

## LA MITIGAZIONE DELL'INQUINAMENTO ACUSTICO NEI GRANDI ASSI STRADALI URBANI ATTRAVERSO L'ADOZIONE DI MANTI "SPECIALI": INDAGINE TEORICO-SPERIMENTALE

*Praticò, F. G., Moro, A., Ammendola, R.,  
Dipartimento DIMET, Università Mediterranea di Reggio Calabria -  
filippo.pratico@unirc.it, antonino.moro@unirc.it, rachele.ammendola@unirc.it*

### ABSTRACT

Nell'ambito della progettazione, costruzione e gestione delle reti di trasporto, le principali strategie di mitigazione degli effetti connessi all'inquinamento acustico generato da traffico veicolare sono riconducibili ad interventi di tipo attivo (impiego di manti speciali, controllo del traffico, etc.), che operano sulla sorgente del rumore al fine di ridurre il livello di emissione, e ad interventi di tipo passivo (barriere, isolamento acustico degli edifici, etc.) concepiti per ostacolare la propagazione del rumore dalla sorgente al ricevitore. Negli ultimi anni i conglomerati bituminosi drenanti fonoassorbenti si sono rivelati come una delle soluzioni tecnologiche più vantaggiose in termini di sicurezza (percepita) della circolazione ed attenuazione del rumore.

Come ben noto, il coefficiente di assorbimento acustico dipende dallo spessore dello strato, dalle proprietà volumetriche e, in particolare, dalla porosità della miscela che può acquisire ruolo di vero e proprio governo delle prestazioni assorbenti. Alla luce di ciò, l'obiettivo di questa memoria è stato quello di analizzare le caratteristiche di porosità dei conglomerati bituminosi drenanti al variare delle tecniche di misura impiegata, trattandosi di caratteristiche chiave in termini di proprietà fonoassorbenti. Un apposito piano di sperimentazione, concernente differenti metodiche per la determinazione delle proprietà volumetriche, è stato progettato e realizzato. I risultati ottenuti hanno consentito di dedurre considerazioni di ausilio nel progetto e nell'analisi dei processi di mitigazione acustica.

### KEYWORDS

*Assi stradali urbani; mitigazione acustica; pavimentazione*



## INTRODUZIONE

La mitigazione dell'inquinamento acustico nei grandi assi stradali urbani attraverso l'adozione di manti "speciali" costituisce un'opportunità di cui usufruire attraverso azioni mirate. Non può, però, essere sottaciuto che a fronte delle usuali dichiarazioni di fattibilità, il livello tecnico-scientifico del settore delle costruzioni e della ricerca necessita ancora di notevoli sforzi affinché l'affidabilità di processo sia ottimizzata.

A ciò, poi, si aggiunge la sussistenza di un insieme di fattori che amplificano il rischio di insuccesso, tra i quali il decadimento delle caratteristiche di assorbimento e quindi di porosità. Alla luce di ciò, l'obiettivo di questa memoria è stato quello di analizzare le caratteristiche di porosità dei conglomerati bituminosi drenanti al variare delle tecnica di misura impiegata, trattandosi di caratteristiche chiave in termini di proprietà fonoassorbenti. Il lavoro è articolato in una sezione concernente il quadro normativo, una la metrica dei processi di ottimizzazione e controllo ed una il complesso delle strategie percorribili.

È poi riportata e discussa l'indagine sperimentale a tal fine progettata e realizzata.

## QUADRO NORMATIVO

La legislazione Italiana, in materia di tutela degli ambienti di vita e dell'ambiente esterno dall'inquinamento acustico, si fonda su due principali disposizioni legislative:

- La Legge 26 ottobre 1995 n° 447, "Legge quadro sull'inquinamento acustico";
- La Direttiva Europea 2002/CE/49 sul rumore ambientale.

La legge 26 ottobre 1995, n° 447 affronta in maniera organica le molteplici problematiche connesse all'inquinamento acustico, esplicitando competenze, tipi di sorgente, limiti di emissione e di immissione, limiti di qualità, modalità di rilievo, modalità di risanamento. In presenza di progetti di nuove infrastrutture, tale disposizione legislativa richiede una analisi preventiva di impatto acustico, mentre obbliga alla redazione di piani di risanamento acustico nelle aree, interessate da infrastrutture già esistenti, caratterizzate da un superamento dei limiti di legge [Praticò et alia, 2006].

Per quanto concerne la Direttiva Europea 2002/CE/49, essa prevede per gli Stati membri l'attuazione delle seguenti azioni successive: i) realizzazione della mappatura acustica (valutazione dell'esposizione al rumore mediante l'utilizzo di metodi comuni agli Stati membri); ii) divulgazione al pubblico; iii) attuazione, sulla base dei risultati derivanti dalla mappatura acustica, di piani d'azione per l'abbattimento del rumore nelle aree da migliorare e per la preservazione di quelle che non necessitano di intervento.

Per recepire tale Direttiva, risulta necessaria da parte degli Stati membri l'emanazione di una serie di decreti attuativi al fine di adattare gli impianti normativi nazionali a quelli comunitari.

Occorre rimarcare le seguenti differenze sostanziali:

- nella Direttiva Europea, le attività previste vanno ripetute periodicamente ogni 5 anni;
- sulla base della legge 26 ottobre 1995 n° 447, invece, gli interventi da attuare sono circoscritti nel tempo e non suscettibili di successive modifiche o revisioni.

Con riferimento alle valutazioni acustiche relative alla mappatura acustica prevista dalla Direttiva e quelle eseguite in conformità ai riferimenti nazionali vigenti, appaiono evidenti problematiche e criticità dovute a:

- Indicatori di rumore;
- Conversione dei livelli misurati o calcolati (negli equivalenti livelli a lungo termine);
- Metodica di rilievo (correzione dei valori misurati dovuta al contributo delle riflessioni sulle facciate degli edifici);
- Estensione (longitudinale e trasversale) della rete da sottoporre a valutazione;
- Modello di calcolo adottato per la determinazione dei livelli di rumore.

## METRICA

Nell'ambito delle infrastrutture stradali, la caratterizzazione acustica di un'area fa riferimento esclusivamente al rumore generato dalle sorgenti infrastrutturali escludendo i contributi dovuti alle sorgenti di tipo industriale. In relazione alla complessità ed alla porzione di territorio interessato, essa può essere realizzata tramite una campagna di rilievi fonometrici (nel qual caso la validità dei risultati è limitata ai punti di rilievo) oppure mediante un modello matematico, opportunamente tarato utilizzando i dati forniti da una campagna di rilievi strumentali appositamente progettata.

La tabella 1 riporta una classificazione dei principali indicatori impiegati:

**Tabella 1 – Principali indicatori impiegati**

IMPIANTO NORMATIVO	INDICATORE
<i>Normativa Italiana</i>	$L_{Aeq,TR} = 10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{Aeq}(T_o)_i)} \right] \quad dB(A)$
	$L_{Aeq,TL} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,TR}_i)} \right] \quad dB(A)$
<i>Direttiva Europea</i>	$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left[ 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right] \quad dB(A)$

### LEGENDA

$(T_o)_i$  = intervallo del tempo di osservazione di un'ora;  $L_{Aeq}(T_o)_i$  = livello equivalente di singoli valori orari;  $T_R$  = Tempo di Riferimento (rappresenta il periodo della giornata all'interno del quale si eseguono le misure: diurno, compreso nell'intervallo tra le 6,00 e le 22,00, e quello notturno compreso tra le 22,00 e le 6,00);  $L_{Aeq,TR}$  = livello continuo equivalente ponderato A nel periodo di riferimento  $T_R$ ;  $L_{Aeq,TL}$  = livello equivalente medio settimanale (diurno e notturno);  $L_{day}$  = livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A" (calcolato sull'insieme dei periodi diurni di un anno);  $L_{evening}$  = livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A" (calcolato sull'insieme dei periodi serali di un anno);  $L_{night}$  = livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A" (calcolato sull'insieme dei periodi notturni di un anno);  $N$  = numero dei valori di  $(L_{Aeq,TR})_i$  relativi ad uno stesso tempo di riferimento  $T_R$  (pari a 7 nel caso di monitoraggio settimanale);  $n$  = è pari a 16 nel periodo di riferimento diurno e pari a 8 nel periodo di riferimento notturno.

Il processo di conversione degli indicatori nazionali in quelli comunitari risulta caratterizzato da problematiche connesse all'estensione temporale dei rilievi (da settimanale, come da normativa Italiana, ad annuale come indicato dalla Direttiva Europea), alle condizioni ambientali di misura (gli indicatori comunitari prevedono che sia stimata l'incidenza dei fattori meteorologici), al contenuto del segnale misurato (gli indicatori previsti dalla normativa italiana tengono conto dei contributi dovuti alle riflessioni prodotte dalle facciate delle abitazioni, mentre gli indicatori comunitari fanno riferimento alla sola componente incidente del segnale).

### STRATEGIE PER LA MITIGAZIONE

Tra le strategie impiegabili per la mitigazione dell'impatto acustico, particolare rilievo hanno quelle relative alla riduzione alla sorgente, quelle che operano sulla propagazione e quelle che, invece, proteggono il recettore antropico (figura 1).

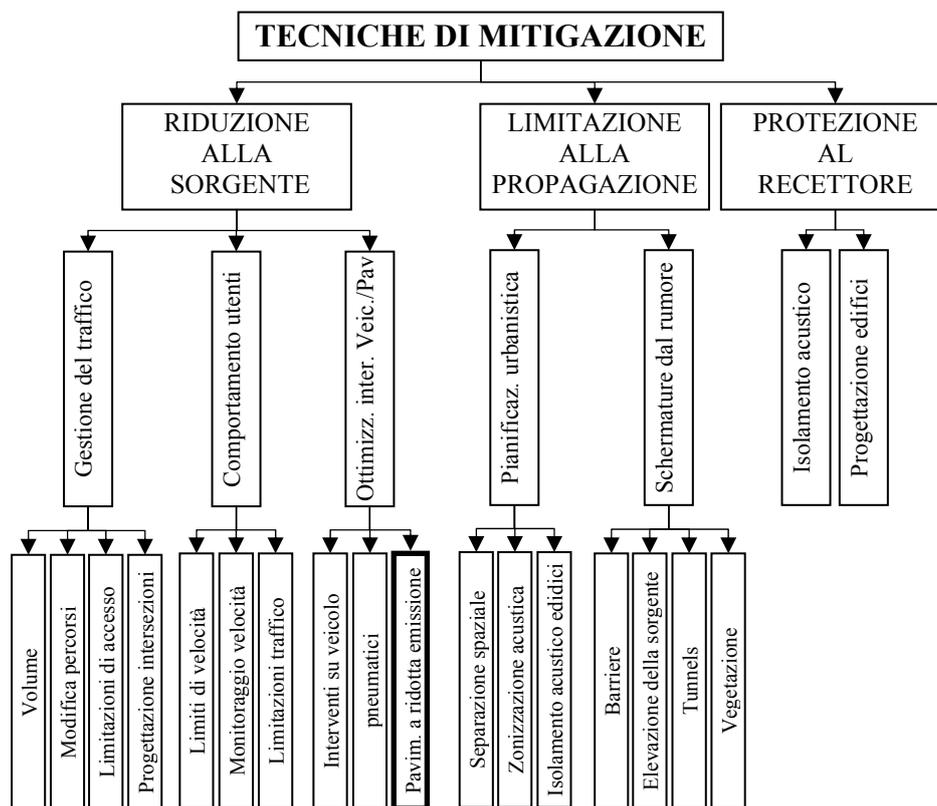


Figura 1 - Albero delle tecniche di mitigazione

È possibile osservare che tra le tecniche di mitigazione fondate sulla riduzione dell'impatto acustico nell'interfaccia pavimentazione-pneumatico, è possibile annoverare la realizzazione di pavimentazioni a ridotta contribuzione acustica.

Per ciò poi, che, in particolare, concerne il relativo ruolo della pavimentazione nella generazione sonora, esso appare schematizzabile come in figura 2 [Haider et alia, 2007]. Attraverso l'analisi della figura è possibile da subito dedurre l'estrema complessità del problema, anche per effetto della interazione tra due sistemi estremamente difficili da modellizzare tanto in quanto a proprietà volumiche (porosità, impedenza meccanica, moduli, per la pavimentazione, variazione nel tempo e nello spazio delle caratteristiche del fluido contenuto nel pneumatico, caratteristiche meccaniche della mescola impiegata per il pneumatico), che per ciò che concerne le proprietà di frontiera (tessitura della pavimentazione, conformazione e stato del battistrada).

Qualora si voglia operare una mitigazione operando sulle caratteristiche della pavimentazione, risulta possibile perseguire l'obiettivo operando, per esempio, su percentuale dei vuoti e tessitura [Boscaino et alia, 1998]. Le motivazioni di quanto sopra sono da ricercare nella necessità di attenuare il rumore prodotto per effetto tanto della minimizzazione della generazione, che della attenuazione per assorbimento acustico (contenuto di vuoti residuo).

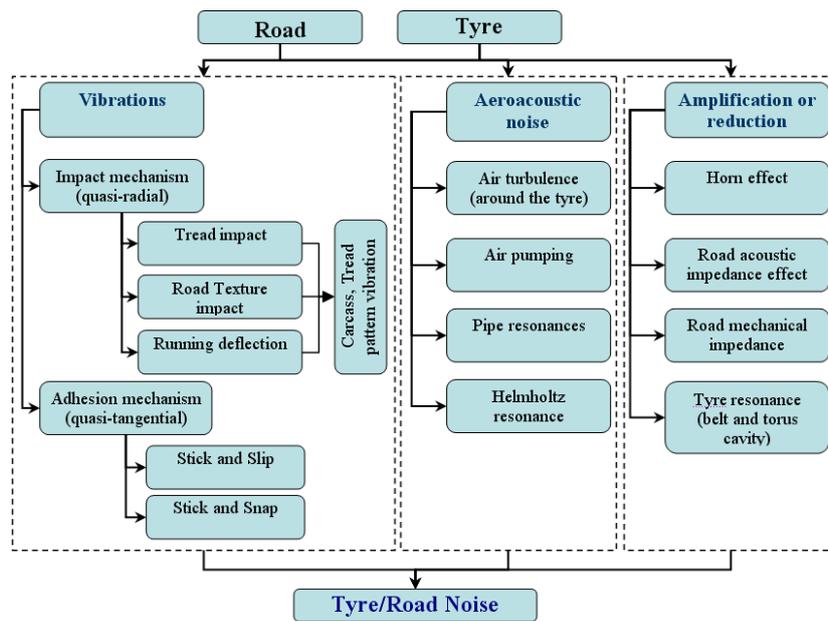


Figura 2 - Classi fenomenologiche del disturbo sonoro da interazione pneumatico-superficie stradale

## PAVIMENTAZIONI A RIDOTTA CONTRIBUZIONE ACUSTICA

Per effetto di quanto precede, ai fini di una pratica ottimizzazione, risulta molto utile conoscere le prestazioni di alcune classi di conglomerati bituminosi. Le caratteristiche acustiche dei conglomerati dipendono principalmente da generazione ed assorbimento. Quest'ultimo dipende soprattutto dall'assortimento granulometrico e dalla percentuale di bitume (sono numerose le ulteriori variabili che interagiscono con le predette). Alla luce di quanto precede, le figure da 3 a 5 riassumono alcune informazioni fondamentali relative a possibili strategie perseguibili in tal senso. Sono in particolare individuati i fusi granulometrici, le percentuali di bitume, lo spettro di assorbimento (esempio), un indicatore di tessitura e la conseguente riduzione sonora. A titolo esemplificativo sono trattate le seguenti miscele: drenanti (Porous Asphalt concrete, PA), Splitt mastix asphalt (SMA), usure tradizionali (DENSE ASPHALT CONCRETE, DAC) [Crocker et alia, 2004; De Graaff et alia, 2005; Descornet, Goubert, 2006; Leung, 2007; Sandberg, Ejsmont, 2002].

Trattasi, naturalmente, di informazioni di massima almeno per due ordini di motivazioni: complessità sistemica (molte altre variabili) e varianza intrinseca.

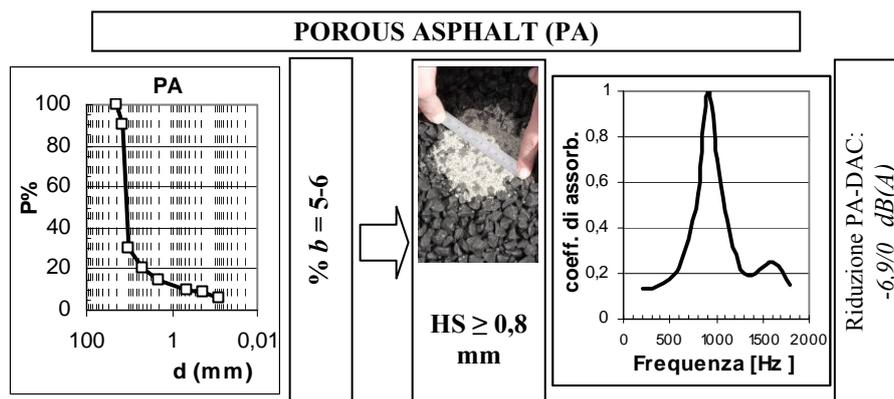


Figura 3 - Drenanti: miscela ed impatto sonoro

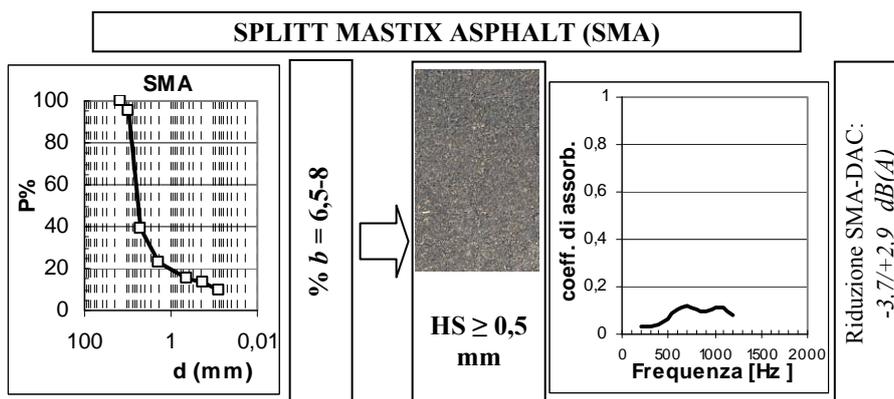
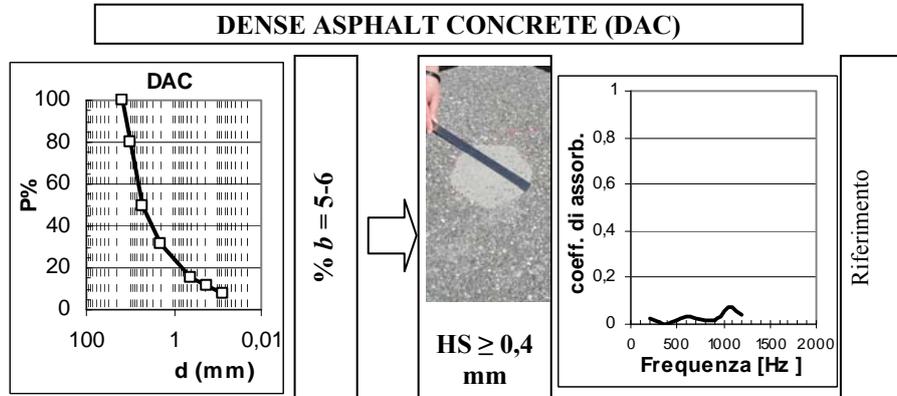


Figura 4 - SMA: miscela ed impatto sonoro



**Figura 5 - DAC**

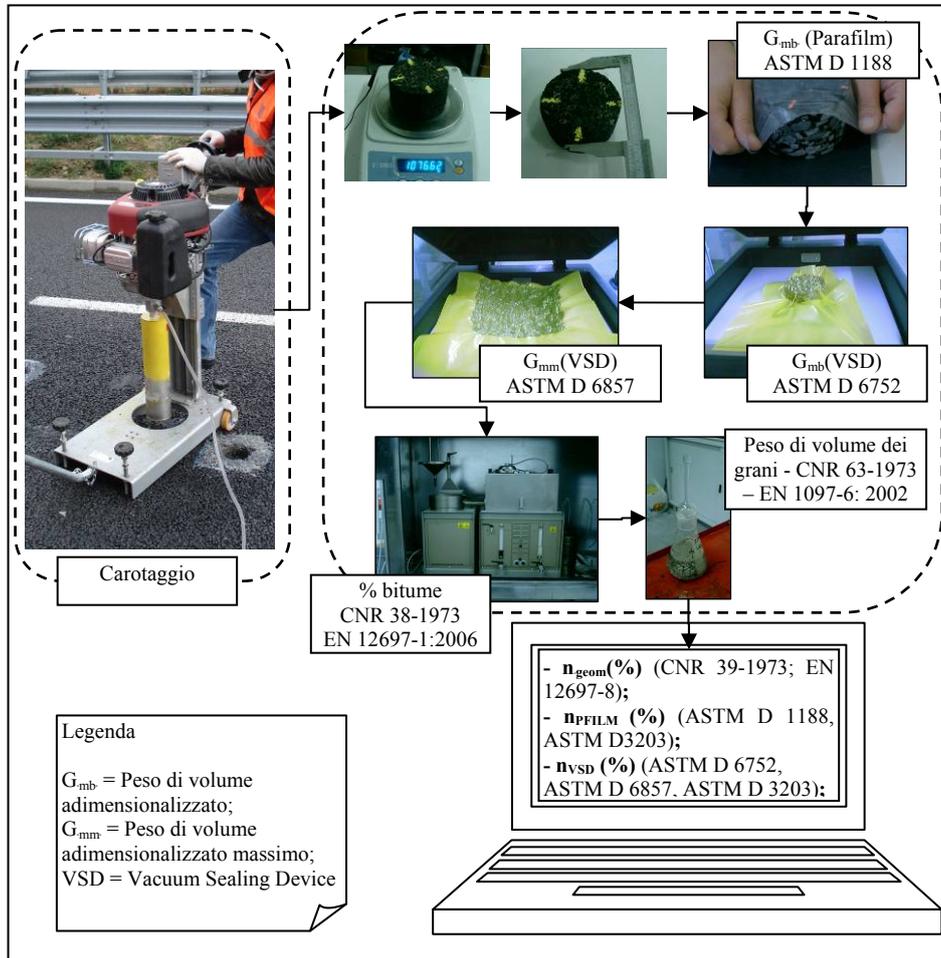
## INDAGINE SPERIMENTALE

Come sopra menzionato, la porosità può costituire una variabile fondamentale in termini di mitigazione dell'inquinamento acustico per effetto della sostanziale dipendenza da essa della aliquota di energia acustica assorbita dalla pavimentazione.

La determinazione di tale grandezza è, però, affetta da numerose sorgenti di varianza e sono inoltre molteplici le tecniche e le metodiche di prova.

Al fine di acquisire informazione sull'influenza della tecnica di misurazione del volume residuo dei vuoti della miscela compattata sul valore stimato, è stata, allora, progettata ed eseguita un'apposita indagine sperimentale riassunta in figura 6.

Su campioni prelevati in situ di conglomerato bituminoso drenante (cfr. figura 6) sono stati misurati, presso il Laboratorio di Prove sui Materiali Stradali, Ferroviari ed Aeroportuali della Facoltà di Ingegneria dell'Università Mediterranea, parametri attinenti alla condizione volumetrica delle miscele indagate.



**Figura 6 - Fasi, standard ed indicatori principali della sperimentazione**

In particolare sono state determinati:

- il valore del contenuto di legante (CNR 38-1973; EN 12697-1:2006);
  - il valore della massa volumica apparente dei granuli di un aggregato (CNR 63-1978; EN 1097-6: 2002);
  - il valore del peso di volume geometrico (EN 12697-6) al fine di determinare la porosità residua (CNR 39-1973; EN 12697-8: 2003);
  - i valori dei pesi di volume adimensionalizzati ( $G_{mb}$  e  $G_{mm}$ ) impiegando le tecniche Parafilm (ASTM D 1188) e Vacuum Sealing Device -VSD (ASTM D6752, ASTM D 6857) al fine di calcolare la porosità residua secondo la norma ASTM D 3203;
- Si è reso così possibile pervenire alla determinazione delle relative porosità, di seguito denominate porosità “geometrica”,  $n_{geom}$ , porosità “parafilm”,  $n_{PFILM}$ , porosità “VSD”,

$n_{VSD}$ . Le tecniche di determinazione sono specificate in tabella 2, unitamente (ove possibile) alla ripetibilità/riproducibilità della prova per la determinazione della densità.

**Tabella 2**

Principio/ Norma	Input	Output (compresa la porosità $n_{geom}$ , per esempio)	r R (ripetibilità e riproducibilità)
EN 12697-6 BU N39- 1973 EN 12697-5 EN 12697-8	$A,$ $V_{Geom},$ $b_c, \gamma_a,$ $\gamma_b,$ $\rho_{cb}, \rho_m,$ $\rho_a, \rho_b,$ $\rho_b, \rho_a$	$\gamma_{cb\ geom} = \frac{Ag}{V_{Geom}}$ $n_{geom} = 100 - \gamma_{cb\ geom} \cdot \left[ \frac{b_c}{\gamma_b} + \frac{100 - b_c}{\gamma_a} \right]$ $\rho_m = \frac{100}{(p_a / \rho_a) + (p_b / \rho_b)}$ $n_{geom} = \frac{\rho_m - \rho_{cb}}{\rho_m} \cdot 100$	$\rho_{cb}:$ $r \cong (17 + 0,3 A') \text{ kg/m}^3$ $R = (22 + 0,6 A') \text{ kg/m}^3$  $n:$ $r = 1,1\%;$ $R = 2,2\%;$ $(**)$
ASTM D 1188 (abs>2%) ASTM D 6857 ASTM D 3203	$A, B'',$ $C'', D',$ $E', F,$ $V_c$	$G_{mbPFILM} = \frac{A}{D' - E' - \frac{D' - A}{F}}$ $G_{mm} = \frac{A}{B'' + A - C'' - \frac{B''}{V_c}}$ $n_{PFILM} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right)$	$G_{mbPFILM} :$ $r = 0.079$ $R = 0.095$  $"G_{mm}" :$ $r \cong 7 \text{ kg/m}^3$ $R = 20 \text{ kg/m}^3$  $n:$ $\sigma_{BULKSS} = 0,007$ $\sigma_{MSS} = 0,004$ $\sigma_{AV} = 0,00316$ $r \sim R = 2,8 \cdot \sigma_{AV} \cong 1\%$
ASTM D 6752 ASTM D 6857 ASTM D 3203	$A, B',$ $B'',$ $C'', D',$ $E',$ $F, F_i,$ $V_c$	$G_{mbVSD} = \frac{A}{B' - E' - \frac{B' - A}{F_i}}$ $G_{mm} = \frac{A}{B'' + A - C'' - \frac{B''}{V_c}}$ $n_{VSD} = 100 \cdot \left( 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right)$	$G_{mbVSD} :$ $r = 0.035$ $R = 0.038$  $n:$ $\sigma_{BULKSS} = 0,007$ $\sigma_{MSS} = 0,004$ $\sigma_{AV} = 0,00316$ $r \sim R = 2,8 \cdot \sigma_{AV} = 1\%$

**Legenda:**  $A$  = massa del campione asciutto in aria;  $A'$  = percentuale in massa di aggregato trattenuto al setaccio 11,2 mm; abs > 2%: assorbimento maggiore del 2%;  $B'$  = massa del campione asciutto e sigillato;  $B''$  = massa combinata delle 2 buste di plastica;  $b_c$  = percentuale di legante riferita alla miscela;  $C''$  = massa della miscela e delle buste in acqua;  $D'$  = massa del campione asciutto e rivestito;  $E'$  = massa of del campione sigillato/rivestito in acqua;  $F$  = peso specifico adimensionalizzato del Parafilm a 25°C;  $F_i$  = peso specifico adimensionalizzato della busta di plastica;  $G_{mb}$  = Peso di volume adimensionalizzato;  $G_{mm}$  = Peso di volume adimensionalizzato massimo;  $\gamma_a$  = peso specifico dei granuli dell'aggregato;  $\gamma_b$  = peso specifico del legante;  $\gamma_{cb}$  = peso di volume della miscela;  $\rho_{cb}$  = densità del campione;  $\rho_m$  = densità massima della miscela;  $n$  = porosità;  $p_a$  = % di aggregati nella miscela;  $p_b$  = % di legante nella miscela;  $\rho_b$  = massa volumica di legante a 25 °C;  $\rho_a$  = massa volumica apparente degli aggregati; (\*\*\*) valore di riferimento multimetodo: non rappresentativo in senso stretto [EN 12697-8]; Significato: si

tratta di valori riferiti alla comune espressione del contenuto dei vuoti in termini di percentuale.

Le figure da 7 a 9, nelle quali in tratteggio è indicata la linea di eguaglianza, ed in linea continua l'interpolante lineare passante per l'origine, riassumono i risultati ottenuti, nei termini del confronto tra le tre classi di porosità prima introdotte.

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile osservare che, per il campione osservato:

- La porosità geometrica è in generale maggiore della porosità parafilm e questa ultima della VSD; in particolare risulta:

$$n_{VSD} = 0,90 n_{PFilm} = 0,87 n_{geom};$$

- I coefficienti di variazione ( $CV = (\sigma/x) \cdot 100$ ) variano tra 0,159 e 0,163 ed attingono il minimo per la metodologia VSD ( $CV=15,9$ ) ed il massimo per la metodologia geometrica ( $CV=16,3$ );
- I coefficienti di determinazione ( $R^2$ ) variano da 0,67 (VSD-geometrica) a 0,97 c.a. (VSD-parafilm);
- Gli scostamenti percentuali di porosità, per miscele intorno al 20% di porosità, sono compresi nel dominio 3% ~ 13%.

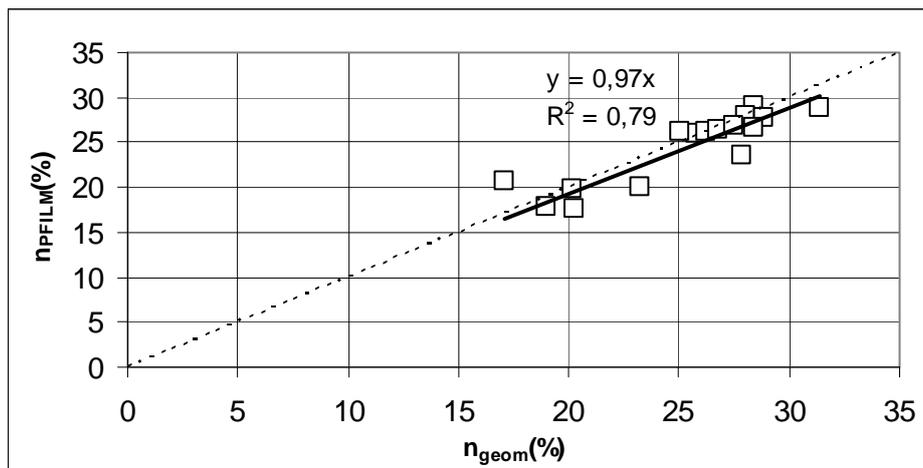


Figura 7 - Porosità "geometrica" e porosità "parafilm"

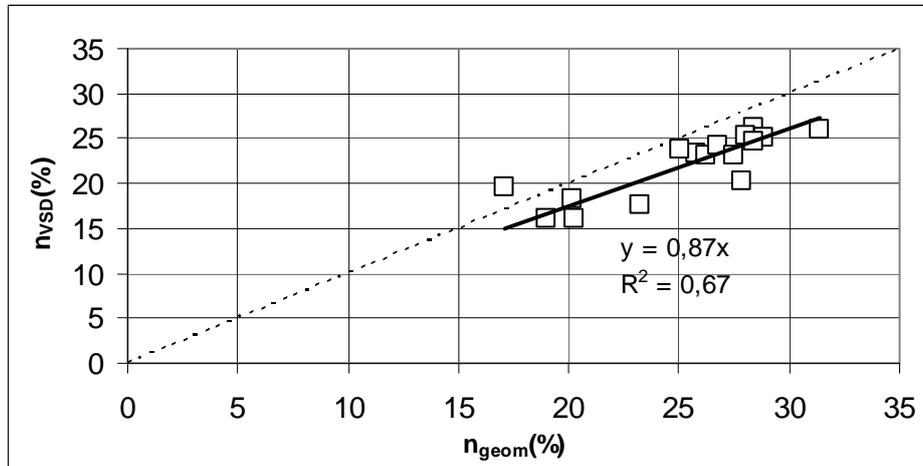


Figura 8 - Porosità “geometrica” e porosità VSD

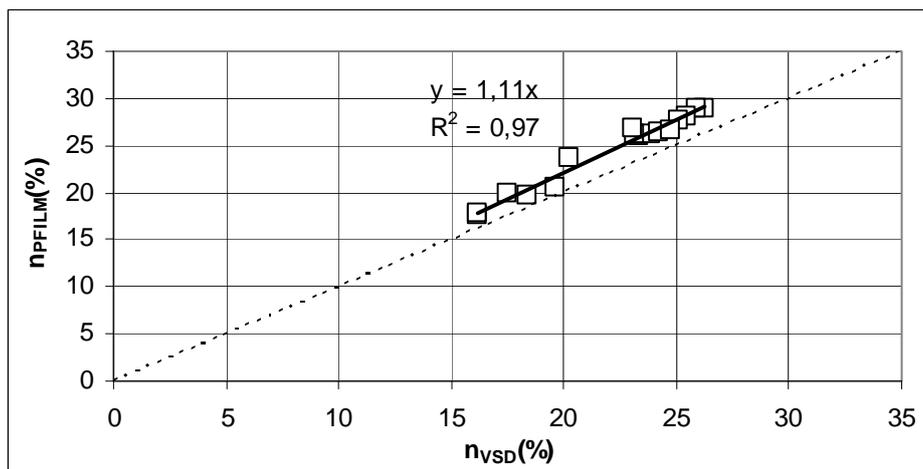


Figura 9 - Porosità “VSD” e porosità “parafilm”

## CONCLUSIONI

Sulla base di quanto sopra è possibile concludere come segue:

- 1) La mitigazione dell'inquinamento acustico nei grandi assi stradali urbani attraverso l'adozione di manti “speciali” costituisce un'esigenza condivisa. La risposta scientifico-normativa ad essa rende gli stati europei ancora in grado di attrarre l'interesse scientifico internazionale. L'impianto normativo italiano, in tal senso, si distingue per l'attenzione riservata ai problemi di inquinamento acustico ed alla relativa razionalizzazione e risoluzione; a tal proposito sono

- presenti ancora degli elementi suscettibili di ottimizzazione, alcuni dei quali relativi al processo di integrazione Italia-Europa;
- 2) L'architettura teorica di sistema, per ciò che concerne l'interazione pneumatico-pavimentazione ed in particolare per ciò che da ultimo riguarda l'aspetto meramente infrastrutturale, è complessa ed articolata e non può dirsi affatto sistematizzata nei termini di una scienza della mitigazione per via infrastrutturale. Purtroppo sono stati evidenziati alcuni legami logici, cui sono legate espressioni algoritmiche che rendono il processo di ottimizzazione percorribile, sia pur con notevoli incertezze;
  - 3) in tale ambito, attraverso l'indagine sperimentale, si è posto in evidenza che il controllo e l'assicurazione di qualità sulle proprietà volumetriche di porosità, così rilevanti per la mitigazione acustica, non appaiono esenti da problemi intrinseci, per effetto della molteplicità delle metodiche ma soprattutto, per effetto di una talvolta non sufficientemente chiara definizione degli stessi. Ciò comporta la possibilità che varianza di prova, eterogeneità del materiale e non esplicita specificazione della esatta metodologia di misura possano associarsi ad apprezzabili conseguenze in termini di prestazioni acustiche delle pavimentazioni progettate.

## BIBLIOGRAFIA

- Boscaino G., la Torre F., Praticò F.G. (1998), *Rumore e Vibrazioni da traffico – L'influenza delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni - Rumore di Rotolamento*, Quaderno AIPCR, Comitato nazionale italiano, Verona, 18/21 Maggio 1998.
- Crocker, M.J., Hanson, D., Li, Z., Karjatkar, R., Vissamraju, K. S. (2004), *Measurement of the Acoustical and Mechanical Properties of Porous Road Surface and Tire/Road Noise*, Proceeding of the 83<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, U.S.A., 2004.
- De Graaff, D.F., Peeters, A.A.A., Peeters, H.M. (2005), *Tyre/road noise measurements of truck tyres*, Report M+P.DWW.03.7.1.
- Descornet, G., Goubert, L. (2006), *Noise classification of road pavements, Task 1: Technical background information, Draft report*, COWI, European Commission Directorate-General Environment.
- Haider, M., Descornet, G., Sandberg, U., Praticò, F.G. (2007), *Road Traffic Noise Emission: Recent Developments and Future Prospects*, 4<sup>th</sup> International SIV Congress, Palermo, 12 – 14 September, 2007.
- Leung, Y. F. (2007), *Evaluation of Sound Attenuation Abilities of Various Asphalt Pavements*, thesis presented to the University of Waterloo, Master of Applied Science in Civil and Environmental Engineering, Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
- Praticò F.G, Bellucci P., Celauro C. (2006), Comitato Tecnico 4.2 “INTERAZIONE STRADA/VEICOLO”, *Interazione veicolo-strada: Guida alla valutazione e pianificazione degli interventi di risanamento acustico*, XV Convegno Nazionale Stradale AIPCR, Napoli, 4-7 Ottobre 2006.
- Sandberg, U., Ejsmont, J.A. (2002), *Tyre/Road Noise Reference Book*, INFORMEX Ejsmont & Sandberg, Harg, SE-59040 Kisa, Sweden.