



CIRS - Centro Interuniversitario sperimentale
di Ricerca **Stradale** ed aeroportuale



Ricerca Sperimentale – novembre 2009

CONTROLLO DELLA PRODUZIONE, VERIFICA DELLE
PRESTAZIONI E PREDISPOSIZIONE DI NORME
TECNICHE DI CAPITOLATO PER MISCELE DI
CONGLOMERATO BITUMINOSO TIPO ASPHALT RUBBER

RAPPORTO FINALE

Autori:

Prof. Ing. Felice A. Santagata
Prof. Ing. Francesco Canestrari
Dr. Ing. Emiliano Pasquini



Asphalt Rubber Italia

5.5 PROPRIETÀ ACUSTICHE DI CONGLOMERATI BITUMINOSI AR

In tale paragrafo vengono riportati i risultati ottenuti nello studio delle proprietà acustiche di miscela AR Gap Graded (AR-Gap.3 e AR-Gap.5) ed Open Graded (AR-Open.1, AR-Open.2 e AR-Open.3).

La sperimentazione in oggetto ha previsto lo svolgimento di indagini eseguite sia in sito che in laboratorio. Nel corso delle sperimentazioni in sito si è provveduto alla valutazione del livello sonoro a bordo strada, associato ad opportune misurazioni del traffico, grazie al monitoraggio di due diversi tronchi pilota posti in opera in ambito urbano nei Comuni di Firenze (AR-Gap.3 e AR-Open.1) ed Imola (AR-Gap.5). Le indagini di laboratorio hanno invece riguardato la valutazione delle proprietà fonoassorbenti dei materiali selezionati tramite prove con tubo di Kundt su devierse tipologie di campioni:

- carote prelevate in sito (AR-Gap.3, AR-Gap.5 e AR-Open.1);
- provini compattati in laboratorio da materiale prelevato in sito e confezionato in impianto di produzione (AR-Open.1);
- provini compattati in laboratorio utilizzando miscele confezionate a mano (AR-Open.2 e AR-Open.3).

5.5.1 Caratterizzazione acustica in sito

La metodologia di analisi dei dati adottata per la valutazione delle prestazioni acustiche in sito delle miscele AR selezionate è consistita nel confrontare i livelli sonori registrati a bordo strada in corrispondenza di sezioni caratteristiche pavimentate con miscele AR con quelli misurati contestualmente lungo tratti di strada contigui, realizzati con materiali per strati d'usura tradizionali ed interessati da flussi di traffico analoghi.

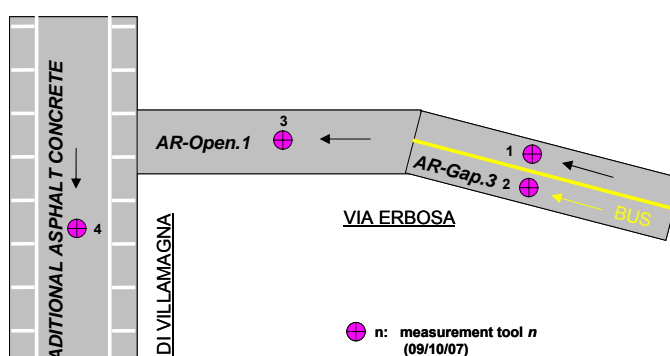


Figura 5.42: Rilievi di traffico (Via Erbosa – Firenze)



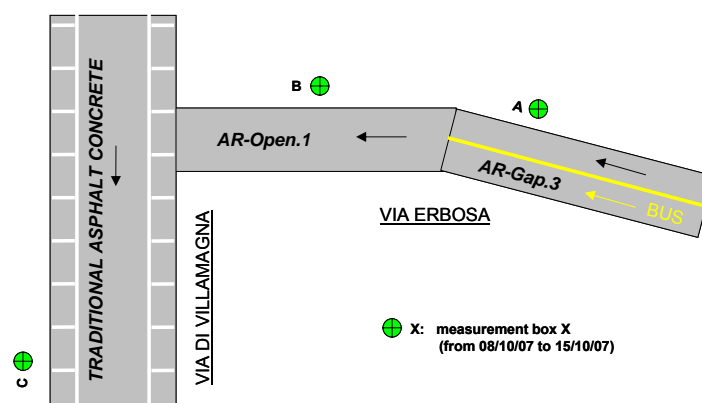


Figura 5.43: Rilievi acustici (Via Erbosa – Firenze)

Le figure 5.42 e 5.43 mostrano rispettivamente una rappresentazione schematica dei rilievi acustici e di traffico eseguiti nella stesa sperimentale di Via Erbosa a Firenze dove sono state studiate le miscele AR-Gap.3 ed AR-Open.1. Tali misurazioni sono avvenute nel mese di Ottobre del 2007 ed i risultati ottenuti per le miscele AR sono stati confrontati con quelli misurati nella contigua Via di Villamagna pavimentata con un conglomerato bituminoso tradizionale.

Analogamente, le figure 5.44 e 5.45 mostrano rispettivamente una rappresentazione schematica dei rilievi acustici e di traffico eseguiti nella stesa sperimentale di Via della Cooperazione ad Imola dove è stata studiata la miscela AR-Gap.5. Tali misurazioni sono avvenute nel mese di Luglio del 2008 ed i risultati ottenuti per la miscela AR sono stati confrontati con quelli misurati in una sezione contigua di Via della Cooperazione dotata di un tappeto di usura chiuso tradizionale.

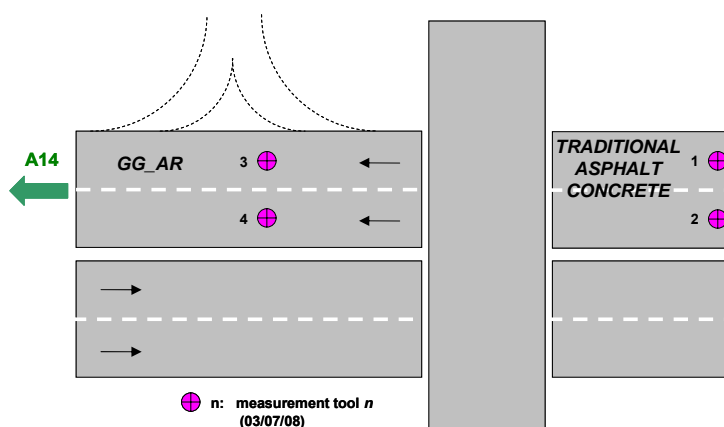


Figura 5.44: Rilievi di traffico (Via della Cooperazione – Imola)



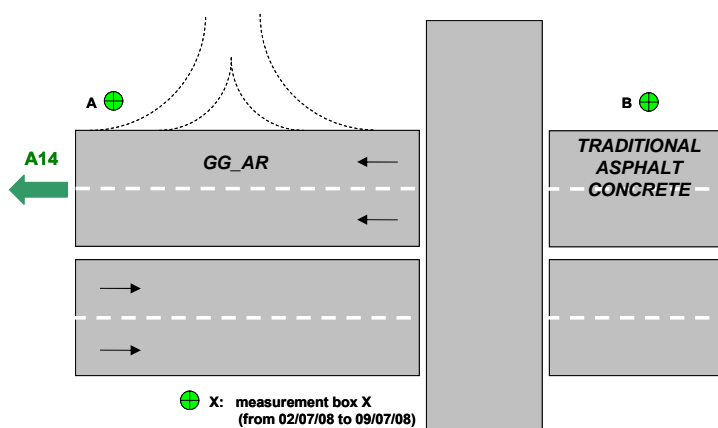


Figura 5.45: Rilievi acustici (Via della Cooperazione – Imola)

In particolare, in tabella 5.12 sono riportati i risultati ottenuti nel corso dei rilievi acustici e di traffico nel caso della tronco pilota di Via Erbosa a Firenze.

	AR-Gap.3	AR-Open.1	REFERENCE
Leq,wd (dBA)	65,1	63,2	67,9
Leq,wn (dBA)	57,9	56,3	61,5
Traffic (vehicles/day)	6694	5656	8967
Vm,d (km/h)	37,7	40,8	48,3
Vm,n (km/h)	42	44,9	58,3
Heavy vehicles (%)	10,16	2,05	3,51

Tabella 5.12: Risultati acustici in sito – Via Erbosa

Osservando i risultati sperimentali potrebbe sembrare che i livelli sonori misurati nel caso della pavimentazione di riferimento di Via di Villamagna non siano comparabili con quelli riferibili alle miscele AR a causa della rilevante differenza di flussi di traffico e di velocità di percorrenza tra le due differenti strade (figura 5.46).

In realtà, il box di misura posizionato in corrispondenza della sezione di riferimento è stato installato ad una maggiore distanza dalla corrente veicolare rispetto al caso delle sezioni in corrispondenza dei materiali AR, in modo tale da controbilanciare la differenza esistente fra le due situazioni di traffico. A tale proposito, è possibile stimare attraverso il modello predittivo del CNR [B37] come il maggiore livello sonoro registrabile in corrispondenza della sezione di riferimento a causa della differente situazione di traffico (portata e velocità) sia sostanzialmente bilanciata dalla maggiore distanza fra box di misura ed il flusso veicolare.



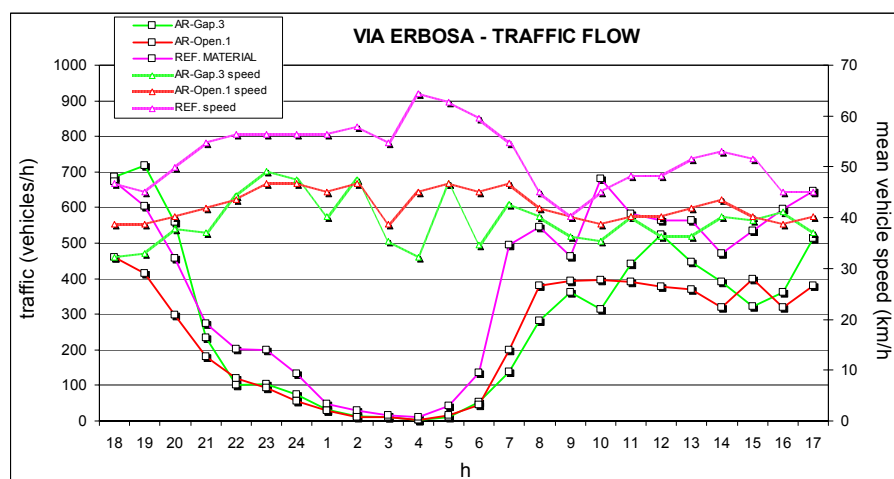


Figura 5.46: Flussi di traffico – Via Erbosa

In definitiva, è possibile affermare che la miscela AR Gap graded abbia restituito un livello sonoro di 3 dB(A) inferiore rispetto ad un conglomerato bituminoso tradizionale chiuso (figure 5.47 e 5.48) grazie principalmente all'utilizzo del legante AR. Occorre sottolineare che una riduzione di 3 dB(A) equivale, in termini di inquinamento acustico, agli effetti che verrebbero registrati a causa di un dimezzamento del flusso di traffico o di un raddoppiamento della distanza fra sorgente e ricettore [B16, B17, B38].

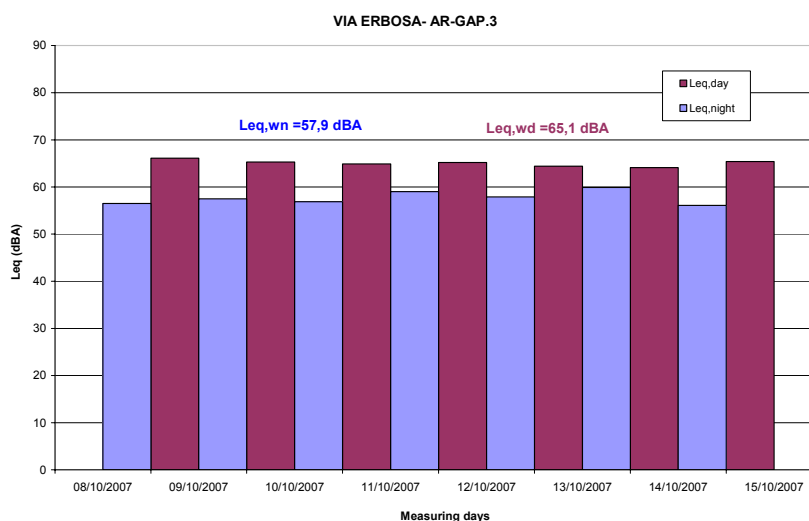


Figura 5.47: Risultati rilievi acustici AR-Gap.3 – Via Erbosa



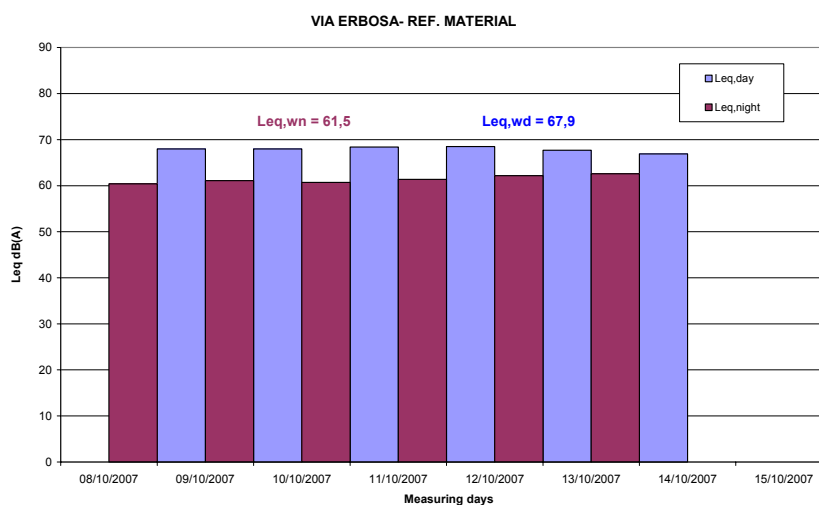


Figura 5.48: Risultati rilievi acustici materiale di riferimento – Via Erbosa

Una ulteriore riduzione di rumore pari a 2 dB(A) è stata ottenuta attraverso l'impiego di un conglomerato bituminoso tipo AR Open graded (figura 5.49). In questo caso, infatti, si assiste ad una combinazione dei benefici acustici derivanti dall'utilizzo di un legante AR con quelli ottenibili, in termini di fonoassorbimento, per effetto di un elevato contenuto di vuoti residui. Tale miscela, inoltre, risulta caratterizzata anche da una ridotta dimensione massima degli aggregati lapidei che innalza ulteriormente le capacità di riduzione della generazione di rumore di rotolamento.

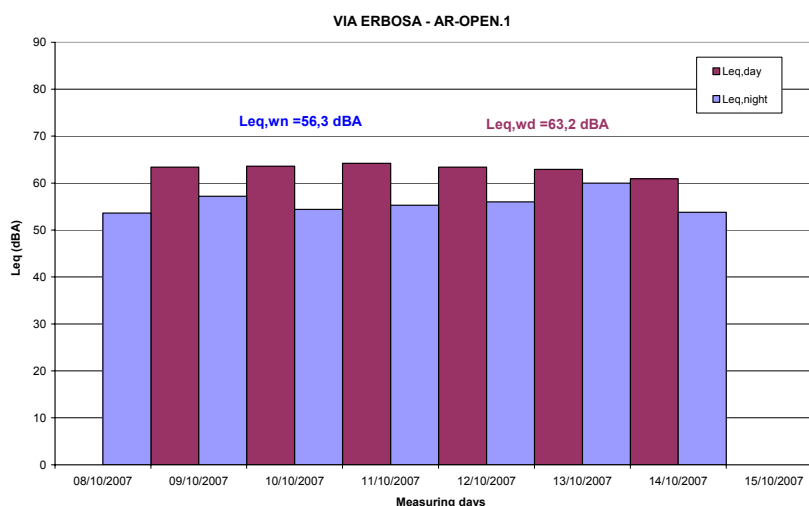


Figura 5.49: Risultati rilievi acustici AR-Open.1 – Via Erbosa



In maniera del tutto analoga a quanto appena descritto per la stesa sperimentale di Firenze, le misurazioni acustiche (tabella 5.13) effettuate in Via della Cooperazione ad Imola hanno permesso di stimare il beneficio acustico ottenibile dall'utilizzo di una miscela bituminosa Gap graded realizzata con legante AR.

	AR-Gap.5	REFERENCE
Leq,wd (dBA)	66,5	72,7
Leq,wn (dBA)	60,4	66,4
Traffic (vehicles/day)	9305	12396
Vm,d (km/h)	74,3	74,2
Vm,n (km/h)	77,5	77,3
Heavy vehicles (%)	5,52	5,53

Tabella 5.13: Risultati acustici in sito – Imola

Differentemente da quanto accaduto per il tronco pilota di Via Erbosa a Firenze, in questo caso i livelli di pressione sonora registrati (figure 5.50 e 5.51) non sono stati direttamente comparabili. Le due sezioni, infatti, sono caratterizzate dalla stessa velocità media del flusso veicolare e dalla stessa quantità di mezzi pesanti transitanti, ma da un diverso flusso veicolare totale, 25% inferiore nella sezione in corrispondenza della miscela AR-Gap.5 (figura 5.52) a causa della presenza di uno svincolo intermedio

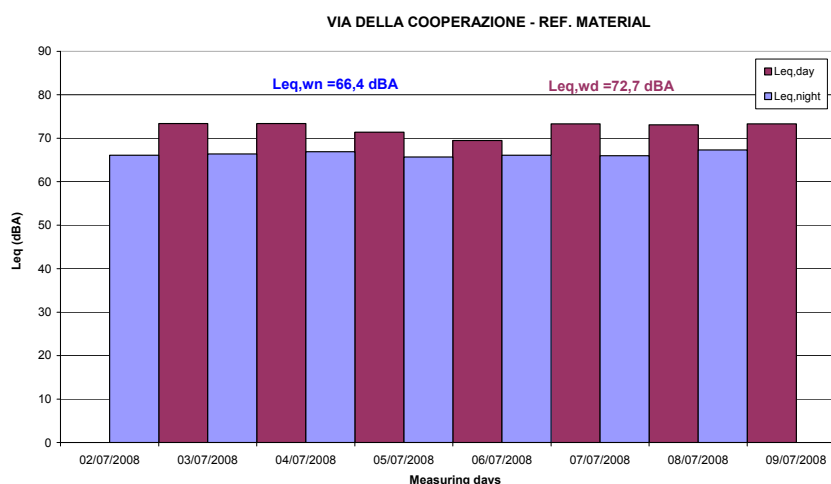


Figura 5.50: Risultati rilievi acustici materiale di riferimento – Imola



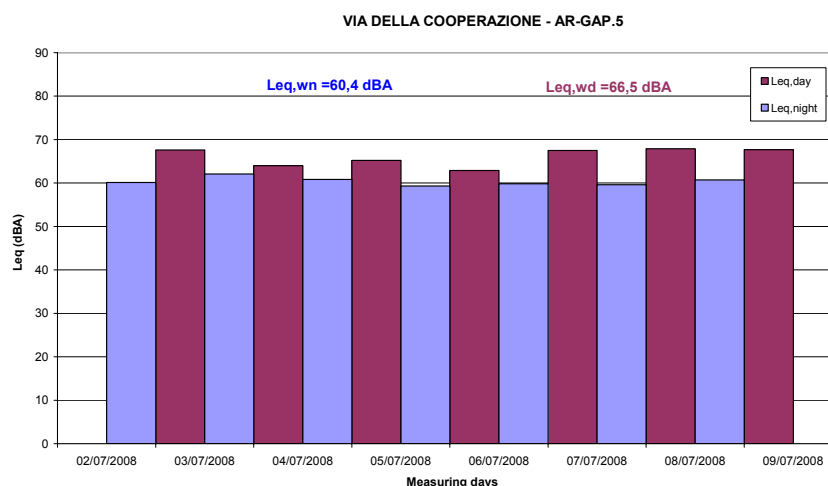


Figura 5.51: Risultati rilievi acustici AR-Gap.5 – Imola

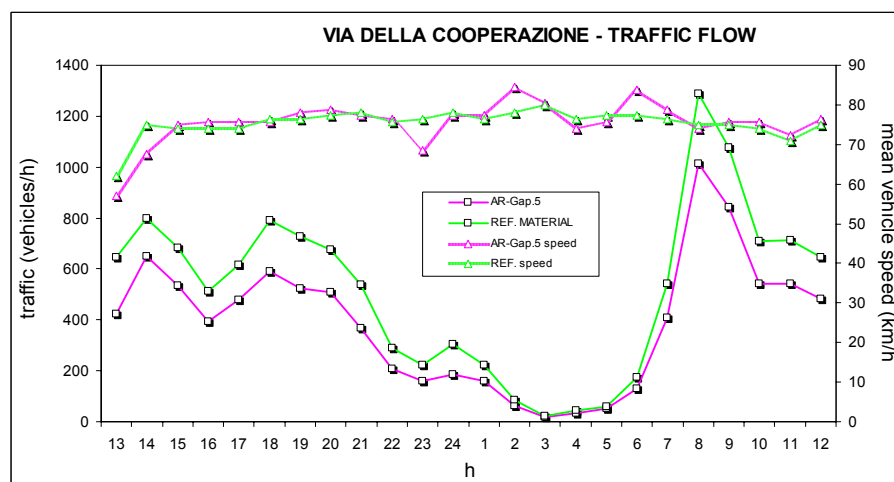


Figura 5.52: Flussi di traffico – Imola

Inoltre, il fonometro posto in corrispondenza della miscela AR Gap graded è stato posizionato ad una distanza dal flusso veicolare (figura 5.53-dx) sensibilmente superiore a quella della sezione di riferimento (figura 5.53-sx). Quindi, così come nel caso precedente, è possibile stimare che la differenza fra il livello sonoro nella sezione corrispondente alla miscela AR e quella di riferimento debba essere ridotta di circa 3 dB(A) in considerazione dei fondamentali aspetti legati al traffico ed alla distanza fra sorgente e misuratore appena evidenziati. Sulla base di tali considerazioni, quindi, la miscela bituminosa AR Gap graded si è dimostrata ancora una volta almeno di 3 dB(A) più silenziosa di una pavimentazione realizzata con materiale bituminoso



chiuso tradizionale, avente analoghi contenuto di vuoti e dimensione massima degli aggregati lapidei. Di conseguenza, la differenza nel livello sonoro registrato, corrispondente ad un dimezzamento del traffico, deve essere imputata alla riduzione del rumore di rotolamento derivante dall'utilizzo del legante Asphalt Rubber che conferisce maggiori proprietà elastiche alla miscela bituminosa.



Figura 5.53: Posizione dei fonometri – Imola

5.5.2 Caratterizzazione acustica di laboratorio

La caratterizzazione acustica sviluppata in laboratorio è consistita, come anticipato, nella determinazione del coefficiente di assorbimento acustico α dei materiali investigati per mezzo del tubo di Kundt cercando di correlarne i risultati con la misurazioni acustiche effettuate in sito. I risultati ottenuti sono stati riassunti in valori medi del coefficiente α per ogni provino, mettendo in evidenza per i diversi materiali il comportamento medio registrato ad ogni frequenza di prova. Sono state quindi predisposte tabelle e figure indicanti il coefficiente di assorbimento acustico medio alle differenti frequenze di prova per tutte le miscele analizzate, sia Gap graded (AR-Gap.3 e AR-Gap.5) che Open graded (AR-Open.1, AR-Open.2 e AR-Open.3).

In particolare, la miscela AR-Open.1 è stata testata sia su provini carotati direttamente dalla pavimentazione realizzata in Via Erbosa a Firenze, sia su provini realizzati in laboratorio con materiale prelevato in sito durante la stessa sperimentale e compattati allo stesso livello di addensamento raggiunto in sito (vuoti $\approx 14\%$).



I risultati ottenuti (tabelle 5.14 e 5.15 e figure 5.54 e 5.55) dimostrano che una porosità minore del 15% non è in grado di garantire ottime proprietà fonoassorbenti poiché, probabilmente, i pori presenti all'interno della miscela non risultano totalmente interconnessi. Inoltre, la ridotta dimensione massima degli aggregati selezionata contribuisce, con tutta probabilità, ad innalzare la resistenza al flusso dell'aria all'interno dei pori, caratterizzati da dimensioni a loro volta contenute, limitando le proprietà fonoassorbenti della miscela.

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Open.1_1 (sito)	0,17	0,24	0,21	0,22	0,04	0,04	0,07
AR-Open.1_2 (sito)	0,14	0,17	0,32	0,36	0,11	0,04	0,08
AR-Open.1_3 (sito)	0,16	0,22	0,22	0,26	0,09	0,07	0,08
mean values	0,16	0,21	0,25	0,28	0,08	0,05	0,08

Tabella 5.14: Risultati acustici di laboratorio – AR-Open.1 sito

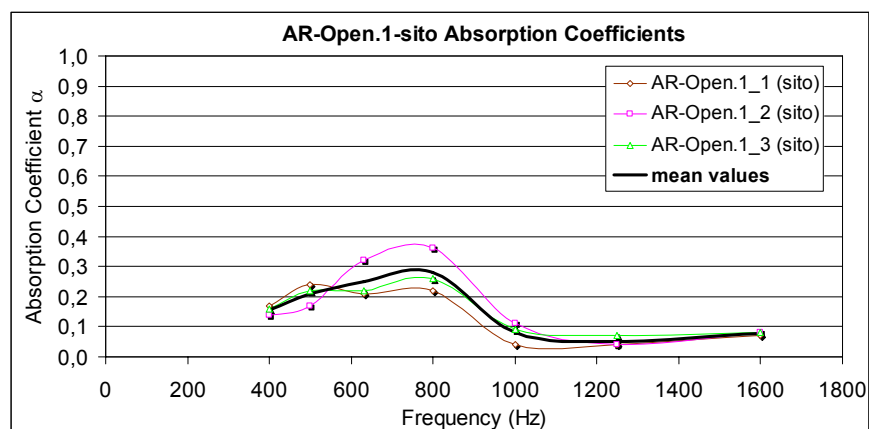


Figura 5.54: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Open.1 sito

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Open.1_1 (lab)	0,17	0,29	0,38	0,38	0,23	0,10	0,07
AR-Open.1_2 (lab)	0,10	0,18	0,34	0,31	0,25	0,05	0,05
AR-Open.1_3 (lab)	0,19	0,20	0,35	0,32	0,14	0,03	0,04
AR-Open.1_4 (lab)	0,11	0,23	0,45	0,31	0,15	0,03	0,03
AR-Open.1_5 (lab)	0,16	0,25	0,34	0,24	0,09	0,05	0,06
mean values	0,15	0,23	0,37	0,31	0,17	0,05	0,05

Tabella 5.15: Risultati acustici di laboratorio – AR-Open.1 lab



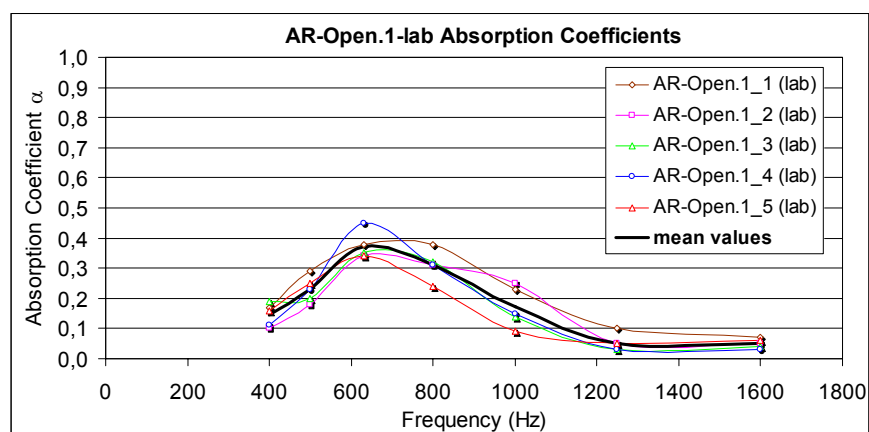


Figura 5.55: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Open.1 lab

Per i campioni prelevati in sito, inoltre, la parziale occlusione dei pori dovuto a polvere e detriti accumulatisi durante i primi mesi di esercizio precedenti al prelievo hanno ulteriormente inibito il potere fonoassorbente della miscela testata. È interessante notare come la miscela AR-Open.1 abbia dimostrato un picco di assorbimento a frequenze medio-basse. Questo risultato, in accordo con [B38], potrebbe essere attribuito alla elevata tortuosità, parametro caratteristico della forma dei vuoti interni alla miscela, dovuta alla ridotta dimensione massima degli aggregati ed all'elevato contenuto di legante che creano stretti canali di interconnessione fra i pori.

A tale proposito, le miscele AR-Open.2 e AR-Open.3, interamente realizzate in laboratorio, sono state preparate con due diversi livelli di compattazione (14% e 20% di vuoti residui). Nelle tabelle 5.16 e 5.17 e nelle figure 5.56 e 5.57 si riportano i risultati ottenuti per le miscele AR compattate al 14% di vuoti residui. I risultati ottenuti confermano quanto appena affermato nel caso della miscela AR-Open.1 prelevata in sito. Le due miscele testate, infatti, hanno mostrato dei valori modesti di fonoassorbimento a tutte le frequenze di prova selezionate.

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Open.2_1 (14%)	0,15	0,29	0,33	0,22	0,15	0,09	0,08
AR-Open.2_2 (14%)	0,15	0,27	0,31	0,24	0,16	0,04	0,03
AR-Open.2_3 (14%)	0,10	0,20	0,34	0,24	0,14	0,02	0,06
AR-Open.2_4 (14%)	0,12	0,26	0,33	0,25	0,15	0,04	0,06
AR-Open.2_5 (14%)	0,11	0,19	0,24	0,27	0,15	0,06	0,11
mean values	0,13	0,24	0,31	0,24	0,15	0,05	0,07

Tabella 5.16: Risultati acustici di laboratorio – AR-Open.2 14%



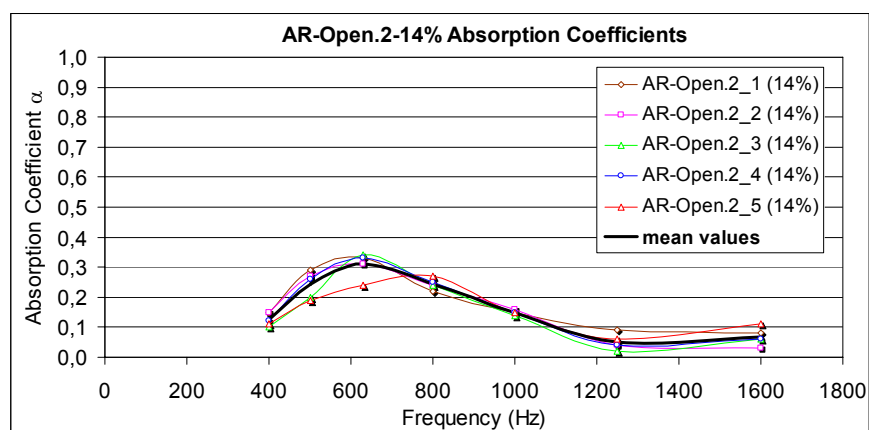


Figura 5.56: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Open.2 14%

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Open.3_1 (14%)	0,15	0,26	0,32	0,32	0,21	0,05	0,04
AR-Open.3_2 (14%)	0,07	0,15	0,25	0,37	0,25	0,04	0,11
AR-Open.3_3 (14%)	0,09	0,18	0,27	0,36	0,16	0,03	0,04
AR-Open.3_4 (14%)	0,13	0,24	0,30	0,29	0,19	0,06	0,03
AR-Open.3_5 (14%)	0,07	0,14	0,26	0,38	0,20	0,04	0,09
mean values	0,10	0,19	0,28	0,34	0,20	0,04	0,06

Tabella 5.17: Risultati acustici di laboratorio – AR-Open.3 14%

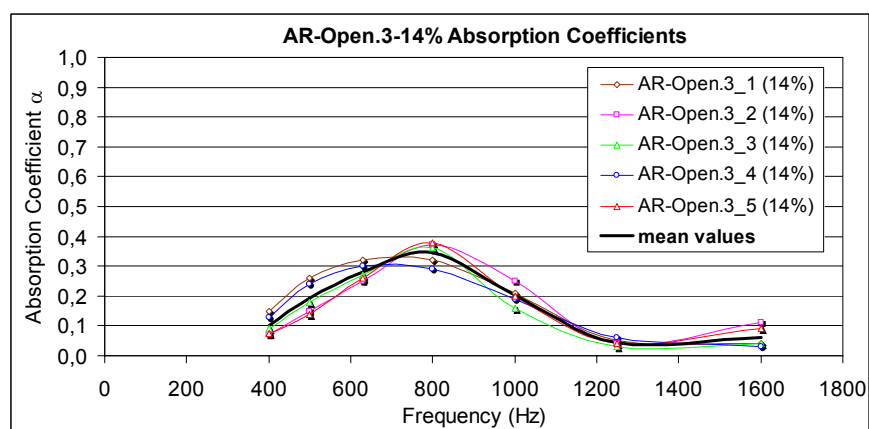


Figura 5.57: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Open.3 14%

Un aspetto estremamente interessante da rimarcare è che la miscela contenente argilla espansa (AR-Open.3) mostra un picco di assorbimento a frequenze maggiori rispetto a quello evidenziato dalla corrispondente miscela preparata solamente con aggregati di natura minerale.



Ciò è, con tutta probabilità, dovuto alla presenza dei granuli tondeggianti di argilla espansa i quali dovrebbero assicurare una minore tortuosità. Tuttavia, gli aspetti appena evidenziati riguardanti i picchi di assorbimento acustico potrebbero essere dovuti anche a specifiche proprietà caratteristiche del legante Asphalt Rubber e dei granuli di argilla espansa. La presenza di argilla espansa, inoltre, ha prodotto un lieve incremento del livello di assorbimento acustico.

Come già anticipato, al fine di indagare sull'influenza del tenore dei vuoti e sulla resistenza al flusso dell'aria per le caratteristiche di fonoassorbimento dei materiali, le miscele AR-Open.2 e AR-Open.3 sono state compattate anche con un indice dei vuoti residui pari al 20%, valore tipico di miscele drenanti tradizionali. I risultati ottenuti vengono mostrati nelle tabelle 5.18 e 5.19 e nelle figure 5.58 e 5.59.

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Open.2_1 (20%)	0,15	0,27	0,45	0,41	0,28	0,08	0,10
AR-Open.2_2 (20%)	0,13	0,25	0,46	0,42	0,31	0,08	0,08
AR-Open.2_3 (20%)	0,11	0,22	0,43	0,40	0,30	0,06	0,06
AR-Open.2_4 (20%)	0,12	0,21	0,48	0,42	0,28	0,10	0,02
AR-Open.2_5 (20%)	0,12	0,22	0,42	0,39	0,30	0,06	0,09
mean values	0,13	0,23	0,45	0,41	0,29	0,08	0,07

Tabella 5.18: Risultati acustici di laboratorio – AR-Open.2 20%

È possibile osservare come i livelli di assorbimento acustico crescano in entrambi i casi confermando come un tenore di vuoti residui pari al 15% possa essere considerato come una soglia sotto la quale le miscele non possano essere considerate come “porose” [B38].

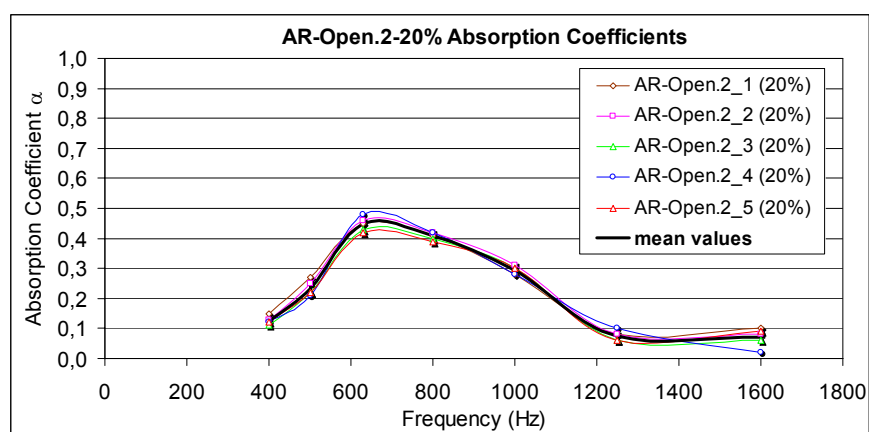


Figura 5.58: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Open.2 20%



SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Open.3_1 (20%)	0,11	0,18	0,29	0,47	0,30	0,05	0,08
AR-Open.3_2 (20%)	0,10	0,17	0,31	0,42	0,22	0,06	0,05
AR-Open.3_3 (20%)	0,09	0,16	0,24	0,49	0,36	0,05	0,02
AR-Open.3_4 (20%)	0,13	0,22	0,31	0,43	0,25	0,06	0,05
AR-Open.3_5 (20%)	0,09	0,19	0,37	0,47	0,25	0,06	0,03
mean values	0,10	0,18	0,30	0,46	0,28	0,06	0,05

Tabella 5.19: Risultati acustici di laboratorio – AR-Open.3 20%

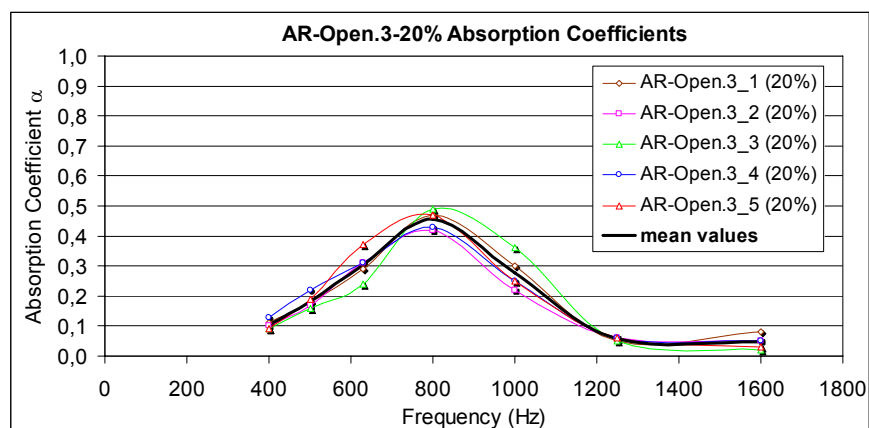


Figura 5.59: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Open.3 20%

Tuttavia, le miscele studiate non hanno raggiunto i livelli di fonoassorbimento tipici di miscele porose tradizionali [B22, B23] aventi proprietà volumetriche comparabili. Questo conferma che il contenuto di vuoti ha un'importanza relativa sulle capacità fonoassorbenti di miscele bituminose se non accoppiate a considerazioni sulla resistenza al flusso di aria e sulla tortuosità, proprietà, queste ultime, direttamente correlabili alla dimensione massima degli aggregati selezionati. Tale ragionamento sembra essere confermato anche dall'osservazione dei picchi di frequenza delle miscele AR che si attestano, rispettivamente, sui 630 Hz per la miscela senza argilla espansa e sugli 800 Hz per la miscela contenente argilla espansa (AR-Open.3) diversamente a quanto riscontrato per la miscela porosa di riferimento il cui picco di assorbimento acustico si era attestato chiaramente intorno ai 1000 Hz di frequenza [B22, B23]. Come già anticipato, anche in questo caso, la presenza di argilla espansa all'interno della miscela si è tradotta in un incremento molto lieve dei livelli di assorbimento e, soprattutto, in uno spostamento del picco di assorbimento acustico verso frequenze maggiori. I non elevati livelli di fonoassorbimento dimostrati dai materiali AR Open graded provano, indirettamente, come le ottime prestazioni



acustiche evidenziate dalla miscela AR-Open.1 in sito siano principalmente dovute alle proprietà acustiche in termini di riduzione della generazione di rumore di rotolamento ascrivibili al legante bituminoso tipo AR utilizzato. Risulta pur vero, però, che un picco di assorbimento alle frequenze medio-basse seppur non molto elevato, così come evidenziato dalle miscele AR Open graded, si dimostra estremamente efficace per la riduzione del rumore di rotolamento. È noto infatti come, a tali frequenze sonore, sia preponderante l'emissione di rumore di rotolamento dovuto alle vibrazioni radiali che si generano al contatto fra pneumatico e pavimentazione e che tali vibrazioni radiali rappresentino il 60-80% dell'emissione totale. A tale proposito, la miscela AR-Open.3 contenente argilla espansa sembra promettere prestazioni interessanti grazie alla presenza simultanea di aggregati artificiali leggeri e di legante bituminoso Asphalt Rubber.

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Gap.3_1	0,11	0,14	0,14	0,25	0,10	0,04	0,03
AR-Gap.3_2	0,13	0,18	0,12	0,29	0,02	0,07	0,09
AR-Gap.3_3	0,10	0,15	0,18	0,20	0,11	0,01	0,04
AR-Gap.3_4	0,08	0,12	0,18	0,29	0,08	0,05	0,04
AR-Gap.3_5	0,12	0,18	0,20	0,20	0,06	0,05	0,02
mean values	0,11	0,15	0,16	0,25	0,07	0,04	0,04

Tabella 5.20: Risultati acustici di laboratorio – AR-Gap.3

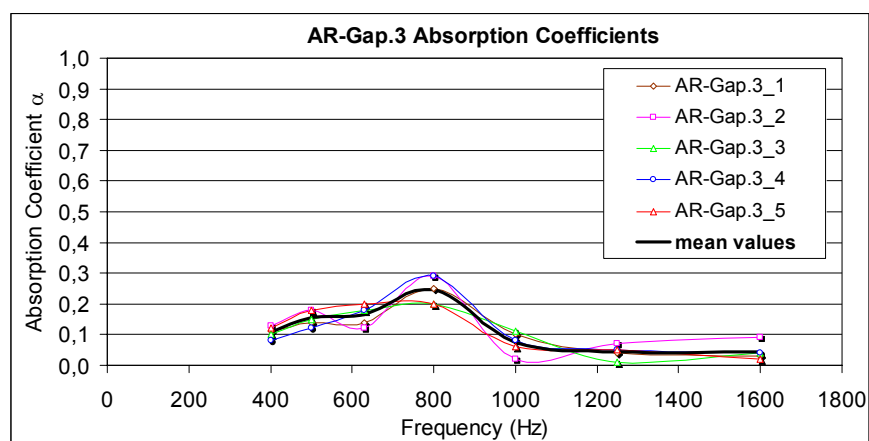


Figura 5.60: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Gap.3

Per quanto riguarda le miscele Gap graded, invece, le tabelle 5.20 e 5.21 e le figure 5.60 e 5.61 riassumono i risultati ottenuti sulle carote prelevate direttamente in sito riguardanti le stese sperimentali di Via



Erbosa a Firenze (AR-Gap.3) e di Via della Cooperazione ad Imola (AR-Gap.5). È possibile notare come le due miscele abbiano restituito livelli praticamente trascurabili di fonoassorbimento a tutte le frequenze di prova. Questo fatto dimostra, una volta ancora, che il legante bituminoso tipo Asphalt Rubber è il principale responsabile dei benefici acustici dimostrati da queste tipologie di materiali durante le misurazioni effettuate in sito e documentate in precedenza (§ 5.5.1).

SOUND ABSORPTION COEFFICIENT α							
Specimen	Frequency (Hz)						
	400	500	630	800	1000	1250	1600
AR-Gap.5_1	0,14	0,18	0,11	0,15	0,07	0,04	0,05
AR-Gap.5_2	0,13	0,18	0,14	0,15	0,08	0,08	0,03
AR-Gap.5_3	0,21	0,20	0,09	0,11	0,06	0,10	0,05
AR-Gap.5_4	0,17	0,19	0,12	0,11	0,07	0,03	0,02
AR-Gap.5_5	0,18	0,21	0,13	0,10	0,05	0,06	0,05
mean values	0,17	0,19	0,12	0,12	0,07	0,06	0,04

Tabella 5.21: Risultati acustici di laboratorio – AR-Gap.5

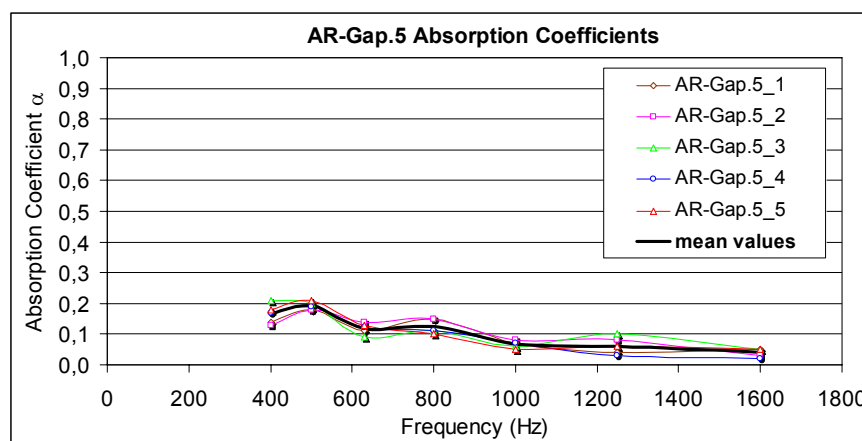


Figura 5.61: Coefficienti di fonoassorbimento AR-Gap.5



6. Conclusioni



6. Conclusioni

Il presente rapporto finale riassume i risultati raggiunti nel corso della ricerca sperimentale effettuata nell'ambito della convenzione di ricerca stipulata fra la società Asphalt Rubber Italia S.r.l. ed il CIRS (Centro Interuniversitario sperimentale di Ricerca Stradale ed aeroportuale).

In particolare, sono state studiate differenti miscele bituminose (Gap e Open graded) 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).

La ricerca ha riguardato principalmente la valutazione in laboratorio delle principali prestazioni meccaniche e di durabilità delle miscele AR con metodologie di prova tradizionali ed innovative nonché lo studio delle proprietà acustiche mediante opportune misurazioni in sito ed in laboratorio.

Sulla base dei risultati ottenuti nel corso dell'approfondita sperimentazione, presentati nei capitoli precedenti, è possibile trarre le seguenti principali conclusioni:

- il legante AR ha evidenziato buon comportamento reologico che dovrebbe garantire alle miscele di conglomerato bituminoso con esso preparate prestazioni efficaci sia alle basse che alle alte temperature di esercizio. In particolare, l'elevata viscosità propria di tale materiale lo rende particolarmente resistente nei confronti delle deformazioni permanenti ma richiede anche elevate temperature di miscelazione e posa in opera;
- 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 comportamento 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. Al contempo si presuppone, tuttavia, un buon dimensionamento dei materiali applicati negli strati sottostanti ai quali viene trasmessa un'aliquota importante dei carichi veicolari.

- le prove di fatica, anch'esse effettuate in configurazione di trazione indiretta, confermano sperimentalmente le ottime prestazioni nel caso in cui le miscele AR, sia Gap che Open graded, lavorino a deformazione imposta. Diversamente, se si ipotizza che i materiali lavorino a tensione imposta (ipotesi comunque non verosimile nel caso di miscele Open graded dotate di scarsa portanza), la maggiore elasticità di cui sono dotate tali miscele AR non riesce a manifestarsi in maniera sostanziale nella resistenza a fatica dei materiali;
- 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, sia Gap che Open graded, 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;
- la caratterizzazione acustica eseguita in sito mediante misurazioni del livello sonoro a bordo strada ha evidenziato come sia possibile ridurre il rumore di rotolamento prodotto dal flusso veicolare di 3 dB(A) mediante l'adozione di un tappeto di usura realizzato con un conglomerato bituminoso Asphalt Rubber Gap Graded. Occorre



precisare che una tale riduzione corrisponde ad un dimezzamento del flusso veicolare o, in alternativa, ad un raddoppiamento della distanza fra sorgente sonora e ricettore. Tale riduzione risulta ulteriormente incrementata di 2 dB(A) nel caso di pavimentazione realizzata con una miscela AR Open graded (via Erbosa in Firenze) grazie alla porosità della miscela stessa, capace di garantire anche una certa fonoassorbenza;

- le determinazioni del coefficiente di fonoassorbimento, infine, hanno dimostrato come entrambe le tipologie di materiali analizzati (Gap ed Open graded) siano caratterizzati da proprietà fonoassorbenti limitate. Tale risultato dimostra come le ottime prestazioni acustiche misurate in situ siano da ascrivere principalmente alla limitazione della generazione del rumore di rotolamento, grazie alla riduzione dei fenomeni vibratorii dovuti all'impatto fra pneumatico e pavimentazione. In ogni caso, per quanto riguarda il potere fonoassorbente delle miscele a granulometria Open graded, è stato riscontrato un picco di assorbimento localizzato intorno alle frequenze medio-basse (630 Hz) dove è preponderante l'aliquota di generazione del rumore di rotolamento dovuta alle vibrazioni radiali alle quali compete circa il 60÷80% del rumore di rotolamento complessivo.

