

Pavimentazioni sostenibili per piste ciclabili

Prof.ssa Paola di Mascio
Professore Associato
 presso Sapienza - Università di Roma

Ing. Nicola Fiore
 Responsabile Laboratorio
 Materiali Stradali presso
 Sapienza - Università di Roma

PhD. Ing. Loretta Venturini
 Direttore Scientifico
 e dello Sviluppo Strategico,
 Iterchimica S.p.A.

Da Iterchimica un nuovo metodo di riciclaggio a freddo con 100% granulato di conglomerato bituminoso

In linea con quanto dettato dal Green Deal europeo, la necessità di incrementare i trasporti a minore impatto ambientale è ormai risaputa, così come la conseguente opportunità di costruire nuove piste ciclabili per incentivare quelli a impatto zero. In realtà, progettare una rete ciclabile è solo il primo tassello. Anche se meno trattato e presentato, lo studio della relativa sovrastruttura è un elemento fondamentale. Le tecnologie costruttive attualmente presenti sul mercato consentono di realizzare pavimentazioni sostenibili attraverso la rigenerazione di vecchie pavimentazioni sino al 100%, la produzione a minori temperature (anche ambientali) e la posa in opera a basse emissioni.

Le piste ciclabili e il Green Deal europeo

I principali obiettivi dell'UE inerenti alla sostenibilità sono la riduzione delle emissioni di gas serra di almeno il 55% entro il 2030 (rispetto ai valori del 1990) ed il raggiungimento delle "zero emissioni" entro il 2050.

Il pacchetto di riferimento presentato dalla Commissione Europea nel luglio 2021 prevede la revisione della normativa esistente per la sostenibilità ambientale (riduzione delle emissioni e dei consumi energetici, sviluppo di politiche contro il cambiamento climatico e il relativo contributo del settore dei trasporti), l'adozione di una transizione socialmente equa (garanzia di sicurezza e qualità della vita) ed il rafforzamento della sostenibilità economica (uso efficiente ed efficace delle risorse pubbliche) (Fig.1). Ulteriori obiettivi basilari introdotti sono l'inclusione (aumento dell'accessibilità per le utenze deboli, organizzazione dei sistemi di trasporto per ridurre i divari culturali e territoriali), l'innovazione (sviluppo di tecnologie avanzate e di transizione digitale) e la resilienza (analisi attraverso sistemi di riferimento, come ad esempio il CRI - City Resilience Index, sviluppato dalla Rockefeller Foundation). In questo quadro, si stima che i trasporti motorizzati dovrebbero essere ridot-

ti del 90% attraverso politiche che permettono di proporre alternative più economiche, accessibili, sane e pulite a confronto delle attuali abitudini di spostamenti, non solo per le merci, ma soprattutto per i privati-motorizzati. Il costo dei trasporti dovrà essere correlato anche all'impatto sull'ambiente e sulla salute (ISFORT, 2021).

A supporto di tali strategie, è stato istituito il Piano d'Azione per l'Economia Circolare (CEAP - Circular Economy Action Plan) per velocizzare il processo di transizione dall'economia lineare a quella circolare, consentendo la riduzione del consumo di risorse naturali non rinnovabili, aumentando il reimpiego dei materiali normalmente destinati alla discarica o ai termovalorizzatori e incrementando la crescita occupazionale (European Commission, 2022).

Nel luglio 2022 la Commissione Europea ha inoltre evidenziato il contributo fondamentale dell'uso della bicicletta per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e per mitigare le emissioni in ambiente. Nella proposta di nuove regole per gli investimenti nella rete di trasporto è previsto l'obbligo di un piano per città con più di 100.000 abitanti (Baccini, 2022), comportando la necessità di raddoppiare i chilometri di piste ciclabili entro il 2030. In un Paese come l'Italia dove il tasso di motorizzazione è tra i più alti al mondo, tale strategia è evidentemente correlata alle note peculiarità di tale mezzo (Bikeitalia, 2022). Ideale per percorsi brevi e in centro città, la bicicletta necessita di pavimentazioni meno prestazionali rispetto alla strada (spessori e consumi di materiali inferiori), esige aree nettamente più ridotte per il parcheggio, permette di ridurre le congestioni e il traffico cittadino, contribuisce al miglioramento della salute dei ciclisti e consente l'interazione "ambiente - uomo".

La pavimentazione di una pista ciclabile

Il Codice della Strada italiano definisce al Titolo I, art. 3, il concetto di "pista ciclabile" come segue: "parte longitudinale della strada, opportunamente delimitata e riservata alla circolazione dei velocipedi". La tipologia di tracciato dipende sostanzialmente dal contesto in cui è realizzata che può essere ad esempio in sede propria (a singolo o doppio senso di marcia, adiacente o separata dalla strada), su corsia riservata ma condivisa con il traffico automobilistico (strade di quartiere e locali, extraurbane secondarie e urbane di scorrimento), condivisa con il traffico pedonale (ciclopedonale), su strade campestri e all'interno di parchi, etc. (Ministero dei Lavori Pubblici, 1999).

Se la progettazione del tracciato ciclabile è definita da normativa, rimane un maggiore margine di variabilità dal punto di vista dei materiali e delle soluzioni tecnologiche perseguibili per il raggiungimento del Green Deal. Quelle principalmente utilizzate sono il riciclaggio di materiali, l'incremento prestazionale e, quindi, la riduzione della manutenzione. La pavimentazione delle piste ciclabili deve risultare in ogni caso regolare, priva di buche e di ammaloramenti, se possi-



Fig.1

Fig.1 - I pilastri della sostenibilità.

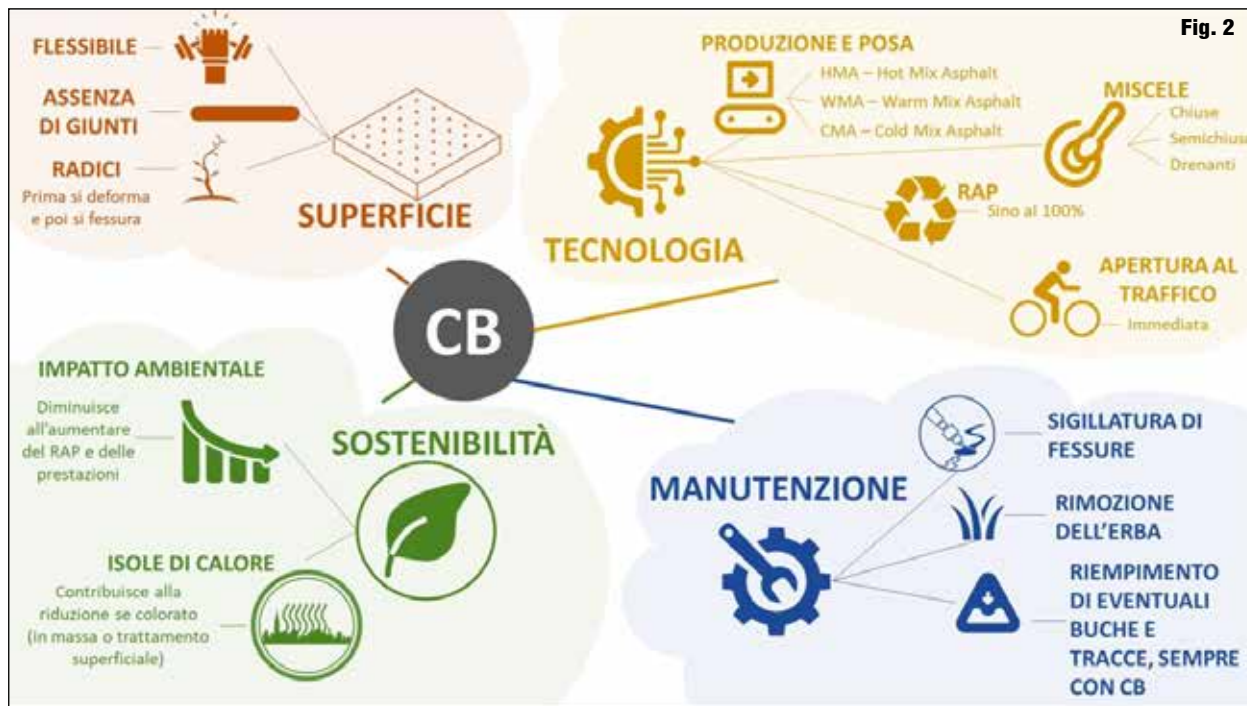


Fig. 2

Fig.2 - Caratteristiche e benefici di una pista ciclabile in conglomerato bituminoso (CB).

bile esente da griglie e da caditoie, deve avere caratteristiche superficiali di adeguata aderenza pneumatico-pavimentazione per garantire la sicurezza dell'utente. I fattori che influenzano la propensione all'utilizzo della bicicletta sono il semplice piacere di usarla, la sicurezza e il comfort percepito. La regolarità superficiale è la condizione che più influenza la qualità della pedalata (Thigpen, Li, & Handy, 2016). La sezione della pista ciclabile è normalmente costituita dallo strato di usura, strato di binder e una fondazione più o meno stratificata e resistente, anche in funzione del piano di appoggio (Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica, 2002). A differenza delle piste ottenute da pavimentazioni stradali o marciapiedi già esistenti, nel caso di pavimentazioni in sede propria e separata si possono utilizzare diversi materiali e tecnologie realizzative (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2014).

Non bisogna dimenticare, inoltre, che la pavimentazione delle piste ciclabili deve essere progettata come una qualsiasi altra pavimentazione (D. Simpson, giugno 2012). I passi normalmente da seguire sono (Schultheiss, et al., 2019): 1- processo politico (all'interno del contesto della pianificazione dei trasporti), 2- pianificazione (selezione del tipo di pista ciclabile e relativo sviluppo all'interno del territorio), 3- scelta del tipo di pista ciclabile (valutazione delle diverse opzioni, preferenza della tipologia e valutazione della fattibilità), 4- analisi dell'integrazione con il contesto e della relativa sicurezza, 5- progettazione della sezione della pavimentazione. In generale il criterio più utilizzato per il calcolo degli spessori è quello della verifica alla resistenza a fatica sulla base dello stato tenso-deformativo indotto dai carichi di traffico (Simpson, Buttlar, & Dempsey, 2012) e la sovrastruttura deve essere studiata per una vita utile di almeno 20 anni, con obiettivo di 50 anni (Perpetual Pavement). Questo criterio deve essere considerato anche per le piste ciclabili in quanto non sono utilizzate solo da pedo-

ni, ma anche da mezzi più o meno pesanti per la pulizia e la manutenzione, per l'attraversamento in caso di incroci e passi carrai, per i servizi di emergenza (polizia, ambulanza e vigili del fuoco), etc. Molto interessante è la classificazione di tali mezzi fatta dalla Federal Highway Administration (FHA) in leggeri, regolari e pesanti. Il documento evidenzia inoltre come la scelta del pacchetto della pavimentazione deve essere eseguito in funzione delle condizioni ambientali e quanto sia importante la funzione delle fondazioni. Tale classificazione influisce sulla scelta della curva granulometrica dei conglomerati bituminosi utilizzati soprattutto per lo strato di usura che deve essere sicura, durevole, il più possibile regolare, antiscivolo, antipolvere e protettiva. Le soluzioni impiegabili sono molteplici (Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica, 2002) (Provincia di Milano e Polinomia srl, 2006), ma quella più utilizzata è il conglomerato bituminoso per la sua facile costruzione e manutenzione e per la velocità di apertura al traffico (Fig. 2). Le dimensioni massime degli aggregati sono pari a 6÷12 mm. La granulometria più fine permette di ottenere superfici a minore rugosità, strati più sottili e maggiore lavorabilità nel caso di posa a mano (ad esempio intorno ai tombini). Le granulometrie più grosse hanno maggiori resistenze meccaniche e sono più adatte per le pavimentazioni sottoposte anche a carichi relativamente pesanti. La classe del bitume ed eventuali modifiche della miscela dipendono dalle prestazioni da raggiungere e dalle condizioni ambientali.

Dal punto di vista dei carichi, in mancanza di dati certi, si suggerisce di considerare almeno un carico minimo di autocarri a 2 assi per la manutenzione stradale con frequenza pari a 4.000 ripetizioni di assi equivalenti da 8 t (nella Tabella 1 sono riportate ad esempio alcune sezioni studiate per le pavimentazioni flessibili in CB dal Government of South Australia). L'avvento di nuove tecnologie ha in compenso introdotto nuovi CB, con nuove prestazioni e benefici ambientali, che

Fig. 3 - Trattamento del RAP tramite vaglio frantumatore.



Fig. 3

Fig. 4 - RAP a fine trattamento.



Fig. 4

saranno sicuramente contemplate in futuro nella fase progettuale, ma che dovranno essere valutate in funzione dei risultati non solo di laboratorio, ma anche rispetto alle sezioni prova realizzate in questi ultimi anni.

Tecnologia innovativa con la rigenerazione a freddo di 100% RAP

Il materiale derivante dalla demolizione delle pavimentazioni è conosciuto in Italia come "granulato di conglomerato bi-

tuminoso" oppure, in gergo, "fresato" e internazionalmente come RAP – Reclaimed Asphalt Pavement. Dal punto di vista della sostenibilità, l'utilizzo di RAP per la produzione delle nuove miscele permette la riduzione dei quantitativi di materiale da smaltire in discarica, il minor sfruttamento del suolo e di nuove risorse naturali di primo utilizzo non rinnovabili. Per miscele riciclate prestazionali, è fondamentale evidenziare l'importanza del trattamento del materiale da demolizione della vecchia pavimentazione (Figg. 2 e 3) attraverso separa-

TAB. 1 ESEMPIO DI SEZIONI DI PISTE CICLABILI IN FUNZIONE DEI MATERIALI E DEL TRAFFICO (GOVERNMENT OF SOUTH AUSTRALIA)

Resistenza del piano di appoggio	Pista ciclo-pedonale No accesso ai veicoli		Pista ciclo-pedonale Accesso ai veicoli	
	CB $\varnothing \leq 7 \text{ mm}$	25 mm	CB $\varnothing \leq 10 \text{ mm}$	35 mm
Bassa resistenza ($2\% \leq \text{CBR} < 5\%$)	BASE GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 35\%$ IP $\leq 15\%$	100 mm	BASE 1 GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 28\%$ 1% \leq IP $\leq 8\%$	100 mm
	Fondazione $\varnothing \leq 40 \text{ mm}$ IP $\leq 12\%$	100 mm	BASE 2 GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 35\%$ IP $\leq 15\%$	100 mm
	---	---	Fondazione $\varnothing \leq 40 \text{ mm}$ IP $\leq 12\%$	125 mm
	Tot. 225 mm		Tot. 360 mm	
	CB $\varnothing \leq 7 \text{ mm}$	25 mm	CB $\varnothing \leq 10 \text{ mm}$	35 mm
Media resistenza ($5\% \leq \text{CBR} < 10\%$)	BASE GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 35\%$ IP $\leq 15\%$	125 mm	BASE 1 GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 28\%$ 1% \leq IP $\leq 8\%$	100 mm
	---	---	BASE 2 GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\varnothing 45\%$ LL $\leq 35\%$ IP $\leq 15\%$	100 mm
	Tot. 150 mm		Tot. 235 mm	
Alta resistenza ($\text{CBR} \leq 10\%$)	CB $\varnothing \leq 7 \text{ mm}$	25 mm	CB $\varnothing \leq 10 \text{ mm}$	35 mm
	BASE GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 35\%$ IP $\leq 15\%$	100 mm	BASE 1 GRANULARE $\varnothing \leq 20 \text{ mm}$ LA $\leq 45\%$ LL $\leq 28\%$ 1% \leq IP $\leq 8\%$	120 mm
	Tot. 125 mm		Tot. 155 mm	

zione, frantumazione e vagliatura (Federal Highway Administration, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, August 2016).

Un ulteriore "problema" da gestire è l'invecchiamento del bitume. A causa della sua natura organica (residuo della distillazione del petrolio), a differenza di aggregati e filler, il legante bituminoso subisce nel tempo una trasformazione chimico-fisica che ne comporta il deterioramento attraverso l'evaporazione delle componenti volatili e il processo di ossidazione. L'alterazione della struttura del bitume porta alla diminuzione delle prestazioni meccaniche, alla perdita di adesività, all'incremento dei valori della rigidità con conseguente comportamento sempre più fragile. Le principali fasi dell'invecchiamento sono imputabili a: 1 - produzione e stoccaggio del bitume; 2 - produzione, stoccaggio e posa in opera del conglomerato bituminoso; 3 - vita utile della pavimentazione.

Per il processamento del RAP è fondamentale evidenziare la differenza tra "rigenerare" e "riutilizzare", perché i due termini sono spesso usati indistintamente, commettendo un errore sostanziale. Le due principali categorie di prodotti per riutilizzare il RAP sono: flussanti (softer agents) e rigeneranti (rejuvenators) (EAPA, 2022). L'azione fisica e reologica esercitata dal flussante consiste nella riduzione della viscosità (diminuzione del punto di rammollimento e incremento della penetrazione) e rientrano in questa categoria gli oli di diversa origine (organica o inorganica). I rigeneranti non espletano solamente la funzione fisico-reologica ma anche quel-

la chimica, ripristinando le componenti del bitume volatilizzate durante l'uso precedente. Pertanto, il livello di successo del riciclaggio dipende fortemente dalla scelta corretta del tipo e della quantità dell'agente di riciclaggio. Oggigiorno è possibile distinguere tra rigeneranti e oli flussanti attraverso analisi di laboratorio (Caputo, et al., 2022) (V. Loise).

Rigeneranti a freddo per RAP

Durante l'ultima decade e in seguito a diversi anni di ricerca, è stato sviluppato un nuovo metodo di riciclaggio a freddo con 100% granulato di conglomerato bituminoso, "ringiovanito" con un apposito rigenerante (Iterlene ACF 1000 HP GREEN). Studiati inizialmente per la produzione di miscele bituminose per la manutenzione stradale (riempimento delle buche), il rigenerante consente in particolare di ottenere nuove miscele bituminose con prestazioni adeguate anche per piste ciclabili, strade a basso traffico, marciapiedi, etc. L'innovativo prodotto è privo di sostanze aromatiche e contiene legante idrocarburico arricchito con rigeneranti, plastificanti, oli vegetali e antiossidanti (Tabella 2).

Considerando anche la destinazione d'uso, le miscele bituminose speciali prodotte con questa tecnologia richiedono evidentemente un metodo di verifica dedicato che non può essere il medesimo degli HMA (Hot Mix Asphalt), né dei WMA (Warm Mix Asphalt), né dei CMA (Cold Mix Asphalt). Le norme tecniche del Comune di Milano e della Regione Lombardia riportano un processo di verifica che ben evidenzia i pregi di questa tecnologia rispetto ai tradizionali CMA. Le prestazioni richieste sono riportate in tabella 4 (Regione Lombardia & Comune di Milano, 2021).

Inoltre, questa tecnologia è compatibile con diversi tipi di pigmenti, permettendo la colorazione della pista ciclabile. Il rigenerante in oggetto è stato introdotto anche nel progetto InfraRob, finanziato dal programma di ricerca della Commissione Europea Horizon 2020 per il mantenimento dell'integrità, delle prestazioni e della sicurezza dell'infrastruttura stradale attraverso soluzioni robotizzate autonome e modulari. Attualmente sono terminate le prove di laboratorio preliminari e si sta monitorando il materiale posato in situ per la manutenzione delle buche (Cantisani, et al., 2022).

TAB. 2 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEL RIGENERANTE ITERLENE ACF 1000 HP GREEN

Caratteristiche	Descrizione
Aspetto	Liquido
Colore	Marrone-Nero
Densità a 20°C	0,94 ± 0,02 g/cc
Viscosità	400 - 500 cP
Punto di Infiammabilità	> 150°C

TAB. 3 VERIFICA PRESTAZIONALE DELLA MISCELA SECONDO CAPITOLATO DEL COMUNE DI MILANO

Test	Metodo di prova	Unità di misura	Valori richiesti (N.T. Comune di Milano)	Risultati (Sapienza - Università di Roma)
Compattazione con 50 colpi per faccia (UNI EN 12697-34)				
Stabilità Marshall dopo 7gg all'aria a 25°C	UNI EN 12697-34	kN	> 4	6,6 (+65%)
Resistenza a trazione indiretta dopo 7gg all'aria a 25°C	CNR n.134/91	kPa	> 50	90 (+80%)
Perdita in peso Cantabro dopo 28 gg all'aria a 25°C, 300 giri alla velocità di 30 giri/min, nella macchina Los Angeles senza cariche abrasive	---	%	< 10	0



Fig. 5 - Posa in opera.



Fig. 6 - Compattazione.



Fig. 7 - Pista ciclabile dopo la posa.

Pista ciclabile con 100% RAP rigenerato a freddo

Un interessante tratto di pista ciclabile con 100% RAP rigenerato a freddo è stato realizzato a Roma, in funzione del processo che la città sta intraprendendo verso la sostenibilità. Infatti, Roma Capitale ormai da diverso tempo sta sviluppando progetti inerenti alla viabilità che rientrano nell'ambito della sostenibilità. Uno degli obiettivi principali è quello di riordinare la mobilità sia da un punto di vista della quotidianità degli spostamenti (es. casa-lavoro e casa-scuola) sia da un punto di vista turistico.

Tra i vari progetti, il Grande Raccordo Anulare delle Bici (GRAB) è la prima ciclovia della Città di Roma formata da un anello di circa 50 km con punto di partenza/arrivo presso Colosseo - Via di San Gregorio. Lo studio preliminare è stato approvato nel 2018, grazie al finanziamento del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Oggi il progetto è nella fase definitiva anche grazie alla collaborazione della Sapienza - Università di Roma. Il tracciato rientra all'interno di ambiti e condizioni ambientali diversi ed è composto pertanto da 6 Lotti con diverse caratteristiche: "riconfigurazione degli spazi destinati alla circolazione degli autoveicoli, sede dedicata ed invalicabile, utilizzo di piste ciclabili esistenti, componente principale nelle nuove strade ciclabili, inserita in isole ambientali e lungo la Via Appia Antica" (Mobilità di Roma, 2022). Con particolare riferimento ai tratti in fase di rifacimento e costruzione ex novo in ambito urbano, nel febbraio 2022 si è proceduto alla realizzazione di due sezioni di prova (tratto di 140 m in via del Campo Boario e di 84 m in via Nicola Zabaglia) con la tecnologia innovativa in oggetto a confronto con un tradizionale HMA (si vedano Figg. 5, 6 e 7). Le fasi lavorative hanno previsto la fresatura della vecchia pavimentazione per 3 cm, la produzione a freddo in impianto della miscela innovativa e la posa in opera a freddo tramite finitrice e rullatura.

La miscela è stata prodotta e messa in opera da AS Appalti Stradali Srl previa prequalifica. In funzione dei risultati ottenuti (Fig. 8) il quantitativo di rigenerante Iterlene ACF 1000 HP GREEN utilizzato è stato pari a 2,4% sul peso del materiale riciclato, con umidità del RAP pari a circa il 3% (granulato di conglomerato bituminoso trattato e protetto dagli agenti atmosferici con stoccaggio in capannone).

Le analisi di laboratorio per la verifica della miscela sono state eseguite dal Laboratorio Stradale della Sapienza - Università di Roma e i risultati ottenuti evidenziano un comportamento altamente prestazionale (Tab. 3).

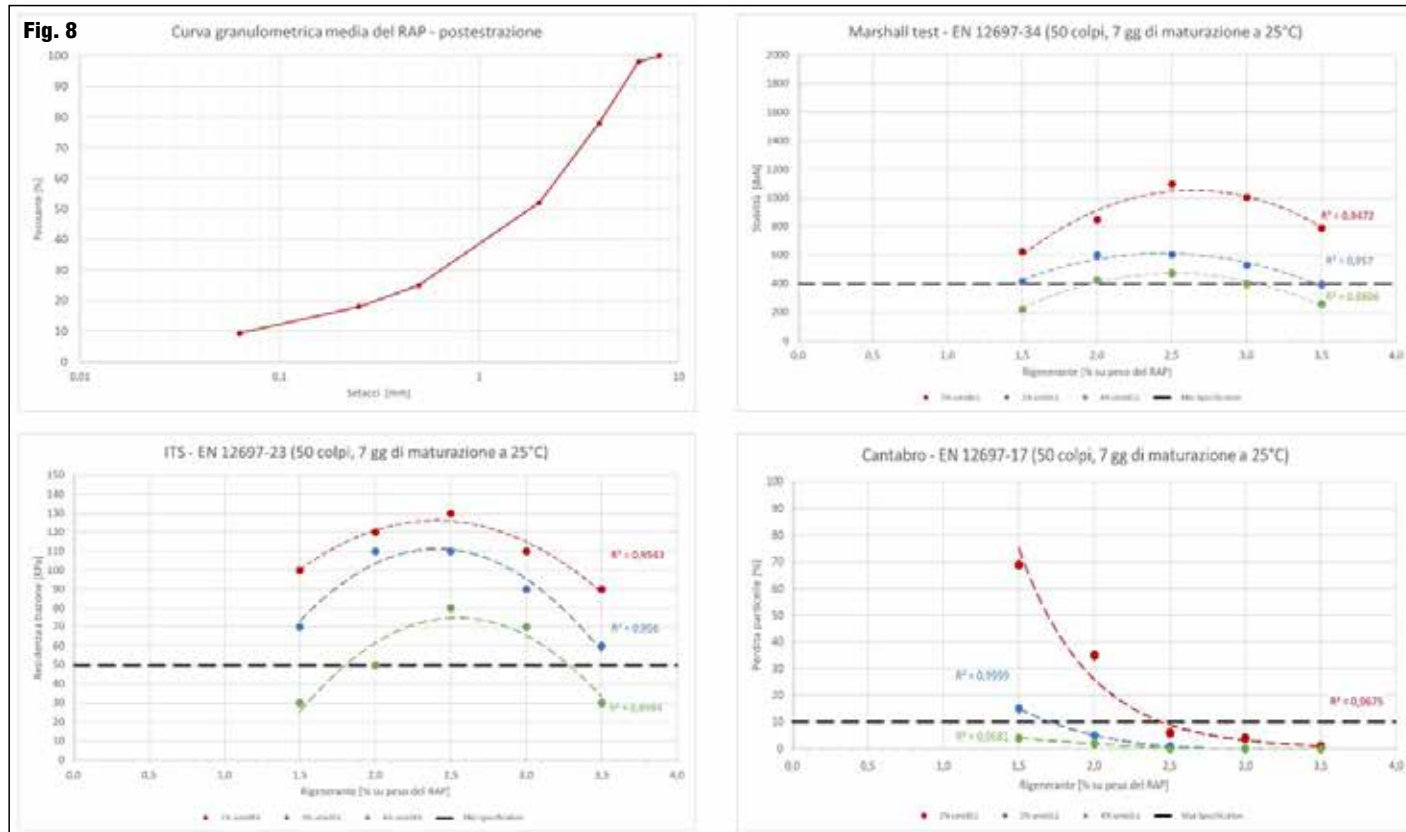
Conclusioni

La realizzazione di piste ciclabili rientra nei progetti annunciati dall'Unione Europea per il Green Deal del 2050. Il raddoppiamento della viabilità ciclabile previsto per il 2030 rappresenta la giusta occasione per progettare pavimentazioni finalmente innovative e sostenibili attraverso l'utilizzo di materiali riciclati e performanti. L'impiego di un rigenerante appositamente formulato (Iterlene ACF 1000 HP GREEN) consente di realizzare pavimentazioni ciclo-

pedonali, spesso sottoposte anche a basso traffico veicolare per quanto riguarda la pulizia e la manutenzione delle stesse, composte da conglomerato bituminoso a basso impatto ambientale con 100% RAP rigenerato, prodotto e posato a temperatura ambiente. Le verifiche eseguite dalla Sapienza - Università di Roma, per i tratti sperimentali realizzati per il GRAB, hanno evidenziato le elevate presta-

zioni della tecnologia, attualmente anche in fase di verifica per il progetto InfraRob (Horizon 2020) che ha come obiettivo il mantenimento dell'integrità, delle prestazioni e della sicurezza dell'infrastruttura stradale attraverso soluzioni robotizzate autonome e modulari. Il progetto è partecipato dall'Associazione Italiana dei Professionisti per la Sicurezza Stradale (AIPSS) e CTL-Sapienza. ■■

Fig. 8 - Prequalifica della miscela con 100% granulato di CB e rigenerante.



Bibliografia

Baccini, F. (2022). EUNews. Tratto da La Commissione UE studia una strategia per la mobilità su due ruote: "Un'Europa verde sarà un'Europa ciclistica": <https://www.eunews.it/2022/07/07/commissione-ue-strategia-mobilita-ciclabile-europa-verde/>

Bikeitalia. (2022, Giugno 3). Mobilità. Tratto da Bikeitalia: <https://www.bikeitalia.it/2022/06/03/gli-italiani-e-la-bicicletta-tutti-numeri-del-sondaggio-ipsos/>

Cantisani, G., Antonio, D., Di Mascio, P., Moretti, L., Fiore, N., Petrelli, M., . . . Venturini, L. (2022). Materials study to implement a 3D printer system to repair road pavement potholes. Elsevier.

Caputo, p., Eskandarsefat, S., Porto, M., Loise, V., Abe, A., Calandra, P., . . . Rossi, C. (2022). Effect and Mechanism of Rejuvenation of Field-Aged Bitumen Extracted from Reclaimed Asphalt Pavement. Elsevier.

D. Simpson, W. B. (June 2012). Best practices for bicycle trail pavement construction and maintenance in Illinois. Urbana-Champaign Illinois - USA: Illinois Center for Transportation.

EAPA. (2022). The Circular Economy of Asphalt. Brussels. Tratto da <https://eapa.org/eapa-position-papers/>

European Commission. (2022). Circular Economy Action Plan 2022. Tratto da https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en#actions

Federal Highway Administration. (August 2016). User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. USA: FHWA-RD-97-148.

Federal Highway Administration. (August 2016). User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction., USA: FHWA-RD-97-148.

Government of South Australia. (s.d.). Guide to Bikeway Pavement Design, Construction & Maintenance for South Australia. Department of Planning, Transport and Infrastructure - Safety and Service Division. Tratto il giorno 2015 Gennaio

ISFORT. (2021). 18° Rapporto sulla mobilità degli italiani - Governare le transizioni per una ripresa sostenibile.

Ministero dei Lavori Pubblici. (1999). Decreto 30 novembre 1999, n. 557.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2014). Istruzioni tecniche per la progettazione delle reti ciclabili. Tratto da https://www.mb.provincia.mb.it/export/sites/default/doc/appalti/CUC/2016/Pedonale_Usmate/MIT-istruzioni_progetto_piste_ciclabili_-_2014.pdf

Mobilità di Roma. (2022, luglio 26). GRAB, la ciclovia romana. Tratto da Romamobilità: <https://romamobilita.it/progetti/pumsroma/grab-ciclovia-romana>

Provincia di Milano e Polinomia srl. (2006). Linee guida per la progettazione delle reti ciclabili. Milano.

Regione Lombardia - D.G. Territorio e Urbanistica. (2002). Manuale per la realizzazione della rete ciclabile regionale. Milano.

Regione Lombardia, & Comune di Milano. (2021). Volume specifiche tecniche - Prezzario delle opere pubbliche. Milano: Provveditorato interregionale per la Lombardia e l'Emilia Romagna.

Schultheiss, B., Goodman, D., Blackburn, L., Wood, A., Reed, D., & Elbech, M. (2019). Bikeway Selection Guide. FHWA-SA-18-077, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Tratto da https://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/

Simpson, D., Buttler, W., & Dempsey, B. (2012). Best practices for bicycle trail pavement construction and maintenance in Illinois. Research Report FHWA-ICT-12-009, Illinois Center for Transportation, University of Illinois, Urbana-Champaign.

Thigpen, C., Li, H., & Handy, S. (2016). Modeling the impact of pavement roughness on bicycle ride quality. Research Gate. Tratto da https://www.researchgate.net/publication/295686520_Modeling_the_Impact_of_Pavement_Roughness_on_Bicycle_Ride_Quality

V. Loise, P. C. (s.d.). Unravelling the role of a green rejuvenator agent in contrasting the aging effect on bitumen: A dynamics rheology, nuclear magnetic relaxometry and self-diffusion study.