



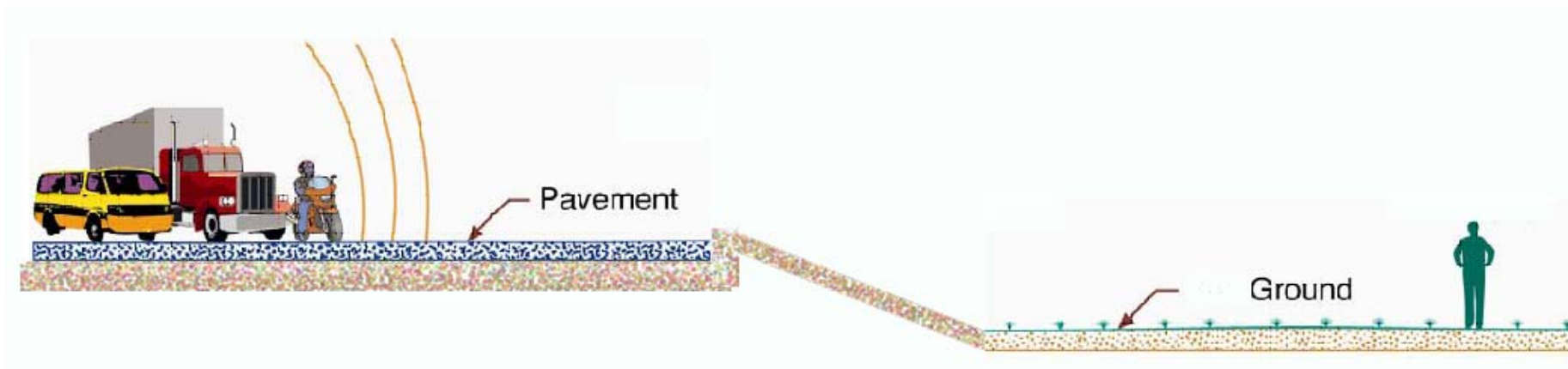
Lezioni del corso di *Gestione e Manutenzione delle Pavimentazioni Stradali*
Analisi del rumore veicolare - Tecnologie di riduzione del rumore

Prof. Ing. Francesco Canestrari
Analisi del rumore veicolare

Dipartimento ICEA – Sezione Infrastrutture – Università Politecnica delle Marche



GENERAZIONE E PROPAGAZIONE DEL RUMORE

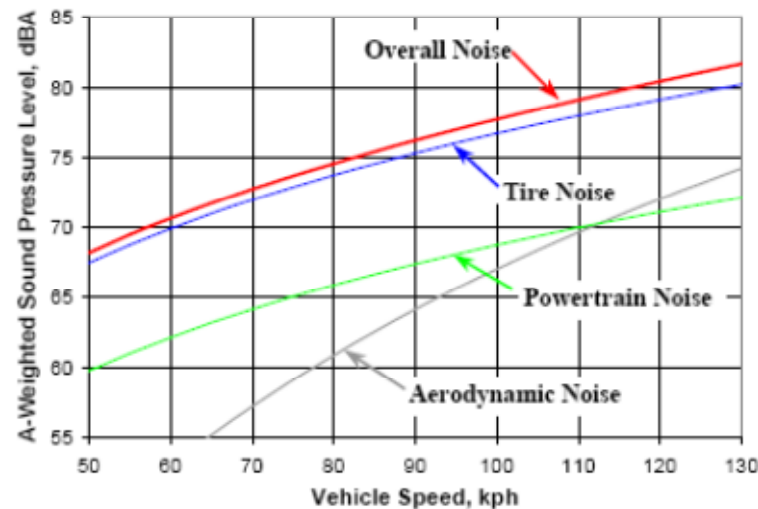
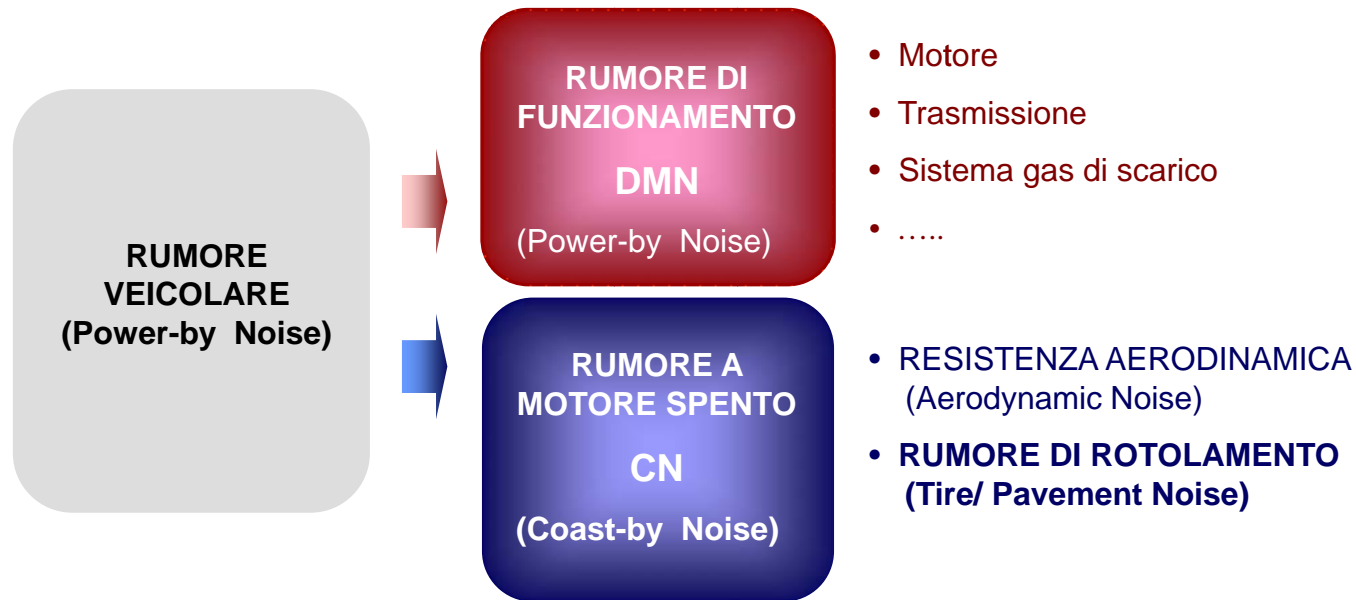


Il **RUMORE AVVERTITO** dagli abitanti circostanti una infrastruttura stradale dipende da:

1. **POTENZA ACUSTICA EMESSA DAL VEICOLO**
2. **VICENDE SUBITE DALL'ONDA SONORA DURANTE LA SUA PROPAGAZIONE VERSO IL RICEVITORE** (attenuazione ed amplificazione)



CAUSE GENERATRICI DEL RUMORE VEICOLARE



Rappresentazione dei contributi delle varie sorgenti di rumore, nel caso di autovettura con sufficiente livello di manutenzione



Per $V > 50$ Km/h, l'iterazione pneumatico/pavimentazione è la principale fonte di rumore



RUMORE DI ROTOLAMENTO (Tire/pavement Noise)

a. MECCANISMI DI GENERAZIONE
(interfaccia pneumatico/pavimentazione)

+

b. MECCANISMI DI PROPAGAZIONE
(amplificazione/attenuazione)

Generazione locale di energia dipendente da:



Caratteristiche Veicolo/Pneumatico

- Tipo pneumatico/veicolo
- Velocità veicolo
- T(C°) pneumatico
- Pressione gonfiaggio
- Condizioni di guida
-



Caratteristiche Ambiente/Pavimentazione

- Temperatura
- Megatessitura
- Microtessitura
- Macrotessitura
- Forma/dimensione aggregati
-



Fenomeni locali di amplificazione all'interfaccia



Fenomeni di amplificazione che si sviluppano a distanza dal pneumatico dipendenti da:

- **Direzionalità della sorgente**
(Posizione reciproca tra sorgente e ricevitore)
- **Effetti di diffrazione**
- **Assorbimento acustico**



RUMORE DI ROTOLAMENTO: FENOMENI LOCALI DI GENERAZIONE E PROPAGAZIONE ***(Tire/pavement Noise)***

a. MECCANISMI DI GENERAZIONE

(interfaccia pneumatico/pavimentazione)

All'interfaccia pneumatico/pavimentazione diversi meccanismi generano energia, potenzialmente irradiabile come "suono"

- 1. Vibrazioni radiali**
- 2. Air pumping**
- 3. Slip-stick**
- 4. Stick-snap (aderenza)**

b. MECCANISMI DI PROPAGAZIONE

(fenomeni **locali** di amplificazione)

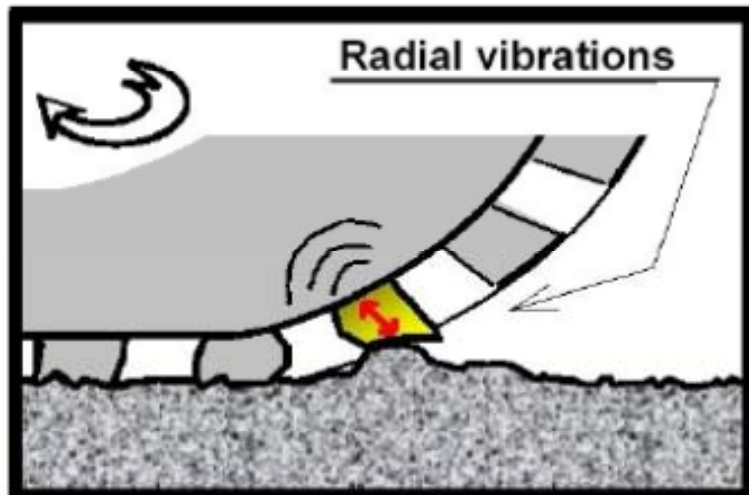
L'intero sistema pneumatico/pavimentazione funziona da diffusore/amplificatore dell'energia prodotta

- 1. Effetto corno**
- 2. Effetto canne d'organo e Risuonatori di Helmholtz**
- 3. Vibrazione della carcassa**
- 4. Risonanza acustica interna**



MECCANISMI DI GENERAZIONE: 1- VIBRAZIONI RADIALI (*Tread vibration*)

Il rotolamento dello pneumatico genera, all'ingresso dell'area di contatto, un **impatto** tra gli elementi del battistrada e la pavimentazione che si sviluppa in direzione **radiale**, e mette in vibrazione la carcassa.



Tale fenomeno:

- **Rappresenta il 60÷80% dell'energia acustica emessa**
- E' una funzione crescente della **megatessitura**
- Corrisponde a **frequenze medio-basse** dello spettro del rumore (**50÷800 Hz**)

- Se pavimentazione e pneumatico presentano sufficienti caratteristiche di **elasticità**, l'energia generata da tale impatto può essere ridotta
- Una **tessitura "casuale"** della pavimentazione e un **modello irregolare di battistrada** possono ridurre la "ripetitività" dell'impatto e modificare le caratteristiche del suono prodotto

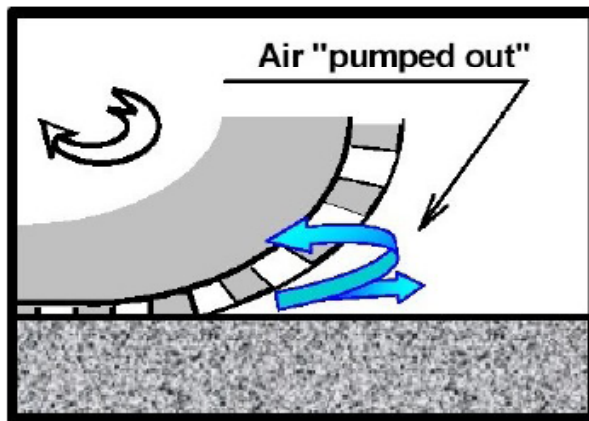


Riduzione del fastidio (Annoyance)

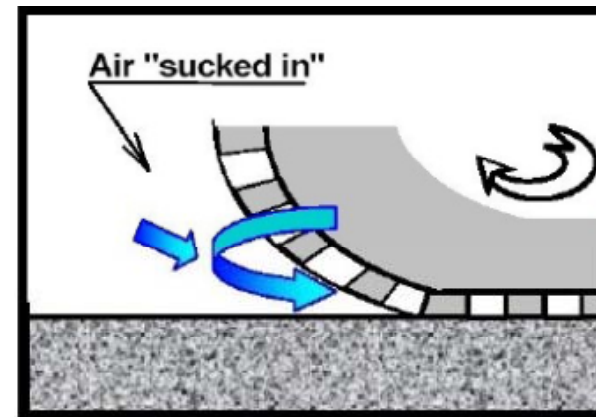


MECCANISMI DI GENERAZIONE: 2- RISONANZE DELL'ARIA (*Air pumping*)

Per effetto del rotolamento dello pneumatico, l'aria viene trascinata all'interno dei volumi delimitati dalle scanalature del battistrada e dalla superficie stradale, e interessata da **fenomeni di pompaggio** differenti, in ingresso e in uscita dall'area di contatto:



*Sub-meccanismo di pompaggio, **sovrapressione**, ed espulsione del fluido contenuto nelle cavità*



*Sub-meccanismo di **depressione** ed iniezione di aria, nelle medesime cavità depresse.*

Tale fenomeno:

- Rappresenta il **10÷30% dell'energia acustica totale** emessa
- Corrisponde a **frequenze medio-alte (1250÷2000 Hz)**

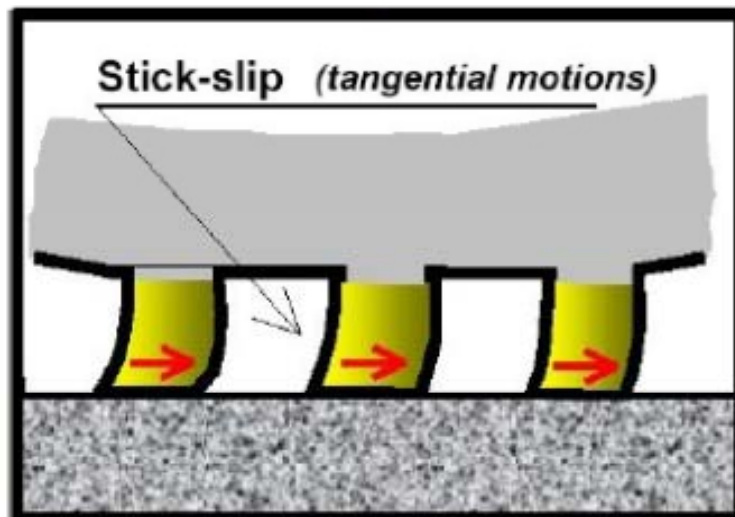


**MECCANISMI DI GENERAZIONE:
3- ADESIONE E SCORRIMENTO (*Stick and slip*)**

- Forze **TANGENZIALI** trasferite alla pavimentazione per effetto di accelerazioni e frenature.
- Deformazione della carcassa nell'area di contatto



Generazione di significanti **azioni orizzontali** all'interfaccia battistrada/pavimentazione



Se tali azioni superano la **resistenza d'attrito**, il battistrada slitta sulla pavimentazione e aderisce di nuovo ad essa molto rapidamente



**SUCCESSIONE DI CICLI CONTATTO-RILASCIO
TRA LE DUE SUPERFICI**

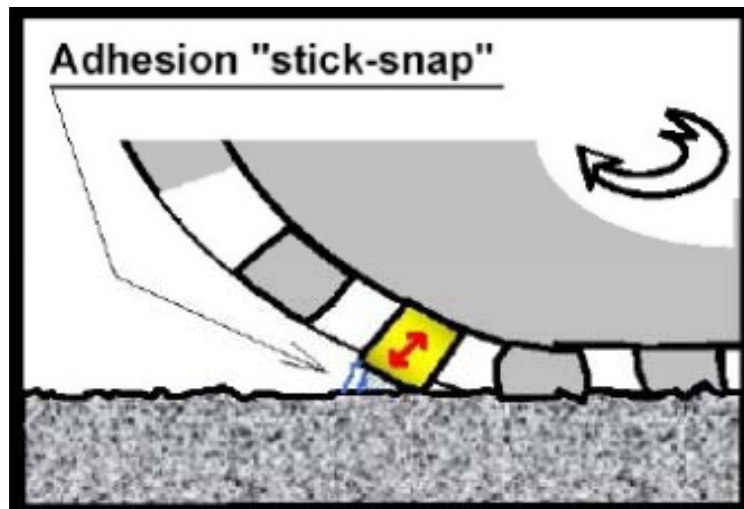


Emissioni sonore e vibrazione



**MECCANISMI DI GENERAZIONE:
4- ADESIONE (*Stick -snap*)**

- Il contatto tra battistrada e pavimentazione genera **adesione** all'interfaccia, tra i due elementi:
AZIONE DI EFFETTIVA ADESIONE E DISTACCO DEL SINGOLO ELEMENTO DI GOMMA E DI PIETRA



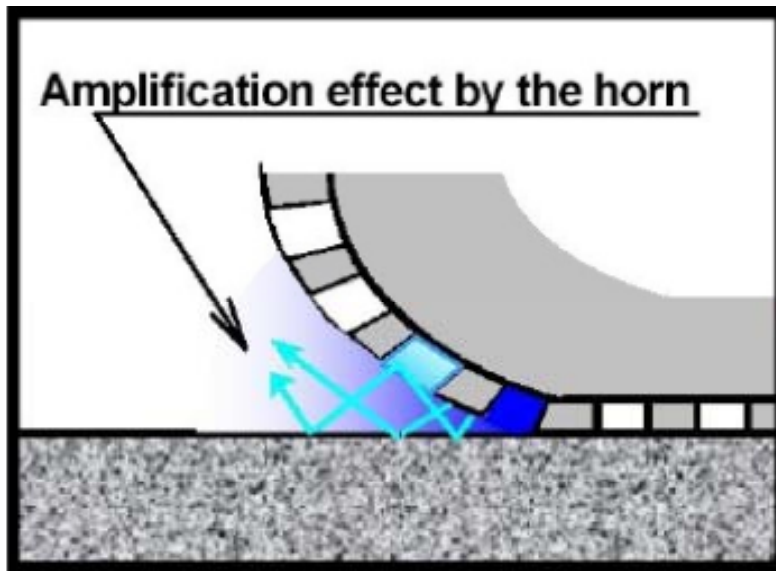
- In uscita dall'area di contatto, la forza di adesione trattiene il battistrada



- Il rilascio del battistrada genera **energia sonora** e **vibrazione** della carcassa



MECCANISMI DI PROPAGAZIONE:
1- EFFETTO CORNO (*Horn effect*)

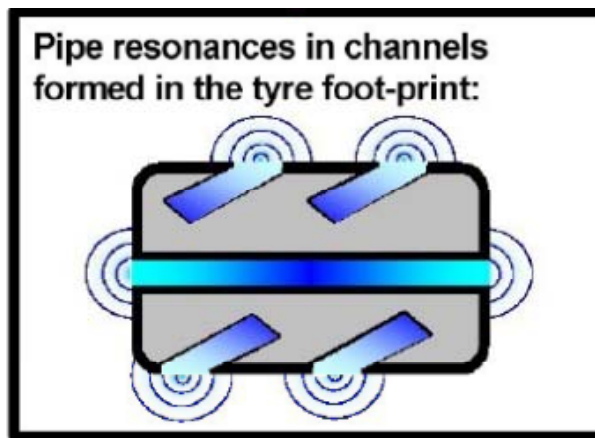


- La conformazione del pneumatico, al di sopra della pavimentazione, realizza geometricamente un **cono**.
- Il suono prodotto da qualsiasi meccanismo generatore in corrispondenza della “gola” del cono viene **amplificato**.



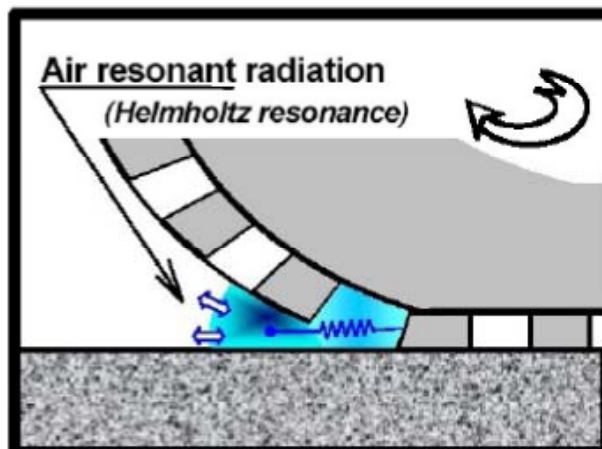
MECCANISMI DI PROPAGAZIONE: 2- CANNE D'ORGANO E RISUONATORI DI HELMHOLTZ (*Organ pipes and Helmholtz resonators*)

Le scanalature dello pneumatico, in corrispondenza dell'area di contatto, assumono la geometria e la struttura tipiche di sistemi di amplificazione acustica, quali sono:



- Sistemi di **canne d'organo**

Ogni tipologia di battistrada, a contatto con una superficie stradale sufficientemente regolare, costituisce un sistema di canne risonanti: le loro frequenze di risonanza dipendono dalle caratteristiche geometriche, ma non dalla velocità di rotolamento.



- **Risuonatori di Helmholtz**

Insieme di riflessioni multiple generate al bordo d'uscita del pneumatico, che producono fenomeni di risonanza.



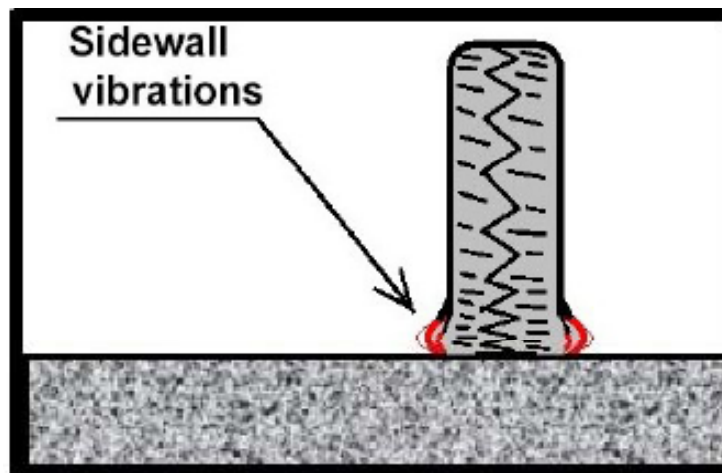
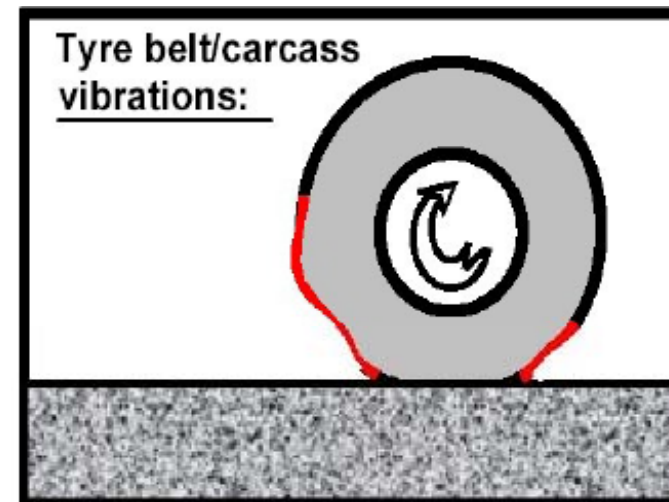
MECCANISMI DI PROPAGAZIONE: 3- VIBRAZIONE DELLA CARCASSA (*Carcass vibration*)

Il moto del pneumatico desta, principalmente, due meccanismi che mettono in vibrazione la carcassa:

- L'energia connessa alla vibrazione generata all'interfaccia risulta amplificata dalla "risposta" della carcassa del pneumatico a tale sollecitazione

Onde di vibrazione si propagano sulla fascia del battistrada, che è l'elemento strutturale del pneumatico

La carcassa del pneumatico propaga il suono generato da queste onde

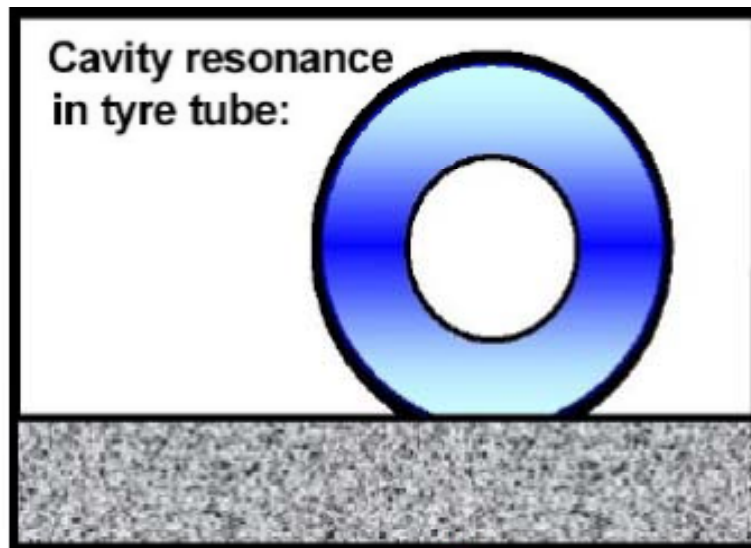


- I **fianchi della carcassa**, in corrispondenza dell'area di contatto, vibrano e diffondono energia acustica



MECCANISMI DI PROPAGAZIONE: 4- RISONANZA ACUSTICA INTERNA (*Internal acoustic resonances*)

- L'**aria** utilizzata per gonfiare il pneumatico, e **contenuta** al suo interno risente dell'eccitazione subita dal pneumatico stesso durante il rotolamento.



- All'interno della superficie toroidale del pneumatico, le frequenze di vibrazione possono assumere valori tali da mandare in **risonanza** l'aria contenuta.



CONCLUSIONI

- L'entità dei meccanismi di generazione del suono è funzione della **combinazione pneumatico-pavimentazione** adottata
- Tra i meccanismi di generazione del suono e quelli di propagazione/amplificazione sussiste una **contiguità spaziale** ed una **sinergia d'azione**
- Molti meccanismi di generazione e propagazione sono strettamente connessi alle caratteristiche che conferiscono, alla pavimentazione, requisiti di **sicurezza, durabilità e sostenibilità economica.**



E' difficile sviluppare **strategie di riduzione del rumore di validità generale** per ogni superficie e condizione



Le moderne tecnologie di riduzione del rumore mirano a **conciliare esigenze** tra loro spesso contrastanti e necessitano della **collaborazione tra diverse discipline** (acustiche, dei materiali, etc..)



CONTROLLO DEL RUMORE DI ROTOLAMENTO: INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE SUPERFICIALI DELLA PAVIMENTAZIONI STRADALI

Come noto, le pavimentazioni influiscono sulla GENERAZIONE ed AMPLIFICAZIONE del RUMORE di ROTOLAMENTO dei pneumatici. Superfici stradali con determinate caratteristiche possono realizzare **ASSORBIMENTI GLOBALI E LOCALI** di tutti i rumori generati.

1. COMPONENTE DI ASSORBIMENTO GLOBALE

Relativa all'attenuazione delle onde sonore generate da tutte le sorgenti connesse al passaggio del veicolo, e **più volte riflesse** tra il fondo della scocca del veicolo e la superficie stradale

FENOMENO DELLE RIFLESSIONI MULTIPLE



**Perdita graduale dell'energia
acustica prodotta**

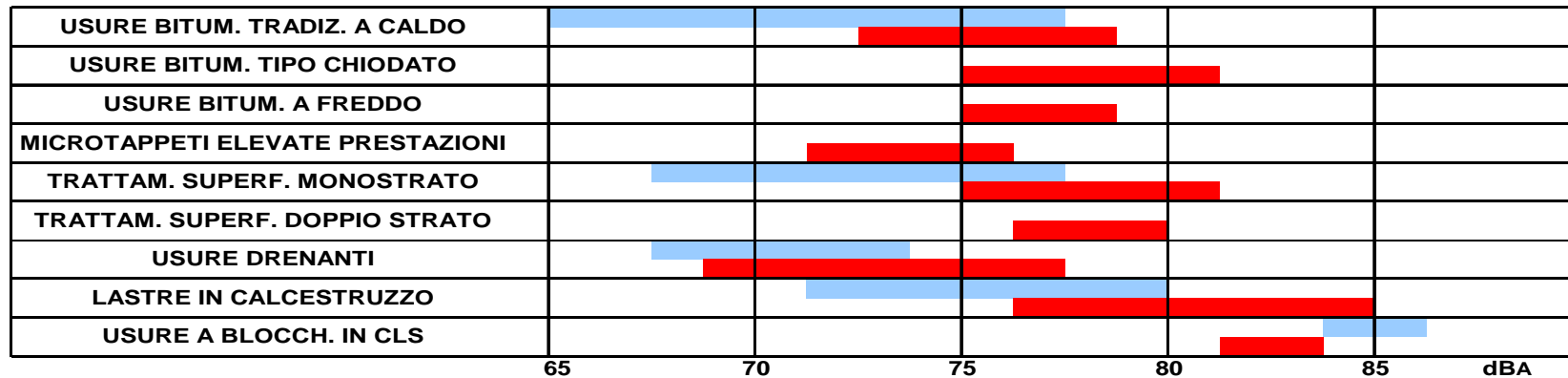
2. COMPONENTE DI ASSORBIMENTO LOCALE


Attenuazione dell'EFFETTO CORNO

In entrambe i casi, l'assorbimento è dovuto alla **STRUTTURA SUPERFICIALE ED INTERNA** della pavimentazione: le onde sonore che impattano queste strutture assorbenti vengono attenuate da una serie di riflessioni **INTERNE ALLE CAVITA' IN ESSE PRESENTI**.



RUMORE DI ROTOLAMENTO DEI PIU' DIFFUSI TIPI DI STRATI SUPERFICIALI



 Misure **interne** ai veicoli leggeri (80 Km/h)

 Misure **esterne** ai veicoli leggeri (80 Km/h)

- La variabilità delle misure riportate in tabella scaturisce da: DIVERSE METODOLOGIE ADOTTATE, NON OMOGENEITA' DELLE FONTI DEI DATI, DIVERSITA' STRUTTURALE di superfici omonime differenzianti in funzione dei materiali componenti impiegati.
- E' importante valutare la POSIZIONE MUTUA delle fasce, specialmente per quelle del rumore misurato all'ESTERNO, che tiene conto (per le superfici POROSE cioè DRENANTI) dei citati EFFETTI di ASSORBIMENTO LOCALE E GLOBALE.
- **STANDARDIZZAZIONE DELLA MISURA DEL RUMORE (CONFRONTO TRA DIVERSE PAVIMENTAZIONI) :**

**SUPERFICIE STRADALE
DI RIFERIMENTO:**

Conglomerato bituminoso chiuso con granulometria max 10÷13 mm, posta in opera da **almeno 1 anno**.



Una superficie presenta un BASSO RUMORE da TRAFFICO se presenta, rispetto al riferimento, **valori inferiori di almeno 3 dBA**