

TECNOLOGIE MANUTENTIVE ECOSOSTENIBILI

Un particolare di microusura

LO STUDIO DI LABORATORIO DI UNA MISCELA DI MICRO-USURA REALIZZATA INTERAMENTE CON AGGREGATI RICICLATI

Nell'ultimo ventennio, il crescente interesse verso tematiche quali la sostenibilità ambientale e l'utilizzo consapevole di risorse vergini ha spinto progressivamente le Amministrazioni e gli Enti gestori del patrimonio infrastrutturale viario verso una politica di progettazione e manutenzione delle pavimentazioni in grado di limitarne l'impatto ambientale durante il loro intero ciclo di vita. In ambito stradale, la sostenibilità è perseguita soprattutto in soluzioni progettuali che si basano sull'utilizzo di materiali di riciclo per la realizzazione di conglomerati innovativi, con prestazioni elevate, in grado di prolungare la vita utile dell'opera. Ciò porta a un uso ottimizzato delle risorse presenti, alla salvaguardia delle materie prime, e ad una complessiva riduzione degli impatti generati dal ciclo produttivo e di esercizio di una sovrastruttura stradale.

L'ecosostenibilità non riguarda solamente le nuove costruzioni, ma anche l'intero ciclo manutentivo delle pavimentazioni esistenti. Questo si traduce nell'adozione di tecnologie innovative e circolari in grado di massimizzare l'utilizzo di materiali di riciclo senza determinare il decadimento delle performance finali del conglomerato bituminoso.

Tra le tecnologie esistenti, lo strato di micro-usura si inserisce nel quadro delle soluzioni manutentive in grado di ripristinare le caratteristiche funzionali dello strato superficiale, quali aderenza, regolarità e impermeabilità. La peculiarità della tecnologia è data dalla possibilità di realizzare spessori estremamente ridotti, generalmente dai 20 ai 30 mm complessivi, in virtù dell'utilizzo di aggregati con elevate caratteristiche di



1. Un esempio di fase di stesa

CARATTERISTICHE		UNITÀ DI MISURA	PRESTAZIONE (MIN - MAX)	VALORE
Consistenza alle temperature intermedie di servizio	Penetrazione a 25 °C (EN 1426)	dmm	25-55	45
Consistenza alle temperature elevate di servizio	Punto di rammollimento P.A. (EN 1427)	°C	80-100	88
Durabilità Resistenza all'invecchiamento RFTOT EN12607-1	Variazione di massa	%		0,1
	Penetrazione a 25 °C residua	%	min. 60	65
	Incremento del punto di rammollimento P.A.	°C	max 10	1,8
	MSCR A 60 °C (EN 16659)	kPa-1	1,0-2,0	0,025
	Jnr E % Recovery a 3.2 Kpa (EN 16659)	%	60-90	62
Invecchiamenti a lungo termine PAV UNI EN 14769	BBR resistenza alle basse temperature (EN 14771)	°C	min. -18	-22
Stabilità allo stoccaggio EN 13399	Δ Punto di rammollimento (EN 1427)	°C	max 5	0,4
	Δ Penetrazione a 25 °C (EN 1426)	dmm	max 9	2

2. Le proprietà reologiche del legante bituminoso

micro-tessitura. Considerando l'importanza delle caratteristiche fisico-meccaniche degli aggregati utilizzati, tale materiale è tradizionalmente realizzato con specifici aggregati vergini. In un'ottica di sostenibilità ed economia circolare, il presente studio - sviluppato presso il laboratorio di Sintexal SpA e in collaborazione con il DICAM (Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali) dell'Università di Bologna - si è focalizzato sulla progettazione e caratterizzazione di laboratorio di un conglomerato bituminoso a caldo per strati di micro-usura a ridotto impatto ambientale, composto interamente da aggregati di riciclo.

I MATERIALI

La miscela sviluppata in laboratorio è caratterizzata dall'utilizzo di bitume modificato hard (Lowval MTC di Valli Zabban) specifico per conglomerati bituminosi di micro-usura. Le sue caratteristiche tecniche sono riportate in Figura 2.

Tale legante è ottimizzato dal punto di vista delle proprietà reologiche al fine di conferire al conglomerato considerevoli proprietà meccaniche in relazione al ridotto spessore che caratterizza gli strati di micro-usura.

Gli aggregati costituenti lo scheletro litico della miscela sono interamente riciclati (Figure 3A, 3B e 3C) e risultano costituiti da un mix di granulato di conglomerato bituminoso, granella da scorie d'acciaieria e sabbia riciclata, ottimizzati nei dosaggi al fine di ottenere una curva granulometrica ricadente in fusi specifici per strati di micro-usura. Dal punto di vista delle componenti, il granulato di conglomerato bituminoso, avente granulometria 0/8 mm, è stato opportunamente caratterizzato sia secondo le indicazioni della Norma UNI EN 13108-8, sia secondo il protocollo di prove sperimentali definito dal Task Group 6 "Cold Recycling of Reclaimed Asphalt Pavements" del Technical Committee 237-SIB del RILEM (International Union of Laboratories

and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) per la caratterizzazione di laboratorio di fresco e granulato di conglomerato bituminoso.

La granella di scorie d'acciaieria, utilizzata in pezzatura 4/8 mm, è un aggregato artificiale ottenuto dal trattamento e dalla trasformazione di scorie d'acciaieria derivanti da processi industriali. Il materiale ottenuto da tali processi è caratterizzato da proprietà simili e in alcuni casi migliori di aggregati vergini ottenuti dalla frantumazione e lavorazione di rocce di origine effusiva, ma con un peso specifico e una resistenza alla frammentazione, all'usura e alla levigazione maggiori. Ne conseguono elevate proprietà micro-tessiture che rendono tale aggregato artificiale ampiamente utilizzato per circuiti automobilistici, piste aeroportuali e autostradali e in pavimentazioni soggette a significative azioni e sforzi tangenziali.

La sabbia di riciclo, utilizzata con granulometria 0/5 mm, deriva dal trattamento specifico di rifiuti selezionati di matrice inorganica, costituiti in prevalenza da ceneri pesanti provenienti dai processi di termovalorizzazione di rifiuti solidi urbani.

Inoltre, al fine di stabilizzare il mastice bituminoso, è stata inserita in miscela della fibra di cellulosa in ragione dello 0,3% sul peso degli aggregati.



3A, 3B e 3C. Gli aggregati utilizzati: granella di scoria da acciaieria (3A), sabbia da RSU (3B), granulato di conglomerato bituminoso (3C)

LE METODOLOGIE DI PROVA

Il programma sperimentale ha previsto una serie di prove di laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica della miscela di conglomerato bituminosa per strati di micro-usura e la validazione del mix design progettato.

La fase preliminare di analisi è stata incentrata sull'individuazione del dosaggio ottimale di bitume che, sulla base dei risultati di test volumetrici e meccanici su differenti miscele prodotte con dosaggi crescenti di legante, è stato definito pari al 6,2% sul peso degli aggregati.

La valutazione delle caratteristiche fisiche e di addensabilità della miscela è stata basata sulla determinazione delle curve di addensamento ottenute tramite pressa giratoria (UNI EN 12697-31). Il comportamento meccanico del conglomerato è invece stato studiato mediante test di resistenza a trazione indiretta (UNI EN 12697-23) e di modulo di rigidezza a tre temperature di riferimento (UNI EN 12697-26). La durabilità della miscela è stata valutata in relazione alla sensibilità all'acqua (UNI EN 12697-12) e alla resistenza all'ormaiamento (AASHTO T 324-11).

L'ANALISI DEI RISULTATI

I risultati medi delle prove di laboratorio condotte sono riportati in Figura 4.

Dal punto di vista delle caratteristiche volumetriche, i vuoti residui calcolati per i provini compattati a 180 giri dalla pressa giratoria risultano essere in linea con quanto solitamente ottenuto per questa tipologia di conglomerati bituminosi e indicato nei più diffusi Capitolati Speciali d'Appalto.

La miscela è quindi caratterizzata da una struttura "chiusa" che, unitamente alla presenza di bitume modificato Hard, conferisce adeguate proprietà meccaniche al conglomerato. Il livello di coesione raggiunto dal mastice bituminoso, evidenziato dal valore medio di resistenza a trazione indiretta a 25 °C, è risultato pari a 1,58 MPa. La bontà del mix design è ulteriormente avvalorata dai risultati del modulo di rigidezza calcolato in modalità di trazione indiretta (ITSM, Indirect Tensile Stiffness Modulus) a 10, 20 e 40 °C. Nello specifico, risulta significativo il valore di rigidezza registrato a 40 °C, considerando il potenziale decadimento delle caratteristiche meccaniche che potrebbe innescarsi alle alte temperature per un conglomerato dallo spessore ridotto come la micro-usura.

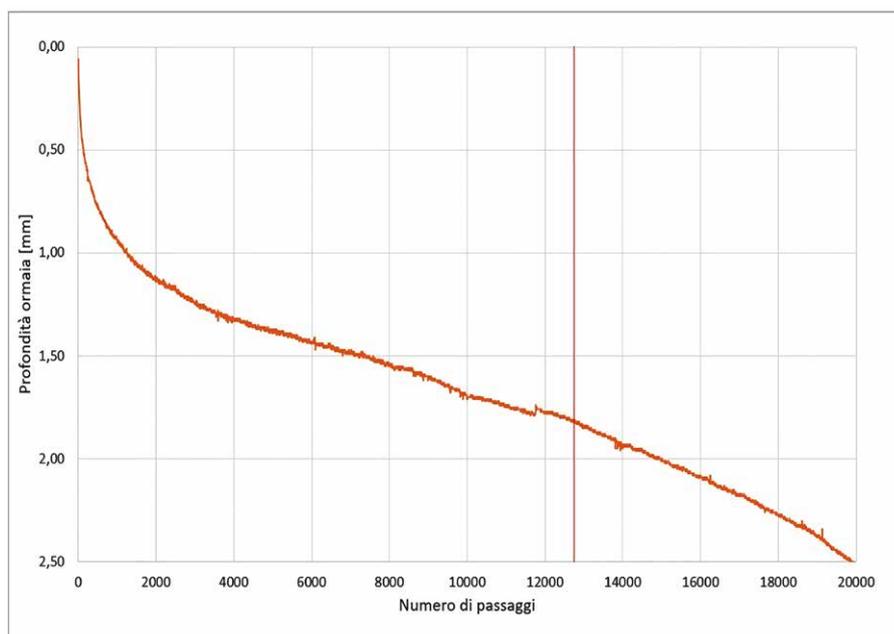
In termini di durabilità, non si osserva una sostanziale riduzione delle caratteristiche di coesione in seguito ad imbibizione dei provini in acqua a 40 °C per 72 ore (ITSR pari al 98 %). La sensibilità all'acqua della miscela sperimentale è quindi lontana da valori critici.

La prova di ormaiamento è stata effettuata mediante l'utilizzo della Hamburg Wheel Tracker su provini immersi in acqua a 50 °C e sottoposti al passaggio ciclico di una

PROVA	STANDARD	UNITÀ	VALORE
Vuoti Residui	UNI EN 12697-8, 31	%	@ 10 giri: 11,7
			@ 120 giri: 4,5
			@ 180 giri: 3,6
Resistenza a trazione indiretta ITS a 25 °C	UNI EN 12697-23	MPa	1,58
Modulo di rigidezza ITSM	UNI EN 12697-26	MPa	@ 10 °C: 15185
			@ 20 °C: 9276
			@ 40 °C: 2015
Sensibilità all'acqua ITSR	UNI EN 12697-12	%	98
Prova di Ormaiamento Hamburg Wheel Track	AASHTO T 324-11	n° cicli SIP	12.438

4. I risultati medi dei test fisico-meccanici

ruota metallica. La Normativa prevede l'interruzione del test al raggiungimento di 20.000 passaggi o di una deformazione predefinita. Sebbene tale test non sia solitamente richiesto per conglomerati bituminosi di micro-usura, a livello sperimentale può risultare efficace nell'individuazione di potenziali criticità del materiale in termini di stripping, ossia di perdita di aggregati in seguito al traffico subito. Tale parametro è definito dalla Normativa come SIP (Stripping Inflection Point) ed è identificabile come il numero di passaggi della ruota a cui corrisponde il cambio di pendenza della curva di ormaiamento e il conseguente sensibile incremento del tasso di ormaiamento. Quando il test è condotto su provini immersi in acqua, il valore di SIP è solitamente correlabile alla sensibilità all'acqua del conglomerato bituminoso: più il valore di SIP è



5. La curva ormaiamento-numero di passaggi ed individuazione punto SIP

elevato, migliore è la risposta del conglomerato bituminoso rispetto al danneggiamento subito in acqua. Nel caso in esame, il punto di SIP è stato raggiunto dopo 12.438 passaggi della ruota (Figura 5). Tale valore risulta significativo, considerando che il test non ha raggiunto la deformazione critica predefinita (20 mm) ed alla fine dei 20.000 passaggi la profondità dell'ormaia è risultata pari a 2,5 mm, con una limitata perdita di aggregati, come osservabile in Figura 6.

Il dato è inoltre in linea con i risultati ITSR, a conferma della ridotta sensibilità all'acqua del conglomerato bituminoso sperimentale.

CONCLUSIONI

Un utilizzo limitato e responsabile delle risorse vergini è ad oggi uno dei requisiti fondamentali per promuovere la sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni. Il mondo della ricerca è orientato verso lo sviluppo di tecnologie costruttive e manutentive innovative che contemplino l'utilizzo di materiali di riciclo per la produzione di nuovi materiali da costruzione, nel rispetto di prefissati standard prestazionali. In quest'ottica,



6. I provini alla fine del test Hamburg Wheel Track

il presente studio di laboratorio ha previsto la progettazione e la validazione di una miscela di conglomerato bituminoso per strati di micro-usura realizzata interamente con aggregati riciclati. I risultati dei test hanno evidenziato che la presenza di aggregati di riciclo non influisce negativamente sulle prestazioni del conglomerato. La miscela risulta caratterizzata da un'adeguata compattabilità e da considerevoli proprietà di coesione e rigidità, garantite dall'utilizzo di bitume modificato Hard e

di aggregati riciclati certificati. Significativa risulta inoltre la resistenza del materiale nei confronti dell'azione degradante dell'acqua quando sottoposto a test di trazione indiretta e ormaimento in condizioni bagnate. ■

⁽¹⁾ Ingegnere

⁽²⁾ Ingegnere, Ricercatore del DICAM presso l'Università di Bologna

⁽³⁾ Architetto, Direttore Tecnico di Sintexcal SpA

⁽⁴⁾ Perito Fisico Industriale, Responsabile di Laboratorio di Sintexcal SpA