

SULLE STRADE ANAS IN ARRIVO LE PAVIMENTAZIONI ANTIRUMORE

GRAZIE ALL'IMPIEGO DI TECNOLOGIE WARM E MATERIALI ECO-COMPATIBILI COME IL POLVERINO DI GOMMA RICICLATA, È POSSIBILE REALIZZARE STRATI DI USURA A BASSA EMISSIONE SONORA CON CARATTERISTICHE MECCANICHE OTTIMALI, RIDUCENDO INOLTRE GLI IMPATTI AMBIENTALI DURANTE LE FASI DI PRODUZIONE E STESA DELLE MISCELE

A inizio Luglio 2019 sono stati completati i lavori di rifacimento di un tratto di pavimentazione della S.S. 73 "Senese-Aretina" nei pressi di Sansepolcro (AR), in attuazione di un piano sperimentale di risanamento acustico coordinato da ANAS. L'aspetto sperimentale dei lavori, che hanno previsto, oltre all'intervento di mitigazione del rumore, anche il risanamento profondo delle zone più ammalorate della pavimentazione, è consistito nella realizzazione di diversi tipi di tappeti di usura a bassa emissione sonora e ad elevata sostenibilità ambientale.

La sostenibilità ambientale è da ricondurre all'uso di tecnologie e materiali eco-compatibili: le miscele per i suddetti tappeti,

infatti, sono state prodotte e poste in opera a temperature più basse rispetto a quelle dei tradizionali conglomerati a caldo, utilizzando le tecnologie cosiddette "a tiepido" o "warm", e sono composte, oltre che da aggregati e bitumi di primo impiego, da polverino di gomma proveniente da Pneumatici Fuori Uso (PFU). Lo studio delle miscele è stato eseguito dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa che, grazie al know-how acquisito dalle sperimentazioni condotte nei progetti LEOPOLDO (finanziato nel 2005 alla Regione Toscana) e NEREiDE (in corso, finanziato dal programma LIFE della Comunità Europea), ha sviluppato le cosiddette "pavimentazioni a basso impatto acustico" con l'intento di dare un contributo

alla risoluzione di quelle problematiche ambientali connesse ai fenomeni di disturbo indotti dal rumore veicolare che sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche superficiali della pavimentazione.

Alla sperimentazione hanno inoltre contribuito Ecopneus, che in collaborazione con le Imprese Asphalt Rubber Italia e Valli Zabban ha dato assistenza tecnica nella definizione e fornitura dei materiali specifici, e l'Impresa Lucos che ha materialmente eseguito i lavori per conto di ANAS.

Il progetto ha previsto la costruzione di quattro tratti sperimentali contigui, uno per ogni miscela, ciascuno avente una lunghezza di circa 400 m.

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche volumetriche, meccaniche e le performance acustiche e funzionali (aderenza e macrotestitura) delle miscele poste in opera.

Si tratta di miscele di tipo dense graded, di cui una tradizionale a caldo (US_0), assunta come riferimento,



1. Il tratto della Statale "Senese-Aretina" oggetto dell'intervento

una a tessitura ottimizzata prodotta a caldo (US_1) e due confezionate a tiepido e additate con polverino di gomma da PFU introdotto secondo processo Wet e processo Dry (US_2 e US_3), denominate come di seguito:

- US_0 Usura tipo ANAS Fuso B (Riferimento);
- US_1 Usura a tessitura ottimizzata;
- US_2 Usura Dense WET;
- US_3 Usura Dense DRY.

LE CARATTERISTICHE COMPOSITIVE DELLE MISCELE

Lo studio delle miscele è stato attuato in due fasi: una prima fase di mix design e una successiva fase di caratterizzazione della miscela posta in opera.

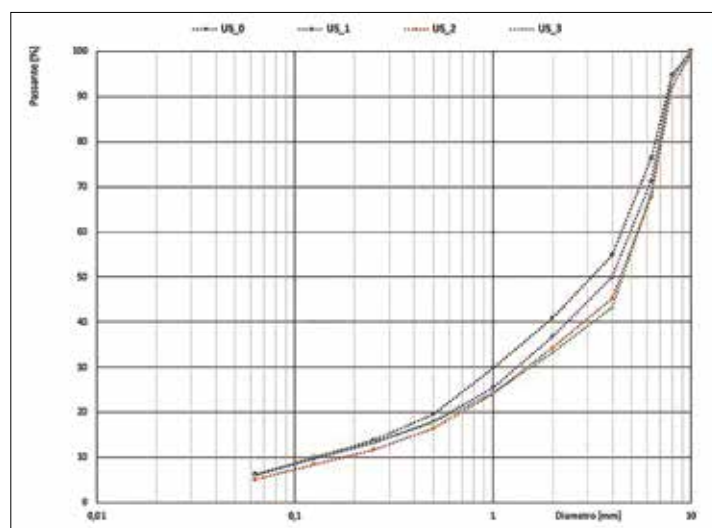
La scelta della tecnologia e dei materiali è stata condotta con la finalità di realizzare delle pavimentazioni a prestazioni acustiche ottimizzate e ad elevata aderenza, in grado di garantire la sicurezza della circolazione e allo stesso tempo i requisiti di durabilità della sovrastruttura. Tale obiettivo è stato perseguito cercando di ottimizzare la tessitura superficiale della pavimentazione mediante il ricorso a una specifica selezione e opportuno dosaggio degli aggregati lapidei e attraverso l'impiego di polverino di gomma da PFU.

Per ciascun tappeto, nella fase del mix design è stata definita la percentuale ottima di legante mediante metodo volumetrico. La miscela ottima è stata quindi caratterizzata dal punto di vista compositivo e meccanico e, successivamente, è stata riprodotta in impianto e posta in opera.

In Figura 2 sono riportate le curve granulometriche delle miscele stese e in Figura 3 le caratteristiche volumetriche di ciascuna di esse determinate su provini addensati con pressa giratoria.

LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLE MISCELE

La caratterizzazione meccanica delle miscele è stata eseguita mediante determinazione della resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23) e della sensibilità all'acqua (UNI EN 12697-12).



2. Le curve granulometriche delle miscele

PERCENTUALE DI BITUME ¹	NUMERO DI GIRI	V _A ²	V _B ³	V _G ⁴	G _{MB} ⁵	G _{MM} ⁶	VMA ⁷	VMA ⁸
		(%)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(%)
US-0								
5,6%	N _{initial} =10	15,1	10,7	74,2	2071	2441	25,8	41,3
	N _{design} =100	6,9	11,7	81,4	2273	2441	18,6	63,0
	N _{maximum} =180	5,1	11,9	83,0	2317	2441	17,0	70,1
US-1								
6,1%	N _{initial} =10	15,0	11,5	73,5	2038	2398	26,5	43,4
	N _{design} =100	7,4	12,5	80,0	2220	2398	20,0	62,8
	N _{maximum} =180	5,8	12,8	81,4	2258	2398	18,6	68,7
US-2(*)								
6,8%	N _{initial} =10	14,2	12,9	72,8	2073	2417	27,2	47,6
	N _{design} =100	6,5	14,1	79,4	2261	2417	20,6	68,6
	N _{maximum} =180	4,8	14,4	80,8	2301	2417	19,2	75,0
US-3(**)								
6,4%	N _{initial} =10	13,5	12,3	74,2	2089	2416	25,8	47,6
	N _{design} =100	5,7	13,4	80,9	2279	2416	19,1	70,3
	N _{maximum} =180	3,9	13,7	82,4	2321	2416	17,6	77,6

3. Le caratteristiche volumetriche delle miscele

- 1) Percentuale di bitume rispetto al peso degli aggregati
- 2) Volume dei vuoti
- 3) Volume di bitume
- 4) Volume degli aggregati
- 5) Massa volumica apparente del provino addensato

6) Massa volumica massima del provino

- 7) Volume dei vuoti della miscela addensata priva di bitume (Voids in Mineral Aggregate)
 - 8) Volume dei vuoti riempiti di bitume (Voids Filled with Asphalt)
- (*) Percentuale di polverino: 20% sul peso di bitume
(**) Percentuale di polverino: 1% rispetto al peso degli aggregati

TIPOLOGIA DI MISCELA	ITS _{DRY} [N/mm ²]	CTI _{DRY} [N/mm ²]	ITS _{WET} [N/mm ²]	CTI _{WET} [N/mm ²]	ITSR [%]
US_0	1,55	128,5	1,54	110,6	99
US_1	0,85	56,3	0,85	53,3	100
US_2	1,00	70,3	1,00	63,4	100
US_3	1,18	131,2	1,18	117,2	100

4. La resistenza a trazione indiretta e la sensibilità all'acqua delle miscele

Le prove sono state eseguite su provini addensati con pressa giratoria ad un numero di giri pari a N_{design} . Gli addensamenti sono stati eseguiti contestualmente alle operazioni di stesa avvalendosi di un laboratorio mobile, al fine di evitare l'invecchiamento delle miscele per successivi riscaldamenti.

La resistenza a trazione indiretta e la sensibilità all'acqua sono state determinate alla temperatura di 25 °C. In Figura 4 sono riportati i risultati delle determinazioni espressi in termini di resistenza a trazione indiretta (ITS), di rapporto di deformabilità (CTI) e di sensibilità all'acqua mediante il coefficiente ITSr, calcolato come rapporto tra la resistenza a trazione indiretta di campioni condizionati in acqua (ITS_{wet}) e quella di campioni non condizionati (ITS_{dry}). I risultati confermano la rispondenza ai limiti di riferimento previsti nei comuni CSA per la categoria di strada oggetto dell'intervento.

LE STESE SPERIMENTALI

Le usure sperimentali sono state poste in opera, l'una di seguito all'altra, su un tratto della S.S. 73 in località "San Leo" per una lunghezza complessiva di circa 1.600 m e per uno spessore di 4 cm.

Su entrambe le corsie di ciascun tratto è stato eseguito il rilievo post-operam degli indicatori acustici e funzionali. È previsto il monitoraggio di tali indicatori nel tempo al fine di stabilirne l'evoluzione per effetto del passaggio del traffico.

TIPOLOGIA DI MISCELA	DIR. AREZZO		DIR. SANSEPOLCRO		VALORI MEDI	
	MPD	ETD	MPD	ETD	MPD	ETD
US_0	0,56 mm	0,65 mm	0,54 mm	0,63 mm	0,55 mm	0,64 mm
US_1	0,65 mm	0,72 mm	0,60 mm	0,68 mm	0,63 mm	0,70 mm
US_2	0,64 mm	0,71 mm	0,67 mm	0,74 mm	0,65 mm	0,72 mm
US_3	0,65 mm	0,72 mm	0,77 mm	0,82 mm	0,71 mm	0,77 mm

5. I valori di macrotesitura

TIPOLOGIA DI MISCELA	DIR. AREZZO			DIR. SANSEPOLCRO			VALORI MEDI		
	F60	BPN _{EQ}	CAT _{EQ_CNR}	F60	BPN _{EQ}	CAT _{EQ_CNR}	F60	BPN _{EQ}	CAT _{EQ_CNR}
US_0	0,30	74	0,58	0,29	73	0,57	0,30	73	0,58
US_1	0,35	80	0,63	0,34	80	0,63	0,35	80	0,63
US_2	0,34	79	0,62	0,36	81	0,63	0,35	80	0,62
US_3	0,35	80	0,62	0,38	80	0,63	0,37	80	0,63

6. I valori di aderenza

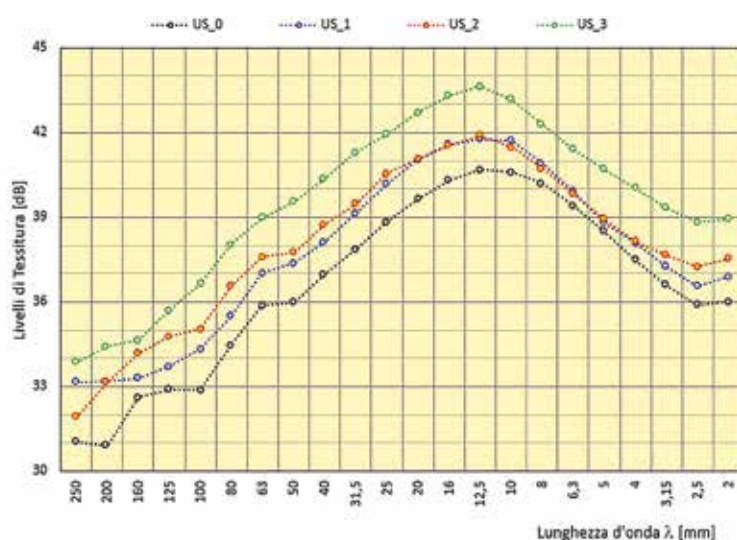
Il rilievo delle caratteristiche superficiali

La valutazione delle caratteristiche superficiali è stata eseguita in termini di macrotesitura e aderenza.

I profili per il calcolo della macrotesitura sono stati acquisiti mediante un profilometro laser con intervallo di campionamento pari ad 1 mm e dai profili acquisiti è stata determinata la macrotesitura in termini di MPD ed ETD. Le misure di aderenza, condotte in

continuo con skiddometer BV11, sono state espresse in termini di BPN_{eq}, CAT_{eq} (secondo CNR B.U. n° 147/92) ed F60 (secondo il modello dell'IFI).

Nelle Figure 5 e 6 sono riportati gli indicatori di macrotesitura e aderenza per ciascuna direzione di marcia e i relativi valori medi.



7. Gli spettri di tessitura

Per tutte le miscele gli indicatori di macrotesitura e aderenza rispettano le soglie di riferimento previste dai comuni CSA. In particolare, si denotano valori di macrotesitura maggiori per le tre stese sperimentali rispetto al riferimento, con valori massimi assunti dalla US_3.

Anche riguardo ai livelli di aderenza, si riscontra un considerevole incremento dei valori misurati nelle miscele sperimentali rispetto al riferimento, riconducibile alla natura degli aggregati utilizzati e alla presenza del polverino da PFU.

Dall'analisi dei profili rilevati è stato possibile determinare lo spettro di tessitura in bande di terze d'ottava, nel range delle lunghezze d'onda λ comprese tra 2 e 250 mm (Figura 7).

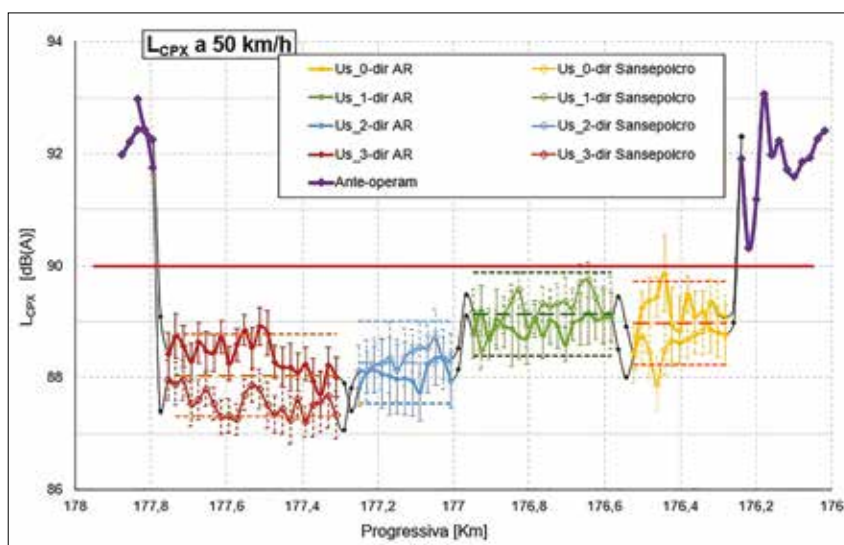
Per tutte le miscele il livello massimo di tessitura si verifica per la lunghezza d'onda di 12,5 mm, prossima al diametro massimo della curva granulometrica. Ciò che differisce, invece, sono i valori assunti dai livelli di tessitura, i quali confermano quanto riscontrato in termini di MPD e ETD: le miscele sperimentali presentano livelli di tessitura maggiori rispetto a quella di riferimento, con la miscela US_3 che presenta i valori maggiori alle diverse lunghezze d'onda.

I monitoraggi acustici

Le pavimentazioni sono state caratterizzate acusticamente dal laboratorio IPOOL con il metodo Close Proximity CPX [1], come previsto dal Report "Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance" [2] (di seguito GPP, edito dalla Commissione Europea).

Il metodo CPX ha lo scopo di valutare l'emissione acustica dovuta all'interazione pneumatico/pavimentazione, acquisendo il segnale di pressione acustica mediante l'uso di due microfoni montati in prossimità di uno pneumatico di riferimento [3].

Dopo aver eseguito le misure a varie velocità e aver corretto i dati per la temperatura dell'aria e per la durezza dello pneumatico, un processo di best-fitting stima il livello LCPX alla velocità di riferimento di 50 km/ora su ogni sezione. Il risultato della misura, costituito dal valor medio spaziale LCPX con relativa incertezza, viene posto a confronto con i limiti superiori fissati dal GPP per la verifica della conformità della produzione [4] o della durata delle prestazioni acustiche, in base all'età [5]. Gli andamenti spaziali dei livelli CPX sono mostrati in Figura 8, mentre il confronto dei risultati con i limiti del GPP è riportato in Figura 9.



8. L'andamento spaziale dei livelli CPX lungo entrambe le corsie di marcia

I risultati mostrano sia come le quattro pavimentazioni rispettino il limite per la verifica della conformità della produzione sia come le due pavimentazioni contenenti PFU offrano un maggior beneficio acustico rispetto alle altre due. Dal confronto con i tratti di pavimentazione ante-operam adiacenti al tratto sperimentale, è possibile apprezzare l'elevato beneficio acustico offerto dal rifacimento del manto stradale con pavimentazioni a basso impatto acustico.

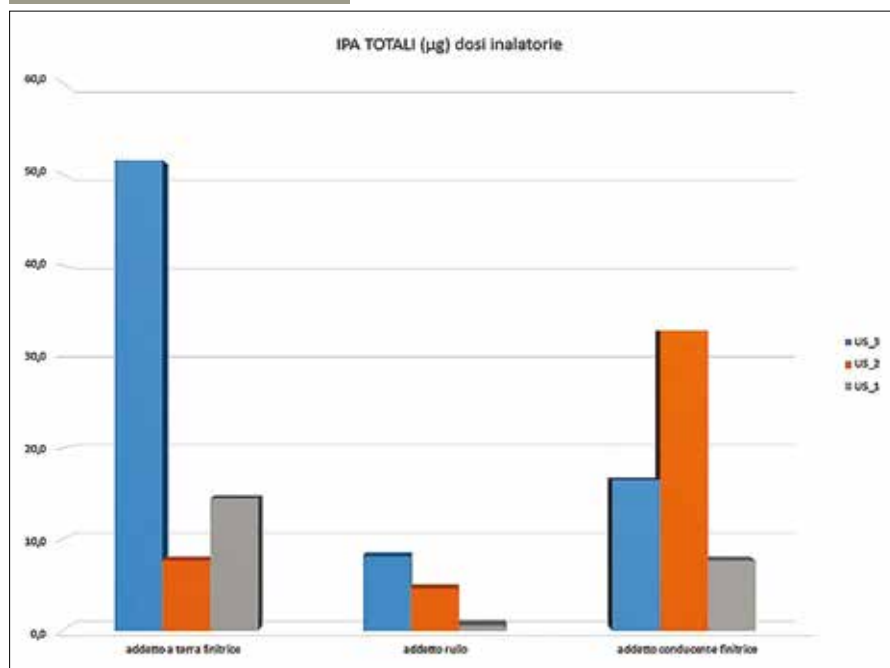
I monitoraggi ambientali

Durante la posa in opera delle miscele sperimentali sono state eseguite, a cura della Azienda USL Toscana Sud-Est, alcune misure ambientali e biologiche volte a determinare i livelli di esposizione inalatoria e cutanea degli addetti alla pavimentazione stradale. Sono stati eseguiti campionamenti personali sugli operatori presenti nel cantiere (rullista, autista e addetto a piedi alla vibrofinitrice) e in postazione fissa, sui macchinari utilizzati e in prossimità del tratto stradale. L'indagine ha evidenziato nel complesso livelli di esposizione confrontabili con i dati ottenuti in precedenti indagini condotte durante la posa in opera di conglomerati tradizionali.

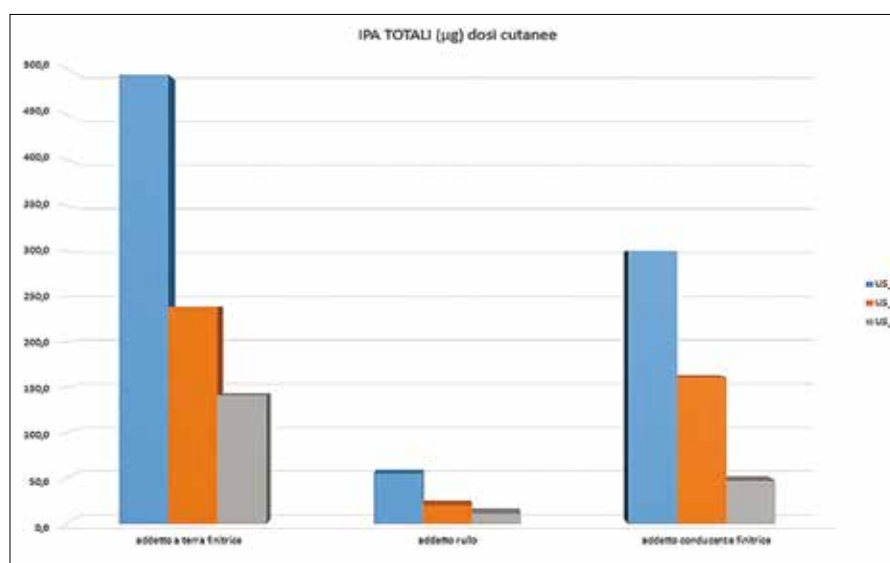
L'esposizione ai metalli è risultata trascurabile; per le polveri inalabili e respirabili ed i composti organici volatili sono stati misurati valori ampiamente inferiori ai valori limite di l'esposizione professionale. Per gli IPA cancerogeni, a fronte di livelli di esposizione inalatoria generalmente bassi (concentrazione di benzo(a)pirene nei campionamenti personali di aria inferiori o uguali a 1 ng/m^3 nella maggior parte dei casi), si osservano valori più elevati nei campioni raccolti per la valutazione dell'esposizione cutanea, soprattutto per gli addetti alla finitrice e gli addetti a piedi, rispetto agli addetti al rullo. Le Figure 10 e 11 mostrano rispettivamente le dosi inalatorie e cutanee determinate per

TIPOLOGIA DI MISCELA	L _{CPX} PER CORSIA		σ L _{CPX}	L _{CPX}	LIMITE GPP
	Dir.	[dB(A)]			
Us_0	Dir. Arezzo	89,2 ± 1,0	0,4	89,0 ± 0,7	90
	Dir. Sansepolcro	88,8 ± 1,0	0,4		
Us_1	Dir. Arezzo	89,0 ± 1,0	0,2	89,1 ± 0,8	90
	Dir. Sansepolcro	89,3 ± 1,0	0,3		
Us_2	Dir. Arezzo	88,1 ± 1,0	0,2	88,2 ± 0,7	90
	Dir. Sansepolcro	88,4 ± 1,0	0,2		
Us_3	Dir. Arezzo	88,5 ± 1,0	0,3	88,0 ± 0,7	90
	Dir. Sansepolcro	87,6 ± 1,0	0,2		

9. I risultati ottenuti per le pavimentazioni indagate e confronto con i limiti del GPP



10. Le dosi respiratorie (microgrammi) determinate per gli IPA totali negli addetti alla pavimentazione stradale



11. Le dosi cutanee (microgrammi) determinate per gli IPA totali negli addetti alla pavimentazione stradale

gli IPA totali (19 composti determinati) nelle varie mansioni monitorate in tre diverse giornate di attività.

CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati della sperimentazione condotta e in considerazione delle crescenti esigenze di sostenibilità ambientale, l'impiego di tecnologie e materiali eco-compatibili per la realizzazione di strati di usura a bassa emissione sonora rappresenta oggi la soluzione tecnica che centra meglio gli obiettivi di riduzione dell'impatto ambientale e delle emissioni gassose in atmosfera, consentendo di ridurre le temperature necessarie al confezionamento e alla posa in opera dei conglomerati bituminosi, pur utilizzando le medesime attrezzature, e assicurando prestazioni in esercizio prossime a quelle delle tradizionali miscele "hot". D'altra parte, il contenimento delle temperature e dell'emissione di fumi durante le operazioni di stesa, soprattutto in contesti urbani, richiede l'impiego sempre crescente delle tecnologie "warm" come valida alternativa alle tecniche tradizionali "hot", che risultano di maggiore impatto sull'ambiente. ■

⁽¹⁾ Ingegnere del Centro di Ricerca di Cesano di ANAS SpA

⁽²⁾ Professore Associato del Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa

⁽³⁾ Professore Ordinario del Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa

⁽⁴⁾ Ingegnere del Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale dell'Università di Pisa

⁽⁵⁾ Responsabile della Divisione Acustica di Ipool Srl

Bibliografia

- [1]. International Organization for Standardization - ISO 11819-2: Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - Part-2: Close Proximity (CPX) method, 2017.
- [2]. E. Garbarino, R. Rodríguez Quintero, S. Donatello, M. Gama Caldas, O. Wolf - "Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance", Technical report and criteria proposal, EUR 28013 EN, doi:10.2791/683567, June 2016.
- [3]. International Organization for Standardization - ISO/TS 11819-3: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 3: Reference tyres, 2017.
- [4]. L. Teti, G. de Leon, A. Del Pizzo, A. Moro, F. Bianco, L. Fredianelli, G. Licitra - "Modelling the acoustic performance of newly laid low-noise pavements", in pubblicazione su "Construction and Building Materials", doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118509.
- [5]. G. Licitra, A. Moro, L. Teti, A. del Pizzo, F. Bianco - "Modelling of acoustic ageing of rubberized pavements", Applied Acoustics 146 (2019) 237-245; doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.009.