due grandezze da esaminare: velocità e

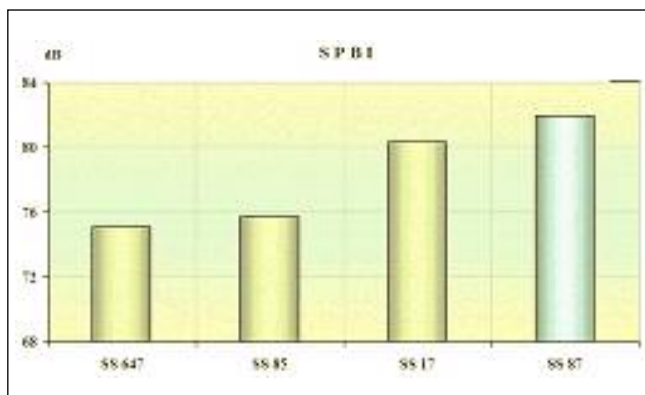


FIG. 7 Il risultato finale della sperimentazione: l'indice SPBI

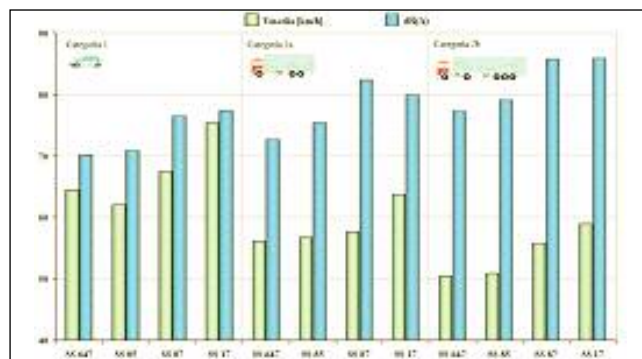


FIG. 8 Valori medi delle velocità e dei livelli di pressione sonora al variare del veicolo e della strada

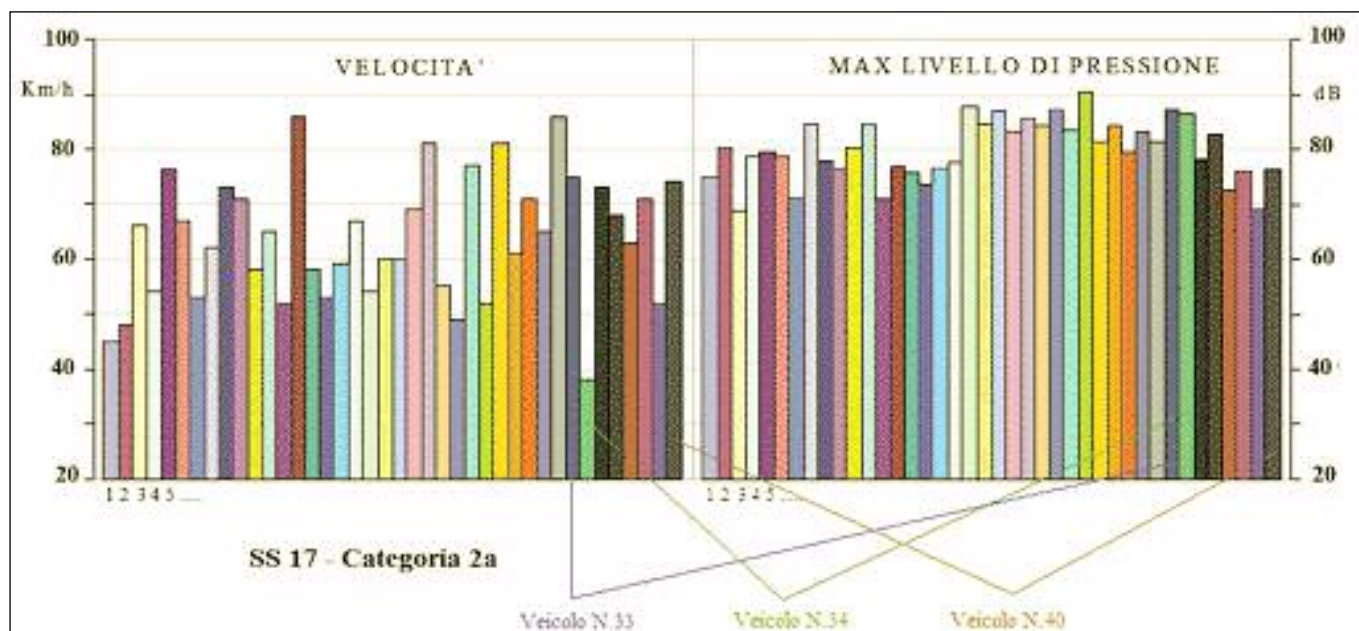


Fig. 9 Velocità e livelli di pressione acustica dei veicoli (categoria 2a) osservati lungo la S.S.17

livello di pressione acustica. A parte il fatto che nella letteratura scientifica numerosi sono gli studi che riportano conclusioni diverse, dalla sperimentazione effettuata appare evidente, soprattutto per i veicoli pesanti, la difficoltà nell'individuare una legge lineare in un campo di velocità così ampio.

Così, ad esempio, nel caso della S.S.17, si è approntata la Fig. 9 che confronta per i veicoli appartenenti alla Categoria 2a le distribuzioni delle velocità con quelle dei massimi livelli di pressione sonora.

Si osservi che, in generale, la seconda distribuzione ha un andamento più regolare della prima, confermato, tra l'altro, da alcuni indicatori statistici; in particolare, scelti tre veicoli generici (vedi tabella successiva), appare improponibile una qualsivoglia relazione, soprattutto lineare, tra le due variabili: in un caso (veicoli n. 33 e 34), a velocità dimezzate il livello di pressione acusti-

ca è quasi coincidente, in un altro caso (veicoli n. 34 e 40), invece, il rumore acquisito dallo strumento è di oltre 10 dB inferiore per il veicolo che viaggia a velocità quasi doppia.

La seconda considerazione riguarda il contributo, già noto in letteratura, della porosità degli strati costituenti le pavimentazioni flessibili al miglioramento della capacità fonoassorbente.

Nella sperimentazione eseguita, invece, si è osservato che il manto d'usura della S.S. 17, pur presentando una permeabilità più elevata (quasi doppia) rispetto a quella della S.S. 85, mostra un indice SPBI decisamente maggiore, così come la permeabilità dello strato d'usura relativo alla S.S. 647, pur essendo quasi tre volte maggiore di quello riscontrato lungo la S.S. 85, mostra un indice SPBI praticamente identico. Infine, il confronto tra il classico manto d'usura, impermeabile, quale quello eseguito lungo la S.S. 87, e quello drenante-fonoassorbente della S.S. 17, indica un sostanziale equilibrio dei due indici SPBI.

Tutto ciò conferma la necessità dell'inserimento nella procedura di ulteriori variabili: alcune legate al veicolo, altre legate agli strati sottostanti il manto d'usura, altre ancora alla temperatura ambientale. ■

Numero veicolo	Velocità		Max livello pressione dB(A)
	V	LogV	
33	75	1,875	87,0
34	38	1,580	86,4
40	74	1,869	76,0