

Prestazioni acustiche degli asfalti a bassa rumorosità in scenari urbani

08



ecopneus

il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

in collaborazione con



Vie En.Ro.Se.



Sommario

Prefazione	13
1. Suono e rumore: generalità e modalità di propagazione	16
1.1 Il suono	17
2. Il rumore in città e gli effetti sulla salute	20
2.1 Rumore in città	22
2.2 Effetti nocivi del rumore	24
3. Metodi per l'abbattimento del rumore in città	26
3.1 Sistemi per la riduzione della rumorosità alla sorgente	30
MODIFICA DEL PIANO DEL TRAFFICO	30
DOSSI RALLENTATORI – ATTRAVERSAMENTI PEDONALI RIALZATI	31
RESTRINGIMENTI DI CARREGGIATA	32
SEMAFORO DISSUASORE	32
MISURATORE DI VELOCITÀ – AUTOVELOX	33
DISSUASORE DI TRAFFICO E VELOCITÀ	33
ROTATORIE	34
MEZZI PUBBLICI ELETTRICI	35
3.2 Sistemi per la riduzione della rumorosità lungo il cammino di propagazione	36
3.3 Interventi diretti al ricettore	40

4. Pavimentazioni stradali a confronto	.42
4.1 Manti di usura con polverino di gomma	.44
4.2 Conglomerati drenanti monostrato	.46
4.3 Conglomerati drenanti doppio strato	.48
4.4 Microtappeti a caldo	.49
4.5 Splittmastix asphalt	.50
4.6 Conglomerati bituminosi con argilla espansa	.51
MANTI DI USURA A TESSITURA OTTIMIZZATA	.52
4.7 Pavimentazione eufonica	.52
4.8 Pavimentazione poro-elastica	.54
Riferimenti	.55
5. Manti di usura con polverino di gomma	.56
5.1 Il legante e le miscele Asphalt Rubber	.58
ASPHALT RUBBER TESSITURA OTTIMIZZATA	.61
5.2 Utilizzo dell'Asphalt Rubber come pavimentazione a bassa rumorosità, le esperienze internazionali	.66
Riferimenti	.79
6. Metodologie di prova delle pavimentazioni a bassa rumorosità	.80
6.1 Metodi normalizzati per la misura delle prestazioni acustiche	.82
STATISTICAL PASS-BY	.84
METODO ADRIENNE	.86
IL METODO CPX (CLOSE PROXIMITY)	.87
TUBO AD IMPEDENZA (TUBO DI KUNDT)	.89
6.2 Metodi non normalizzati per la misura delle prestazioni acustiche	.91
STATISTICAL PASS-BY BACKING BOARD METHOD (SPB-BB)	.91

Riferimenti	.93
7. Prestazioni acustiche delle pavimentazioni in Asphalt Rubber	.94
7.1 Il progetto	.102
7.2 Gli scenari	.110
7.3 I risultati	.124
7.3.1 Confronti ante-operam-post-operam con misure di lungo periodo	.125
7.3.2 Confronti asfalto Tradizionale – Asphalt Rubber con misure di lungo periodo	.131
7.3. Confronti asfalto Tradizionale – Asphalt Rubber con misure di Statistical Pass-By (SPB / USPB)	.144
7.4 Tabelle riepilogative dei risultati	.162
7.5 Prospettive ed estensioni dello studio	.168
7.5.1 Considerazioni relative alle tipologie di sezione nel metodo Urban Statistical Pass-By	.168
7.5.2 Considerazioni relative alle prestazioni del tappeto di usura in Asphalt Rubber nel tempo	.170
Normativa tecnica	.171
Legislazione	.173

Vie En.Ro.Se. Ingegneria

Vie En.Ro.Se. Ingegneria S.r.l. è una società di progettazione e consulenza di alto livello (certificata ISO 9001:2008), specializzata in ingegneria ambientale e della sicurezza, che vanta ampie e numerose esperienze di progettazione e consulenza nei campi dell'acustica ambientale, edilizia e architettonica e degli altri agenti fisici; dell'igiene ambientale e occupazionale, dello sviluppo sostenibile e dei sistemi di gestione.

Vie En.Ro.Se. ha sviluppato un'esperienza più che ventennale nei suddetti campi, guidando o partecipando a progetti nazionali e internazionali, per enti pubblici e aziende private, anche co-finanziati dalla EU, e ha collaborato con numerose entità accademiche e istituti di ricerca, prima fra tutte l'Università di Firenze. Tra le competenze specifiche e i campi di esperienza di Vie En.Ro.Se. si segnalano: valutazioni

previsionali di clima e impatto ambientale in scenari complessi; piani di monitoraggio, di risanamento e di bonifica; monitoraggi e classificazioni acustiche, mappature acustiche strategiche di città, agglomerati, infrastrutture dei trasporti; piani d'azione e di risanamento per aree industriali; verifiche di impatto ambientale e progettazione delle opere di mitigazione in ambito stradale e ferroviario; piani per il miglioramento della qualità della vita in aree urbane; piani e progetti per la riduzione degli inquinanti ambientali; piani e progetti di bonifica degli ambienti di lavoro.

Vie En.Ro.Se. si occupa a livello scientifico di problematiche di acustica, ingegneria ambientale e igiene occupazionale, partecipa all'organizzazione di convegni a livello nazionale e internazionale, a progetti di ricerca internazionali e annovera nel suo staff esperti certificati e provenienti dall'area scientifica e accademica.

Hanno collaborato alla stesura del presente volume Luca Barbieri, Raffaella Bellomini, Matteo Goretti e Sara Recenti.



ecopneus

il futuro dei pneumatici fuori uso, oggi

Ecopneus

Ecopneus scpa è una società senza scopo di lucro nata per il rintracciamento, la raccolta, il trattamento e il recupero finale dei Pneumatici Fuori Uso (PFU) in Italia.

Nasce nel 2009 per consentire ai produttori e importatori di pneumatici operanti in Italia di adempiere agli obblighi previsti dall'art. 228 del Decreto Legislativo 152/2006 che impone agli stessi di assicurare la corretta gestione dei PFU con una responsabilità proporzionale alle quote di mercato rappresentate.

Soci fondatori di Ecopneus sono i sei principali produttori e importatori di pneumatici operanti in Italia: Bridgestone, Continental, Goodyear Dunlop, Marangoni, Michelin e Pirelli.

Ai soci fondatori si sono aggiunte numerose aziende di produzione e importazione di pneumatici che hanno scelto di trasferire ad Ecopneus gli obblighi di gestione dei PFU sotto la loro responsabilità, così come definito dall'art. 4 del Decreto Ministeriale n.82 dell'11 aprile 2011. Rappresentando circa l'80% del mercato del ricambio di pneumatici in Italia, Ecopneus è oggi il principale protagonista nell'ambito del

sistema nazionale di rintracciamento, raccolta e recupero dei Pneumatici Fuori Uso (PFU), che nel suo complesso deve garantire il recupero del 100% dei PFU generati ogni anno.

Il sistema Ecopneus garantisce:

- identificazione di tutti i punti della generazione del rifiuto-pneumatico, con la mappatura completa di tutti i gommisti, delle stazioni di servizio, officine ed, in generale, i punti dove avviene il ricambio dei pneumatici;
- ottimizzazione della logistica, attraverso un'organizzazione del trasporto dei PFU integrato ed efficiente;
- promozione di nuovi impieghi dei PFU, stimolando i ricercatori ed i decisori di ogni livello per ampliare le possibilità di riutilizzo dei PFU;
- monitoraggio e rendicontazione, che eviteranno la dispersione dei PFU verso flussi illegali, rendendo trasparente ogni passaggio, e favorendo una rendicontazione puntuale



Francesco Borchi, nato a Firenze il 20 febbraio 1972, si è laureato in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze, nell'Anno Accademico 1997-98, con tesi dal titolo: "Distribuzione spaziale del rumore ambientale nel Comune di Sesto Fiorentino: separazione dei contributi relativi al traffico ferroviario ed aereo". Nel 1998 vince il concorso per il Dottorato di Ricerca in "Progetto e Costruzione di Macchine" presso l'Università di Firenze. Nel 2002 consegue il Dottorato di Ricerca con tesi dal titolo "Sviluppo di un sistema di gestione del clima acustico in ambiente urbano". Nel periodo 2002/2004 è risultato vincitore di un Assegno di Ricerca conferito dall'Università degli Studi di Firenze per compiere una ricerca dal titolo "Metodologie per lo sviluppo di un piano comunale di risanamento acustico".

Dal 2005 ad oggi è risultato vincitore di cinque borse di studio bandite dall'Università di Firenze nell'ambito dello studio del clima acustico negli ambienti di vita, della sperimentazione di nuove tecniche di risanamento, della progettazione acustica degli interventi ed della progettazione di Sistemi Informativi Territoriali, sistemi GIS (Geographic Information System), adeguati per la gestione del clima acustico in ambito urbano. Per quanto riguarda la didattica, ha maturato la sua esperienza dal 1998 in particolare nell'ambito universitario. In particolare nell'ambito universitario. Negli ultimi anni l'attività didattica si è concentrata principalmente negli ambiti dell'acustica ambientale ed edilizia, oltre a trattare problematiche specifiche legate all'esposizione al rumore ed alle vibrazioni negli ambienti di lavoro. In particolare, è stato docente a contratto (30/40 ore di lezione in ogni edizione del corso) all'interno del Corso di Formazione e Aggiornamento Professionale in "Acustica Ambientale: valutazione di impatto acustico e progettazione degli interventi di risanamento" attivato dall'Università degli Studi di Firenze a partire dal A.A. 2005-2006 fino ad oggi. Dal 1999 svolge attività professionale nell'ambito dell'acustica ed è Tecnico Competente in acustica ambientale (iscritto nell'elenco dalla Provincia di Firenze n°. 38) dal 2001. Attualmente è il Direttore Tecnico di Vie En.Ro.Se. Ingegneria società nata nel 2008, leader nel settore della gestione delle problematiche di inquinamento acustico e di consulenza per la pianificazione e progettazione delle azioni di risanamento per Enti pubblici e privati. È autore di circa 40 pubblicazioni scientifiche, gran parte delle quali nell'ambito dell'acustica ambientale ed architettonica, su riviste ed atti di convegni nazionali ed internazionali.



Sergio Luzzi, ingegnere – Esperto certificato in Acustica, Suono e Vibrazioni di livello III. Professore a contratto all'Università di Firenze e Honorary Visiting Professor alla Ural State University di Ekaterinburg (Russia). Socio e Direttore Tecnico di "VIE EN.RO.SE. Ingegneria", società certificata ISO 9000, specializzata in Ingegneria ambientale, Sicurezza e Igiene occupazionale. Socio ed esperto principale di progettazione acustica di Politecnica Ingegneria & Architettura. Consulente del Comune di Firenze e di altri enti pubblici e privati, italiani e stranieri, per le problematiche connesse alla sicurezza, all'inquinamento da rumore e alla pianificazione e progettazione del risanamento acustico.

Si occupa a livello scientifico di problematiche di acustica, cura l'organizzazione e il programma scientifico di numerosi convegni a livello nazionale e internazionale. Technical Manager dei progetti EU: LIFE+2008 HUSH, LIFE+2010 QUADMAP, IPA 2009 OSHEASTNET e direttore scientifico della OSHNET SCHOOL for certified education in OHS. È membro del Consiglio Direttivo Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica e dell'Executive Council dell'EAA (European Acoustical Association). È autore di 5 libri e di oltre 40 articoli scientifici sull'Acustica, la sicurezza degli ambienti di vita e di lavoro, l'elettrotecnica, la tecnica professionale.



Ines Antunes è laureata in ingegneria civile e edilizia presso l'Istituto Superiore Tecnico di Lisbona dove ha iniziato la sua esperienza professionale 12 anni fa nella progettazione di infrastrutture viarie e nella realizzazione di opere civili e geotecniche stradali presso la Consulpav Portugal.

Nel 2003 vince il concorso per il Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile presso l'Università degli Studi di Parma finanziato dalla Borsa di Ricerca del Fondo Sociale Europeo, del Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale e della Regione Emilia Romagna. Nel 2005 frequenta un stage su invito presso l'Arizona State University – Department of Civil and Environmental Engineering ed in seguito presenta la Tesi dal titolo "Asphalt Rubber: Studio della reologia del bitume modificato con polverino di gomma di pneumatico riciclata", marzo 2006.

È stata Responsabile del Settore Ricerca e Sviluppo presso Bitem s.r.l., con particolare riferimento a bitumi modificati con polimeri, additivi e emulsioni bituminose.

Attualmente è il Direttore Tecnico di Asphalt Rubber Italia s.r.l. società nata nel 2008 per introdurre in Italia la tecnologia Asphalt Rubber secondo la normativa ASTM D6114 (www.asphaltrubberitalia.com), dove svolge mansioni di responsabile tecnico e organizzativo, sviluppo commerciale e gestione del laboratorio di ricerca della tecnologia in collaborazione con i principali referenti scientifici del settore a livelli nazionale e internazionale. È autrice di numerose pubblicazioni scientifiche.



Daniele Fornai è laureato in Chimica Industriale all'Università degli Studi di Bologna, è il Responsabile Sviluppo Impieghi e Norme di Ecopneus.

Prefazione



Il traffico stradale è la causa principale di inquinamento acustico nei centri urbani. L'esposizione prolungata al rumore prodotto dal traffico provoca malessere e problemi fisici, con un aumento significativo della pressione sanguigna e della frequenza cardiaca nei soggetti maggiormente esposti. Da un recente studio pubblicato sull'European Heart Journal risulta che l'esposizione a livelli di rumorosità superiori di 10 decibel rispetto ai limiti fissati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità aumenta il rischio di ictus dal 14% al 27%. A questo si aggiungono tutti gli effetti di disturbo uditivo ed extra-uditivo tipici delle aree dove il clima acustico è fortemente influenzato dalla presenza di strade con alti volumi di traffico veicolare.

Le attività di monitoraggio, ricerca e sperimentazione volte a studiare il fenomeno del rumore stradale e quindi gli interventi per ridurne la portata, risultano di assoluta importanza per migliorare le condizioni di vita e di salute della popolazione maggiormente esposta a tale fonte di disturbo.

Tra le soluzioni di mitigazione e risanamento disponibili in ambito urbano ed extra-urbano, le pavimentazioni stradali a bassa rumorosità sono certamente quelle meno invasive e più integrate in un'ottica di sostenibilità.

Lo studio dei conglomerati bituminosi e dell'interazione pneumatico-strada ha permesso negli ultimi anni l'identificazione delle miscele che meglio soddisfano le esigenze dei progettisti coinvolti nella mitigazione del rumore da traffico, senza trascurare gli standard di sicurezza e di durabilità dei materiali utilizzati. I "rubberized asphalts", ossia conglomerati bituminosi modificati con polverino di gomma riciclata da PFU (Pneumatici Fuori Uso), sono noti da oltre quarant'anni, ma solo recentemente hanno attirato l'attenzione dei progettisti di infrastrutture stradali, proprio grazie alla loro minore rumorosità rispetto ad altri materiali convenzionali.



Il presente volume comprende esperienze di studio e di misura svolte negli ultimi anni in Italia da vari gruppi di esperti, rappresentando una raccolta organica di dati e informazioni importanti per comprendere al meglio le caratteristiche delle pavimentazioni a bassa rumorosità di tipo Asphalt Rubber Open-graded (semi-aperte) e Gap-graded (semi-chiuse), fornendo indicazioni per il loro impiego nei diversi scenari.

1. Suono e rumore: generalità e modalità di propagazione

1.1 Il suono

Il suono è una perturbazione di carattere oscillatorio che si propaga con una data frequenza in un mezzo elastico solido, liquido o gassoso. Tale perturbazione nasce per effetto delle sollecitazioni di pressione generate dalle vibrazioni di un corpo solido costituente la sorgente. Ogni volta che un oggetto si muove o vibra, una piccola porzione dell'energia coinvolta viene ceduta al mezzo circostante sotto forma di suono.

La velocità di propagazione del suono dipende dall'elasticità del mezzo di propagazione, per l'aria questa velocità è di circa 344 metri al secondo a una temperatura di 20°C, e aumenta di circa 0.6 metri al secondo per ogni grado di temperatura.

L'ampiezza di un'onda sonora può essere determinata in molti modi, comunque è più conveniente misurare la pressione acustica invece di altri parametri, quali lo spostamento

della particella o la velocità, che corrispondono a misure estremamente difficili da ottenere praticamente. Essendo il livello di pressione sonora facilmente misurabile, la sua misura è diventata il modo più comune per esprimere la dimensione di un campo acustico. L'unità di misura della pressione è il Pascal (simbolo: Pa). Se però si misurasse la pressione sonora

in Pascal si troverebbero valori compresi tra 0.00002 Pa e 200 Pa, cioè in un intervallo di variazione ampio e difficile da rappresentare. Per questo si ricorre alla scala logaritmica e si misurano i livelli di pressione sonora in deciBel (simbolo: dB): la scala dei possibili valori di rumore si trasforma così in un intervallo compreso tra 0 e 140 dB.

Focus: Potenza Sonora

Nell'esprimere il livello di pressione sonora, poiché la definizione di deciBel si riferisce a rapporto tra grandezze proporzionali all'energia o alla potenza, occorre considerare il quadrato della pressione sonora (espressa in Pascal) secondo la seguente relazione:

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad \text{dB}$$

dove il valore di riferimento della pressione sonora p_0 è convenzionalmente assunto uguale a $20 \mu\text{Pa}$, che corrisponde alla soglia uditiva umana media alla frequenza di 1 kHz.

Sia p che p_0 vanno intesi come valori efficaci della pressione sonora.

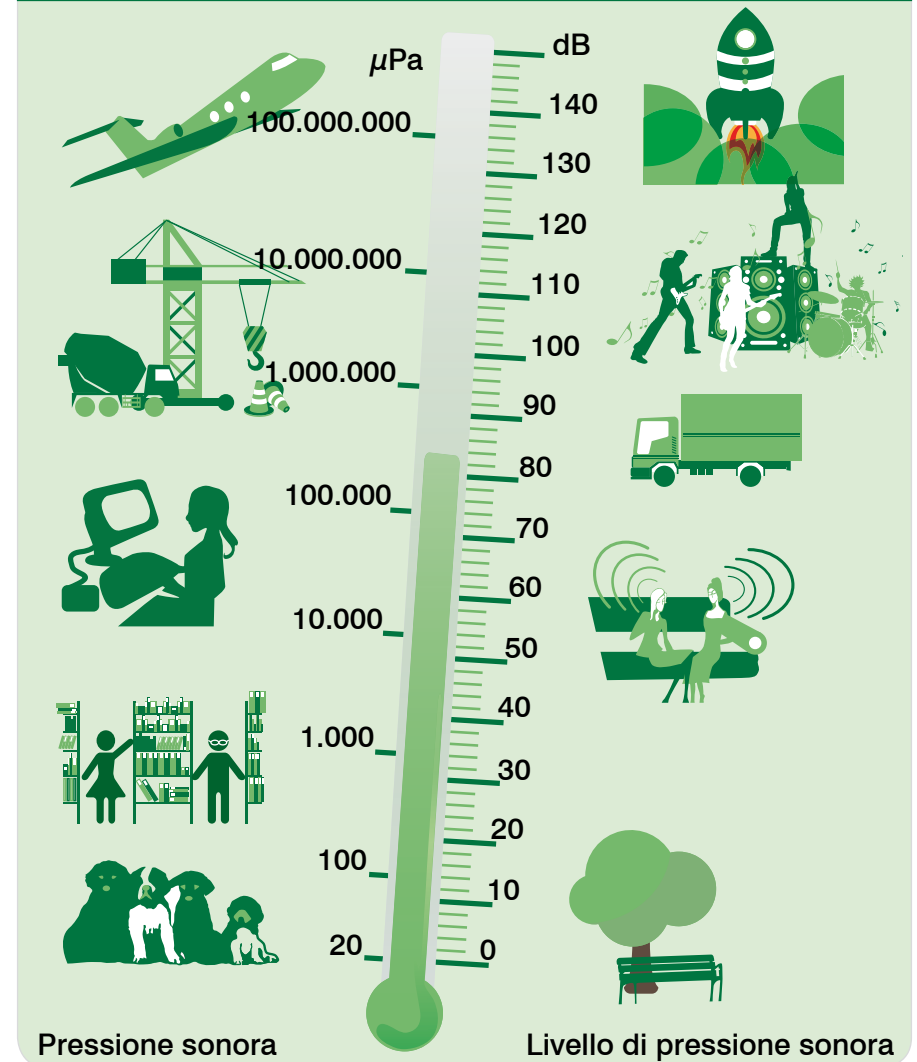
Se la "pressione sonora" è una grandezza riferita al campo sonoro (ovvero dipendente sia dalle caratteristiche di emissione della sorgente sonora che dalle caratteristiche acustiche dell'ambiente di propagazione), esiste un'altra grandezza acustica, la "potenza sonora", utilizzata per la caratterizzazione dell'emissione sonora della sorgente ed indipendente dal campo. La potenza sonora (espressa in Watt) rappresenta la quantità di energia irradiata da una sorgente sonora nell'unità di tempo.


Analogamente a quanto si è fatto per la pressione, si può quindi definire il livello di potenza sonora di una sorgente in base alla seguente:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \quad \text{dB}$$

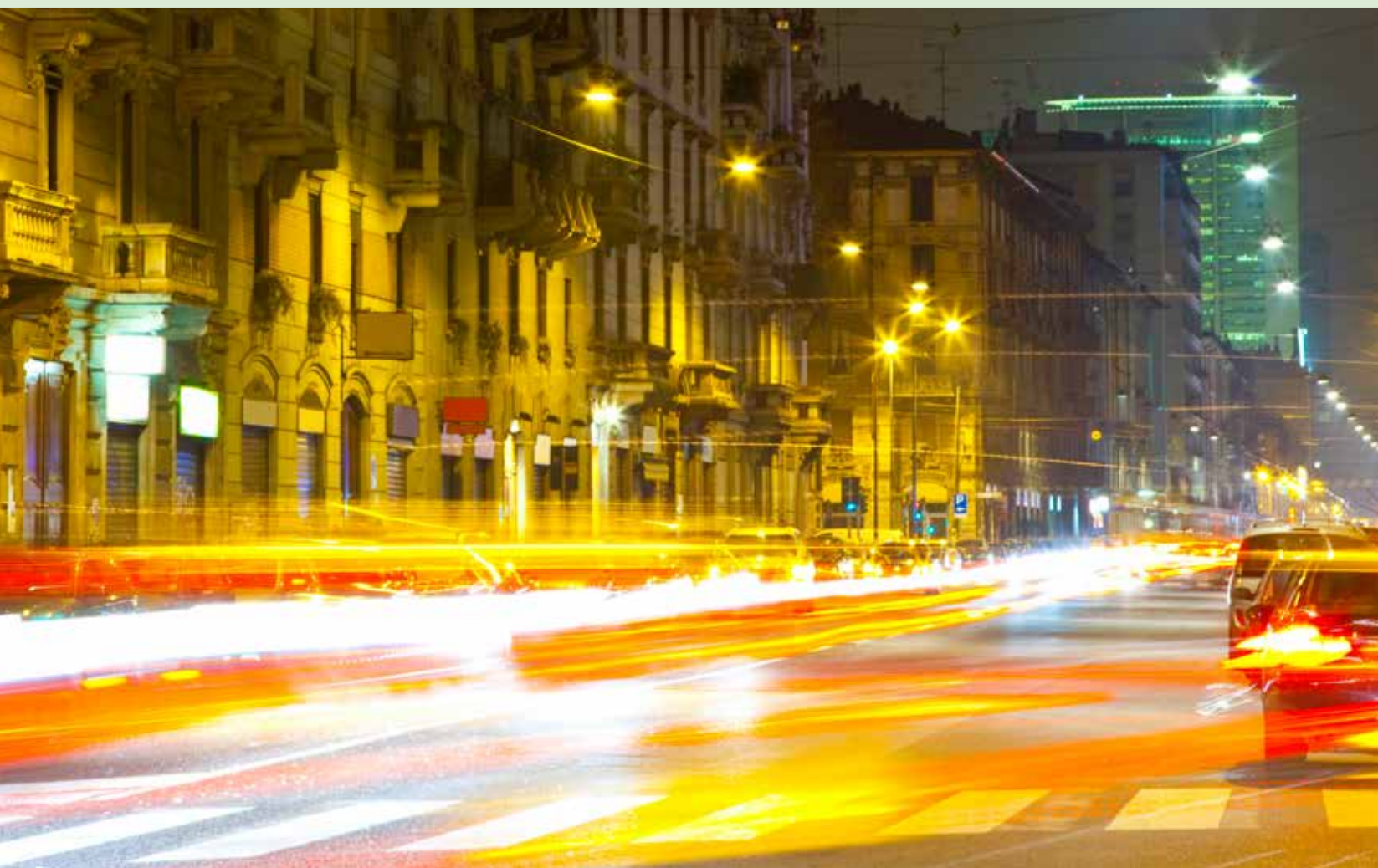
dove la potenza sonora di riferimento W_0 è assunta convenzionalmente uguale a 10^{-12} W (cioè 1 pW).

Figura 1 - Corrispondenza tra pressione sonora [Pa] e livelli di pressione sonora, espressi in dB





2. Il rumore in città e gli effetti sulla salute



Il rumore viene spesso posto a un livello basso nella scala di criticità degli aspetti ambientali. In molti casi, altri temi come l'inquinamento dell'aria, del suolo e i cambiamenti climatici vengono privilegiati nell'attenzione dei cittadini e della politica. Il rumore è spesso trascurato perché non vi è piena consapevolezza degli effetti nocivi del rumore: si pensa erroneamente che il rumore sia fastidioso per le persone solo nel momento dell'esposizione e che, quando l'interruttore è spento e il rumore termina, gli effetti spariscono subito o entro un breve periodo di tempo.

2.1 Rumore in città

Un numero sempre maggiore di persone vive, lavora, studia e svolge attività ricreative nelle zone urbanizzate. Quasi il 70 % dei cittadini europei vive in città e questo numero è destinato a continuare a crescere nei prossimi decenni fino all'80 % stimato per il 2050. Ciò è determinato da diverse ragioni, fra cui la presenza di:

- strutture per la cultura e lo svago (musei, cinema, teatri, discoteche, stadi, ecc.);
- negozi e centri commerciali;
- maggiori opportunità di lavoro rispetto la periferia o le aree rurali;
- scuole, università e istituti di istruzione;
- stazioni di interconnettività con altre città e parti del Paese.

A fronte dell'essere più vivaci e stimolanti di altre zone quali i piccoli paesi o le aree rurali, le aree fortemente urbanizzate sono anche luoghi dove il rumore, l'inquinamento atmosferico, i rifiuti, l'inquinamento delle acque, l'inquinamento del suolo, sono più presenti che altrove.

Figura 2 - Il rumore nelle città europee in Lden

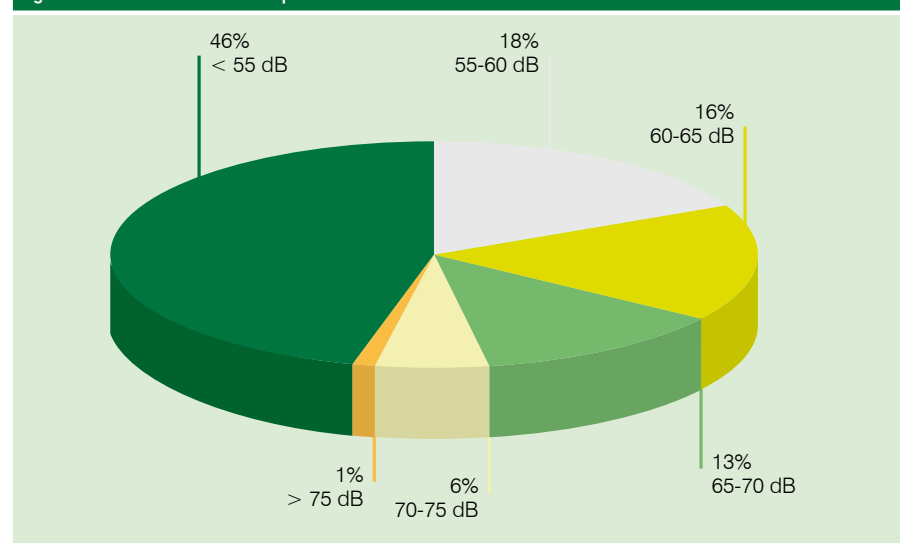
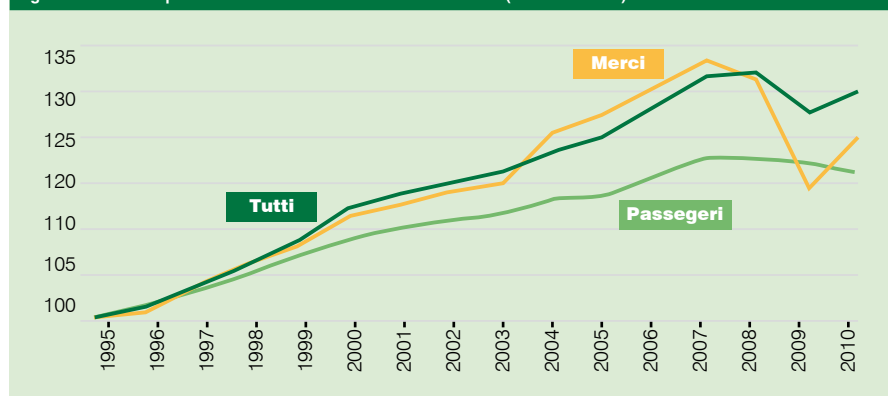


Figura 3 - Aumento percentuale dei volumi di traffico 1995-2010 (Fonte Eurostat)



I dati raccolti dalla EEA, l'Agenzia Europea per l'Ambiente¹, nel 2012, sulla base di quanto trasmesso dagli stati membri dell'Unione Europea al termine della prima fase di implementazione della Direttiva sul rumore ambientale², dimostrano che i livelli di rumore nelle città sono particolarmente alti, soprattutto per quanto riguarda il numero di persone esposte al rumore da traffico stradale. Una città di medie dimensioni in Europa presenta livelli di rumore superiori a 65 dB, come Lden (parametro che rappresenta l'intera giornata), e 55 dB, come Lnight (parametro riferito al solo periodo notturno). Si tenga presente che l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha stabilito che al di sopra dei 40 dB nel periodo notturno si registrano effetti negativi sulla salute della popolazione esposta³.

Un'indagine svolta nel 2012 da EUROCITIES⁴, il network che raccoglie le maggiori città europee, rivela che oltre il 50 per cento dei residenti in città è esposto a livelli di rumore superiore a 55 dB (Lden) e quasi il 15 per cento dei residenti è esposto a livelli di rumore superiori a 65 dB (Lden), causati dal rumore del traffico stradale. Per il periodo notturno queste cifre diventano ancor più drammatiche. Circa il 50 per cento dei residenti nelle aree indagate sono esposti a livelli di rumore superiori a 50 dB (Lnight) generati dal rumore del traffico stradale. La componente di rumore attribuibile al traffico veicolare è certamente una delle più significative in ambito urbano.

Recenti studi hanno dimostrato come i volumi di traffico siano cresciuti negli ultimi anni (si veda la Figura 3) e hanno stimato che sono destinati a crescere ancora, almeno dell'1-2% all'anno.

1 - www.eea.europa.eu/themes/noise

2 - Direttiva 2002/49/EC (Environmental Noise Directive)

3 - www.euro.who.int

4 - www.eurocities.eu

2.2 Effetti nocivi del rumore

Oltre alle ipoacusie derivanti da esposizione a rumori eccessivi, tipiche di alcuni ambienti di lavoro, gli effetti più evidenti della permanenza continuata in ambienti rumorosi sono principalmente i disturbi del sonno. Numerose sono le evidenze che una privazione di sonno, in termini qualitativi e/o quantitativi, si correla ad una riduzione delle performance diurne e ad un incremento del rischio cardio-vascolare. Nelle Linee Guida sul rumore notturno, pubblicate

dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel 2009, sono riportati molti esempi di correlazione tra livelli di rumore ed effetti sulla salute, alcuni di essi sono riportati in sintesi nella tabella seguente.

Tabella 1 - Effetti del rumore sulla salute e valori guida		
Ambienti	Valori guida	Effetti sulla salute
Abitazioni		
terrazze ed esterni (ore 6 – 22)	55 dB LAeq 50 dB LAeq	– per evitare molestia nella maggior parte delle persone – per evitare moderata molestia nella maggior parte delle persone
soggiorni – interni (ore 6 – 22)	35 dB LAeq	– per evitare problemi nella conversazione e nella comprensione delle singole parole
stanze da letto (ore 22 – 6)	30 dB LAeq e 45 db LAmax	– per evitare disturbi del sonno
esterni e stanze da letto con finestre aperte (ore 22 – 6)	45 dB LAeq	– per evitare disturbi del sonno

(Fonte OMS e Azienda Sanitaria Firenze)

Tra i sintomi direttamente collegati all'esposizione a rumore vi sono anche sensazione di fatica o malessere, cefalea, sintomi somatici non attribuibili ad altre cause, difficoltà di attenzione, concentrazione o deficit di memoria, disturbi dell'umore, irritabilità, riduzione delle performance e sonnolenza diurna. La categoria delle malattie ischemiche del cuore abbracciano una vasta

gamma di malattie come l'angina pectoris, dolori al petto e altri: per queste categorie di malattie in generale vi sono prove sufficienti per la dimostrazione della relazione causa-effetto con la permanenza a livelli elevati di rumore. Il deterioramento del sistema immunitario è stato dimostrato in alcune indagini, mentre in altri studi non è stato possibile trovare una relazione.

Focus: Cosa si deve fare in Italia e in Europa

Le città, spesso, non possono risolvere i loro problemi di inquinamento acustico per conto proprio. Hanno bisogno di sostegno a livello nazionale ed europeo. A livello nazionale, si può fare molto, partendo dal presupposto che i poteri di livello nazionale sono complementari alle competenze a livello locale. Alcune delle azioni che possono essere fatte a livello nazionale sono le seguenti:

- sostenere e promuovere trasporti più silenziosi (pneumatici, trazione elettrica o ibrida, ecc.);
- promuovere la mobilità dolce come camminare, andare in bicicletta o pattinare per brevi distanze;
- promuovere una buona pianificazione territoriale mediante l'introduzione di zone cuscinetto;
- sostenere il trasporto pubblico in modo che sia accessibile e conveniente;
- creare consapevolezza tra il pubblico, le imprese e le altre parti della società;
- promuovere e sovvenzionare la costruzione di case acusticamente sostenibili, ben orientate rispetto alle sorgenti di rumore e organizzate in un modo che i locali sensibili si trovino sulla facciata silenziosa.

A livello europeo molto si potrebbe fare per ridurre il rumore. Introdurre limiti più severi per automobili, camion, autobus, treni, tram, motori, ciclomotori, aeroplani e altri macchinari e attrezzature. Per questi tipi di sorgente già esistono norme nazionali e direttive europee, ma questi limiti dovrebbero essere estesi anche ai sottoprodotti e al materiale rotabile, perché è dimostrato che questo porterebbe a notevoli riduzioni del rumore. Le auto possono essere meno rumorose, come è dimostrato ad esempio da alcune esperienze che sono state presentate nel quadro della progetto europeo CALM. Se il rumore causato da pneumatici, automobili e camion si riducesse di 5-7 dB, obiettivo realizzabile in pochi anni, il numero di cittadini disturbati dal rumore nelle città potrebbe ridursi drasticamente. Questo, combinato con l'impiego diffuso di pavimentazioni a bassa rumorosità, potrebbe dare un beneficio complessivo molto significativo.

3. Metodi per l'abbattimento del rumore in città



La normativa sul rumore, i limiti massimi di esposizione, così come i poteri e le responsabilità per agire attraverso interventi di risanamento acustico differiscono da Paese a Paese. Alcuni Paesi hanno delegato tali poteri ai governi locali, in altri rimangono centralizzati. In ogni caso, ai fini del risanamento acustico, si possono distinguere interventi di tipo diretto (sulla sorgente, sui cammini sorgente-ricettore, sui ricettori) o interventi di tipo indiretto o strategici.

Quest'ultima tipologia di interventi prevede per la sua progettazione e realizzazione, rispetto alle altre tipologie, un maggior coinvolgimento da parte degli amministratori pubblici, e un sistema di governance sensibile al problema dell'inquinamento acustico. Tale combinazione di elementi non sempre è attuabile semplicemente, in quanto le pubbliche amministrazioni sono spesso condizionate nella loro azione da altre priorità e dalla scarsa disponibilità di risorse economiche necessarie per affrontare i problemi.

Prevenire il rumore in situazioni “nuove” (costruzione di una nuova strada, ferrovia, edilizia residenziale o industriale) è molto più facile ed efficace che ridurlo in situazioni esistenti. Sulle nuove situazioni possono essere applicate varie misure, anche in combinazione tra loro: pavimentazioni stradali a bassa rumorosità, misure di gestione del traffico (quali la riduzione della velocità, variazione della viabilità,

riduzione dei mezzi pesanti ecc.), orientamento degli edifici, posizionamento degli ambienti più sensibili – in quanto destinati al riposo – sulle facciate silenziose; oppure la combinazione di queste misure con la promozione dell'uso dei mezzi pubblici e servizi di mobilità dolce (bicicletta, pattinaggio, ecc.).



Altre opzioni che facilmente possono essere applicate nelle aree di nuova costruzione sono collegate all'uso di internet. E-working, e-shopping, e-learning, e-counselling, e tutte le altre possibilità di e-business possono evitare un utilizzo eccessivo dell'auto⁵.

Gli interventi diretti di mitigazione del rumore sono spesso di più “facile” implementazione in contesti urbanizzati che non permettono la pianificazione di strategie indirette.

Tra gli interventi di questo tipo si ricordano gli interventi al corpo ricettore (es. isolamento acustico delle facciate di edifici), gli interventi lungo il percorso di propagazione del rumore (es. barriere) e gli interventi diretti sulla sorgente; la riduzione del rumore da traffico attraverso l'uso di pavimentazioni a bassa rumorosità appartiene a quest'ultima categoria di interventi. In fase di progettazione degli interventi finalizzati alla mitigazione del rumore da traffico, occorrerebbe seguire l'ordine di priorità proposto nei paragrafi seguenti; prioritarie sono le soluzioni per la riduzione del rumore alla sorgente, quindi gli interventi lungo il percorso di propagazione sorgente-ricettore ed infine gli interventi diretti al ricettore.

⁵ - Questo è ciò che la Direzione generale Energia e Trasporti dell'Unione Europea (DG-TREN) ha proposto nei propri piani per diminuire il rumore da traffico in ambito urbano.

3.1 Sistemi per la riduzione della rumorosità alla sorgente

La riduzione del rumore alla sorgente è certamente l'intervento più auspicabile in quanto consente di ridurre direttamente all'origine il fattore di rumorosità.

Negli scenari dove l'emissione è direttamente legata al traffico veicolare, è possibile ottenere significative riduzioni della rumorosità prodotta alla sorgente con l'impiego di veicoli a ridotta emissione sonora (es. veicoli elettrici), utilizzando le cosiddette "pavimentazioni a bassa rumorosità" oppure attraverso soluzioni che hanno la finalità di indurre nei conducenti uno stile di guida maggiormente regolare che ha come effetto anche l'attenuazione dei livelli di rumore prodotti dal traffico veicolare.

Nei paragrafi seguenti viene data una breve descrizione delle diverse tipologie di intervento ad eccezione delle pavimentazioni a bassa rumorosità rimandata al successivo capitolo.

Immagine 1 - Arteria stradale fortemente congestionata



MODIFICA DEL PIANO DEL TRAFFICO

Lo studio della viabilità in ambito urbano, insieme alla valutazione degli effetti che essa produce dal punto di vista acustico, consente di determinare quali sono le criticità del sistema in esame e individuare, se esistono, delle alternative e dei miglioramenti alla rete infrastrutturale esistente. Interventi acusticamente significativi prevedono una regolamentazione dell'accesso dei mezzi – in particolare quelli pesanti – nelle aree a più alta densità di edifici residenziali, e una distribuzione dei flussi di traffico sulle tangenziali e sulle circonvallazioni che dovrebbero essere realizzate ad elevata distanza dalle aree residenziali.

DOSSI RALLENTATORI – ATTRAVERSAMENTI PEDONALI RIALZATI

I dossi rallentatori e gli attraversamenti pedonali rialzati sono elementi che vengono installati sul manto stradale con orientamento trasversale rispetto al senso di marcia dei veicoli e hanno lo scopo di costituire un leggero ostacolo alla circolazione dei mezzi, in modo da indurre nel conducente una riduzione della velocità di transito. Tale velocità è inversamente proporzionale all'altezza raggiunta dalla sommità del dosso / piattaforma rispetto al piano stradale. Questi dispositivi variano in altezza da circa 5 cm a quasi 15 cm, e possono variare in lunghezza da meno di 30 cm a sviluppi di più metri (sono spesso impiegati per realizzare la sede di un attraversamento pedonale). Dal punto di vista acustico, i dossi rallentatori sono molto efficaci

nel mantenere la velocità dei veicoli bassa e quindi ridurre l'emissione rumorosa complessiva del veicolo; se attraversati a grande velocità, tuttavia, possono provocare rumori impulsivi di una certa entità, specialmente nel passaggio di camion e tir con rimorchio.

In generale, quando utilizzati con finalità di abbattimento acustico, dovrebbero essere realizzati con pendenze minime della rampa e comunque realizzati in serie a breve distanza l'uno dall'altro, in modo che il conducente del veicolo mentre attraversa il dosso possa già vedere il successivo e non sia indotto a brusche frenate e successive accelerazioni, ma alla conduzione del veicolo a velocità bassa e costante.

Immagine 2 - Dosso rallentatore



RESTRINGIMENTI DI CARREGGIATA

La realizzazione del restringimento della carreggiata nei tratti stradali con velocità di scorrimento elevata consente un generale rallentamento dell'andatura dei veicoli, dovuta alla riduzione della sezione di strada utile e, di conseguenza, alla maggior cautela nella condotta di guida da parte dei conducenti.

Con la realizzazione dei restringimenti di carreggiata, si creano inoltre le condizioni favorevoli per l'eventuale realizzazione di tratti di piste ciclabili in ambito urbano.

Dal punto di vista acustico, la riduzione della velocità di transito comporta una generale diminuzione dell'emissione sonora dei veicoli, salvo i casi in cui elevati flussi di traffico veicolare diminuiscono il livello di servizio della strada stessa e si formano le code. In tali condizioni il flusso non è più scorrevole e si ha il fenomeno dello "stop and go": i veicoli procedono con andatura intermittente e questo comporta una significativa rumorosità prodotta dal motore dei veicoli.

L'intervento di restringimento della carreggiata, ove possibile, consegue con maggior facilità rispetto ad interventi puntuali (quali quelli attraverso dossi rallentatori) l'obiettivo di riduzione della velocità del veicolo mantenendo condizioni di traffico fluido.

SEMAFORO DISSUASORE

Il semaforo dissuasore, anche detto semaforo intelligente, è un particolare tipo di semaforo la cui installazione non è necessariamente collegata alla funzione di ripartire la precedenza tra i flussi incrociati della viabilità. La sua funzione primaria, infatti, è quella di limitare la velocità di percorrenza dei veicoli. Attraverso un misuratore di velocità posto nelle immediate vicinanze, il semaforo è in grado di riconoscere il veicolo che procede ad andatura troppo elevata e, in tal caso, attivare automaticamente la procedura di luci gialla e poi rossa, allo scopo di bloccare la marcia del detto veicolo. I semafori dissuasori sono, normalmente, dotati di apparecchio fotografico capace di individuare e riconoscere i veicoli in transito.

MISURATORE DI VELOCITÀ – AUTOVELOX

L'autovelox propriamente detto è un dispositivo per misurare la velocità di marcia dei veicoli. L'inserimento dell'autovelox ha in generale l'effetto di indurre una riduzione di velocità a livello puntuale, quindi anche ad aumentare il rumore (per effetti dovuti a brusche frenate ed accelerazioni), piuttosto che diminuirlo. Se usato anche con finalità di riduzione del rumore dovrebbe essere abbinato ad altri sistemi di attenuazione della velocità (attraversamenti pedonali rialzati, ecc.) realizzati in serie a breve distanza dall'autovelox, in modo che il conducente del veicolo non sia indotto a brusche frenate e successive accelerazioni, ma alla conduzione del veicolo a velocità bassa e costante.

Immagine 3 - Dispositivo per misurare la velocità di marcia dei veicoli ▼



Immagine 4 - Dispositivo dissuasore di traffico e velocità ▼



DISSUASORE DI TRAFFICO E VELOCITÀ

I dissuasori di traffico e velocità segnalano la velocità di transito del veicolo in presenza di segnale verticale di limite di velocità, in modo da indurre il conducente a moderare la velocità se questa risulta superiore ai limiti consentiti. Il pannello dissuasore si basa sulla lettura della velocità dei veicoli in avvicinamento mediante radar a effetto Doppler che trasferisce il dato al pannello a messaggio variabile in grado di rendere visibile la velocità rilevata.

Secondo molteplici esperienze realizzate, la visualizzazione in "tempo reale" della velocità effettivamente tenuta dal mezzo rappresenta per il conducente un forte elemento di dissuasione dal superare il limite vigente sulla tratta di strada controllata.

ROTATORIE

La rotatoria è una particolare intersezione a raso, caratterizzata dalla presenza di un'area centrale circolare e inaccessibile, circondata da un anello, percorribile in una sola direzione ed in senso antiorario dal traffico normalmente proveniente da più entrate e diretto a più uscite. Le rotatorie hanno trovato un grande impiego in questi ultimi anni in molti contesti in ambito urbano ed extraurbano grazie a una serie di punti di forza di seguito riportati:

- Diminuzione della velocità di percorrenza nel tratto stradale dove è posizionata la rotatoria;
- Diminuzione dei punti di conflitto fra i veicoli e perciò dei sinistri stradali e della loro gravità;
- Fluidificazione del traffico a causa della completa eliminazione dei tempi morti;

- Attenuazione della rumorosità e dell'inquinamento dell'aria rispetto agli incroci semaforizzati;
- Possibilità per i mezzi pesanti (e non) di compiere in sicurezza la manovra di inversione di marcia;
- Migliore aspetto architettonico della strada nell'intersezione.

Rispetto ad una intersezione semaforizzata, le rotatorie consentono di ridurre il fenomeno – particolarmente rumoroso – dello “stop and go”, che si verifica quando un veicolo è costretto a frenare in prossimità dell'intersezione stradale, restare in attesa del verde (con il motore acceso) e ripartire al verde semaforico, con il rapido cambio delle marce.

Immagine 5 - Rotatoria stradale



Immagine 6 - Autobus elettrico ▲

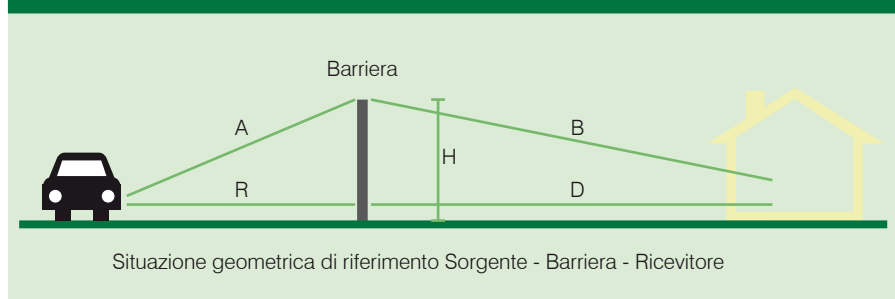
MEZZI PUBBLICI ELETTRICI

L'impiego di veicoli elettrici, soprattutto se di grandi dimensioni come nel caso degli autobus, consente di eliminare la rumorosità dei motori endotermici, particolarmente significativa soprattutto alle basse velocità di marcia. Quello degli autobus a batteria appare, fra i veicoli elettrici su gomma, il settore maggiormente in crescita nonostante la bassa capacità di trasporto di questi veicoli e le necessità logistiche che li caratterizzano (necessità di ricaricare le batterie, turni conseguentemente strutturati). La logica emergente è senza dubbio quella di

reti a servizio di centri storici chiusi al traffico privato, volte non tanto a soppiantare i servizi pubblici esistenti, quanto ad integrarli laddove in precedenza si faceva ricorso al solo trasporto privato, così da far recuperare al trasporto pubblico nuove quote di utenza.

3.2 Sistemi per la riduzione della rumorosità lungo il cammino di propagazione

Figura 4 - Cammini di propagazione del rumore in presenza di una barriera antirumore



La riduzione della rumorosità che si ottiene con l'impiego delle barriere antirumore è dovuta all'interruzione del cammino diretto sorgente – ricevitore. Il principio fisico alla base del funzionamento delle barriere è rappresentato dal fatto che l'energia non arriva più per via diretta, ma solo per diffrazione dai bordi. L'attenuazione che si può ottenere dipende dalla configurazione sorgente-barriera-ricevitore (effetto maggiore quanto è maggiore la differenza fra percorso diffratto $[A+B]$ in immagine 4, sopra) e percorso diretto $[R+D]$ in figura 4) e dalla frequenza di interesse (maggiore è la frequenza e maggiore è l'attenuazione possibile). In generale, per rumore da traffico stradale la

barriera è una buona soluzione tecnica che può portare ad attenuazioni dell'ordine di 10 – 15 dB nella zona d'ombra rispetto al livello al ricevitore che si avrebbe in assenza dell'ostacolo.

Nel progetto acustico di una barriera vengono definiti parametri quali:

- posizione in pianta: in generale è opportuno tenerla il più vicino possibile alla sorgente sonora;
- altezza: deve essere tale almeno da non permettere la visibilità della sorgente da parte del ricevitore;
- lunghezza: deve essere tale da ridurre al minimo gli effetti di diffrazione laterale che producono una perdita di attenuazione;

- fonoisolamento: attenuazione dell'energia trasmessa (deve essere tale da rendere trascurabile il contributo dell'energia trasmessa rispetto a quella diffratta);
- fonoassorbimento: attenuazione dell'energia riflessa (le barriere fonoassorbenti sono generalmente impiegate per prevenire la riflessione del suono dalla parte opposta a quella in cui sono state installate).

Per l'inserimento di una barriera acustica nel territorio bisogna tuttavia, tener presente anche che, oltre a produrre effetti acustici, le barriere hanno un impatto visivo e paesaggistico estremamente significativo.

Nella tabella che segue si riporta un riepilogo delle principali tipologie di barriere antirumore, sia di tipo a pannello che di tipo a terrapieno, con una breve descrizione.



Pannello in materiale metallico

La barriera è composta da elementi modulari. Il modulo si presenta come una struttura a "sandwich" costituita da due lamiere in acciaio o in alluminio verniciate con interposto uno strato di materiale fonoassorbente e un rivestimento antispolvero. Le lamiere presentano, nel lato esposto alla sorgente di rumore, fori di diametro differenziato (in generale di qualche mm) che favoriscono la propagazione del rumore all'interno del pannello dove è presente il materiale fonoassorbente, solitamente costituito da lana naturale o minerale.

Pannelli in legno

Le barriere sono formate da pannellature prefabbricate modulari realizzate in legno di ottima qualità, esente da radici, trattato con procedimenti speciali per resistere al deperimento organico ed evitare la formazione di funghi e muffe. I pannelli sono formati da un telaio perimetrale a cui viene applicata una parte posteriore costituita da tavolato accoppiato ad incastro ed una parte anteriore costituita da una griglia in doghe di legno. All'interno dei pannelli sono previsti strati opportunamente distanziati tra loro di materiale fonoassorbente e, in alcuni casi, di materiale fonoisolante costituiti da prodotti inerti agli agenti chimici ed atmosferici, imputrescibili, incombustibili ed in grado di non emettere gas tossici o nocivi in caso di incendio.

Pannelli in materiale trasparente

Pregio principale di queste barriere è la trasparenza, apprezzabile sia dal punto di vista paesaggistico che dal punto di vista della sicurezza (visibilità e riduzione del rischio "gelo" sulla sede stradale). Il limite è rappresentato dalla mancanza di proprietà fonoassorbenti e, pertanto, l'elevata componente di rumore riflesso può comportare problemi in collocazioni ove sono presenti ricettori fronteggianti su ambo i lati di una infrastruttura lineare o in contesti di sorgenti multiple presenti su ambo i lati della barriera di progetto.

Pannelli in calcestruzzo

I pannelli per barriere in calcestruzzo possono essere costituiti da un unico strato portante in calcestruzzo armato nel caso in cui sia sufficiente una prestazione fonoisolante e non si incorra in problemi dovuti alla riflessione sonora, oppure da uno strato portante in calcestruzzo armato abbinato ad uno strato realizzato con granuli di argilla espansa, lapillo vulcanico (pomice) o impasto di cemento e fibra di legno mineralizzata, posizionato verso la sorgente di rumore, quando invece siano richieste anche caratteristiche di fonoassorbimento.

Barriere in terra rinforzata

Sono in genere costituite da un terrapieno opportunamente stratificato e ricoperto di essenze erbacee e/o arboree che vengono inserite in apposite tasche realizzate nello strato più superficiale della struttura. La struttura portante della barriera è costituita da gabbioni metallici riempiti di pietrame sui quali viene posto uno strato di geotessile e in sommità della struttura uno strato di terreno vegetale per consentire l'inserimento di essenze verdi. Sulle pareti laterali della struttura la possibilità di piantare essenze verdi viene garantita dalla realizzazione di appositi alloggiamenti rivestiti di materiale geotessile e riempiti di terreno vegetale nei quali vengono inserite le piante. In questo modo viene realizzata una vera e propria "barriera verde" che solitamente ha un miglior inserimento ambientale.

Muri vegetali

Barriere costituite da manufatti artificiali quali calcestruzzo, acciaio, plastica e legno opportunamente trattati e materiale vegetale che viene inserito in appositi alloggiamenti realizzati nella parete. La capacità di abbattimento del suono si basa sull'impiego combinato del materiale artificiale con il quale è costruita la struttura portante della barriera e il materiale vegetale realizzato sulla superficie esterna. Le specie vegetali impiegate vengono scelte in base al patrimonio botanico locale, alle caratteristiche del terreno, alle condizioni bioclimatiche, alla tipologia del tracciato (sezione a raso, in rilevato ecc.) e al contesto paesaggistico e antropico.

Pannelli in cotto

Si tratta di elementi acustici costituiti da uno o più gusci in cotto estruso, irrigiditi da nervature per essere preassemblati fino a costituire un pannello portante, oppure essere idonei per essere sostenuti da una struttura portante in calcestruzzo o in metallo. Gli elementi in cotto possono essere costruiti in modo da contenere autonomamente il materiale fonoassorbente oppure essere utilizzati come elementi da rivestimento o da finitura estetica in accoppiamento ad elementi acustici di altro tipo (es. trasparenti, ecc.). Nel caso in cui il cotto assolva anche alla funzione di contenimento del materiale fonoassorbente, gli elementi in cotto devono presentare una opportuna foratura.

3.3 Interventi diretti al ricettore

Gli interventi diretti al ricettore consistono essenzialmente nell'incremento della qualità acustica delle facciate, soprattutto attraverso il miglioramento del potere fonoisolante degli elementi più acusticamente deboli. Questi sono in genere gli infissi, i cassonetti e le altre fonti di discontinuità acustica rispetto alle pareti. Le soluzioni generalmente adottate prevedono l'apposizione di infissi fonoisolanti con opportuni elementi vetrati, che devono essere in possesso di opportuna certificazione.

Ovviamente, a livello di risanamento acustico ambientale, legato al rumore da traffico veicolare, la soluzione dell'intervento diretto sui ricettori è la meno efficace in quanto costringe il ricettore a tenere le finestre chiuse e la meno economica, in termini di costo - beneficio, considerando che spesso i ricettori impattati acusticamente sono



molti ed è impensabile che si possa procedere alla completa sostituzione degli infissi di tutte le facciate che sono interessate da livelli di rumore prodotti da tratti stradali urbani. Resta valida la possibilità dell'intervento diretto in due casi: come soluzione per i ricettori isolati, dove la scelta del risanamento mediante barriera può risultare ridondante; come soluzione da utilizzare nei casi in cui il risanamento mediante interventi alla sorgente e lungo i cammini non produca risultati sufficienti a riportare i livelli di inquinamento acustico al ricettore al di sotto dei limiti previsti dalla normativa. Può essere questo il caso dei ricettori sensibili (scuole, ospedali) e di alcuni ricettori residenziali particolarmente esposti.

4. Pavimentazioni stradali a confronto



Le pavimentazioni a bassa rumorosità rappresentano il principale strumento per la riduzione diretta della rumorosità alla sorgente e sono oggi disponibili diverse tecnologie che si differenziano per composizione, materiali impiegati e campo di utilizzo. Si propone di seguito una rassegna delle principali alternative.

4.1 Manti di usura con polverino di gomma



Immagine 7 - Pavimentazione in Asphalt Rubber durante la stesa ▲

L'utilizzo del bitume modificato con polverino di gomma proveniente da Pneumatici Fuori Uso ha avuto inizio quarant'anni fa negli Stati Uniti per contrastare la fessurazione delle pavimentazioni flessibili generate da gradienti di temperatura elevati che sottoponevano il conglomerato ad un notevole stress termico. I manti di usura con polverino di gomma sono miscele di conglomerato bituminoso caratterizzate da una curva granulometrica a carattere discontinuo, tipo semi-chiuso o semi-aperto, in cui è stata aggiunta una certa percentuale di polverino di gomma proveniente dagli pneumatici a fine vita. Esistono due diverse metodologie di inserimento del polverino nella miscela di conglomerato: processo Dry e Wet.

Nel processo Dry, il polverino/granulo di gomma di dimensioni 0 – 6 mm viene inserito insieme ad inerti e bitume direttamente nell'impianto di miscelazione del conglomerato e in percentuali comprese tra il 1 – 6% sul peso degli aggregati lapidei. Il risultato finale è un conglomerato (detto anche "rubberized asphalt") caratterizzato da una curva granulometrica discontinua, tipo Gap-graded, con elevata percentuale di bitume, compresa tra il 8 – 10%, i cui vuoti sono riempiti con mastice bituminoso formato da bitume, filler e polverino di gomma. Il processo Dry ha le sue origini in Svezia e negli USA dove prese rispettivamente il nome di RUBIT e Plusride. Negli ultimi anni sono comparsi sul mercato diversi tipi di additivi a base di gomma che permettono l'impiego "dry" del polverino garantendo però migliori prestazioni finali della miscela. Nel processo Wet il polverino di gomma viene aggiunto come modifica al legante bituminoso al fine di migliorarne le prestazioni.

Il processo prende il nome di "Asphalt Rubber (AR)". La norma ASTM D8-88 definisce l'Asphalt Rubber come una miscela di bitume e polverino, in cui il polverino presente in quantità di almeno il 15% sul peso totale della miscela di bitume e polverino, deve reagire con il bitume riscaldato ad alta temperatura in modo da garantire il rigonfiamento delle singole particelle di gomma. L'AR è utilizzato come bitume modificato per il confezionamento di usure semichiusate (Gap) o porose (Open-graded) caratterizzate da percentuali di legante tra il 7 e il 9%, a cui corrisponde una percentuale di polverino di gomma pari al 1 – 1.8%. Oltre al tendenziale miglioramento delle caratteristiche meccaniche della pavimentazione, l'impiego del polverino di gomma all'interno del conglomerato bituminoso ha il non trascurabile pregio di consentire un abbattimento dell'inquinamento acustico e delle vibrazioni indotte dal traffico. Sperimentazioni effettuate negli USA hanno rilevato una riduzione del livello sonoro fino a 6 dBA; in particolare l'abbattimento sonoro si manifesta nell'intervallo di frequenze compreso tra 500 e 4000 Hz su strade con bassa percentuale di veicoli pesanti. Per una trattazione approfondita delle prestazioni delle miscele in Asphalt Rubber si rimanda alla lettura del capitolo 7.

4.2 Conglomerati drenanti monostrato

I conglomerati drenanti monostrato sono composti da pietrischetti frantumati, poca sabbia e filler, impastate a caldo con bitume modificato, che dopo compattazione presentano una porosità intercomunicante 4 o 5 volte superiore a quella di un tradizionale conglomerato per strato di usura. In generale, l'elevata percentuale di vuoti comunicanti consente di ottenere uno strato di usura caratterizzato da:

- capacità drenante: l'acqua piovana può scorrere all'interno dello strato di usura ed essere convogliata verso il margine della carreggiata che, appositamente sagomato, ne favorisce lo smaltimento. In questo modo si impedisce la formazione sul piano viabile del velo idrico, che è causa sia del fenomeno dell'hydroplaning sia dei problemi di visibilità

originati dalla nebulizzazione prodotta dai pneumatici. Un Conglomerato Drenante Fonoassorbente (CDF) presenta valori di capacità drenante dell'ordine di 20 l/min;

- fonoassorbenza e riduzione della generazione del rumore: la porosità del CDF produce una diminuzione della compressione e successiva espansione dell'aria intrappolata tra ruota e pavimentazione, riduce l'amplificazione delle onde sonore causata dall'effetto corno, dissipa l'energia sonora all'interno delle cavità trasformandola in calore e, utilizzando aggregati di dimensioni adeguate per modulare opportunamente la megatessitura e la macrotessitura a larga scala, limita il rumore da impatto dello pneumatico sulla pavimentazione. Le riduzioni di livello sonoro osservate variano tra 3 e 5 dB(A);

- capacità di trattenere gli inquinanti: le polveri e le altre scorie che normalmente si accumulano sulla pavimentazione in caso di pioggia non vengono dilavati e smaltiti senza controllo nell'ambiente limitrofo, ma rimangono intrappolati nelle cavità del manto stradale.

In relazione all'assortimento granulometrico adottato si possono distinguere i conglomerati in drenanti e, microdrenanti. Il conglomerato microdrenante si caratterizza per possedere allo stesso tempo elevata porosità e aggregati di dimensioni ridotte, in modo tale da coniugare elevata capacità drenante e diminuzione del rumore generato al contatto tra ruota e pavimentazione. La riduzione del rumore generato dal rotolamento può essere incrementata sovrapponendo uno strato di microdrenante ad un conglomerato drenante classico di 3–4 cm di spessore, quest'ultimo realizzato anche con inerti di natura calcarea, andando a formare il cosiddetto doppio strato drenante, descritto nel paragrafo seguente.

I principali problemi relativamente all'applicazione dei conglomerati drenanti monostrato in ambiente urbano sono legati alla rapida degradazione prestazionale rilevabile già nel corso del primo anno.

Inoltre, si rileva come il limitato contatto tra i grani presente per questa tipologia di pavimentazione comporti carenze strutturali alle quali è necessario sopperire mediante l'impiego di inerti di qualità e legante bituminoso modificato.

4.3 Conglomerati drenanti doppio strato



Immagine 8 - Sito di prova per pavimentazione in conglomerato drenante doppio strato

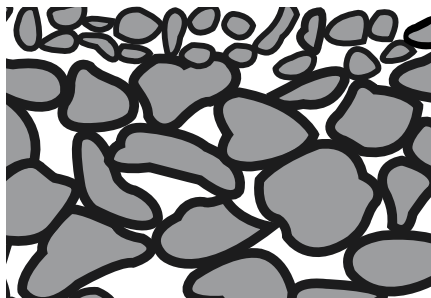


Immagine 9 - Sezione verticale di una pavimentazione drenante a doppio strato

Il rapido deperimento nel tempo del potere drenante e delle proprietà acustiche, in seguito all'ostruzione delle porosità in un asfalto a singolo strato (in ambito urbano dopo già un anno si passa da un abbattimento dell'ordine di 3–3,5 dBA a 1,0–1,5 dBA), ha portato a sviluppare una nuova generazione di asfalti a doppio strato drenante. Tali manti stradali sono costituiti da uno strato superiore a granulometria fine 4–8 mm di spessore pari a 1,5–2 cm, che funziona da filtro per le impurità, e da uno strato inferiore a granulometria grossa 11–16 mm di spessore 3,5–4 cm per l'evacuazione dell'acqua meteorica, sfruttando la capacità auto-pulente dovuta al passaggio dei veicoli (da esperienze condotte in ambito europeo, si è visto che mantengono invariate le loro proprietà acustiche per 4–5 anni). Tale capacità autopulente è efficace per velocità maggiori a 70 km/h.

Il doppio strato presenta un picco di assorbimento intorno a 600 Hz; particolarmente utile per abbattere le emissioni sonore generate dal traffico veicolare.

Le prestazioni acustiche iniziali dei drenanti doppio strato possono essere ripristinate mediante pulizia periodica e la sostituzione, a fine vita, del solo strato superiore anche se possono verificarsi problematiche in particolare per la fase di pulitura nelle strade minori legate all'ingombro dei mezzi utilizzati per tale operazione.

Oltre alla riduzione acustica per porosità, gli asfalti a doppio strato, grazie alla tessitura più fine dello strato superiore, riducono i fenomeni di vibrazione del pneumatico.

4.4 Microtappeti a caldo



Immagine 10 - Fase di stesa di un microtappeto a caldo

I microtappeti a caldo sono manti di usura di spessore ridotto, mediamente di 1,5–2 cm, confezionati con bitumi modificati caratterizzati con una discontinuità granulometrica (nel range 2–4 o 4–6 mm) e da una elevata rugosità superficiale, parzialmente drenanti e fonoassorbenti. Non possiedono una porosità paragonabile a quella dei drenanti, ma possiedono comunque buone proprietà acustiche.

L'impiego dei microtappeti è da preferirsi laddove le velocità dei veicoli sono basse, in genere minori di 50 km/h, o in corrispondenza delle intersezioni; in questi casi gli strati in microtappeti non sono esposti al rischio dell'occlusione dei pori come si ha nel caso dei drenanti.

Viene impiegato in interventi di manutenzione di manti superficiali ammalorati e dove è necessario garantire elevati valori di aderenza, fonoassorbimento e drenabilità, in particolare in ambito urbano dove un conglomerato drenante classico, a causa della elevata macrotestitura e delle modeste velocità dei veicoli, non garantisce valori di aderenza sufficienti.

4.5 Splittmastix asphalt

Il conglomerato di usura antisdrucchiolo splittmastix asphalt è un conglomerato chiuso (2–4% di vuoti con compattazione Marshall), impermeabile verso gli strati sottostanti, costituito da una miscela di pietrischetto, graniglia, sabbia (tutti da frantumazione) e filler impastato a caldo con bitume modificato.

I vuoti della miscela, derivanti dalla composizione granulometrica scelta con elementi grossi e povera di sabbia, sono riempiti dalla malta bituminosa realizzata da bitume modificato e filler caratterizzata da elevata consistenza e coesione.

Lo splittmastix può essere usato per realizzare strati di usura di strade sottoposte a condizioni severe di traffico e clima (anche per le piste di rullaggio negli aeroporti, per le pavimentazioni di ponti e di viadotti) e in alcuni casi può essere proposto in alternativa al conglomerato drenante fonoassorbente.

Dal punto di vista acustico, lo splittmastix asphalt presenta buone capacità di riduzione delle emissioni sonore: le caratteristiche superficiali (micro e macro-tessitura) consentono una riduzione dell'inquinamento acustico.

Il diffuso utilizzo dello splittmastix asphalt, soprattutto in Nord-Europa e negli USA, è dovuto inoltre alla possibilità di essere steso anche in strati sottili (di spessore inferiore a 40 mm) negli interventi di manutenzione su pavimentazioni ammalorate, ottenendo ottime prestazioni della pavimentazione finita. Si è visto infatti che un attento mix design può dar luogo a conglomerati 0/5 o 0/8 con buone caratteristiche meccaniche e di resistenza.

Tra i difetti dello splittmastix asphalt vi è il costo certamente più elevato di quello di un conglomerato bituminoso tradizionale a causa del maggior contenuto di bitume (anche modificato), per l'elevata qualità degli aggregati impiegati e per le tecniche di lavorazione.

4.6 Conglomerati bituminosi con argilla espansa



Immagine 11 - Argilla espansa

Si tratta di una miscela di conglomerato bituminoso “chiuso”, analoga a quelle tradizionalmente utilizzate per gli strati di usura, in cui le proprietà acustiche di fonoassorbimento vengono ottenute attraverso l'impiego di materiali sintetici leggeri in argilla espansa resistente (idonea per gli impieghi stradali) in sostituzione volumetrica di una parte della frazione grossa di aggregati lapidei.

Nei conglomerati chiusi, aumentando la percentuale in peso di argilla espansa all'11–13% (27–33% in volume), si ottiene una riduzione del rumore di almeno 3 dB(A). Tale proprietà è confermata dal monitoraggio di vari interventi realizzati in Italia in ambito urbano, dove è stato realizzato un manto d'usura con argilla espansa nella pezzatura 5–10mm a sostituzione del 10–5% in peso degli aggregati e con il 6–7% in peso di bitume. La riduzione del livello sonoro equivalente registrata è stata superiore ai 3 dB(A) nei primi mesi dopo la stesa, riducendosi successivamente a livelli anche inferiori ai 2 dB(A).

MANTI DI USURA A TESSITURA OTTIMIZZATA

I manti di usura a tessitura ottimizzata sono delle miscele di conglomerato bituminoso di tipo chiuso con caratteristiche granulometriche tali da ridurre, rispetto ai manti di tipo tradizionale, le emissioni sonore generate dal contatto ruota-pavimentazione. La riduzione del rumore da rotolamento è dovuta esclusivamente al particolare assortimento granulometrico, che consente di ottenere manti di usura con spettri di tessitura ottimizzati tali da ridurre il rumore prodotto dai fenomeni di risonanza che si generano al contatto ruota-pavimentazione. Per questo motivo si parla di usura a tessitura ottimizzata.

Nella norma ISO 10844 sono definite le caratteristiche delle miscele di conglomerato bituminoso per il confezionamento di questa tipologia di usura.

4.7 Pavimentazione eufonica

Sono pavimentazioni composte da una particolare lastra di calcestruzzo ad armatura continua sulla cui sommità viene steso un manto di asfalto poroso. La lastra di cemento ha al suo interno una serie di ampie cavità risonanti connesse con lo strato di usura drenante superiore ed interconnesse tra loro attraverso una serie di tubi immersi nel calcestruzzo. Il rumore subisce quindi una notevole riduzione alle frequenze medio-alte per mezzo della superficie porosa, le basse frequenze invece vengono attenuate dalle cavità risonatrici presenti nella lastra.

Le pavimentazioni eufoniche sono costituite da due strati:

- uno strato superiore in conglomerato bituminoso drenante, di spessore pari a 4–6 cm;
- uno strato inferiore in conglomerato cementizio ad armatura continua, di spessore maggiore, nel quale sono ricavate le cavità risonanti; tali risonatori hanno volumi intorno a circa 500 cm³ e sono distribuiti parallelamente e ortogonalmente all'asse.

L'energia del suono incidente è prevalentemente assorbita per risonanza all'interno delle cavità ed il massimo assorbimento si verifica nell'intorno della frequenza di risonanza.

Uno studio sperimentale su una pavimentazione eufonica con cavità riempite con ghiaia e pietrisco ha consentito di ottenere una riduzione fino a 6–7 dBA in riferimento al passaggio di veicoli leggeri. L'utilizzo di questa tecnica, dati gli elevati spessori del pacchetto, risulta di particolare interesse soprattutto nel progetto di nuove infrastrutture piuttosto che per interventi di bonifica su infrastrutture esistenti.

4.8 Pavimentazione poro-elastica

Le superfici poro-elastiche (PERS-Poro-Elastic Road Surface) sono manti d'usura con un elevato contenuto di vuoti intercomunicanti che consente il drenaggio dell'aria e dell'acqua. Risultano, inoltre, dotate di una certa elasticità fornita dall'impiego di gomma (o qualsiasi altro materiale elastico) come aggregato principale. Dal punto di vista compositivo, tali superfici sono costituite da una percentuale di vuoti compresa tra il 25-40% in volume e da un contenuto di gomma pari ad almeno il 20% in peso.

Le miscele per la realizzazione di una PERS sono generalmente costituite da granuli di gomma (naturale o Pneumatici Fuori Uso), eventuali aggregati lapidei o sabbia, il tutto legato insieme da resine poliuretaniche o artificiali in quantità variabili tra il 5-15% in peso. Gli spessori sono tipicamente attorno a 3-4 cm. Le PERS possono essere realizzate direttamente in sito o fornite in opera sotto forma di pannelli, ancorati al supporto rigido inferiore mediante l'impiego di resine epossidiche. La notevole elasticità di questa superficie, che limita fortemente le vibrazioni prodotte da tutte le altre superfici rigide, insieme alle sue spiccate caratteristiche fonoassorbenti permettono di ottenere consistenti riduzioni delle emissioni di rumore, anche fino a 12 dB(A).

Tali superfici presentano però degli svantaggi che, ad oggi, ne hanno limitato l'utilizzo come intervento attivo per la riduzione dell'inquinamento acustico da traffico veicolare. Tra i problemi rilevati si citano le difficoltà di ancoraggio dei pannelli alla strato inferiore di supporto, l'insufficiente resistenza all'usura, i bassi livelli di aderenza su bagnato, i danni causati dal transito dei mezzi spazzaneve, i costi elevati di realizzazione e la scarsa resistenza al fuoco. Date le rilevanti performance acustiche di questa tipologia di superficie, in molti Paesi sono state intraprese nuove sperimentazioni e ricerche nell'intento di giungere ad una loro nuova formulazione che sia in grado di porre termine agli inconvenienti sopra elencati.

Riferimenti

- [1] Progetto LEOPOLDO. Predisposizione delle linee guida per la progettazione ed il controllo delle pavimentazioni stradali per la viabilità ordinaria. <http://leopoldo.pjxp.com/>
- [2] Atti del "XXVI Convegno nazionale stradale. Attenuazione del rumore stradale - Interventi di mitigazione sonora alla sorgente" Roma, 27-30 Ottobre 2010
- [3] Bertoni, Campolieti, Bonucchi, Pirondi "Risanamento acustico in ambiente urbano: l'esperienza della città di Modena";
- [4] A. Poggi, D. Casini, C. Fagotti, S. Secchi, "Contribution of double layer asphalt in reduction of urban traffic noise", in atti di Inter noise 2000, Nizza, 27 - 30 agosto, 2000
- [5] M. Luminari, Autostrade "Innovazioni in uso e future", Sessione III - Gestione della strada - Torino 10 Marzo 2005
- [6] G. Camomilla, M. Luminari "Silent road for urban and extra-urban use: the innovative resilient and resonant pavements"
- [7] R. Colombrita, M. G. Augeri "Impiego di argilla espansa negli strati superficiali di una pavimentazione stradale" Atti XI Convegno Nazionale SIIV, 2001
- [8] M. Losa, P. Leandri, R. Bacci, M. Cerchiai, L. Alfinito "Studio e controllo di pavimentazioni stradali a bassa emissione sonora in ambito urbano - Usura con argilla espansa" Technical report. Pisa, aprile 2008
- [9] F. Santagata, F. Canestrari "Caratterizzazione di miscele stradali ecosostenibili in conglomerato bituminoso chiuso con argilla espansa - Rapporto Finale"

5. Manti di usura con polverino di gomma



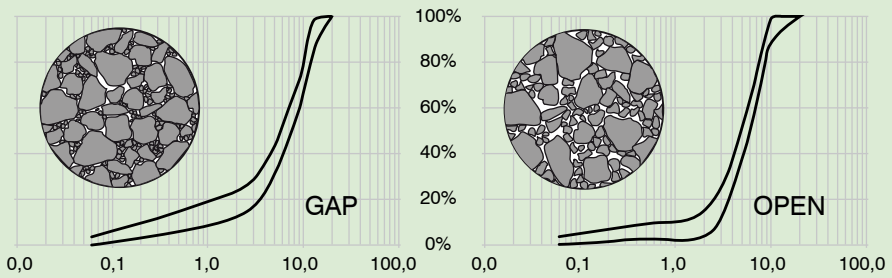
L'Asphalt Rubber (AR) è definito dall'*American Society of Testing and Materials* (ASTM), come un "bitume modificato con una percentuale minima di polverino di gomma di pneumatico riciclato pari al 15% sul peso totale del legante, incorporata tramite processo wet, che abbia reagito durante un periodo di tempo sufficientemente lungo da permettere il rigonfiamento della gomma". Tale tecnologia, le cui origini risalgono ad un progetto sperimentale sviluppato a Phoenix negli anni '60 per la ricerca di nuovi metodi di manutenzione delle strade particolarmente soggette a fessurazione e ammaloramenti, è stata ampiamente utilizzata negli Stati Uniti sin dagli anni '70, prima di essere esportata nel resto del mondo. In Italia l'Asphalt Rubber è stato introdotto a partire dal 2006. La quarantennale esperienza nell'utilizzo di tale materiale ha dimostrato come l'impiego di conglomerati AR permetta di realizzare pavimentazioni caratterizzate da prestazioni e durabilità tali da consentire di dimezzarne gli spessori rispetto alle pavimentazioni flessibili tradizionali.

5.1 Il legante e le miscele Asphalt Rubber

Nel cosiddetto “processo wet”, il polverino di gomma viene aggiunto al bitume stradale in determinate condizioni di temperatura ed agitazione che permettono l’ottenimento di un mastice elastomerico (denominato Asphalt Rubber) caratterizzato da valori di viscosità sensibilmente superiori a quelli del legante di origine. Durante tale processo di miscelazione, il polverino assorbe e fissa la frazione maltenica del bitume che viene dunque inglobata nella matrice semi-gelatinosa del mastice; questo fenomeno (detto “swelling”) previene dunque l’ossidazione e la dispersione dei malteni che è causa del processo naturale di invecchiamento e degradazione del bitume stradale.

Il legante bituminoso così ottenuto presenta una ridotta suscettività termica, ottima coesione ed adesione agli inerti nonché un’eccezionale resistenza alla fatica e all’invecchiamento. Il legante AR–Asphalt Rubber è generalmente utilizzato per produrre miscele bituminose di tipo semi-chiuso (Gap-graded) o semi-aperto (Open) caratterizzate da un ridotto contenuto di frazioni fini e dal contestuale utilizzo di aggregati lapidei di ottima qualità. Più recentemente sono anche state sviluppate curve chiamate a tessitura ottimizzata.

Figura 5 - Tipici fusi granulometrici di miscele AR tipo Gap (semi-chiuso) e Open (semi-aperto)



I conglomerati di tipo semi-chiuso presentano ottime proprietà meccaniche, elevata resistenza a fatica e scarsa sensibilità all’acqua; tali caratteristiche li rendono particolarmente adatti per ridurre tutti i fenomeni di fessurazione di riflesso, fessurazione a fatica e fessurazione termica, con l’ottenimento di superfici prive di fenomeni d’ormaiamento (rutting), con una buona aderenza (skid resistance), ridotta necessità di manutenzione, una buona regolarità e ridotti livelli d’emissioni sonore. Inoltre, la rugosità delle pavimentazioni “Gap-graded” permette la riduzione del fenomeno di splash and spray e di aquaplaning migliorando dunque le caratteristiche di sicurezza della strada.

L’elevata coesione ed adesione agli inerti del legante AR permette inoltre la produzione di micro-tappeti a tessitura ottimizzata che enfatizzano le proprietà acustiche della pavimentazione impiegando inerti di dimensioni ridotte ed ottimizzando – appunto – le caratteristiche funzionali della superficie.

Tabella 2 - Tipici fusi granulometrici di miscele AR tipo Gap (semi-chiuso) e Open (semi aperto)		
	AR-Gap	AR-Open
% AR	7.5 –8.5%	8.5–9.5%
Aggregati Grossi	D ≤ 20, C100, LA20, f1, FL20, PSV45	D ≤ 20, C100, LA20, f1, FL20, PSV45
Aggregati Fini	D ≤ 2, C100, f10, ES ≥ 80	D ≤ 2, C100, f10, ES ≥ 80
% Vuoti Marshall (50 colpi)	5–8%	12–18%
Stabilità Marshall (KN)	>9	>6
Rigidezza (KN/mm)	1.5–3.0	1.5–3.0
Stabilità residua (15gg in acqua)	>75%	>75%
I conglomerati di tipo semi-aperto hanno più spiccate caratteristiche funzionali grazie alla elevata percentuale di vuoti residui che rende possibile il drenaggio dell’acqua meteorica. Tale porosità riduce anche la vibrazione del pneumatico e ne dissipa l’energia da impatto risultando quindi “fonoassorbente”.		



ASPHALT RUBBER TESSITURA OTTIMIZZATA

L'elevata coesione ed adesione agli inerti del legante AR permette inoltre la produzione di microtapeti a tessitura ottimizzata-AR TO- che enfatizzano le proprietà acustiche della pavimentazione impiegando inerti di dimensioni ridotte ed ottimizzando le caratteristiche funzionali della superficie. Questa tipologia è stata studiata appositamente per migliorare l'aderenza ed abbattere la rumorosità. I manti di usura a tessitura ottimizzata sono delle miscele di conglomerato bituminoso di tipo chiuso con caratteristiche granulometriche tali da ridurre, rispetto ai manti di tipo tradizionale, le emissioni sonore generate dal contatto ruota-pavimentazione. La riduzione del rumore da rotolamento è dovuta al particolare assortimento granulometrico, che consente di ottenere manti di usura con spettri di tessitura ottimizzati, tali da ridurre il rumore prodotto dai fenomeni di risonanza che si generano al

contatto ruota-pavimentazione. Viene impiegato in interventi di manutenzione di manti superficiali ammalorati e dove è necessario garantire elevati valori di aderenza, fonoassorbimento e drenabilità, in particolare in ambito urbano dove un conglomerato drenante classico, a causa della elevata macrotestitura e delle modeste velocità dei veicoli, non garantisce valori di aderenza sufficienti.

L'utilizzo, in generale, di conglomerati bituminosi confezionati con bitume modificato comporta numerosi miglioramenti prestazionali. Come è noto il bitume modificato con polimeri risulta essere meno suscettibile all'invecchiamento, meno sensibile alle escursioni termiche, meno fragile alle basse temperature e soprattutto garantisce agli strati di conglomerato bituminoso una maggiore resistenza ai carichi ripetuti, cioè a fatica.

In generale, i conglomerati Asphalt Rubber possono essere applicati in strategie di riabilitazione di pavimentazioni esistenti per ridurre gli ammaloramenti causati da agenti atmosferici, disgregazione e ossidazione. Risultano migliorare le caratteristiche superficiali, con buoni valori di IRI e attrito, e possono anche essere utilizzati come strato superficiale applicato a pavimentazioni rigide o sopra ponti e viadotti, con lo scopo d'evitare la fessurazione di riflessione, migliorare l'aderenza e ridurre i livelli di rumore. Tra le esperienze internazionali più significative, quella dell'Arizona Department of Transportation (ADOT) vanta una storia quarantennale

di monitoraggi e di verifiche delle prestazioni delle pavimentazioni AR posate a partire dal 1972. Tale percorso di analisi e valutazioni ha permesso di evidenziare l'enorme convenienza economica dell'impiego di conglomerati AR rispetto a miscele tradizionali. La Figura 6 mostra la riduzione della percentuale media di fessurazione per pavimentazioni in AR rispetto a pavimentazioni convenzionali, mentre la Figura 7 evidenzia la conseguente riduzione dei costi medi di manutenzione in funzione del tempo per strade statunitensi con traffico corrispondente ad una classe C1 italiana.

Figura 6 - Andamento della percentuale media di fessurazione nel tempo per pavimentazioni eseguite con materiali tradizionali e con conglomerati AR

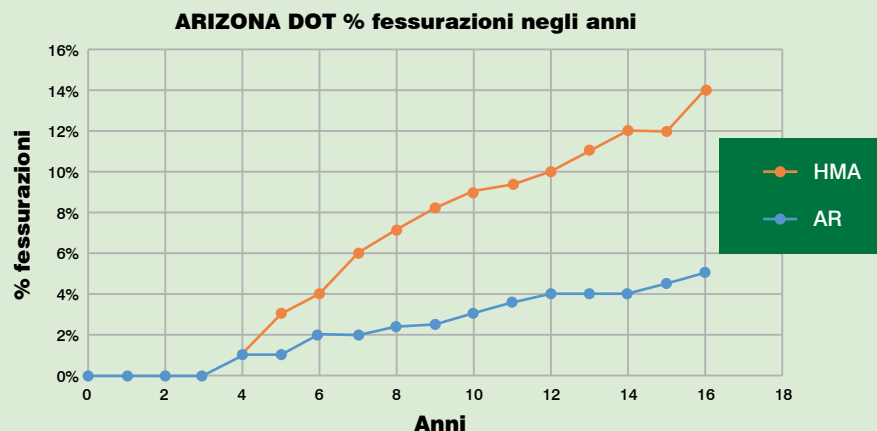
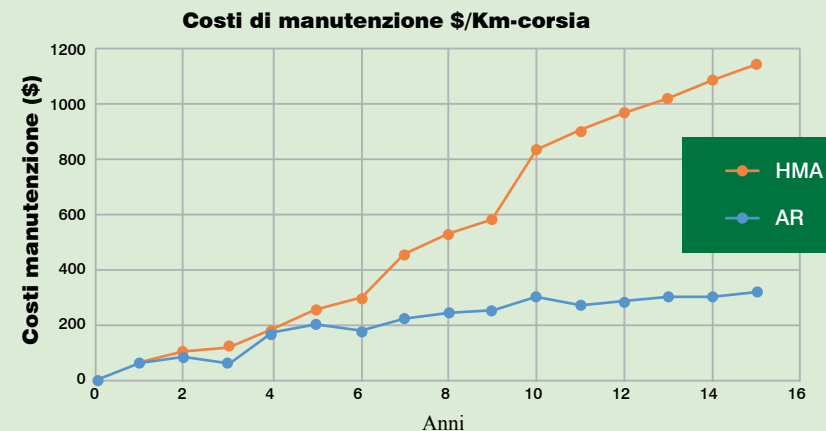


Figura 7 - Andamento dei costi medi annui di manutenzione (in dollari) per chilometro di corsia di pavimentazioni tradizionali e in AR.



In Italia, i risultati raggiunti nel corso della ricerca sperimentale effettuata nell'ambito della convenzione di ricerca (di 3 anni) con il CIRS (Centro Interuniversitario di Ricerca Stradale) hanno confermato le aspettative sia per quanto riguarda le performance meccaniche sia per le caratteristiche funzionali.

Sono state studiate differenti miscele bituminose (confezionate con legante di tipo Asphalt Rubber) e di diversa provenienza (confezionate in laboratorio, preparate in impianto o prelevate in sito durante la realizzazione di stese sperimentali). Sulla base dei risultati ottenuti nel corso dell'approfondita analisi è possibile trarre le seguenti principali conclusioni:

- il legante AR ha evidenziato un comportamento reologico che garantisce alle miscele di conglomerato bituminoso con esso preparate prestazioni efficaci sia alle basse che alle

alte temperature di esercizio. In particolare, l'elevata viscosità lo rende particolarmente resistente alle deformazioni permanenti;

- dallo studio delle proprietà tradizionali delle miscele AR analizzate si evince chiaramente che un conglomerato bituminoso AR, risulta comunque idoneo per qualsiasi tipo di applicazione stradale anche sulle base delle sole prescrizioni di tipo empirico normalmente introdotte nei capitolati stradali;
- lo studio dei moduli di rigidità determinati in laboratorio mediante prove dinamiche in configurazione di trazione indiretta ha evidenziato valori limitati nel caso di materiali realizzati con legante AR. Le determinazioni del modulo complesso, misurato in configurazione di compressione assiale, inoltre, confermano tale risultato per entrambe le miscele. Ne discende un migliore compor-

tamento a fatica del materiale se sottoposto a deformazioni cicliche imposte ed una minore generazione di rumore di rotolamento dovuto agli impatti fra pneumatico e pavimentazione;

- le prove di fatica, effettuate in configurazione di trazione indiretta, confermano sperimentalmente le ottime prestazioni nel caso in cui le miscele AR lavorino a deformazione imposta;
- in accordo con quanto evidenziato dallo studio delle prestazioni del solo legante AR, le miscele confezionate con tale miscela risultano estremamente resistenti all'accumulo di deformazioni permanenti nonostante gli elevati dosaggi di bitume da cui risultano caratterizzate;
- la caratterizzazione eseguita sui materiali al fine di determinarne la resistenza all'azione dell'acqua ha dimostrato come le miscele testate abbiano restituito comportamenti molto simili sia nel caso di campioni "vergini" sia per quanto concerne campioni condizionati in acqua (metodologie impiegate in accordo con la normativa europea vigente EN 12697-12 e secondo il metodo Lottman descritto nella ASTM D 4867). Tale risultato dimostra come le miscele AR denotino una ottima resistenza all'azione dell'acqua grazie alle spiccate proprietà del legante utilizzato ma anche agli elevati spessori di ricoprimento degli aggregati propri di tale tipologia di miscela.

Oltre a questo l'utilizzo della tecnologia Asphalt Rubber permette i seguenti vantaggi ambientali:

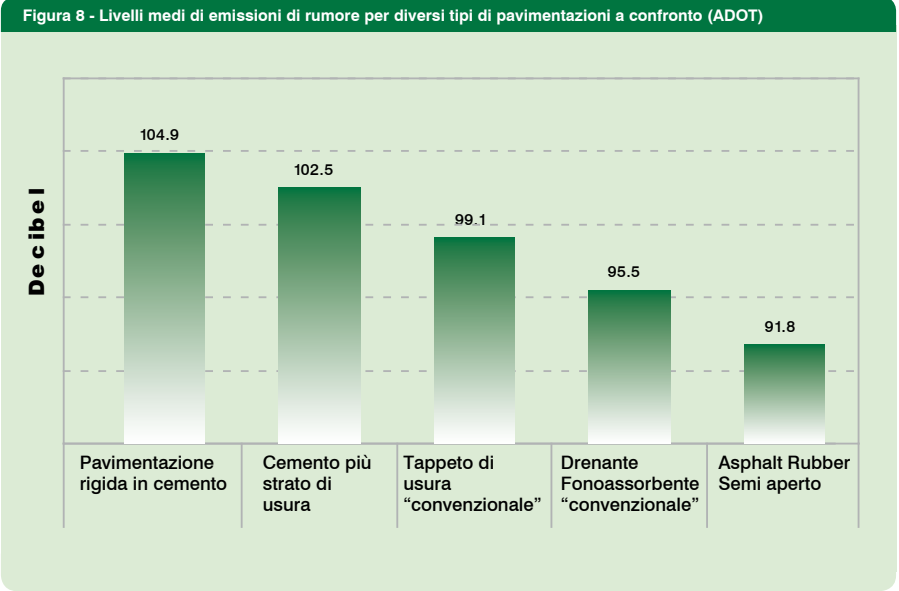
- Trattamento e recupero di Pneumatici Fuori Uso: Asphalt Rubber rientra tra i materiali indicati dalla Circolare 19 luglio 2005, ai sensi del D.M.203/2003 (G.U.n.173, del 27 luglio 2005) perché, essendo realizzato con una percentuale minima del 15% di polverino di gomma da Pneumatici Fuori Uso riciclati, ne riduce il problema del recupero, eliminandone 10'000 per ogni km di corsia (applicando 5 cm di spessore);
- Le strade realizzate in AR sono completamente riciclabili e questa tecnologia non produce fumi diversi da quelli di qualsiasi altro asfalto, perché sia nella produzione che nella posa si raggiungono temperature di fusione della gomma contenute.



5.2 Utilizzo dell’Asphalt Rubber come pavimentazione a bassa rumorosità, le esperienze internazionali

La componente di rumore associata al rotolamento del pneumatico, ossia all’impatto del battistrada sulla pavimentazione, è certamente una delle componenti più importanti di rumorosità dei veicoli (es. rumore del motore o altre parti meccaniche), in particolare alle velocità medio-alte.

A sua volta il rumore di rotolamento varia in funzione del tipo di pavimentazione e degli pneumatici. Se il tipo di pneumatici utilizzati dagli utenti è un fattore non controllabile dai gestori delle infrastrutture, certamente la classe acustica dei vari tipi di pavimentazioni è un parametro da integrare nella scelta delle soluzioni da adottare nei vari contesti (urbano, extra-urbano, autostrada, ecc).



L’impiego esteso di pavimentazioni in Asphalt Rubber ha permesso al Dipartimento dei Trasporti di Arizona e California di evidenziare per primi la minore rumorosità di tali pavimentazioni rispetto ad altre soluzioni “convenzionali”. Come osservato, infatti, nei dati raccolti sino al 2003 in questi due stati, le pavimentazioni più silenziose tra quelle monitorate sono sempre state le miscele AR, con emissioni sonore inferiori da 4 a 7 dB rispetto alle pavimentazioni convenzionali flessibili, e sino a 13 dB inferiori alle pavimentazioni rigide (in conglomerati cementizi). A completare l’analisi acustica effettuata dall’ADOT, furono rilevati i livelli sonori percepiti all’interno dell’abitacolo di un veicolo in transito lungo la stessa autostrada oggetto dell’intervento sopra descritto. Nel passaggio da un tratto con pavimentazione convenzionale ad uno in cui era stato applicato lo strato superficiale in AR, si ottennero riduzioni della rumorosità sino a 8.4 dB.

Tabella 3 - Valori di rumorosità rilevati all’interno dell’abitacolo prima e dopo la riasfaltatura

Prima dell'intervento	Dopo l'intervento	Variazione
Valore medio [dB]	67.0	61.8
Massimo [dB]	72.8	64.4
Minimo [dB]	64.3	60.1

La percentuale di vuoti residui del conglomerato AR, l’elevato contenuto di legante, la presenza di gomma, e le ridotte dimensioni dell’aggregato contribuiscono ad una minore deformazione del pneumatico durante il rotolamento, ossia ad una riduzione del rumore alla sorgente.

La percentuale di vuoti residui del conglomerato AR, l'elevato contenuto di legante, la presenza di gomma e le ridotte dimensioni dell'aggregato contribuiscono ad una minore deformazione del pneumatico durante il rotolamento, ossia ad una riduzione del rumore alla sorgente.

A seguito delle positive esperienze documentate dai numerosi studi condotti tra gli anni '80 e gli anni '90, l'ADOT programmò a partire dal 2003 il trattamento di ulteriori 185 km di strade urbane ed extraurbane con uno strato di usura da 25 mm in AR entro la fine del 2006, con l'obiettivo di ottenere una riduzione dei livelli di rumorosità di almeno 4 dB a lato della pavimentazione. Tale programma su larga scala, il Quiet Pavement Research Program, costituì la concretizzazione della ricerca pluridecennale svolta in Arizona in questo settore.

Il crescente interesse per i problemi di inquinamento acustico, gli eccellenti risultati ottenuti in USA con miscele AR e la crescente pressione per un maggior impiego di materiali recuperati da Pneumatici Fuori Uso contribuirono sin dai primi anni '80 all'avvio di numerosi studi mirati a valutare l'efficacia di tale materiale anche come intervento di mitigazione del rumore associato

al traffico veicolare. Un primo esempio di tali studi fu effettuato nel 1981 in Belgio, su di un conglomerato Asphalt Rubber chiamato "Drainasphalt". Tale studio mostrò una notevole riduzione dei livelli delle emissioni sonore, incoraggiando studi analoghi in numerose altri stati europei ed americani [tabella 4]. Nel 1984 una ricerca in Francia determinò i livelli di rumorosità prodotti da un conglomerato drenante Drainasphalt lungo una strada cittadina adiacente alla Senna. I risultati ottenuti mostrarono una riduzione del rumore tra 3 e 5 dB in caso di traffico leggero, e tra 2 e 3 dB in presenza del 5% di traffico pesante, portando alla proposta di rivestire le tangenziali di Parigi con uno strato di Asphalt Rubber Open – graded.

Tabella 4 - Sulla riduzione di rumorosità di pavimentazioni AR eseguiti in vari stati negli anni '80 e '90

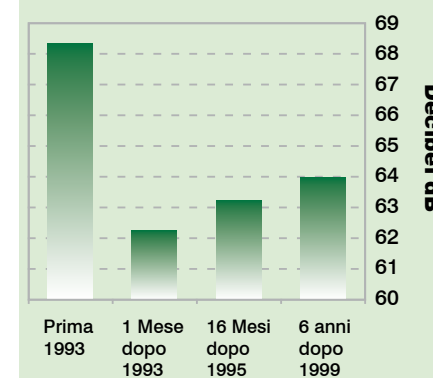
Stato	Anno	Riduzione della rumorosità rilevata
Belgio	1981	8-10 dB (65-85%)
Francia	1984	2-3 dB/3-5 dB (50-75%)
Austria	1988	> 3 dB
Olanda	1988	2.5 dB
Germania	1990	3 dB (50%)
Canada	1991	N.D.
Inghilterra	1998	N.D.
Arizona	1989	6.7 dB (78%)
	1990	10 dB (88%)
	1993	7.7 – 5.1 dB
	1992	3-5 dB su di un conglomerato aperto
California	1991	3-7 dB
	1998	N.D.
Texas	1992	N.D.
Oregon	1994	N.D.



Nel 2004 in Portogallo, a cura della società concessionaria Auto-Estradas do Atlantico S.A., furono condotti analoghi studi acustici su tre tratti rappresentativi degli oltre 16 km di pavimentazione autostradale (A8) realizzati con conglomerato Asphalt Rubber in confronto con altri tratti realizzati con conglomerati bituminosi tradizionali e con cemento armato continuo. I risultati ottenuti mostrarono, a parità di condizioni di traffico, una riduzione media delle emissioni sonore sino a 5-6 dB per le pavimentazioni in Asphalt Rubber.

Più recentemente è stato condotto uno studio di confronto di 36 campioni di pavimentazione di laboratorio e 49 campioni ottenuti da sezioni di pavimentazione prelevate in vari Paesi, in particolare Arizona, Svezia e California [tabella 5]. La comparazione tra le prestazioni acustiche dei diversi materiali viene condotta introducendo un unico parametro per caratterizzare le proprietà acustiche dei diversi materiali stradali, definito DAMP (Damping Acoustical Measurement Parameter).

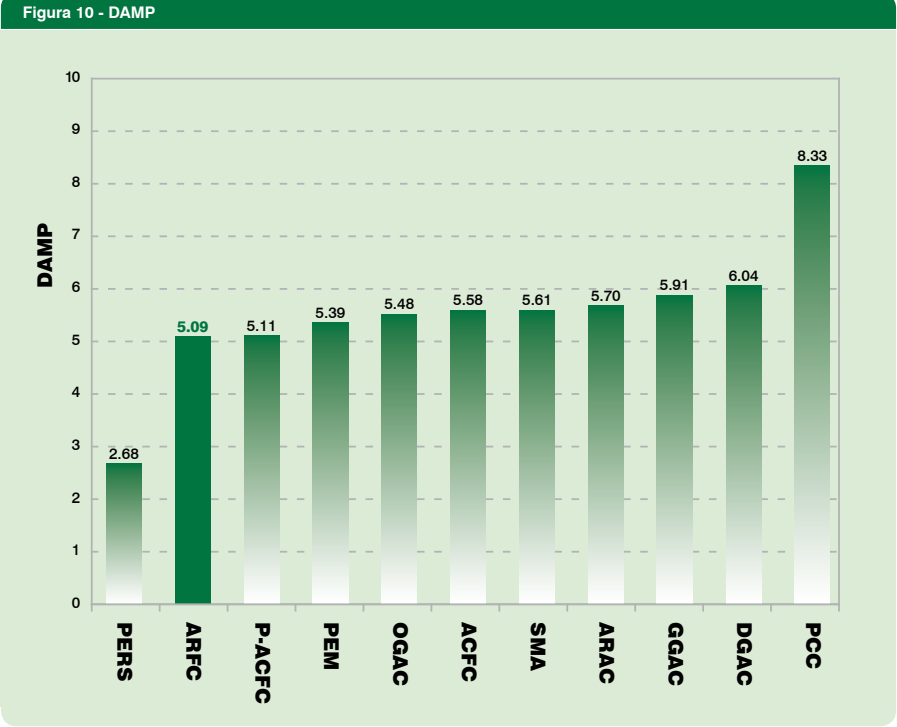
Figura 9 - Livelli di rumorosità prima e dopo la riasfaltatura con AR dell'autostrada A8 (Portogallo)



Le misurazioni sono state effettuate modificando una metodologia standard a ultrasuoni (UPV– Ultrasonic Pulse Velocity) utilizzata per misurare il livello di fessurazione nel calcestruzzo, al fine di renderla idonea a misurare le proprietà acustiche dei diversi tipi di pavimentazione stradale. Il risultato della prova UPV è rappresentato dal tempo impiegato dall'impulso ultrasonico (UPT – Ultrasonic Pulse Time) per attraversare il campione da una estremità all'altra. I valori di UPV e di impedenza (Z) sono stati stimati a partire dai valori di lunghezza, UPT e densità del campione.

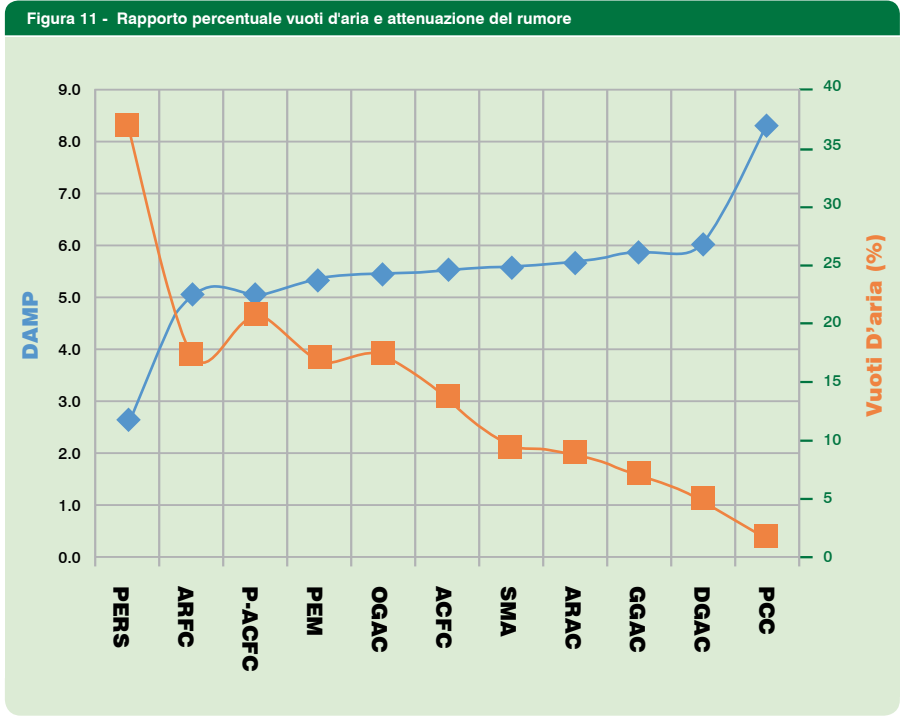
L'indice parametrico acustico DAMP (Damping Acoustical Measurement Parameter) viene quindi calcolato partendo da vari parametri fra cui anche l'impedenza acustica Z. Dal momento che Z e il parametro DAMP risultano direttamente correlati, nello studio viene proposto l'utilizzo del DAMP anche come indice di assorbimento acustico. La scala di valori del DAMP va da 0 a 10, valori fino a 5 sono connessi a bassi valori di impedenza acustica e quindi a buone proprietà di fonoassorbimento del materiale. Questo studio ha evidenziato come il conglomerato AR Open-graded (ARFC) ha presentato i valori di DAMP più bassi rispetto a tutte le altre miscele bituminose, indicando la maggior capacità di fonoassorbimento rispetto agli altri conglomerati.

Tabella 5 - DAMP Estimations, All Mixtures[16]						
Mix	AV (%)	AC (%)	UPV (m/s)	> (kg/m³)	Z (cgs Rayls)	DAMP
PERS	37.08	0	898	1.34	1184	2.68
ARFC	17.44	8.48	2818	2.11	5832	5.09
P-ACFC	20.96	6.00	2988	2.01	5891	5.11
PEM	17.14	6.00	3316	2.07	6738	5.39
OGAC	17.52	7.75	3576	2.03	7088	5.48
ACFC	13.80	6.00	3391	2.19	7339	5.58
SMA	9.65	6.50	3566	2.13	7452	5.61
ARAC	9.04	7.47	3544	2.24	7786	5.70
GGAC	7.25	6.67	3786	2.29	8494	5.91
DGAC	5.19	4.96	3941	2.32	8963	6.04
PCC	1.85	0	7721	2.65	20052	8.33

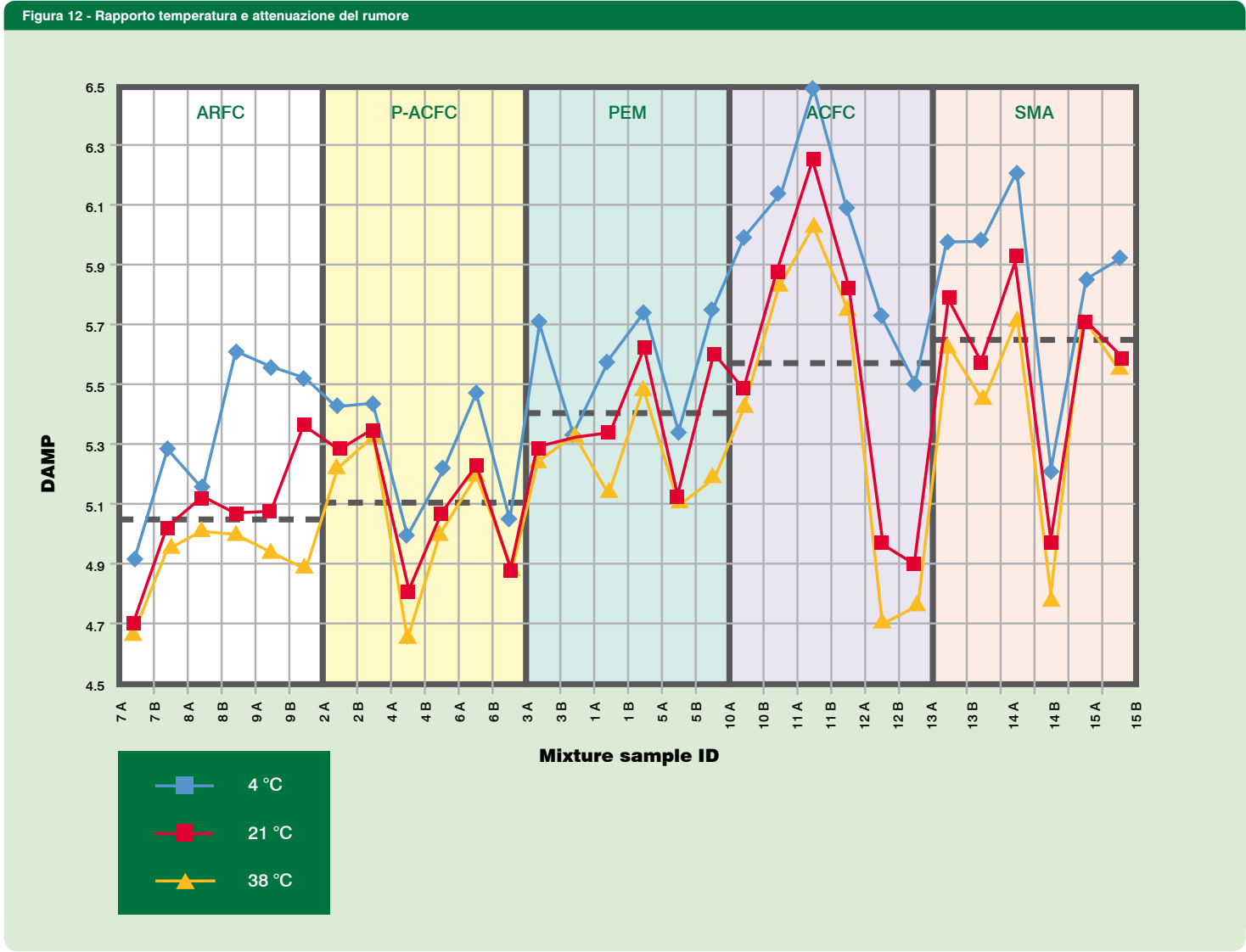


Nello studio citato è stato compiuto, ulteriore, un ulteriore sforzo per comprendere l' influenza della temperatura sulle proprietà acustiche dei conglomerati. I conglomerati prelevati dall'Arizona I-10 sono stati sottoposti a misurazioni UPV con tre diverse temperature. Un esame completo dei valori di DAMP indica che

all'aumentare della temperatura si verifica una diminuzione dell'indice stesso. Questo conferma la natura chiaramente visco-elastica mostrata dai conglomerati bituminosi alle temperature più elevate, indicando come il ruolo del legante (insieme con i vuoti d'aria) gioca un ruolo fondamentale nella attenuazione del rumore. (Figura 11 e Figura 12)



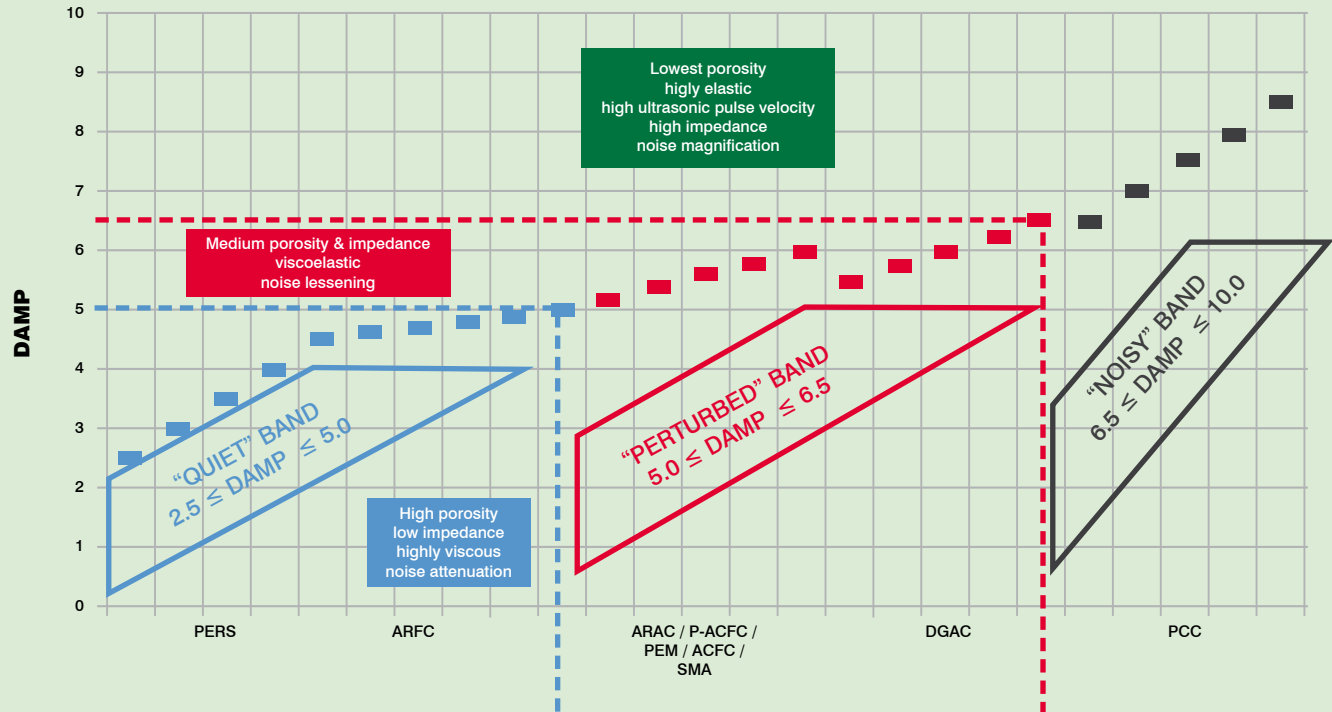
Nel complesso, il conglomerato AR Open-graded (ARFC) ha mostrato il più basso indice DAMP rispetto agli altri conglomerati, principalmente a causa della maggiore quantità di legante rispetto alle altre miscele e alla maggiore porosità (vuoti)



Infine, sono state definite tre fasce di DAMP per rappresentare le caratteristiche acustiche di ogni conglomerato (Figura 13). Il conglomerato ARFC è stato collocato nella fascia "silenzioso". Poiché i conglomerati bituminosi presentano un comportamento viscoelastico, i rimanenti conglomerati bituminosi, non altret-

tanto fonoassorbenti quanto l'ARFC, sono stati collocati nella zona di diminuzione rumore o banda "perturbata". Il conglomerato PCC, che ha dimostrato di essere particolarmente fastidioso per l'orecchio umano, è stato collocato nella fascia "Rumoroso", a cui corrispondono i valori di DAMP più elevati.


Figura 13 - Riepilogo caratteristiche acustiche dei diversi conglomerati



In conclusione, i risultati ottenuti a livello internazionale negli ultimi 20 anni mostrano con una discreta coerenza una riduzione del rumore variabile tra i -2 dB e i -8 dB rispetto ad altre pavimentazioni convenzionali; la miscela AR-Gap presenta solitamente una riduzione dei valori di emissioni acustiche variabile tra -2 e -4 dB, mentre la miscela AR-Open – grazie alla maggiore percentuale di vuoti – permette di ottenere riduzioni da -3 a -8 dB rispetto a tappeti d'usura chiusi.

Riferimenti

- [10] Antunes, I., Murachelli, A., "Analysis of environmental sustainability in the rehabilitation of existing pavements using Asphalt Rubber hot mixes", Proceedings of AR2009 International Conference on Asphalt Rubber, Nanjing, China, October 2009
- [11] G. B. Way, "OGFC Meets CRM. Where the rubber meets the rubber 15 years durable success", 2003.
- [12] "Asphalt Rubber Noise Data Compilation (Synthesis of current practice)", Executive Summary RPA, 2003.
- [13] "Report on the Traffic Noise Reduction in Sacramento County", Sacramento County Public Works Agency-Transportation Division, 1999.
- [14] D. Carlson, H. Z.hu, C. Xiao, "Analisis of Traffic Noise Before and After Paving with Asphalt Rubber", Proceedings of the Asphalt Rubber 2003 Conference, Brasilia.
- [15] B. Rymer, Paul Donovan, "Tire/Pavement Noise Intesity Testing in Europe: the NITE Sudy and its Relationship to Ongoing Caltrans Quiet Pavement Activities", 2004.
- [16] Krishna Prapoorna Biligiri, George B. Way, Ali Zareh "Asphalt-Rubber Properties Indicative of Noise-Dampening Characteristics", Proceedings of AR2012 International Conference on Asphalt Rubber, Munchen, Germany, October 2012



6. Metodologie di prova delle pavimentazioni a bassa rumorosità

La prestazione fornita da una pavimentazione stradale in termini di emissione rumorosa può essere valutata attraverso vari metodi di misura. Le modalità con cui effettuare i rilievi fonometrici nei principali metodi di misura normalizzati sono descritte in apposite norme tecniche di riferimento; per i metodi non normalizzati sono invece presenti in letteratura solo elementi di descrizione delle modalità di misura. Nel presente capitolo vengono descritte le principali metodologie di misura, normalizzate e non, in situ o in laboratorio, che è possibile impiegare per effettuare il rilievo delle prestazioni acustiche di una pavimentazione stradale.

6.1 Metodi normalizzati per la misura delle prestazioni acustiche

Questi metodi trovano fondamento su standard internazionali ISO e per i quali ormai da molti anni si è potuta collezionare un'ampia statistica con indagini svolte su innumerevoli siti, sia urbani che extraurbani, a livello nazionale e internazionale, anche nell'ambito di appositi progetti europei.

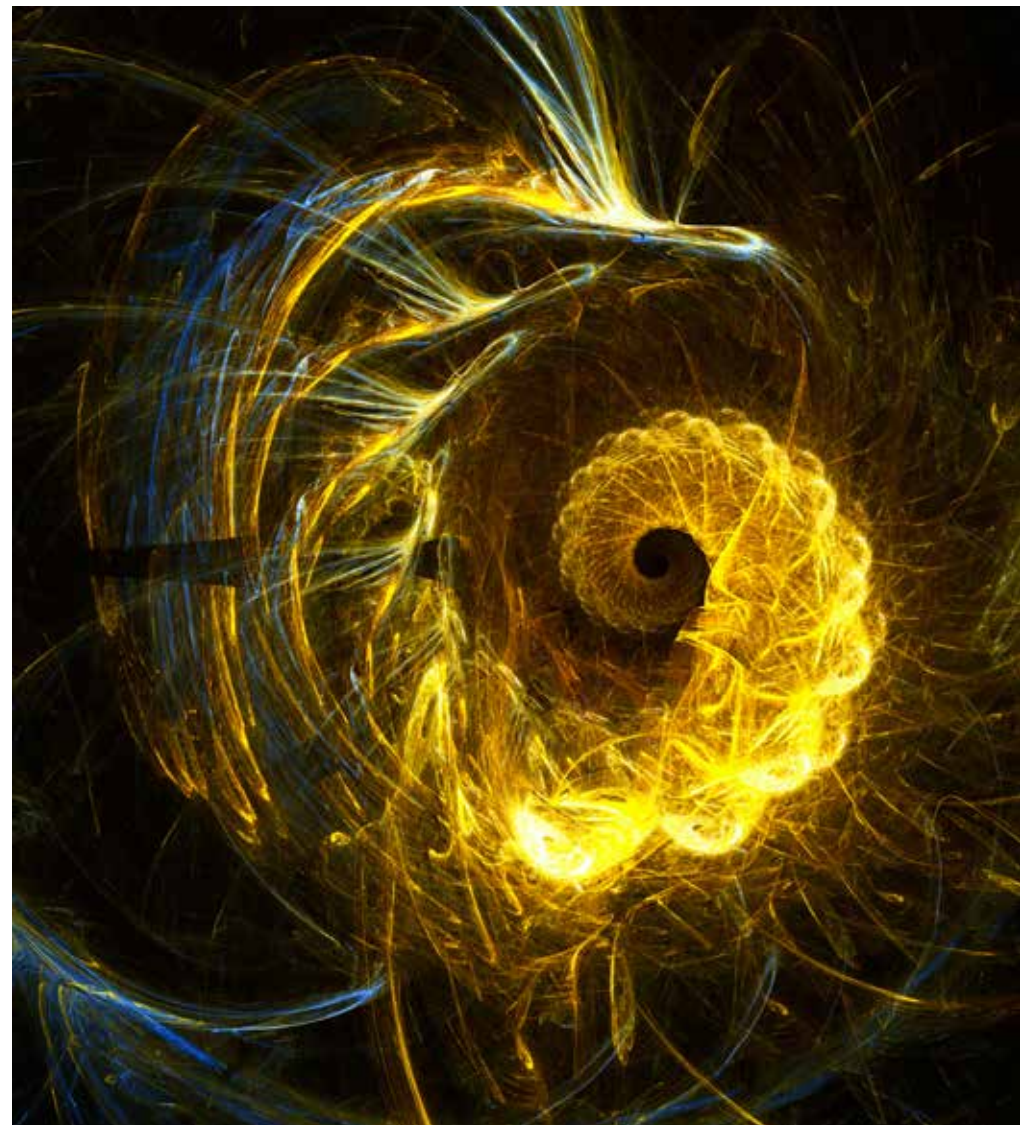
I principali metodi per le misure in situ sono:

- la tecnica Pass-By Statistico (UNI EN ISO 11819-1:2004);
- il metodo Adrienne, (UNI ISO 13472-1:2004)
- la tecnica Close Proximity (CPX) (ISO/CD 11819-2:2000)

mentre il principale metodo in laboratorio è il tubo ad impedenza (Tubo di Kundt).

I vantaggi associati alle misure eseguite in situ rispetto a quelle effettuate in laboratorio sono molteplici: il campione non deve essere sottratto alla sua sede naturale; le proprietà acustiche sono rilevate nelle reali condizioni di installazione o esercizio, senza essere affette da contaminazioni derivanti da condizioni al contorno differenti. Tuttavia se da una parte questo aspetto è un vantaggio, da un altro punto di vista esso espone il metodo all'influenza di fattori non facilmente controllabili.

Nelle misure in laboratorio, invece, si valutano le proprietà acustiche in condizioni controllate, in assenza di tutti quei fenomeni che si manifestano nelle reali condizioni di esercizio, quali riflessioni presenti nell'area di analisi, o altre condizioni al contorno che possono influire sui risultati finali.



STATISTICAL PASS-BY

Il Metodo Pass-By Statistico consente di determinare il contributo alla rumorosità della pavimentazione stradale prodotto dal passaggio dei veicoli sulla strada.

Il metodo si applica al traffico passante, su un campione statistico significativo per numero di transiti e tipologia di veicoli. Di ogni transito sono rilevati il livello di pressione sonora massimo e lo spettro per bande di terzi di ottava oltre alla velocità di transito del veicolo. I dati acquisiti sono poi opportunamente elaborati, mediante un'operazione di regressione lineare, per fornire una caratterizzazione delle prestazioni acustiche della pavimentazione indagata in

funzione della velocità.

La metodologia Pass-By è basata sulla misurazione del livello di rumore generato da un campione di veicoli, rappresentativo del flusso di traffico del tratto di strada analizzato, transitante tra due microfoni posti a distanza e altezza prefissate rispetto all'asse di marcia dei veicoli. Le specifiche per la corretta effettuazione

delle misure sono definite dalla norma UNI EN ISO 11819-1:2004.

Per ogni singolo passaggio, è prevista l'acquisizione contemporanea del livello sonoro massimo LAFmax in dB(A) e della velocità di transito in km/h. L'analisi è effettuata su veicoli appartenenti alle seguenti categorie:

- leggeri (categoria 1);
- pesanti a due assi (categoria 2a);
- pesanti a più assi (categoria 2b);

che transitano con velocità comprese all'interno di 3 intervalli di valori:

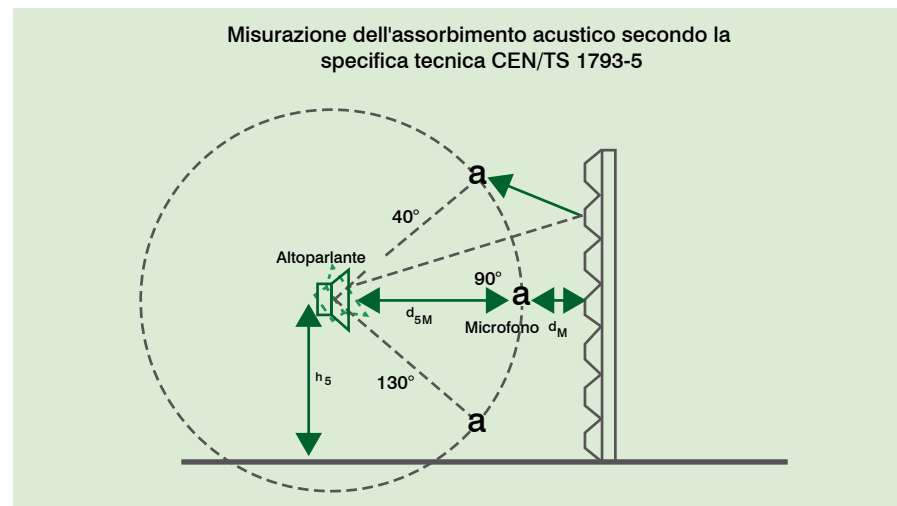
- bassa velocità: velocità media del flusso di traffico compresa tra 45 km/h e 64 km/h;
- media velocità: velocità media del flusso di traffico compresa tra 65 km/h e 99 km/h;
- alta velocità: velocità media del flusso maggiore o uguale a 100 km/h.

La distanza tra l'asse della corsia e la base dei microfoni deve essere pari a $7.5 \text{ m} \pm 1.0 \text{ m}$. Per distanze differenti da 7.5 m i valori misurati devono essere normalizzati alla distanza di riferimento di 7.5 m. L'altezza dei microfoni rispetto al livello del terreno è pari a 1.2 m.

La principale criticità manifestata dal Pass-By Statistico consiste nel fatto che il metodo si presta ad una caratterizzazione del sito nel suo complesso e non della pavimentazione nello specifico, che ne costituisce solo un singolo elemento. Inoltre, affinché il metodo fornisca dei risultati significativi, occorre che siano soddisfatti numerosi requisiti che ne complicano l'applicazione e ne aumentano i tempi di esecuzione.

Il metodo SPB presenta comunque anche vantaggi non secondari legati alle sue caratteristiche di robustezza derivanti dal fatto che i livelli di pressione elaborati sono normalizzati rispetto a condizioni ambientali e di traffico standard, ovvero corretti rispetto a valori di riferimento della temperatura ambiente (20°C) e della velocità di ciascuna categoria veicolare.

METODO ADRIENNE



Il metodo Adrienne è una procedura sperimentale standardizzata che consente la misura in situ del coefficiente di assorbimento acustico di superfici estese. Le proprietà di assorbimento della superficie sono determinate per incidenza normale, ma la valutazione può essere estesa anche per incidenza obliqua con le limitazioni previste dalla ISO 13472-1.

Esso trova la sua naturale applicazione nella determinazione dell'assorbimento acustico delle pavimentazioni stradali (o nella verifica in opera dell'efficienza delle barriere acustiche, per cui di fatto è stato sviluppato), per la rapidità con cui possono essere eseguiti i rilievi e la relativa facilità con cui il sistema di misura può essere spostato da una posizione all'altra, consentendo l'acquisizione di numerosi dati in tempi contenuti.

Le proprietà di assorbimento acustico della superficie di prova si determinano a partire dalla misura del fattore di riflessione, dato dal rapporto tra la potenza sonora riflessa e quella incidente sulla superficie di prova. Il rapporto tra le due componenti si misura rilevando in successione il segnale diretto e riflesso generato da una sorgente di caratteristiche note, posta a distanza prefissata dalla superficie di prova. Il segnale di misura è generato da un altoparlante sospeso sopra il materiale da testare; tra la sorgente e la superficie è interposto un microfono. Il metodo consiste nella misura ed analisi della risposta impulsiva del sistema. Il metodo Adrienne misura il coefficiente di assorbimento della pavimentazione nel suo contesto e, come il metodo SPB, è statico e puntuale, descrive cioè un'area di estensione definita.

A differenza del SPB tuttavia, in cui la postazione microfonica è al bordo della corsia stradale, l'Adrienne prevede che il sistema sorgente-ricevitore sia coassiale e posizionato normalmente alla superficie da analizzare, dunque sulla corsia di prova. Questo particolare aspetto delle condizioni di misura pone importanti e serie questioni di limitazione del flusso di traffico sul segmento in esame e di sicurezza per gli operatori durante le misure.

IL METODO CPX (CLOSE PROXIMITY)

Il metodo di indagine Close Proximity (CPX), regolamentato dalla norma ISO/CD 11819-2:2000, consente di caratterizzare la rumorosità delle pavimentazioni stradali generata dall'interazione ruota-pavimentazione (rumore di rotolamento). Tale metodo va ad affiancarsi in maniera complementare al Pass-by Statistico (SPB) ISO 11819-1, rispetto al quale risulta più pratico, veloce ed economico. In particolare, il metodo CPX può essere utilizzato nelle seguenti applicazioni:

- verifica della rispondenza delle prestazioni acustiche delle pavimentazioni alle specifiche di progetto (COP: Conformity of Production);
- controllo dello stato di conservazione e di invecchiamento del manto stradale;
- verifica del ripristino delle proprietà acustiche a seguito di operazioni di pulizia delle superfici porose;
- controllo dell'omogeneità longitudinale, e ove possibile laterale, della sezione di strada in esame.

Il sistema di misura che implementa il metodo CPX consta di due o più microfoni, opportunamente montati in prossimità di una ruota del veicolo impiegato per eseguire la prova o di un apposito trailer. Per ogni segmento del tratto di strada esaminato si calcola il livello medio misurato da ogni microfono, normalizzando il valore alla velocità di riferimento. La risultante media aritmetica dei livelli rilevati dai microfoni ad una data velocità di riferimento (di solito 50, 80 o 110 km/h) prende il nome di "livello sonoro ruota-pavimentazione" (LTR). Un'opportuna combinazione lineare dei valori di LTR misurati con diverse ruote, consente di determinare l'indice CPXI del segmento per ogni velocità di riferimento.

Nel caso di veicoli strumentati, la misura della velocità si esegue con un encoder applicato ad una delle ruote non equipaggiata con i microfoni. Il segnale generato dall'encoder viene registrato contemporaneamente ai livelli di rumore, consentendo in questo modo di correlare il dato acustico con il tempo, la posizione spaziale e la velocità del veicolo.

Indubbiamente il CPX è caratterizzato da una flessibilità che i due metodi precedenti non presentano, principalmente dovuta al fatto che la misura è eseguita in maniera dinamica, consentendo di rilevare rapidamente le proprietà acustiche di lunghe tratte di strada.

Tuttavia, come gli altri metodi di caratterizzazione in situ, anche il CPX presenta criticità dovute ai requisiti relativi al veicolo di prova alle condizioni climatiche e alle peculiarità del sito specifico, nonché all'influenza di sorgenti di rumore casuali esterne non controllabili.

La prima criticità è che con questo metodo si caratterizzano le proprietà acustiche della pavimentazione solo in relazione al veicolo sul quale è montato (mezzo leggero) mentre non da alcuna indicazione sul comportamento dell'interazione pneumatico-pavimentazione per quanto riguarda i mezzi pesanti.

Altro limite è dato dalla necessità di effettuare le misure utilizzando quattro tipologie di pneumatici differenti per cui si rende necessario sostituire almeno tre volte il pneumatico per completare un ciclo di misure. È inoltre difficile riuscire a stabilire se le condizioni del pneumatico sono idonee alle misure (battistrada più o meno levigato, temperatura del pneumatico etc.)

TUBO AD IMPEDENZA (TUBO DI KUNDT)

Per quanto riguarda i metodi di laboratorio, la tecnica più comunemente utilizzata in ambito stradale è quella del tubo ad impedenza, mediante la quale si misura il coefficiente di assorbimento acustico per incidenza normale. Il tubo ad impedenza è essenzialmente un selettore di onde piane costituito da una cavità di forma cilindrica realizzata con materiale acusticamente riflettente (ad esempio alluminio anodizzato). La norma di riferimento è la UNI EN ISO 10534. La procedura per avviare all'esecuzione della misura è di carattere invasivo ed implica il prelevamento in situ di provini della pavimentazione mediante carotaggio.

Le misure del campo acustico, all'interno del tubo, sono effettuate in due postazioni fisse, alloggiando i trasduttori in modo che la capsula microfonica sia tenuta a contatto con la superficie liscia della cavità interna.

Ciascun microfono riceve la somma dei contributi rispettivamente dell'onda progressiva, proveniente dall'altoparlante in direzione del provino, e da quella regressiva, riflessa dal provino stesso. Il valore del coefficiente di riflessione ad ogni frequenza è calcolato a partire dalla funzione di trasferimento dei segnali provenienti dai due microfoni.

Per il corretto funzionamento del dispositivo è necessario che all'interno del tubo il campione da analizzare sia opportunamente sigillato lungo il perimetro con uno speciale strato gommoso a cellule chiuse (neoprene o similari): è importante che, una volta alloggiato il campione, lo strato di gomma aderisca perfettamente alle pareti del tubo, per evitare la diffrazione ai bordi e la fuoriuscita di energia. Per quanto riguarda la superficie posteriore del provino, invece, è fondamentale limitare la formazione di intercapedini d'aria tra il campione e la parete posteriore per impedire che si originino eventuali onde stazionarie "parassite". A tale scopo sulla parte retrostante del campione può essere applicato uno strato di pellicola trasparente, collegata con la guaina gommosa perimetrale, in modo da evitare qualsiasi tipo di propagazione oltre il campione e per migliorare l'aderenza del campione al fondello di alluminio retrostante. Le caratteristiche costruttive del tubo ad impedenza e le modalità di montaggio del campione all'interno di esso devono soddisfare requisiti stringenti da rispettare rigorosamente.

La misura del coefficiente di assorbimento acustico di una pavimentazione stradale in esercizio richiede, in particolare, che siano prelevati dei campioni del conglomerato attraverso un'operazione invasiva di carotaggio. Indipendentemente dalle difficoltà di estrarre i campioni necessari per la prova, i risultati prodotti dall'applicazione di questa metodologia di misura non caratterizzano la superficie stradale nel suo complesso, ma solo una porzione molto limitata. Tuttavia il metodo, essendo eseguito in un ambiente controllato, presenta l'innegabile vantaggio di consentire una più semplice gestione dei parametri che influiscono sull'accuratezza della misura.

6.2 Metodi non normalizzati per la misura delle prestazioni acustiche

Oltre ai metodi di misura descritti nei paragrafi precedenti, che sono impiegati da molti anni e le cui specifiche di applicazione sono riportate in apposite norme di riferimento, sono stati sviluppati recentemente anche altre metodologie di misura, che risultano ancora in fase sperimentale. Tali metodi sono generalmente evoluzioni di procedure standardizzate, sviluppati per estenderne il campo di impiego.

A titolo di esempio, si descrive brevemente di seguito la metodologia SPB-BB (Statistical Pass-By Backing Board Method) sviluppata al fine di estendere il campo di applicazione del metodo SPB anche in presenza di superfici riflettenti prossime alla postazione di misura (ad es. nelle aree urbane).

STATISTICAL PASS-BY BACKING BOARD METHOD (SPB-BB)

Il metodo SPB presenta molti requisiti stringenti per la sua corretta applicazione e tra questi quello che risulta essere molto limitante è l'assenza di superfici riflettenti o il loro eventuale trattamento con coperture assorbenti. In particolari siti, come per esempio nelle aree urbane, la vicinanza di edifici al tratto di strada da caratterizzare rende difficoltoso individuare scenari che risultino conformi alle specifiche del SPB.

Per aggirare tale problema si è introdotto nel progetto europeo SILENCE la sperimentazione del metodo SPB-BB, cioè una variante del SPB che prevede l'uso di uno schermo (backing board) riflettente sul quale posizionare opportunamente il microfono. Il backing board è un pannello che emula l'effetto di una superficie infinitamente rigida e perfettamente riflettente. L'effetto da essa prodotto è quello di raddoppiare la pressione sonora misurata sulla superficie stessa, ovvero di generare una variazione del livello di pressione sonora maggiore di quello rilevabile in condizioni di campo libero di +6 dB.

Il pannello ha tuttavia dimensioni finite e quindi introduce effetti di diffrazione ai bordi, che generano delle discontinuità nel campo sonoro, per cui è necessario individuare una opportuna posizione per il microfono all'interno del pannello affinché il termine correttivo risulti in effetti pari a +6 dB.

Il confronto tra le analisi spettrali eseguite con la tecnica del SPB e del SPB-BB hanno evidenziato uno scostamento non costante al variare delle bande di frequenza, per cui risulta necessario approfondire le caratteristiche di questo metodo per definirne meglio i limiti di applicabilità.

Riferimenti

- [17] Atti del "XXVI Convegno nazionale stradale. Attenuazione del rumore stradale – Interventi di mitigazione sonora alla sorgente" Roma, 27–30 Ottobre 2010
- [18] UNI EN ISO 11819-1:2004; Acustica-Misurazione dell'influenza delle superfici stradali sul rumore da traffico– Metodo statistico applicato al traffico passante.
- [19] UNI ISO 13472-1:2004; Acustica – Misurazione in situ del coefficiente di assorbimento acustico di su-perfici stradali – Metodo della superficie estesa.
- [20] ISO/CD 11819-2:2000; Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: The close-proximity method.
- [21] UNI EN ISO 10534-2:2001; Acustica – Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza – Metodo della funzione di trasferimento.
- [22] G. Licitra, M. Cerchiai, L. Teti, L. Nencini; Frequency dependence in tyre-road emissions using the close-proximity method; Atti di ICSV 14 (International congress on sound and vibrations); Cairns, Australia; 9–12 Luglio 2007.
- [23] M Berengier; Noise classification methods for urban road surfaces, Classification Methodology –“Backing Board” Method: LCPC contribution; Progetto EU SILENCE; technical report SILENCE_FR1_140108_LCPC; Gennaio 2008.
- [24] M. Haider, M. Conter; Austrian experience with the backing board method for Statistical Pass-By measurements; Atti di Acoustics'08; Parigi, Francia; 29 Giugno–4 Luglio 2008.
- [25] U. Sandberg, J. Ejsmont; Tyre/Road Noise Reference Book; INFORMEX, Harg, SE-59040, Kisa, Svezia; 2002.

7. Prestazioni acustiche delle pavimentazioni in Asphal Rubber



Come accennato nel capitolo secondo di questo volume, in Europa e nel mondo le città stanno crescendo per dimensione e densità di popolazione e il rumore cresce in modo conseguente.

Dalla Direttiva 49/2002/CE sul rumore ambientale e dalle normative nazionali di recepimento derivano obblighi e adempimenti per gli enti gestori del territorio e delle infrastrutture dei trasporti, con specifica attenzione al rumore da traffico stradale che attraversa agglomerati urbani e determina esposizione significativa al rumore dei residenti e dei frequentatori degli spazi aperti e degli edifici pubblici e privati.

Fra questi adempimenti rivestono particolare importanza i Piani d'Azione strategici che sia i Comuni (o le altre autorità responsabili degli agglomerati con più di 100.000 abitanti) che i gestori delle infrastrutture stradali con più di 3.000.000 di veicoli/anno, devono elaborare e attuare a partire dalle mappe del rumore prodotte dalle rispettive infrastrutture o servizi di trasporto.



A questi si aggiungono in Italia i Piani di Risanamento Comunale e i Piani di Contenimento e Abbattimento del Rumore che i gestori di infrastrutture stradali già dovevano aver predisposto in base al sistema legislativo basato sulla Legge 447/95 (Legge Quadro sull'inquinamento acustico) e che interessano le intere reti stradali di pertinenza, senza nessuna restrizione legata all'ambito territoriale o al volume di traffico.

Le strade sono dunque elemento centrale nelle politiche di contenimento dell'inquinamento acustico e nelle pratiche di risanamento o mitigazione dei suoi effetti sui cittadini.

Osservando a titolo di esempio gli strumenti di pianificazione della città e dell'agglomerato urbano di Firenze, le cui dimensioni sono ben inferiori a quelle delle grandi metropoli, si nota come il Piano di Risanamento Acustico (elaborato nel 2009) metta in evidenza 64 strade urbane come sorgenti critiche di rumore e oltre 50 edifici sensibili (scuole, ospedali che si affacciano su strade rumorose) come ricettori critici, ovvero bisognosi di risanamento.

Allo stesso modo nel Piano d'Azione strategico (elaborato nel 2010), gli 8 ambiti territoriali considerati hanno mostrato la presenza di hotspot (punti critici) dovuti a strade rumorose e di aree quiete che devono essere protette dal rumore da traffico stradale.

Per tutte queste situazioni, tipiche della realtà italiana e degli altri Paesi europei, le soluzioni strategiche e le azioni puntuali di risanamento o miglioramento acustico possono (e in alcuni casi devono) comprendere la sorgente primaria di rumore, ovvero il rumore da traffico stradale. Così nei piani di risanamento comunale e nelle azioni di miglioramento acustico previste dai piani strategici le pavimentazioni a bassa rumorosità stanno iniziando ad avere una loro chiara collocazione, come intervento primario, integrato con altri interventi sulla sorgente (modifiche alla viabilità, modifiche alla sede stradale con riduzioni di carreggiata e introduzione di chicanes, introduzione di rotatorie), o come intervento che si aggiunge a soluzioni

specifiche lungo i cammini di propagazione (barriere, biomuri) o a interventi diretti presso i ricettori (sostituzione infissi).

La pavimentazione antirumore è una soluzione già considerata nel DM 29/2000 che ha fissato gli obblighi per il contenimento del rumore da parte dei gestori delle infrastrutture e dei servizi di trasporto. Nella tabella delle soluzioni, riportata in allegato compaiono due voci: le "Pavimentazioni antirumore tradizionali" e le "Pavimentazioni eufoniche", prevedendo per entrambe l'impiego in situazioni non particolarmente critiche o ad integrazione di altri interventi. I livelli di efficacia prestazionale associati alle due tipologie di pavimentazione sono rispettivamente 3 dB e 5 dB per tutti i ricettori a prescindere dalla quota relativa alla infrastruttura in cui essi si collocano.



È passato più di un decennio dall'emanazione del Decreto e varie sono state le sperimentazioni volte a dettagliare dal punto di vista della composizione e delle prestazioni le diverse tipologie di asfalto, ampliando la rosa delle possibili scelte. Alle pavimentazioni denominate antirumore "tradizionali" ed "eufoniche" si sono aggiunte soluzioni e definizioni basate su materiali e processi produttivi diversi e forte è stata la volontà dei produttori di sperimentare le diverse miscele per stabilirne valori certi di efficacia.

Contemporaneamente, alcune amministrazioni hanno deciso di utilizzare soluzioni tipologiche diverse e sperimentali all'interno dei propri piani

di risanamento e contenimento del rumore da traffico stradale, allo scopo di poterne testare efficienza ed efficacia anche sul medio e lungo periodo. Dall'esame delle caratteristiche generali e specifiche delle soluzioni normalmente adottate per il risanamento acustico in ambito urbano, emerge infatti la necessità di sperimentare soluzioni che diano beneficio acustico, che riducano i costi di manutenzione, che abbiano valore aggiunto in termini di sicurezza stradale e sostenibilità ambientale. Fra queste particolare attenzione è stata riservata alle miscele che comprendono materiali riciclati e alle soluzioni che riducono la necessità o i tempi di pulizia periodica e, in particolare, alle miscele con polverino di gomma riciclata.

Nel corso degli ultimi anni i ricercatori e i progettisti acustici, incaricati della scelta del conglomerato da utilizzare, hanno avuto modo di constatare come la letteratura sia ricca di riferimenti alle prestazioni degli asfalti a bassa rumorosità e al rubber asphalt in particolare, ma solo per ambiti extraurbani e per strade con velocità di transito elevate.

Non molte sono invece, per quanto complessivamente positive, le indagini riferite a stese di asfalti a bassa rumorosità in scenari urbani o sub-urbani, dove la presenza di ricettori è più elevata e sensibile.

Il motivo di questa carenza di dati si può ricercare nelle metodologie di prova, fin qui riferite a norme che non prevedono la presenza di edifici a bordo strada e che pongono dei limiti di velocità al di sotto dei quali perdono di attendibilità, così come nella carenza di verifiche ante-post e di monitoraggio delle prestazioni in

opera mediante misure ai ricettori, vero obiettivo dei piani di risanamento e di miglioramento. Uno specifico progetto destinato a produrre dati capaci di ridurre questa carenza è stato condotto dagli autori che hanno raccolto un cospicuo insieme di dati misurati da Vie En.Ro. Se. Ingegneria e da altri studi professionali ed Enti di ricerca universitaria in collaborazione con Asphalt Rubber Italia.

Una campagna di misura per caratterizzare le prestazioni acustiche dei tappeti di usura con polverino di gomma è stata svolta nel 2011 in vari siti di prova, alcuni appositamente progettati, d'intesa con l'amministrazione responsabile del territorio o che gestisce l'infrastruttura.



I risultati sono stati raccolti e presentati dagli autori di questo volume, insieme a quelli di campagne precedenti riferite agli stessi scenari o a scenari analoghi, secondo un'impostazione volta a fornire un esame comparato delle diverse soluzioni esaminate e una serie di valori prestazionali utilizzabili come riferimento per successive progettazioni.

Per quanto riguarda i dati di durabilità la ricerca è ovviamente "in progress" e sarà interessante seguire l'evoluzione prestazionale delle diverse tipologie stese nei siti di prova. Ma già alcuni dei risultati proposti in questo volume danno un'immagine dell'efficienza ed efficacia dei prodotti esaminati nei diversi contesti urbani.

7.1 Il progetto

L'obiettivo del progetto era la verifica dell'efficacia in opera dell'Asphalt Rubber (AR), mediante una raccolta organica di informazioni sulle prestazioni acustiche delle due tipologie di asfalto AR (Open-graded e Gap-graded) confrontate con quelle dell'asfalto Tradizionale. Il progetto è stato sviluppato da Vie En.Ro.Se. Ingegneria e da Asphalt Rubber Italia, in collaborazione con le Amministrazioni comunali di Firenze, Livorno, Pistoia, Borgo San Lorenzo, Carpi, Limite sull'Arno, Massa e Cozzile, che hanno scelto Asphalt Rubber per la pavimentazione di alcune strade come soluzione per la riduzione dell'inquinamento acustico da traffico stradale.

Vie En.Ro.Se. Ingegneria ha effettuato direttamente le rilevazioni fonometriche in scenari di viabilità appositamente selezionati nei comuni di Firenze, Livorno, Pistoia, Borgo San Lorenzo, Carpi, Limite sull'Arno, e Massa e Cozzile. Sono stati inclusi nello studio anche i risultati di rilevazioni fonometriche effettuate dal Centro Interuniversitario sperimentale di Ricerca Stradale e aeroportuale dell'Università Politecnica delle Marche, dallo Studio ANL di Pisa e dallo Studio ALFA di Reggio Emilia, nei comuni di Imola, Firenze, Livorno, Reggio Emilia, Massa e Cozzile.

Per ciascuno dei siti esaminati, la metodologia di verifica ha previsto di:

- effettuare una campagna completa di misurazioni fonometriche, nelle postazioni previste dalle norme legislative e tecniche, nei periodi di riferimento diurno e notturno, in giornate feriali e festive, in condizioni di traffico e di tipologia di veicoli rappresentative di particolari scenari urbani;
- procedere alla aggregazione e post-elaborazione dei dati misurati, con riferimento alle metodologie proposte dalle norme o comunque a quelle proposte e sperimentate dagli autori;
- confrontare i dati misurati dopo la stesa con dati ante-operam misurati direttamente e,

ove ciò non fosse possibile, con dati raccolti presso gli Enti e in letteratura;

- confrontare quanto emerso dalla campagna di rilevazioni fonometriche con quanto ricavato dalla letteratura e dall'esperienza diretta dello studio in merito ad altre soluzioni di pavimentazione;
- effettuare una serie di confronti interni fra i dati raccolti ed integrati legati alle diversità di scenario e a diversi sistemi e composizioni degli asfalti, in particolare confrontare quanto misurato negli scenari con pavimentazione in Asphalt Rubber (Open-graded e Gap-graded) con quanto misurato in scenari analoghi e con pavimentazioni tradizionali coeve.



I rilievi sono stati effettuati utilizzando tecniche di misura diverse: secondo le modalità previste dal DM 16/03/1998, con misure ante/post-operam di lungo periodo in continuo (24h o settimanali) utilizzando il metodo "Statistical Pass-By" (SPB) previsto dalla Norma UNI EN ISO 11819-1:2004 e già descritto nel capitolo 6, in modo da ottenere informazioni relative alle emissioni rumorose prodotte dai veicoli al variare della velocità di transito.

Nel caso di utilizzo della metodologia di misura SPB, per superare i limiti di applicabilità definiti dalla norma UNI EN ISO 11819-1:2004 (campo libero e velocità superiore a 45 km/h), in modo da estenderne l'impiego anche in scenari urbani aventi condizioni di campo e di velocità non conformi alle prescrizioni della norma, è stata sperimentata l'estensione della metodologia di misura SPB denominata USPB ("Urban Statistical Pass-By") che ha permesso di raccogliere dati anche a velocità di transito inferiori e di considerare scenari con superfici riflettenti (edifici) ai bordi della carreggiata.

In pratica, in mancanza di una situazione di campo aperto, il metodo USPB prevede comunque la possibilità di esecuzione delle prove ad esempio per il confronto di due diverse pavimentazioni su tratti di strada contigui con uguale sezione stradale (sezione a U oppure a L) creando di fatto una variante applicativa della norma UNI ISO 11819-1. Le prove prevedono la misura contemporanea su due postazioni, una per ognuna delle pavimentazioni a confronto, situate ad uguale distanza ed altezza rispetto alla corsia di transito. La validità delle prove, in questo senso non ha un valore assoluto riferibile alla norma, ma rimane un valido confronto prestazionale relativo fra le due pavimentazioni. Inoltre, qualora in almeno uno dei due tratti a confronto oltre che una sezione stradale a L/U sia presente anche uno scenario di campo aperto, inserendo un'altra postazione di misura contemporanea, risulta possibile determinare le correzioni da apportare per la modifica della sezione stradale recuperando di fatto il significato assoluto delle prove effettuate.

Per ulteriori informazioni e dettagli sul metodo USPB proposto si rimanda a quanto riportato nell'articolo "Evaluation of Noise Reduction of Asphalt Rubber in Urban Areas" (I. Antunes, F. Borch, S. Luzzi, M. Miljkovic, in Atti del Congresso EURONOISE 2012, Prague).

Nella figura 14 sono riportati due esempi di scenario di misura con configurazione della sezione a L e con configurazione a U. Nei paragrafi che seguono sono riportate le evidenze dei risultati ottenuti con queste diverse metodologie di misura.

Figura 14 - Scenari con sezione a L e con sezione a U

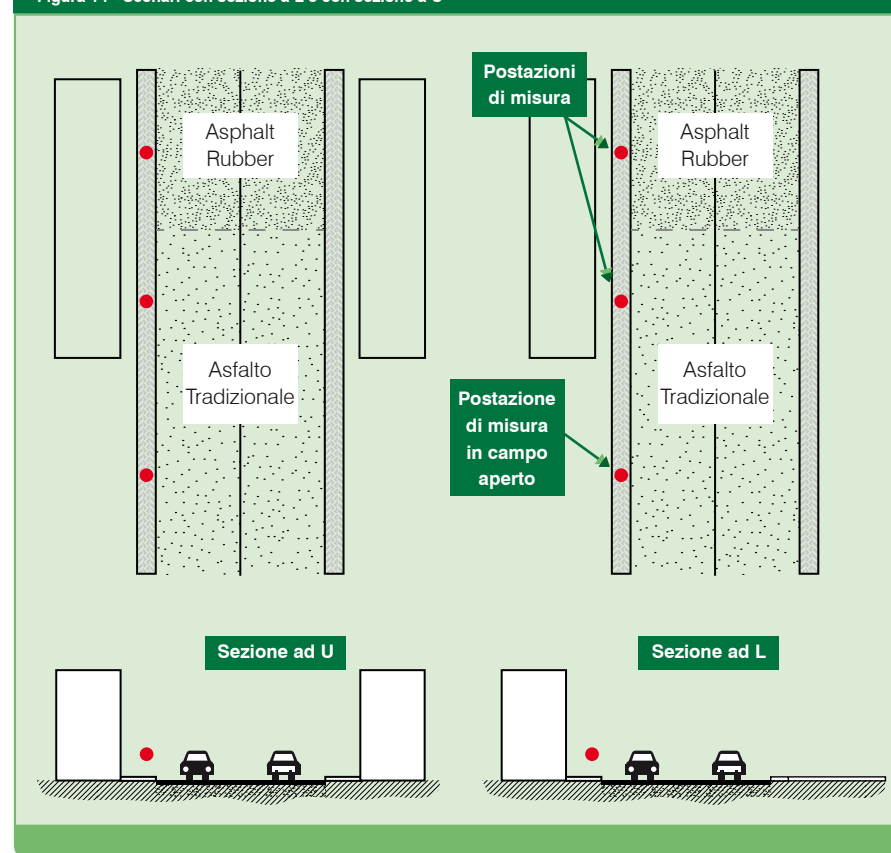


Tabella 6 - Codifica delle metodologie di prova

Asfalto	Metodologia di Prova		
	Misure in Continuo (almeno 24h)	Metodo SPB	Metodo USPB
Open	Open-Cont	Open-SPB	Open-USPB
Gap	Gap-Cont	Gap-SPB	Gap-USPB
Tradizionale	Trad-Cont	Trad-SPB	Trad-USPB

Nella tabella è riportato lo schema base della campagna di misure e dei confronti fra le tre diverse tipologie di asfalto (Open, Gap, Tradizionale) che saranno riportati nei paragrafi seguenti. Per quanto riguarda le campagne di misura, queste sono state effettuate secondo la cronologia riportata nella tabella 7, dove si sono indicate per ciascuno scenario oggetto di studio le postazioni e la metodologia di misura.

I risultati delle misure sono stati al centro di confronti per la determinazione delle prestazioni assolute e relative degli asfalti oggetto di studio. Le diverse comparazioni sono riassunte nella tabella 8.

Tabella 7 - Campagne di misura

Luogo	Postazioni e Metodologia di Prova	Periodo
Borgo San Lorenzo (FI)	3 postazioni in continua 24h	Dicembre 2010
	6 postazioni misure spot	Luglio 2011
	10 postazioni SPB	Novembre 2011
Carpi (MO)	5 postazioni SPB	Luglio 2011
Firenze	4 postazioni SPB	Luglio 2011 Agosto 2011
Imola	2 postazioni in continua 24h	Luglio 2008
Limite sull'Arno (FI)	2 postazioni in continua 24h	Marzo 2011
	8 postazioni SPB	Giugno 2011
Livorno	1 postazione in continua 24h	Ottobre 2011 Novembre 2011
	3 postazioni spot	
	2 postazioni SPB	
Massa e Cozzile (PT)	3 postazioni in continua 24h	Dicembre 2010
	1 postazione spot	
	2 postazioni SPB	
Pistoia	4 postazioni SPB	Luglio 2011
Reggio Emilia	1 postazione in continua 24h	Agosto 2010
	1 postazione spot	
Firenze	2 postazioni USPB	Giugno 2013
		Settembre 2013



Tabella 8 - Confronti

Tipo di misura	Confronto	Note
Misura in Continuo	Ante-operam–Post-operam	Risanamento acustico Prestazione assoluta Beneficio ai ricettori
Misura in Continuo	Tradizionale–Open Tradizionale–Gap	Performance comparata Incremento prestazionale
Misura con Metodo SPB e USPB	Tradizionale–Open Tradizionale–Gap	Performance comparata Incremento prestazionale Emissione pavimentazione
Nelle località sopra elencate si sono individuati scenari che sono stati oggetto, in tempi precedenti la misura, di un intervento di riasfaltatura, che ha previsto la sostituzione del manto di usura esistente con un tappeto in Asphalt Rubber. Nei paragrafi seguenti si riporta una descrizione degli scenari, delle prove e dei risultati.		

7.2 Gli scenari




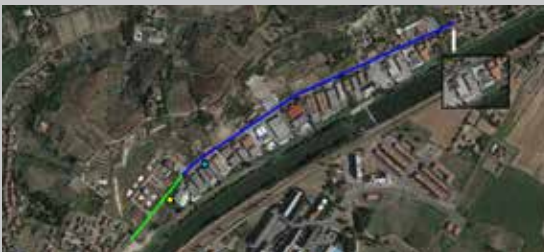


Tutti gli scenari prescelti sono situati in contesti urbani o leggermente periferici, caratterizzati da velocità di transito dei veicoli variabili da 40 a 60 km/h.

La conformazione urbanistica delle aree investigate è risultata abbastanza eterogenea: in alcuni ambiti le misure sono state effettuate in zone ad elevata densità abitativa, con corpi edilizi su uno o entrambi i lati della carreggiata. Ove possibile è stata effettuata una misura contemporanea (con i medesimi volumi di traffico) in campo libero su entrambi i lati al fine di rispettare le condizioni di applicabilità della norma o stabilire i correttivi per le altre misure. Le postazioni per le misure in continua sono state scelte in base al livello di rappresentatività: in genere si sono effettuate misure in facciata al ricettore (con particolare attenzione ai casi in cui l'intervento di riasfaltatura era stato previsto dal Piano di Risanamento Acustico del Comune, ed era quindi necessario verificare il raggiungimento degli obiettivi dal piano, stimati in via previsionale al ricettore).

Per le misure di Pass-By le postazioni di misura sono state allestite in modo da risultare conformi con quanto previsto dalle specifiche tecniche di misura utilizzate. In particolare nell'applicazione del metodo SPB si è fatto riferimento a quanto riportato nella norma UNI EN ISO 11819-1:2004. Ove le condizioni di misura non fossero esattamente quelle di campo aperto previste dalla norma o comunque dove ci fosse interesse ad una valutazione delle emissioni a velocità inferiori a 45 km/h si è utilizzato il metodo USPB precedentemente descritto. La campagna di misure ha consentito di ottenere dati sufficienti per il confronto tra le pavimentazioni in Asphalt Rubber e le pavimentazioni di tipo Tradizionale sia per il confronto fra scenari ante e post-operam che per la comparazione delle prestazioni acustiche di un manto in Asphalt Rubber con uno Tradizionale coevo. Di seguito sono descritti gli scenari investigati con l'indicazione della metodologia di misura seguita.



Tabella 9 - Limite sull'Arno: scenari e tratti stradali investigati

Limite sull'Arno		2 postazioni in continua 24h 8 postazioni SPB/USPB	Marzo 2011 Giugno 2011		
Scenario A					
Via Dante					
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione				
	Asphalt Rubber Open-graded				
	Asfalto Tradizionale				
Scenario B					
Via Limite					
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione				
	Asphalt Rubber Open-graded				
	Asfalto Tradizionale				

Nel territorio del Comune di Limite sull'Arno sono stati effettuati nei mesi di settembre e novembre 2010 interventi di riasfaltatura che hanno riguardato la realizzazione di due tratti in AR Open-graded e la realizzazione di due tratti in manto di usura Tradizionale. In tabella 9 sono riportati i tratti oggetto di intervento e le postazioni di misura considerate (indicate con punti colorati) considerate nel corso dell'indagine (fonte: Vie En.Ro.Se. Ingegneria).

Lo scenario A è caratterizzato da un contesto particolarmente urbanizzato; le misure sono state effettuate in postazioni con presenza di edifici su entrambi i lati della carreggiata. Nello scenario B il contesto di riferimento è una zona industriale, e, pur sussistendo la presenza di immobili su entrambi i lati della strada, lo scenario si presenta più aperto, di fatto paragonabile a quello di "campo libero". Le misure effettuate sono state condotte con tecnica SPB e USPB in complessive 8 postazioni.

Tabella 10 - Massa e Cozzile: scenari e tratti stradali investigati

Massa e Cozzile		2 postazioni in continua 24h 8 postazioni SPB/USPB	Marzo 2011 Giugno 2011
Scenario A			
Traversagna			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber Open-graded		
	Asfalto Tradizionale		
Scenario B			
Via Gramsci			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber Open-graded		
	Asfalto Tradizionale		

Nell'ambito degli interventi previsti dal Piano di Risanamento Acustico del Comune di Massa e Cozzile sono stati effettuati in località Traversagna i rifacimenti dei manti di usura di alcune importanti arterie stradali, sostituendo il manto esistente con una pavimentazione in Asphalt Rubber Open-graded (fonte: Vie En.Ro.Se. Ingegneria).

L'intervento di asfaltatura, eseguito nel mese di novembre 2010, è esteso per un tratto di più di 2 km ed ha riguardato una porzione di Via Fratelli Cervi, Via Gramsci e Via Biscolla. Il nuovo manto è stato utilizzato anche nella realizzazione del manto di usura nelle due nuove rotonde situate all'interno del tratto sopra descritto.

Su questo scenario esteso, sono state eseguite misure di caratterizzazione dell'asfalto mediante rilievi in continua di 24 ore su alcune postazioni, mentre su altre postazioni sono state eseguite misure spot aventi durate di 20 minuti ogni 2 ore, anch'esse per un tempo di osservazione pari a 24 ore.

Oltre alle misure in continua, sono state effettuate anche misure di caratterizzazione dell'asfalto con metodo SPB/USPB, su Via Gramsci nella postazione indicata nello scenario B (vedi tabella 10 - Massa e Cozzile).

Anche in questo caso, pur trattandosi di un contesto di indagine in ambito urbano, la postazione di misura scelta si trova in un contesto sufficientemente "aperto", conforme alle specifiche di campo della norma.



Tabella 11 - Pistoia: scenari e tratti stradali investigati

Pistoia	4 postazioni SPB/USPB	Luglio 2011
Scenario A		
Via Pertini		
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione	
	Asphalt Rubber Open-graded	
	Asphalt Rubber Open-graded	
	Asfalto Tradizionale	

Nello scenario di Pistoia sono state valutate le prestazioni acustiche di due tratti di strada pavimentati con Asphalt Rubber Open-graded nei mesi di novembre 2010 e giugno 2011, attraverso due coppie di postazioni di misura che hanno consentito di confrontare le prestazioni acustiche dei due tratti in Asphalt Rubber con quelle della pavimentazione Tradizionale ad esso attigua (fonte: Vie En.Ro.Se. Ingegneria).

Tali stese sono state realizzate in prossimità della stazione ferroviaria di Pistoia, dove sono state recentemente realizzate importanti opere infrastrutturali che hanno modificato la viabilità e hanno richiesto interventi di ripristino con una nuova pavimentazione stradale.

Nell'immagine in tabella 11 è riportato il tratto considerato, nel quale è rappresentata la stesa di Asphalt Rubber Open-graded del novembre 2010 (tratto di colore azzurro scuro), la stesa del giugno 2011 (tratto in azzurro chiaro) e la pavimentazione Tradizionale (tratto in verde).

La campagna di misura è stata condotta con misure contemporanee in corrispondenza delle postazioni di misura riportate nella figura utilizzando il metodo SPB/USPB.

Tabella 12 - Firenze: scenari e tratti stradali investigati

Firenze		4 Postazioni SPB/USPB	Luglio 2011–Agosto 2011
Scenario A			
Via Datini			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber Open-graded		
	Asfalto Tradizionale		
Scenario B			
Via Erbosa			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber Open-graded		
	Asphalt Rubber Gap-graded		
	Asfalto Tradizionale		

Nell'agglomerato urbano di Firenze sono state condotte misure di caratterizzazione acustica dell'asfalto in due diversi scenari: Via Datini e Via Erbosa (fonti: Vie En.Ro.Se. Ingegneria, ARPAT e Università Politecnica delle Marche). In entrambi gli scenari la disposizione dei fabbricati è tale da generare su entrambi gli scenari una conformazione a "canyon", con edifici sui due lati della carreggiata. Nello scenario A è stata effettuata una stesa di Asphalt Rubber Open-graded nella porzione posta a sud (tratto di colore blu in figura) mentre nella parte a nord (di colore verde) è stato steso, nello stesso periodo, un manto di tipo Tradizionale. Le misure, nelle postazioni rappresentate in figura, sono state effettuate in contemporanea con il metodo USPB; le postazioni sono state scelte opportunamente in modo da avere medesime condizioni di riflessione. Le velocità di transito rilevate risultano per la maggior parte comprese nell'intervallo 35 km/h–55 km/h: questo ha permesso di effettuare le valutazioni nella classe di velocità prevista dal metodo SPB (45 km/h–64 km/h), ma anche per velocità ad esso inferiori. Lo scenario B è invece caratterizzato da un tratto realizzato in Asphalt Rubber Gap-graded e un tratto in Asphalt Rubber Open-graded, confrontate con stesa coeva di pavimentazione Tradizionale presente sull'adiacente Via di Villamagna.

Tabella 13 - Carpi: scenari e tratti stradali investigati

Carpi	5 postazioni SPB/USPB	Luglio 2011
Scenario A		
Via Cavata		
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione	
	Asphalt Rubber Gap-graded	
	Asfalto Tradizionale	

Nel territorio comunale della città di Carpi è stata effettuata una stesa di tipo sperimentale con Asphalt Rubber Gap-graded, che ha interessato una porzione di Via Cavata (fonte: Vie En.Ro.Se. Ingegneria). Via Cavata è un'arteria che si sviluppa nella parte periferica dell'agglomerato urbano, caratterizzata da uno scenario acustico di tipo aperto o semi-aperto. È stato quindi possibile individuare in questo scenario due postazioni di misura per misure di SPB conformi alle prescrizioni della normativa di riferimento. Su questa strada è stata effettuata una stesa di AR Gap-graded, avente anzianità di un anno al momento delle misure, nel tratto che va da Via Esterna Aldo Moro a Via Due Ponti, mentre sul resto del tratto è presente un asfalto di tipo Tradizionale, con una tessitura superficiale in buono stato al momento dei rilievi acustici. Nell'immagine riportata in figura è rappresentato in giallo il tratto in asfalto Tradizionale, con l'indicazione della postazione di misura considerata, e in rosso il tratto in Asphalt Rubber Gap-graded, anch'esso con la relativa postazione di misura.

Tabella 14 - Borgo San Lorenzo: scenari e tratti stradali investigati

Borgo San Lorenzo		3 postazioni in continua 24h 6 postazioni misure spot 10 postazioni SPB/USPB	Dicembre 2010 Luglio 2011 Novembre 2011
Scenario A Via della Resistenza			Scenario C Via Caiani
Tratto stradale  	Tipologia pavimentazione Asphalt Rubber Open-graded Asfalto Tradizionale	Tratto stradale   	Tipologia pavimentazione Asphalt Rubber Open-graded Asphalt Rubber Gap-graded Asfalto Tradizionale
Scenario B Via Pecori Giraldi			
Tratto stradale  		Di maggiore interesse per la sperimentazione dell'Asphalt Rubber è senz'altro lo scenario C, nel quale è stata pianificata una campagna di misura approfondita per monitorare in dettaglio le prestazioni dei manti in Asphalt Rubber Open e Gap-graded e l'efficacia relativa rispetto a un tappeto Tradizionale steso nello stesso periodo. L'intervento ha previsto infatti la sostituzione del manto esistente con tre diverse tipologie di tappeto di usura: asfalto Tradizionale, Asphalt Rubber Open-graded e Asphalt Rubber Gap-graded. Sono stati effettuati rilievi fonometrici in contemporanea analizzando le emissioni rumorose prodotte dai medesimi veicoli in transito davanti alle postazioni di misura. Le misure di caratterizzazione del manto di usura Tradizionale nello scenario ante-operam sono state effettuate in 3 diverse postazioni (A,C,E), mentre per lo scenario post-operam sono stati condotti rilievi fonometrici in due coppie di postazioni (A,B / D,E). Le misure effettuate sono state realizzate con metodo SPB/USPB. Nella tabella seguente sono riportate le postazioni di misura dello scenario C.	

Il Comune di Borgo San Lorenzo è stato recentemente oggetto di interventi di risanamento acustico che hanno previsto, tra gli altri, la riasfaltatura di tre importanti strade: Viale della Resistenza, Viale Pecori Giraldi e Via Caiani. La riasfaltatura è stata realizzata attraverso l'impiego di Asphalt Rubber Open-graded ed è stata realizzata in periodi successivi tra ottobre del 2010 e novembre 2011 (fonte Vie En.Ro.Se. Ingegneria).

Le misure relative agli scenari A e B sono state realizzate in continua (con modalità conforme a quanto previsto dal DM 16/03/1998) in facciata dei ricettori; è stato quindi confrontato il livello di rumore al ricettore rilevato negli scenari ante-operam e post-operam in modo da determinare il miglioramento del livello di rumorosità fra le due configurazioni.


Tabella 15 - Borgo San Lorenzo: postazioni di misura

Caratteristiche postazione	Planimetria postazione e corsia investigata	Caratteristiche pavimentazione
A (dist. corsia: 7.5 m h. piano strad.:1.2 m)		Asfalto Tradizionale Ante-operam Asphalt Rubber Open Post-operam
B (dist. corsia: 7.5 m h. piano strad.:1.2 m)		Asfalto Tradizionale Post-operam
C (dist. corsia: 7.5 m h. piano strad.:1.2 m)		Asfalto Tradizionale Ante-operam
D (dist. corsia: 7.5 m h. piano strad.:1.2 m)		Asfalto Tradizionale Post-operam
E (dist. corsia: 7.5 m h. piano strad.:1.2 m)		Asfalto Tradizionale Ante-operam, Asphalt Rubber Gap Post-operam

Tabella 16 - Livorno: scenari e tratti stradali investigati

Livorno	1 postazione in continua 24h 3 postazioni spot 2 postazioni SPB/USPB	Ottobre 2011 Novembre 2011
Scenario A Viale Italia		
Tratto stradale  	Tipologia pavimentazione Asphalt Rubber Open-graded Asfalto Tradizionale	
<p>A Livorno è stata effettuata recentemente una sostituzione del manto di usura esistente con un tappeto in Asphalt Rubber. L'intervento è stato eseguito su Viale Italia, una strada che si sviluppa parallelamente alla costa nella parte sud della città e che presenta un notevole flusso di traffico.</p> <p>A causa dei notevoli livelli di rumorosità, evidenziati anche nel Piano Comunale di Risanamento Acustico della città di Livorno, è stato realizzato un intervento di riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded avente uno sviluppo di circa 900 metri, cui è seguito un tratto riasfaltato con materiale Tradizionale, per un tratto di circa 1300 metri. L'intervento è stato eseguito nel mese di maggio del 2011.</p> <p>L'analisi delle prestazioni dell'Asphalt Rubber è stata eseguita utilizzando due postazioni per il rilievo con metodo SPB/USPB (fonte: Vie En.Ro.Se. Ingegneria).</p>		

Tabella 17 - Imola: scenari e tratti stradali investigati

Imola		2 postazioni in continua 24h	Luglio 2008
Scenario A			
Via della Cooperazione			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber		
	Gap-graded		
	Asfalto Tradizionale		

Le misure effettuate nel Comune di Imola hanno interessato una porzione di Via della Cooperazione, cioè una arteria di circonvallazione che si sviluppa nella parte nord ovest della città (fonte: Università Politecnica delle Marche).

In questo scenario sono state condotte misure in continua protratte per più giorni in modo da determinare i livelli di emissione sul periodo di riferimento diurno e notturno per un tempo prolungato.


In questo caso l'intervento di riasfaltatura, realizzato con l'impiego di Asphalt Rubber Gap-graded, è stato realizzato su una porzione limitata dell'arteria, mentre sul tratto rimanente è stato posato asfalto Tradizionale.

Tabella 18 - Reggio Emilia: scenari e tratti stradali investigati

Reggio Emilia		1 postazione in continua 24h	Luglio Agosto 2008
Scenario A			
Villa Cella			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber		
	Open-graded		
	Asfalto Tradizionale		

All'interno del territorio comunale di Reggio Emilia, in località Villa Cella, sono state condotte misure di caratterizzazione di un nuovo manto di usura in Asphalt Rubber steso nel mese di agosto del 2008 (fonte: Studio Alfa). L'intervento ha riguardato una porzione della Strada Statale 9 (Via Emilia) nella parte ovest della città. Sono state effettuate misure di caratterizzazione dell'asfalto prima e dopo la stesa, con misure in continua di 3 giorni, in modo da raccogliere anche in questo scenario informazioni sulla rumorosità prodotta dalla pavimentazione stradale sul tempo di riferimento diurno e notturno, con misure fonometriche conformi a quanto previsto dal DM 16/03/1998.

Tabella 19 - Firenze: scenari e tratti stradali investigati

Firenze	2 postazioni USPB	Giugno Settembre 2013
Scenario A Via Pistoiese		
Tratto stradale 	Tipologia pavimentazione Asphalt Rubber Gap-graded Asfalto Tradizionale	
All'interno del territorio comunale di Firenze, in ingresso alla città su via Pistoiese sono state condotte misure su due tratti adiacenti, il primo riasfaltato con Asphalt Rubber Gap-graded ed il secondo con asfalto Tradizionale. Le misure sono state effettuate prima e dopo la riasfaltatura e i due tipi di asfalto sono stati stesi insieme nel mese di giugno 2013. Le misure sono state effettuate in 2 postazioni contemporanee ciascuna sul rispettivo tipo di asfalto. I rilevamenti sono stati condotti secondo il metodo USPB.		

7.3 I risultati

Di seguito si riportano i risultati delle prove effettuate negli scenari descritti nel paragrafo precedente.

Per le misure di lungo periodo i risultati sono riportati in forma numerica all'interno di tabelle di confronto. Per le misure effettuate applicando la metodologia Statistical Pass-By i risultati sono riportati in forma grafica, riportando i punti corrispondenti ai livelli misurati in funzione della velocità di transito e le relative curve di interpolazione.

Al termine del paragrafo tutti i risultati saranno presentati all'interno di tabelle riepilogative, riportando i livelli equivalenti delle misure di lungo periodo sui tempi di riferimento diurno e notturno, ed estrapolando dai grafici che rappresentano i risultati del metodo SPB (e della sua variante USPB) valori riferiti alle velocità di 60 km/h per SPB e di 40 e 45 km/h per USPB.

7.3.1 Confronti ante-operam post-operam con misure di lungo periodo

Per verificare l'efficacia dell'impiego di pavimentazioni in Asphalt Rubber come soluzione per la mitigazione del rumore stradale nei piani di risanamento acustico, si sono effettuate una serie di misure ante-post collegate al collaudo acustico degli interventi di risanamento o mitigazione previsti dai piani. In questo paragrafo si riportano quindi i risultati dei confronti ante-operam post-operam relativi a misure di lungo periodo nei periodi di riferimento diurno e notturno, come definiti dalla legislazione italiana sul rumore ambientale (diurno: dalle 6.00 alle 22.00, notturno: dalle 22.00 alle 6.00). In particolare, sono stati effettuati rilievi fonometrici nello scenario ante-operam e post-operam con misure in continua relative alla stessa postazione di misura in facciata al ricettore, in modo da eliminare, per quanto possibile, variazioni nelle condizioni al contorno dello scenario. L'indagine è stata condotta su ricettori aventi affaccio diretto sui tratti di strada oggetto di intervento.

In tutti gli scenari si è proceduto ad effettuare sia rilievi fonometrici che il conteggio dei veicoli in transito. Per poter rendere confrontabili le misure ante e post-operam è stato necessario procedere ad una post-elaborazione dei dati ottenuta normalizzando il livello di rumore rispetto alla variazione dei flussi di traffico fra gli scenari ante e post-operam.

Tabella 20 - Massa e Cozzile

Massa e Cozzile		Misura lungo periodo		Confronto ante-post		
Scenario A						
Traversagna						
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione					
	Asphalt Rubber Open-graded					
	Asfalto Tradizionale					
Tempo di Riferimento	Tipologia di Intervento	Livello misurato Post-operam [dB(A)]	Correzione per variati flussi di traffico [dB(A)]	Livello corretto Post-operam [dB(A)]	Livello misurato Ante-operam [dB(A)]	Differenza
Diurno	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	61.0	-0.2	60.8	66.3	5.5
Notturmo	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	58.0	+0.6	58.6	64.6	6.0

Tabella 21 - Massa e Cozzile

Massa e Cozzile		Misura lungo periodo		Confronto ante-post		
Scenario B						
Via Gramsci						
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione					
	Asphalt Rubber Open-graded					
	Asfalto Tradizionale					
Tempo di Riferimento	Tipologia di Intervento	Livello misurato Post-operam [dB(A)]	Correzione per variati flussi di traffico [dB(A)]	Livello corretto Post-operam [dB(A)]	Livello misurato Ante-operam [dB(A)]	Differenza
Diurno	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	62.2	-0.4	61.8	65.3	3.5
Notturmo	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	59.1	+0.9	60.0	64.5	4.5

Tabella 22 - Borgo San Lorenzo

Borgo San Lorenzo		Misura lungo periodo		Confronto ante-post		
Scenario A						
Via della Resistenza						
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione					
	Asphalt Rubber Open-graded					
	Asfalto Tradizionale					
Tempo di Riferimento	Tipologia di Intervento	Livello misurato Post-operam [dB(A)]	Correzione per variati flussi di traffico [dB(A)]	Livello corretto Post-operam [dB(A)]	Livello misurato Ante-operam [dB(A)]	Differenza
Diurno	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	61.0	-0.4	60.6	65.4	4.8
Notturmo	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	53.9	+1.0	54.9	61.2	6.3

Tabella 23 - Borgo San Lorenzo







Borgo San Lorenzo		Misura lungo periodo		Confronto ante-post		
Scenario B						
Via Pecori Giraldi						
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione					
	Asphalt Rubber Open-graded					
	Asfalto Tradizionale					
Tempo di Riferimento	Tipologia di Intervento	Livello misurato Post-operam [dB(A)]	Correzione per variati flussi di traffico [dB(A)]	Livello corretto Post-operam [dB(A)]	Livello misurato Ante-operam [dB(A)]	Differenza
Diurno	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	59.4	+1.0	60.4	66.4	6.0

Tabella 24 - Borgo San Lorenzo						
Borgo San Lorenzo		Misura lungo periodo			Confronto ante-post	
Scenario C Via Caiani						
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione					
	Asphalt Rubber Open-graded					
	Asfalto Tradizionale					
Tempo di Riferimento	Tipologia di Intervento	Livello misurato Post-operam [dB(A)]	Correzione per variati flussi di traffico [dB(A)]	Livello corretto Post-operam [dB(A)]	Livello misurato Ante-operam [dB(A)]	Differenza
Diurno	Riasfaltatura con Asphalt Rubber Open-graded	65.0	+0.2	65.2	71.6	6.4

7.3.2 Confronti asfalto Tradizionale – Asphalt Rubber con misure di lungo periodo

Per verificare le prestazioni dei diversi tipi di pavimentazioni in Asphalt Rubber (in particolare Open-graded e Gap-graded) come soluzione per la mitigazione del rumore stradale nei piani di risanamento acustico, si sono effettuate una serie di misure di confronto prestazionale con pavimentazioni tradizionali coeve. I risultati delle analisi prestazioni comparate asfalto tradizionale open-graded e asfalto tradizionale Gap-graded, basate su misure di lungo periodo (24h) sono riportati di seguito nel presente paragrafo. Altre analisi comparate, basate sulla metodologia SPB sono riportate nel paragrafo 7.3.3



Tabella 26 - Limite sull'Arno

Limite sull'Arno

Misura lungo periodo

Confronto tradizionale
Open

Scenario B
Via Limitese

Tratto stradale

Tipologia pavimentazione

Asphalt Rubber

Open-graded

Asfalto Tradizionale



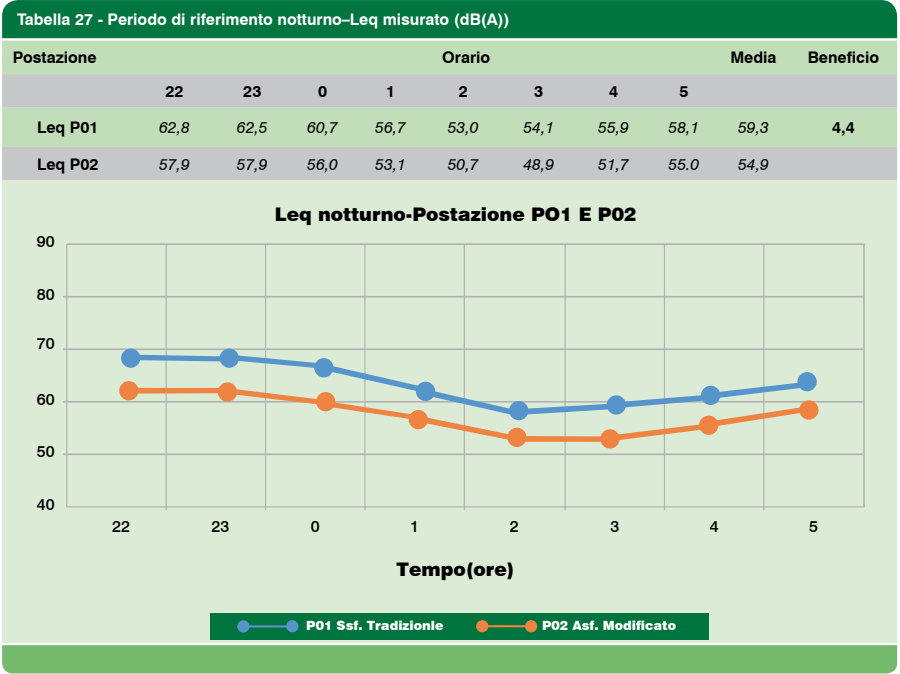
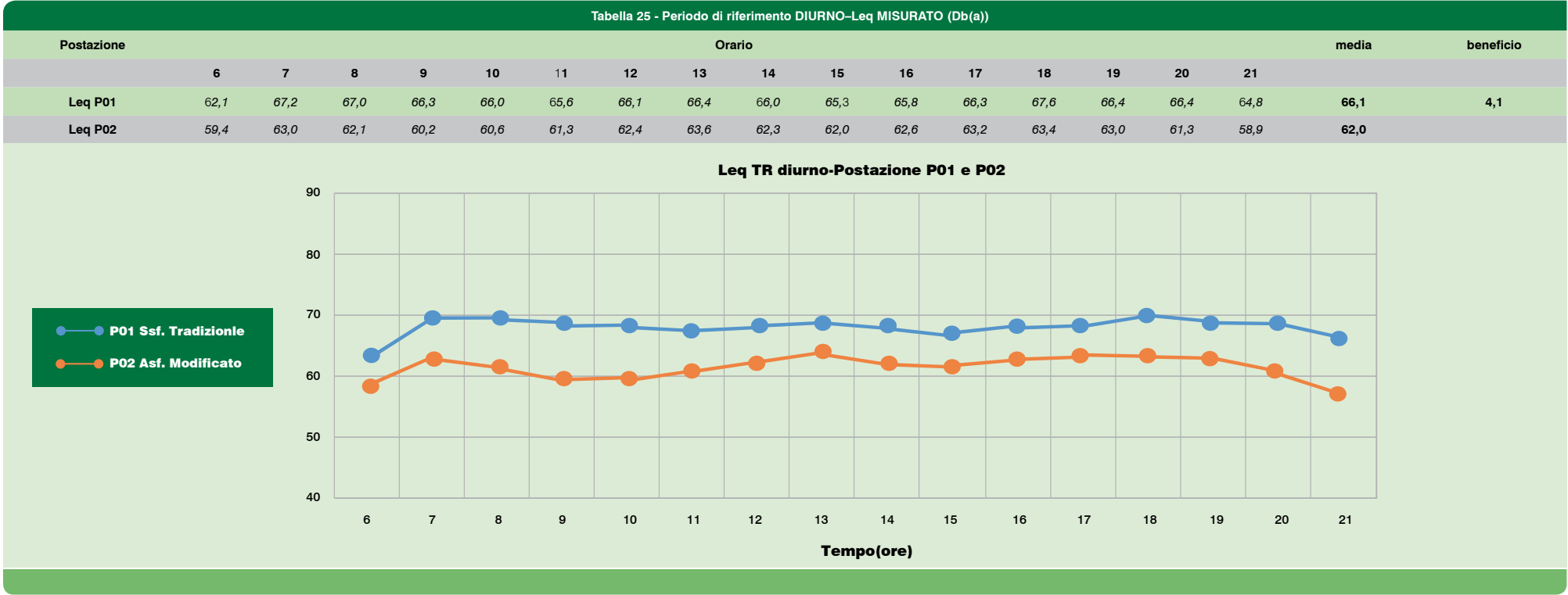


Tabella 28 - Firenze

Firenze	Misura lungo periodo	Confronto tradizionale-Open e tradizionale-Gap
Scenario B		
Via Erbosa		
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione	
	Asphalt Rubber Open-graded	
	Asphalt Rubber Gap-graded	
	Asfalto tradizionale	
I rilievi fonometrici condotti su Via Erbosa hanno riguardato l'analisi comparata delle prestazioni dell'Asphalt Rubber Open e Gap-graded, nelle postazioni di A,B, C sopra riportate.		

Firenze: scenario B - Via Erbosa

Postazione di misura	Tipologia di Intervento	Livello misurato [dB(A)]	Differenza rispetto all'asfalto tradi- zionale- (post. C) [dB(A)]
A-Diurno	Riasfaltatura con	65.1	- 2.8
A - Notturno	Asphalt Rubber Gap-graded	57.9	- 3.6
B - Diurno	Riasfaltatura con	63.2	-4.7
B - Notturno	Asphalt Rubber Open-Grade	56.3	-5.2
C- Diurno	Asfalto	67.9	-
C-Notturno	tradizionale	61.5	-

Tabella 29 - Dettaglio postazione A: AR Gap-graded



Tabella 29 - Dettaglio postazione B: AR Open-graded



AR Open-graded

	08/10/2007	09/10/2007	10/10/2007	11/10/2007	12/10/2007	13/10/2007	14/10/2007	15/10/2007
Leq.d		63.4	63.6	64.2	63.4	62.9	60.9	0
Leq.n	53.6	57.2	54.4	55.3	56	60	53.8	

Tabella 29 - Dettaglio postazione C: asfalto tradizionale

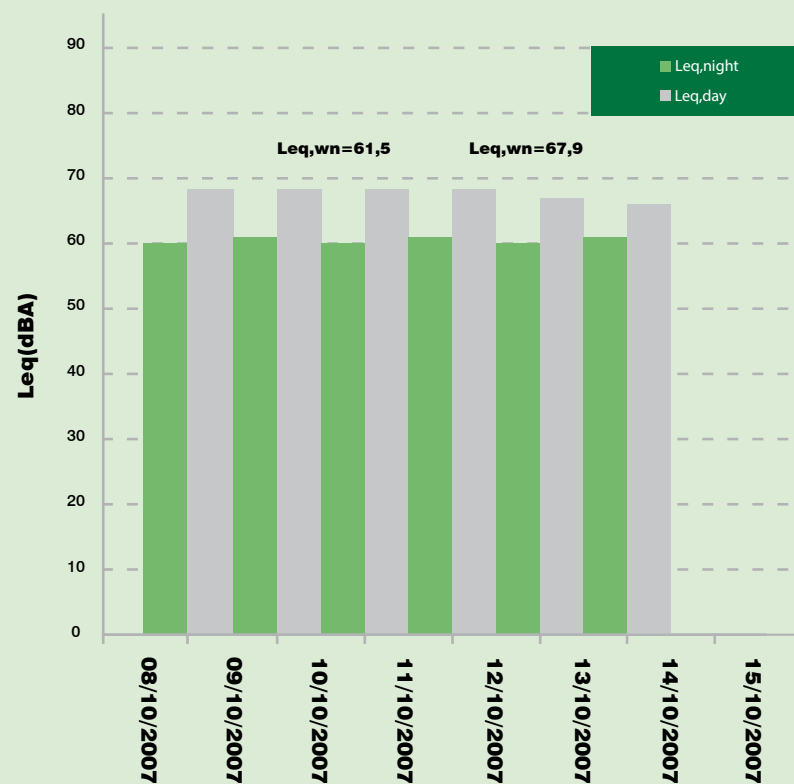
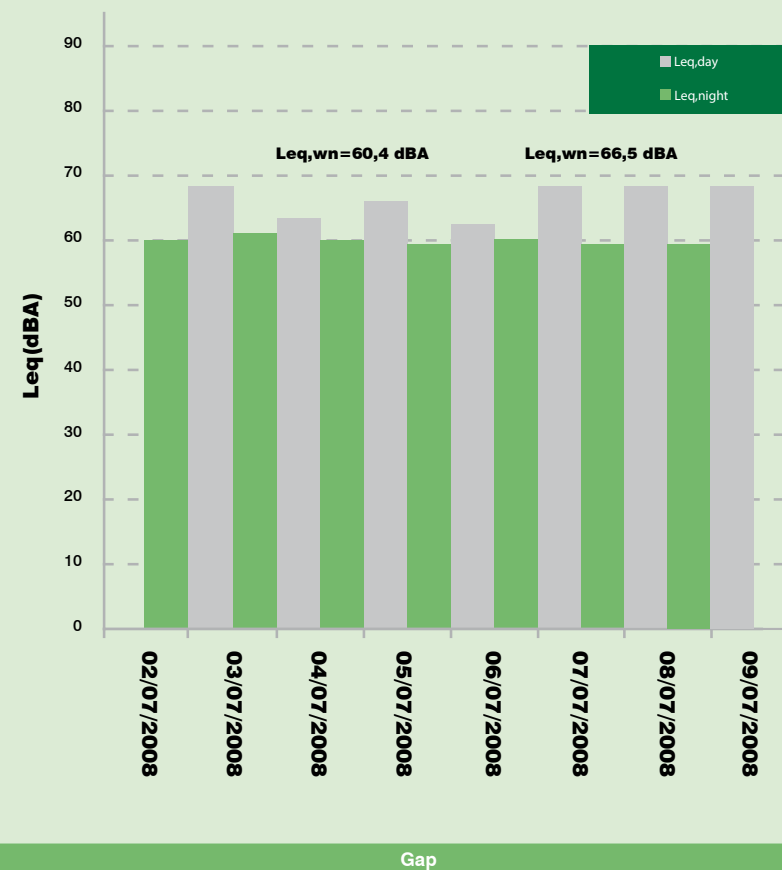


Tabella 30 - Imola



Tabella 30 - Dettaglio postazione A: AR Gap-graded



Imola: scenario A - Via della Cooperazione

Postazione di misura	Tipologia di Intervento	Livello misurato [dB(A)]	Differenza rispetto all'asfalto tradizionale- (post. C) [dB(A)]
A-Diurno	Riasfaltatura con	66.5	- 6.2
A - Notturno	Asphalt Rubber Gap-graded	60.4	- 6.0
B - Diurno	Asfalto	72.7	-
B - Notturno	tradizionale	66.4	-

Tabella 30 - Dettaglio postazione B: asfalto tradizionale

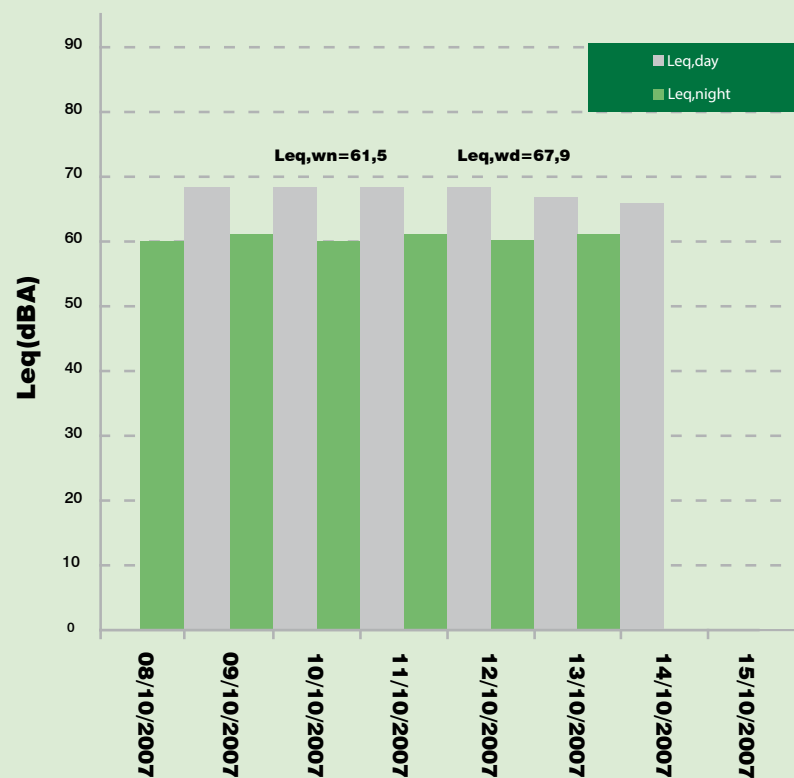


Tabella 31 - Reggio Emilia

Reggio Emilia	Misura lungo periodo	Confronto tradizionale Open
Scenario A Villa Cella		
Tratto stradale 	Tipologia pavimentazione Asphalt Rubber GAB-graded Asfalto tradizionale	
È stata effettuata una misura in continuo a 3 metri dal ciglio della strada, utile per verificare nell'arco delle 24 ore la rumorosità nello scenario ante-operam e post-operam. Il confronto finale dei dati fra situazione ante e post bonifica è stato effettuato normalizzando i livelli misurati in riferimento al numero di transiti ottenuto sulla base di conteggi del traffico eseguiti grazie a piastre contatraffico poste sulla Via Emilia in direzione Parma e Reggio Emilia		

Reggio Emilia: scenario - A - Villa Cella

Postazione di misura	Tipologia di Intervento	Livello misurato post-operam [dB(A)]	Livello misurato ante-operam [dB(A)]	Differenza ante/post-operam [dB(A)]
A-Diurno	Riasfaltatura con Asphalt Rubber	70.6	75.8	-5.2
A - Notturno	Open-graded	65.3	70.5	-5.2

7.3. Confronti asfalto Tradizionale – Asphalt Rubber con misure di Statistical Pass-By (SPB / USPB)

In questo paragrafo si riportano in forma grafica i risultati di alcune analisi comparate, basate sull'applicazione del metodo SPB (come definita dalla Norma UNI-ISO 11819-1) oppure USPB.

Tabella 32 - Limite sull'Arno

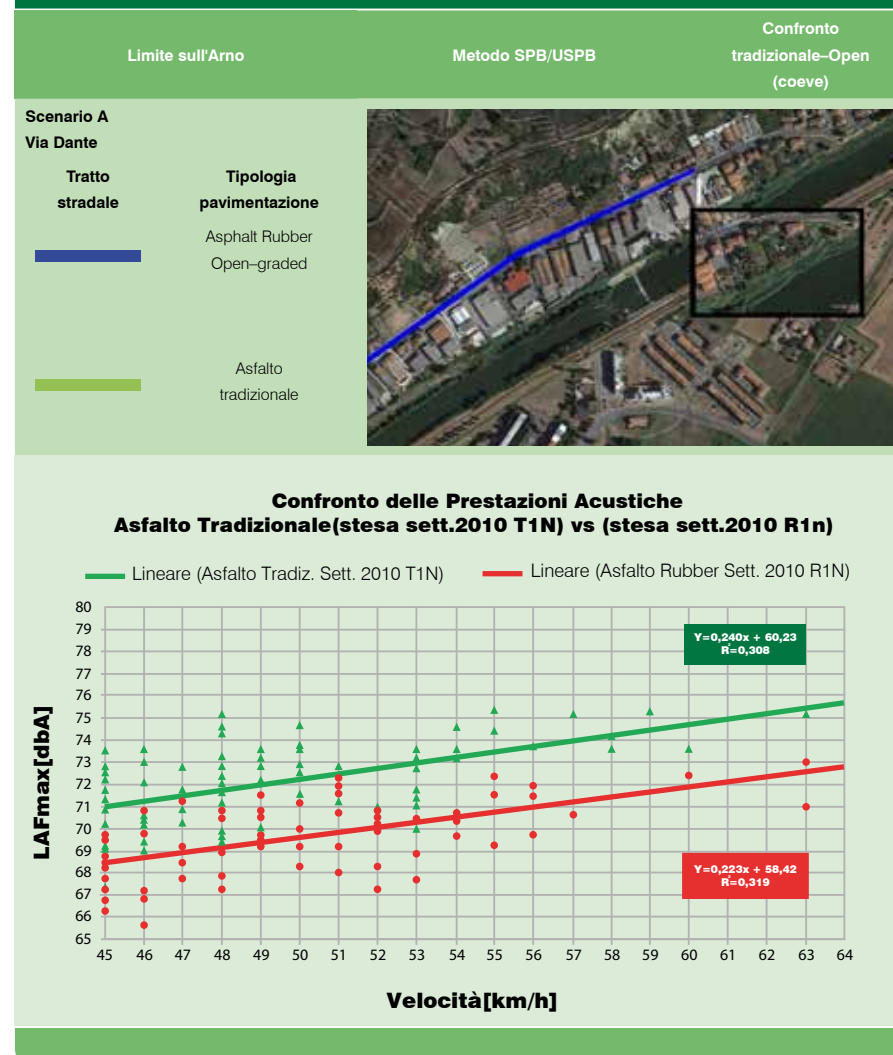


Tabella 33 - Limite sull'Arno



Tabella 34 - Massa e Cozzile

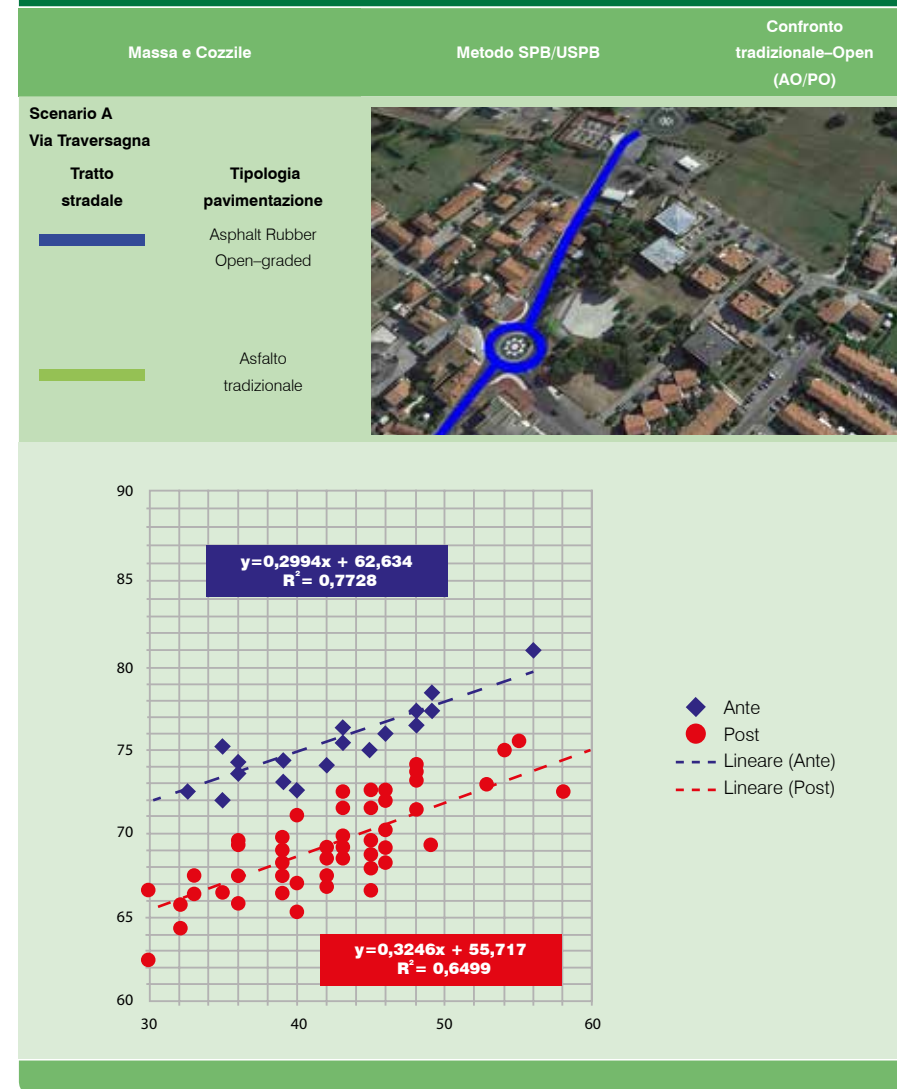


Tabella 35 - Pistoia

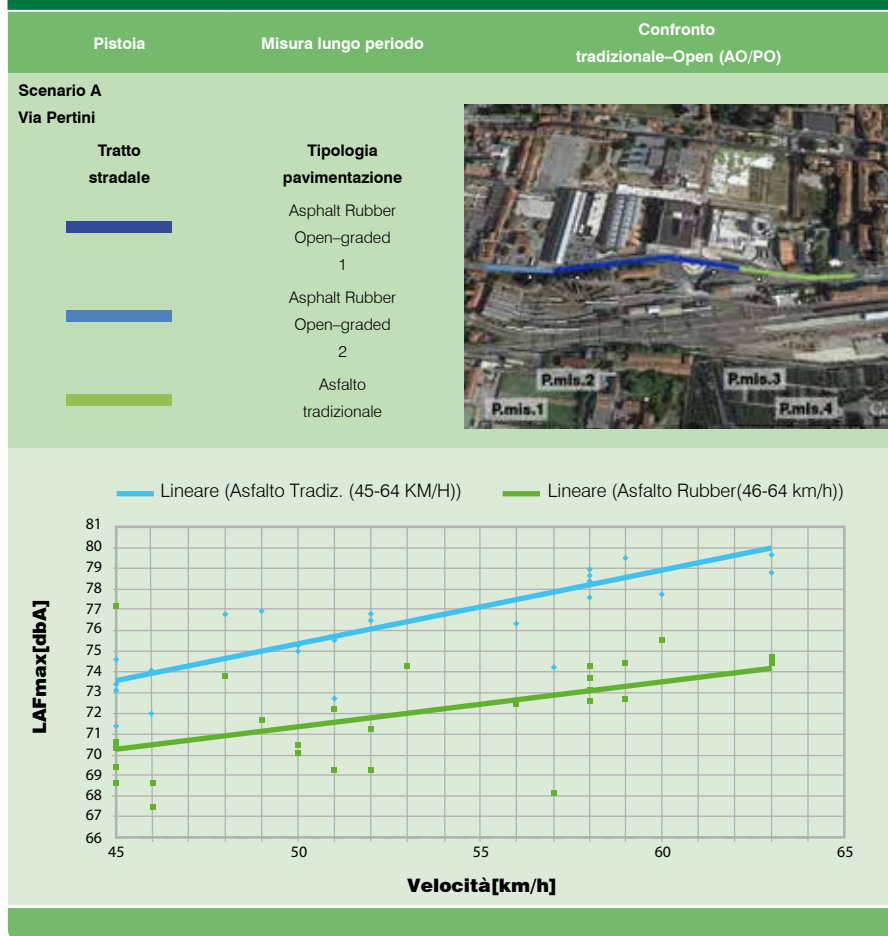


Tabella 36 - Firenze

Firenze		Metodo SPB/USPB	Confronto tradizionale–Open (coeve)
Scenario A			
Via Datini			
Tratto stradale	Tipologia pavimentazione		
	Asphalt Rubber Open-graded		
	Asfalto tradizionale		

Figura 15 - Confronto delle Prestazioni acustiche acustiche scenario A via Datini

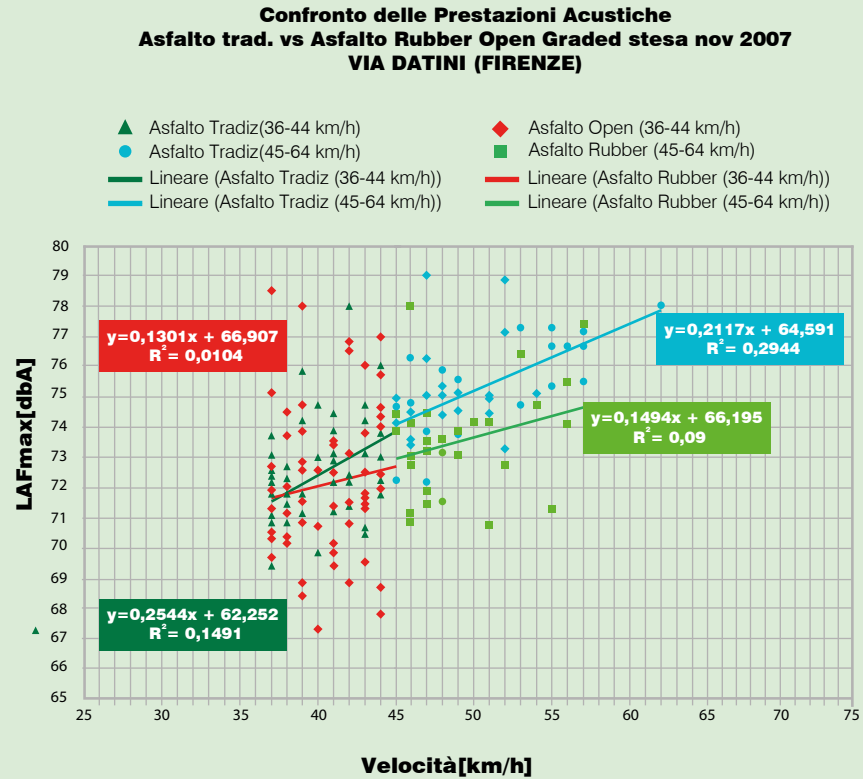


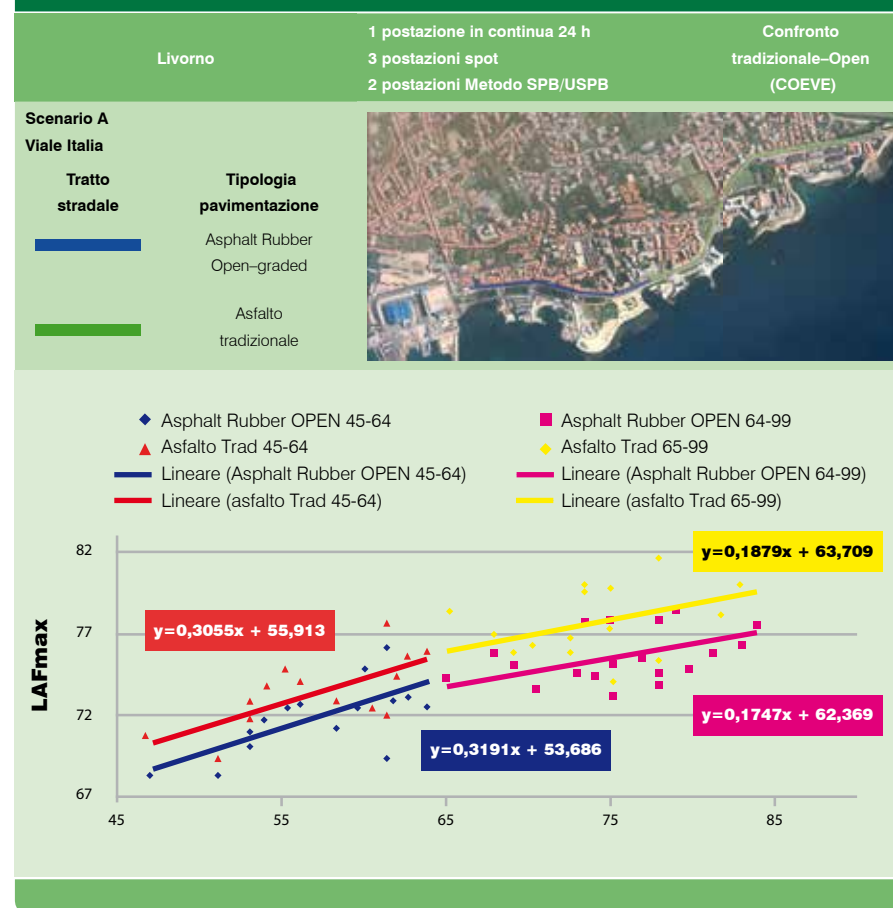
Tabella 37 - Carpi



In figura viene riportato l'andamento delle rette di interpolazione relative all'asfalto Tradizionale misurato negli scenari ante-operam (linea verde tratteggiata) e post-operam (linea

verde continua) e alle pavimentazioni in Asphalt Rubber Gap-graded (linea rossa continua) e Open-graded (linea blu continua), questi ultimi nello scenario post-operam.

Tabella 38 - Livorno



In figura viene riportato l'andamento delle rette di interpolazione relative all'asfalto tradizionale misurato in ante-operam (linea verde continua) e alle pavimentazioni in Asphalt Rubber Gap-Graded (linea rossa continua) e Open-Graded (linea blu continua), questi ultimi nello scenario post-operam.

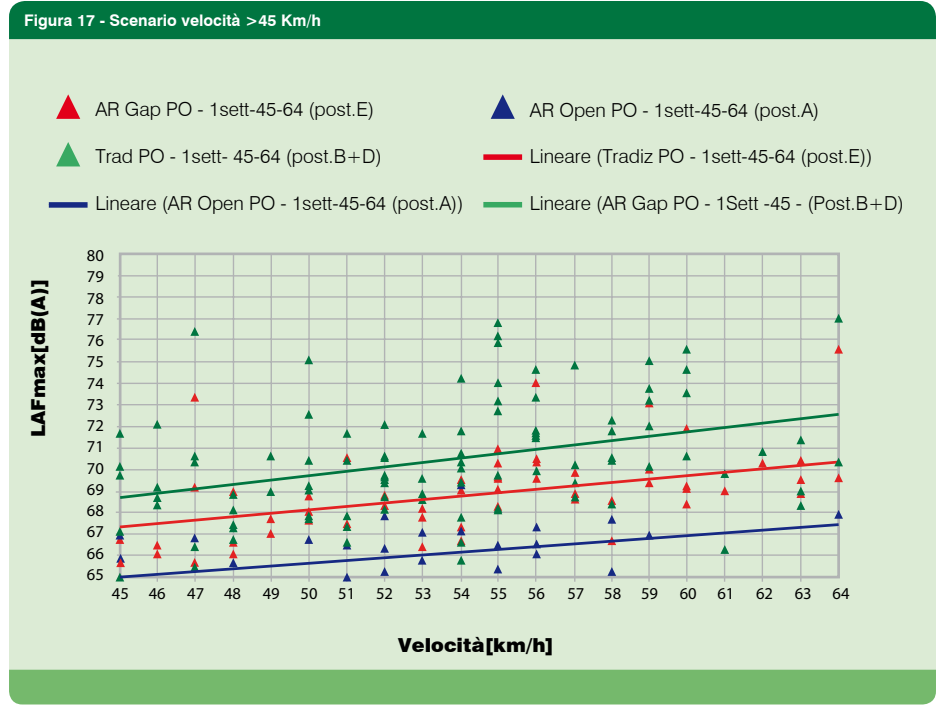
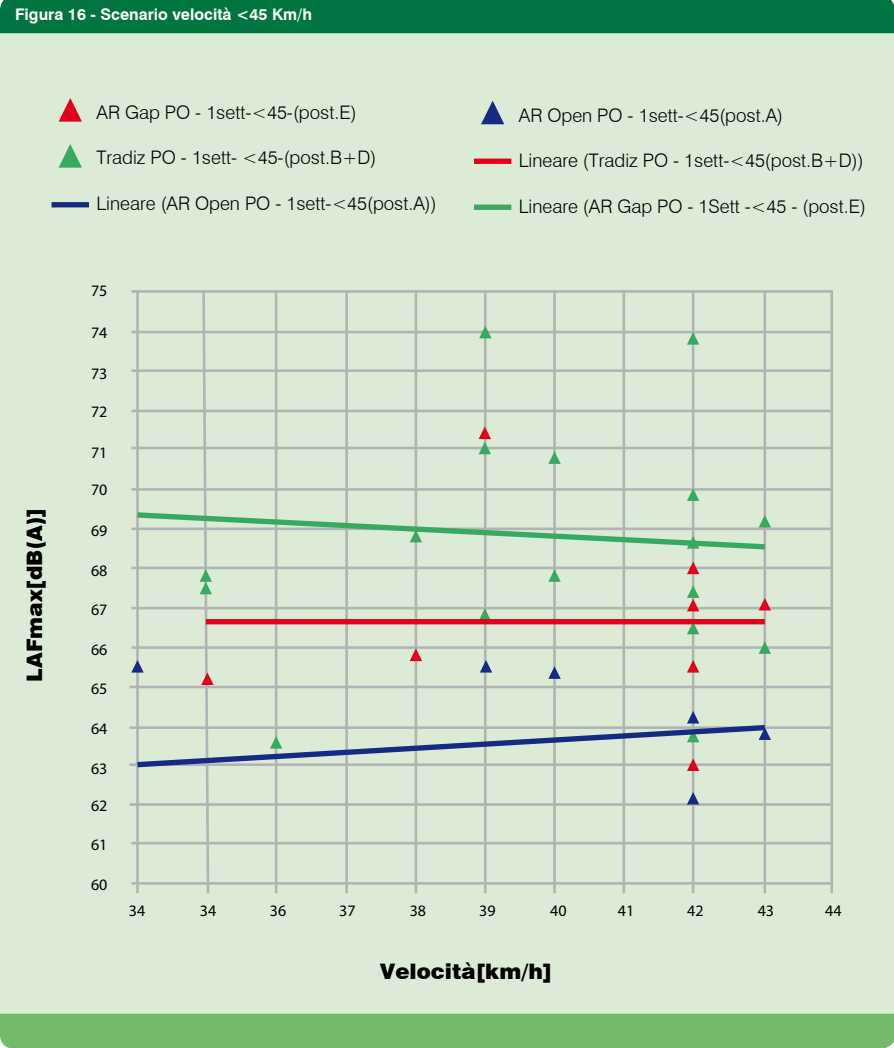




Tabella 40 - Pistoia		
Pistoia	Metodo SPB/USPB	Confronto tradizionale-Open
Scenario A Via Pertini		
Tratto stradale		Tipologia pavimentazione
		Asphalt Rubber Open-graded
		Asfalto tradizionale

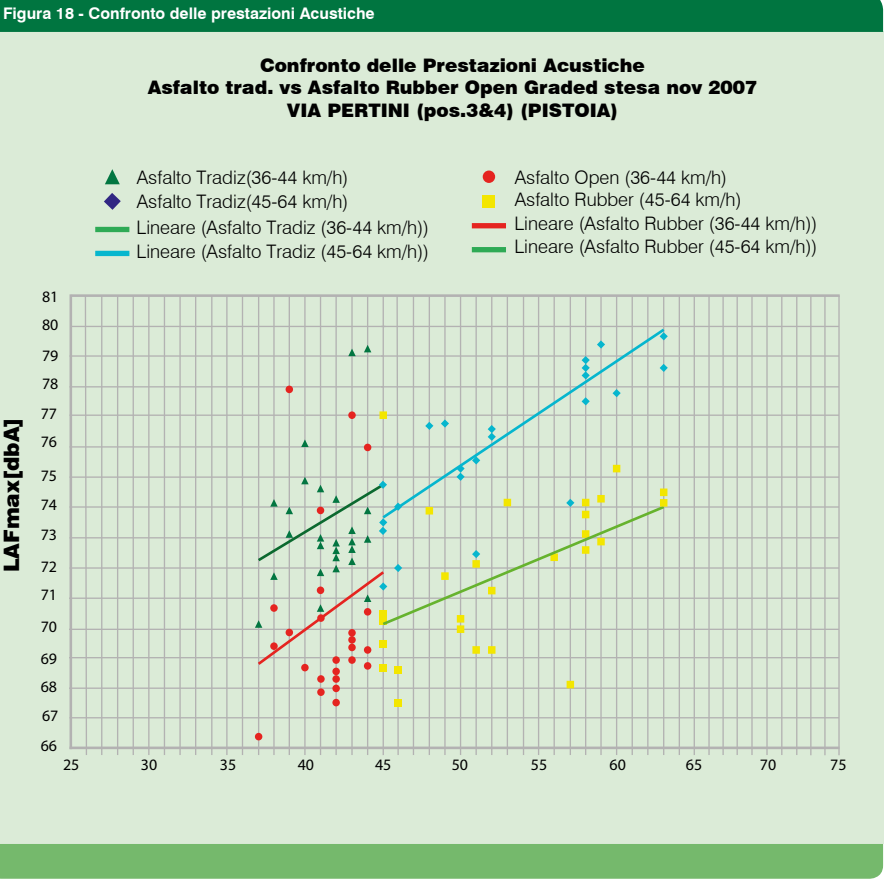


Tabella 41 - Firenze

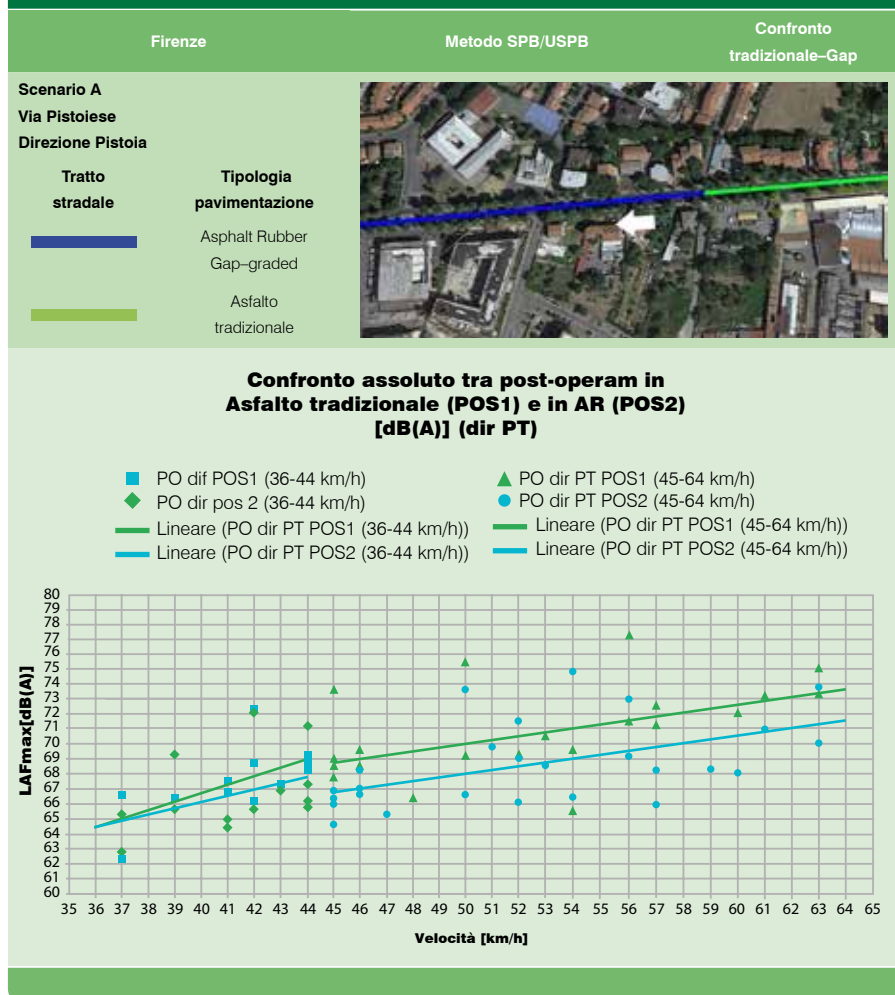
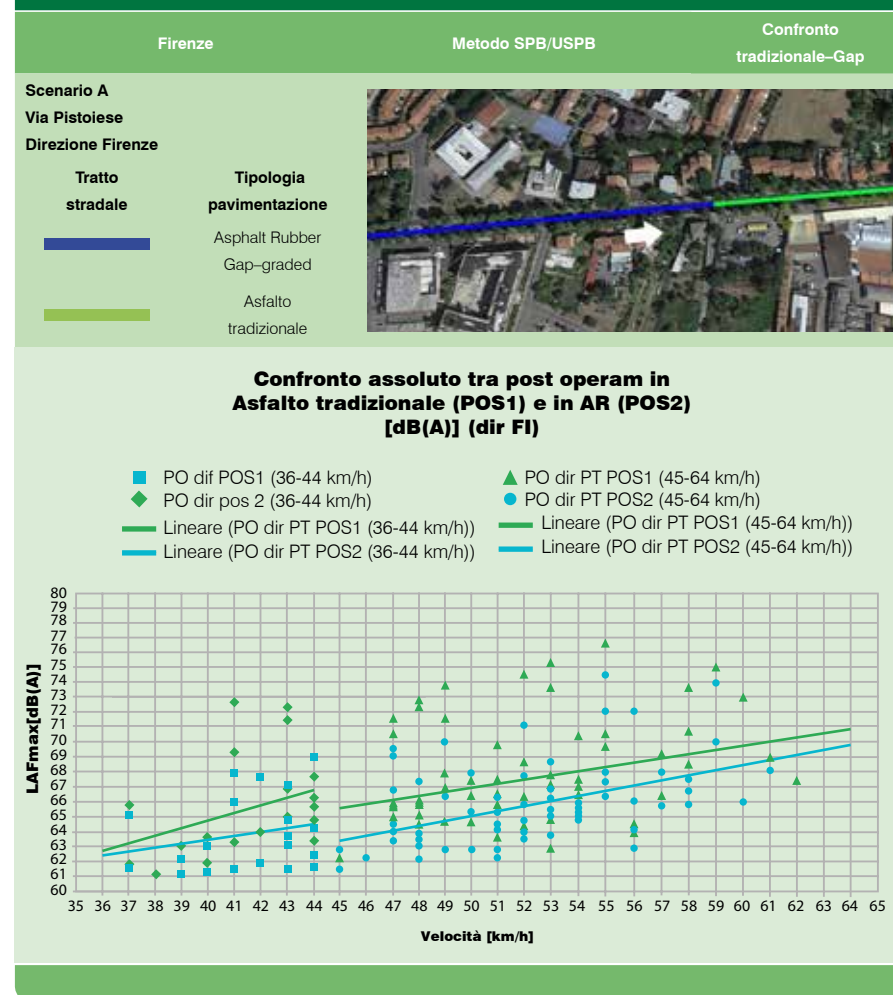


Tabella 42 - Firenze



7.4 Tabelle riepilogative dei risultati

Nelle tabelle seguenti si riportano in forma numerica e di facile lettura, alcuni dei risultati già trattati in dettaglio nei paragrafi precedenti. Nella prime due tabelle si sono inseriti tutti i confronti a coppie tra i livelli misurati in scenari omologhi di pavimentazioni in Asphalt Rubber Open-graded e pavimentazioni tradizionali. Si sono messi a confronto i risultati delle misure in continuo e si sono confrontate alcune estrapolazioni dalle curve delle misure di Statistical Pass-By, corrispondenti a velocità di 60 km/h e a velocità più basse (40-45km/h) tipiche degli scenari urbani.

Tabella 43 - Confronti tra le pavimentazioni tradizionali e Open-Graded (AO/PO)

Tipo di Prova	Postazione	Periodo di riferimento	Tradizionale AO	Open-graded PO	Beneficio acustico
Misure in Continuo (24 ore)	Massa e Cozzile	DIURNO	66.3	60.8	5.5
	Traversagna A	NOTTURNO	64.6	58.6	6.0
	Massa e Cozzile	DIURNO	65.3	61.8	3.5
	Via Gramsci B	NOTTURNO	64.5	60.0	4.5
	Borgo San Lorenzo	DIURNO	65.4	60.6	4.8
	Via della Resistenza, A	NOTTURNO	61.2	53.9	7.3
	Borgo San Lorenzo	DIURNO	66.4	60.4	6.0
	Via Pecori Giraldi B	NOTTURNO	-	-	-
	Borgo San Lorenzo	DIURNO	74.3	66.9	7.4
	Via Caiani C	NOTTURNO	-	-	-
Misure SPB (60 km/h)	Massa e Cozzile	-	80.9	75.0	5.9
	Via Traversagna, A	-	-	-	-
	Pistoia	-	79.0	73.4	5.6
	Via Pertini, A ⁶	-	-	-	-
Misure USPB (45 km/h)	Borgo San Lorenzo	-	74.3	69.9	7.4
	Via Caiani, C	-	-	-	-
	Borgo San Lorenzo	-	70.8	65.0	5.8
	Via Caiani, C	-	-	-	-
Misure USPB (40 km/h)	Pistoia	-	73.7	70.2	3.5
	Via Pertini, A ⁶	-	-	-	-
	Borgo San Lorenzo	-	69.8	63.7	6.1
	Via Caiani, C	-	-	-	-
Misure USPB (40 km/h)	Pistoia	-	73.1	69.9	3.2
	Via Pertini, A ⁶	-	-	-	-

6 - In questo caso il confronto non è stato fatto sulla stessa posizione ma su due posizioni attigue su tratti di strada di età diversa di almeno 3 anni

Tabella 44 - Confronti tra le pavimentazioni tradizionali e Open-graded (coeve con misure realizzate dopo uno-sei mesi dalla posa in opera della pavimentazione)

Tipo di Prova	Postazione	Periodo di riferimento	Tradizionale	Open-graded	Beneficio acustico
Misure in Continuo (24 ore)	Limite sull'Arno	DIURNO	66.1	62.0	4.1
	Via Limitese B	NOTTURNO	59.3	54.9	4.4
	Firenze	DIURNO	67.9	63.2	4.7
	Via Erbosa B	NOTTURNO	61.5	56.3	5.2
	Reggio Emilia	DIURNO	75.8	70.6	5.2
	Villa Cella A	NOTTURNO	70.5	65.3	5.2
Misure SPB (60 km/h)	Limite sull'Arno	—	74.7	71.8	2.9
	Via Dante, A ⁷	—	74.8	70.1	4.7
	Limite sull'Arno	—	74.8	70.1	4.7
	Via Limitese, B ⁷	—	74.8	70.1	4.7
	Firenze	—	77.3	75.1	2.2
	Via Datini, A ⁷	—	77.3	75.1	2.2
Misure USPB (45 km/h)	Borgo San Lorenzo	—	71.8	66.9	4.9
	Via Caiani, C	—	71.8	66.9	4.9
	Livorno	—	74.2	72.8	1.4
Misure USPB (40 km/h)	Viale Italia, A ⁷	—	74.2	72.8	1.4
	Borgo San Lorenzo	—	68.7	65.0	3.7
Misure USPB (40 km/h)	Via Caiani, C	—	68.7	65.0	3.7
	Borgo San Lorenzo	—	68.1	63.7	4.4
Misure USPB (40 km/h)	Via Caiani, C	—	68.1	63.7	4.4
	Borgo San Lorenzo	—	68.1	63.7	4.4

7 - In questi casi, le misure sono state effettuate a più di 1-2 anni dalla stesa

Nelle due tabelle seguenti si sono inseriti i confronti a coppie tra i livelli misurati in scenari omologhi di pavimentazioni in Asphalt Rubber Gap-graded e pavimentazioni tradizionali. Analogamente al caso precedente si sono messi a confronto i risultati delle misure in continuo e

si sono confrontate alcune estrapolazioni dalle curve delle misure di Statistical Pass-By, corrispondenti a velocità di 60km/h e a velocità più basse (40-45km/h) tipiche degli scenari urbani.

Tabella 45 - Confronti tra le pavimentazioni tradizionali e Open-graded (AO/PO)

Tipo di Prova	Postazione	Periodo di riferimento	Tradizionale AO	Gap-graded PO	Beneficio acustico
Misure SPB (60 km/h)	Carpi	—	74.7	69.5	5.2
	Via Cavata, A ⁸	—	74.7	69.5	5.2
	Borgo San Lorenzo	—	73.8	69.7	4.1
	Via Caiani, C	—	73.8	69.7	4.1
	Firenze	—	72.3	70.5	1.8
	Via Pistoiese A (dir PT)	—	72.3	70.5	1.8
Misure USPB (45 km/h)	Firenze	—	71.9	68.5	3.4
	Via Pistoiese B (dir FI)	—	71.9	68.5	3.4
	Borgo San Lorenzo	—	70.5	67.2	3.3
	Via Caiani, C	—	70.5	67.2	3.3
	Firenze	—	70.5	66.8	3.7
	Via Pistoiese A (dir PT)	—	70.5	66.8	3.7
Misure USPB (40 km/h)	Firenze	—	68.7	63.4	5.3
	Via Pistoiese B (dir FI)	—	68.7	63.4	5.3
	Borgo San Lorenzo	—	69.8	66.1	3.7
	Via Caiani, C	—	69.8	66.1	3.7
	Firenze	—	68.6	66.2	2.4
	Via Pistoiese A (dir PT)	—	68.6	66.2	2.4
Misure USPB (40 km/h)	Firenze	—	67.2	63.3	3.9
	Via Pistoiese B (dir FI)	—	67.2	63.3	3.9

8 - In questo caso il confronto non è stato fatto sulla stessa posizione, ma su due posizioni attigue su tratti di strada di età diversa di almeno 3 anni.

Tabella 46 - Confronti tra le pavimentazioni tradizionali e Gap-graded (coeve con misure realizzate dopo tre-sei mesi dalla posa in opera della pavimentazione)

Tipo di Prova	Postazione	Periodo di riferimento	Tradizionale	Gap	Beneficio acustico
Misure in Continuo (24 ore)	Firenze	DIURNO	67.9	65.1	2.8
	Via Erbosa B	NOTTURNO	61.5	57.9	3.6
	Imola	DIURNO	72.7	66.5	6.2
	Via della Cooperazione, A	NOTTURNO	66.4	60.4	6.0
Misure SPB (60 km/h)	Borgo San Lorenzo	—	71.8	69.7	2.1
	Via Caiani, C	—	—	—	—
	Firenze	—	—	—	2.2
	Via Pistoiese A (dir PT)	—	72.7	70.5	—
Misure USPB (45 km/h)	Firenze	—	—	—	—
	Via Pistoiese B (dir FI)	—	69.8	68.5	1.4
	Borgo San Lorenzo	—	68.7	67.2	1.5
	Via Caiani, C	—	—	—	—
Misure USPB (40 km/h)	Firenze	—	68.9	66.8	2.1
	Via Pistoiese A (dir PT)	—	—	—	—
	Firenze	—	65.6	63.4	2.1
	Via Pistoiese B (dir FI)	—	—	—	—
Misure USPB (40 km/h)	Borgo San Lorenzo	—	68.1	66.1	2.0
	Via Caiani, C	—	—	—	—
	Firenze	—	66.7	66.2	0.5
	Via Pistoiese A (dir PT)	—	—	—	—
Misure USPB (40 km/h)	Firenze	—	64.7	63.3	1.5
	Via Pistoiese B (dir FI)	—	—	—	—

Dall'esame delle tabelle precedenti, in generale (sia rispetto alle misurazioni ante - post-operam che su pavimentazioni coeve) si evidenziano risultati significativi con attenuazioni medie delle pavimentazioni in Asphalt Rubber superiori a 3 dBA rispetto alla pavimentazione Tradizionale. In particolare, si può notare come le pavimentazioni AR Open-graded risultino più performanti rispetto alle pavimentazioni AR Gap-graded. Si nota inoltre come le attenuazioni risultino in generale superiori in confronti ante - post-operam rispetto a confronti su pavimentazioni coeve, sia per le pavimentazioni Open-graded che Gap-graded. Tale resa è ovviamente giustificata dal fatto che nelle misure ante - post ci si confronta con scenari ante-operam in cui talvolta è presente una pavimentazione Tradizionale in condizioni di elevata usura e conseguente degrado.

7.5 Prospettive ed estensioni dello studio

In questo capitolo finale si accenna ad alcuni possibili sviluppi futuri dello studio, che si prevede di implementare sia negli scenari fin qui considerati, sia in nuovi scenari che saranno oggetto di pavimentazione. L'ampliamento delle tipologie di scenario urbano e la verifica della durabilità prestazionale degli asfalti aggiungeranno maggior dettaglio e ulteriore consistenza all'insieme dei dati di confronto già raccolti e riportati in questo studio.

7.5.1 Considerazioni relative alle tipologie di sezione nel metodo Urban Statistical Pass-By

Una possibile estensione dello studio sarà rivolta alla quantificazione dei livelli correttivi da utilizzare rispetto alle condizioni di campo aperto richiamate dalla norma UNI EN ISO 11819-1:2004 in dipendenza dalla forma delle sezioni (a L oppure a U) e alla corretta definizione tipologica di queste. Nella tabella 47 si è aggiornato il quadro sinottico base della tabella 6 con il confronto fra le tre diverse tipologie di asfalto (Open, Gap, Tradizionale) in scenari urbani tipici con tratti di strada aventi analoghe condizioni di riflessione (sezione a L e a U).

Tabella 47 - Codifica degli scenari in base alla sezione		
Asfalto	Sezione Stradale	
	L	U
Open	OL	OU
Gap	GL	GU
TRAD	TL	TU
Scenari Tipo		

Sarà possibile, all'aumentare dei dati a disposizione definire fasce dimensionali relative all'altezza della superficie riflettente e alla sua distanza dalla carreggiata, considerando le diverse combinazioni di altezze e distanze nel caso degli scenari con sezione a U. I valori della tabella, relativi alle stese di cui si tratta nel progetto e ad altre che ne seguiranno, saranno aggiornati con il passare del tempo e sarà prodotto un aggiornamento del presente volume.

7.5.2 Considerazioni relative alle prestazioni del tappeto di usura in Asphalt Rubber nel tempo

Le indagini e i rilievi fonometrici eseguiti nel corso della campagna di studio sulle prestazioni acustiche dei tappeti in Asphalt Rubber non hanno consentito di quantificare in modo statisticamente rilevante le variazioni prestazionali di tali pavimentazioni nel tempo. È previsto però che lo studio sia aggiornato ripetendo le campagne di misura negli scenari sopra descritti ove sono state stese le nuove pavimentazioni, a intervalli regolari di tempo, in modo da valutare in che modo i livelli di emissione acustica variano nel tempo. Nella tabella 49 si è aggiornato il quadro sinottico

della tabella 7 con il confronto fra le tre diverse tipologie di asfalto (Open, Gap, Tradizionale) in scenari urbani tipici e con età di stesa diverse. Si sono considerati tratti di strada con analoghe condizioni di riflessione (sezione a L e a U), ma con asfalti che si trovano in periodi diversi del ciclo di vita: meno di un anno (NEW), fra 2 e 3 anni (OLD). I valori della tabella, relativi alle stese di cui si tratta nel progetto saranno aggiornati con il passare del tempo e sarà prodotto un aggiornamento del presente volume

Tabella 48 - Codifica degli scenari in base alla sezione e ai tempi di stesa			
Asfalto	Sezione Stradale		Età
	L	U	
Open	OOL	OOU	OLD (2-3 anni)
Gap	OGL	OGU	
TRAD	OTL	OTU	
Open	NOL	NOU	NEW (meno di 1 anno)
Gap	NGL	NGU	
TRAD	NTL	NTU	
Scenari Tipo			

Normativa tecnica

- Si riportano di seguito le norme tecniche di riferimento relative alle tecniche di misura e modellazione con particolare riferimento al rumore prodotto dal traffico stradale oggetto della presente trattazione.
- UNI EN ISO 11819-1:2004-Acustica. Misurazione dell'influenza delle superfici stradali sul rumore da traffico. Metodo statistico applicato al traffico passante
 - UNI ISO 13472-1:2004; Acustica - Misurazione in situ del coefficiente di assorbimento acustico di su-perfici stradali - Metodo della superficie estesa
 - ISO/CD 11819-2:2000; Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: The close-proximity method
 - UNI EN ISO 10534-2:2001; Acustica - Determinazione del coefficiente di assorbimento acustico e dell'impedenza acustica in tubi di impedenza - Metodo della funzione di tra-sferimento
 - UNI 11143-1:2005-Acustica. Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 1: Generalità
 - UNI 11143-2:2005-Acustica. Metodo per la stima dell'impatto e del clima acustico per tipologia di sorgenti - Parte 2: Rumore stradale
 - UNI/TR 11326:2009-Acustica. Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei cal-coli di acustica. Parte 1: Concetti generali
 - UNI ISO 996-1: 2010-Acustica. Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale. Parte 1: Grandezze fondamentali e metodi di valutazione
 - UNI ISO 996-2: 2010-Acustica. Descrizione, misurazione e valutazione del rumore ambientale. Parte 1: Determinazione dei livelli di rumore ambientale
 - Metodo di calcolo ufficiale francese NMPB-Routes-96



Legislazione

Si riportano di seguito i riferimenti legislativi di carattere generale. Per quanto riguarda i decreti attuativi delle infrastrutture viene riportato per brevità il solo riferimento al rumore da traffico stradale ritenuto di maggior interesse in riferimento all'argomento della presente trattazione.

- D.P.C.M. 1 marzo 1999, Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno (G.U. n. 57 del 08 marzo 1991)
- Legge 26 ottobre 1995, n. 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico (G.U. n. 254 del 30 ottobre 1995)
- D.P.C.M. 14 novembre 1997, Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore (G.U. n. 280 del 01 dicembre 1997)
- D.M. Ambiente del 16 marzo 1998, Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico (G.U. n. 76 del 01 aprile 1998)
- D.M. Ambiente del 29 novembre 2000, Criteri per la predisposizione da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani di intervento di contenimento e abbattimento del rumore (G.U. n. 285 del 06 dicembre 2000)
- Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002 relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale
- D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194, Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale (G.U. n. 222 del 23 settembre 2005)
- D.P.R. 30 marzo 2004, n. 142, Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare (G.U. n. 127 del 01 giugno 2004)



Ecopneus Sepa
Via Messina, 38 Torre B
20154 Milano

Tel.: +39 02.92.970.1
Fax.: +39 02.92.970.299

E-mail: info@ecopneus.it
Web: www.ecopneus.it