

# Da ceneri a sabbie a materiali stradali

DALLA RICERCA E SVILUPPO A UNA PRIMA SPERIMENTAZIONE SULL'A2 AUTOSTRADA DEL MEDITERRANEO, CHE HA ATTESTATO LA VALIDITÀ, SIA TECNICA SIA AMBIENTALE, DI CONGLOMERATI BITUMINOSI PRODOTTI CON L'IMPIEGO DI SABBIE RICICLATE E CERTIFICATE. UNA BUONA PRATICA CHE VA LETTA ANCHE ALLA LUCE DELLA PROSSIMA EMANAZIONE DEI CAM STRADE. CI RACCONTA TUTTO LO SPECIALISTA DELL'ANAS CHE HA PROMOSSO QUESTA ATTIVITÀ.

La tecnica di produzione dei conglomerati bituminosi a caldo e a freddo ha subito negli ultimi anni notevoli sviluppi, per l'impiego di materiali derivanti processi di recupero o riciclo. Già nel 2006, le norme relative alla marcatura CE della serie 13108, sancivano formalmente la possibilità di impiego di conglomerato bituminoso di recupero (più noto come fresato) in quantità libere, purché accompagnate da opportune evidenze di laboratorio tali da garantire la qualità

del prodotto finale e del legante bituminoso. A seguito dell'acquisizione delle normative europee da parte dell'organismo UNI e di ulteriori evoluzioni tecniche, anche i principali enti gestori di strade si stanno avvicinando all'impiego nelle miscele bituminose, non solo dei fresati, ma anche di altri materiali di origine cosiddetta "non convenzionale", provenienti per lo più da processi di recupero di rifiuti industriali. A ciò sono di supporto anche le evoluzioni normative e tecniche

**1. Un tratto dell'A2 Autostrada del Mediterraneo, infrastruttura teatro di una sperimentazione green sull'impiego di sabbie riciclate nelle miscele bituminose**

## L'autore

L'ingegner **ACHILLE RILIEVI** è Responsabile Controllo Qualità Lavori e Materiali Anas (Gruppo FS Italiane), Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori - Direzione Operation e Coordinamento Territoriale - Assetto Infrastrutturale Rete A. Inoltre, è Direttore Esecuzione del Contratto Accordi Quadro Anas-Laboratori prova su materiali, Responsabile Tecnico Nuove Costruzioni Struttura Territoriale Calabria Anas, Docente a Contratto (esame di Organizzazione del cantiere) e membro della commissione di esami in Scavi e Opere di Sostegno e Innovative Geotechnical Monitoring presso l'Università degli Studi di Salerno, Facoltà di Ingegneria Civile. Rilievi è anche membro del comitato tecnico PIARC Laboratori (Associazione internazionale permanente dei congressi della strada).



come ad esempio quanto definito dalla Commissione Europea nelle Comunicazioni su Consumo e Produzione Sostenibile (COM (2008) 397) e sul GPP (COM (2008) 400), che è diventato parte integrante del Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica Amministrazione (PAN GPP), adottato con Decreto interministeriale del 11 aprile 2008. In relazione a quanto indicato nell'obiettivo nazionale del PAN GPP di raggiungere entro il 2015 la quota del 50% (in numero e in valore) di appalti "verdi" sul totale degli appalti pubblici stipulati per l'affidamento di servizi di progettazione e di lavori di costruzione e manutenzione di strade, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Ministero dell'Ambiente), come è noto, ha in fase avanzata la futura pubblicazione dei cosiddetti Criteri Ambienta-

li Minimi per la progettazione e i lavori inerenti la costruzione e manutenzione delle infrastrutture stradali, meglio noti come CAM strade. La discussione in merito ha motivato tutti gli operatori di settore ad approfondire la ricerca su aggregati riciclati. Tra questi, oltre al fresato, sono particolarmente interessanti una serie di prodotti disponibili sul mercato italiano costituiti da aggregati artificiali della famiglia delle sabbie, le cui caratteristiche fisico-chimiche sono tali da renderli particolarmente adatti a un sistematico impiego in svariate applicazioni nel settore dei conglomerati bituminosi. L'utilizzo di sabbie alternative nei conglomerati bituminosi a caldo è ormai una realtà.

Il Capitolato Speciale di Appalto Norme Tecniche (CSA NT) richiede che vengano utilizzati aggregati che rispondano ai requisiti delle norme UNI EN 13043 per la marcatura CE. Una possibilità presente nel mercato attuale è rappresentata dalla sabbia da RSU. Tale materiale, risponde alle normative per la marcatura CE (e quindi valida la possibilità che il conglomerato bituminoso in cui viene inserito sia rispondente alla 13108-1), possiede la certificazione EPD (per la valutazione degli impatti legati alla valutazione del ciclo di vita di un prodotto o LCA), può essere inserito in miscela sia a caldo che a freddo e risponde alle politiche ambientali di economia circolare e al GPP (Green Public Procurement) e ai CAM.

## Le caratteristiche delle sabbie riciclate

Nell'ambito dei materiali riciclati disponibili, si è individuata una tipologia di sabbia da RSU, denominata Sand Matrix, prodotte da Officina dell'Ambiente SpA. La loro origine è l'EoW (End of Waste) derivante dal processo di valorizzazione e recupero di un'unica tipologia di rifiuto

© Anas SpA

1

2. Stabilimento di Officina dell'Ambiente, produttore di Sand Matrix



3a. Sabbia da RSU 2-4 mm



3b. Sabbia da RSU 0-4 mm

di matrice inorganica costituito da ceneri pesanti provenienti da processi di termovalorizzazione di rifiuti solidi urbani RSU. Dopo una fase di maturazione/litostabilizzazione, queste ceneri sono sottoposti a trattamenti di frantumazione e comminazione, vagliatura, deferrizzazione e demetallizzazione e assumono l'aspetto di una sabbia. La scelta tecnica effettuata dal produttore delle sabbie è di trattare rigorosamente un'unica tipologia di rifiuto - evitando estemporanee miscele tra più tipologie di rifiuto che potrebbero quindi pregiudicare la costanza delle caratteristiche chimico-fisiche del nostro prodotto finale - che consente di garantire agli utilizzatori una totale tracciabilità degli aggregati artificiali, un'assoluta ripetitività e la massima stabilità qualitativa.

La sabbia da RSU si presenta simile a una sabbia naturale a moderato contenuto di calce dove la qualità e la quantità dei macrocomponenti è pressoché costante. La sabbia da RSU possiede tutti i necessari standard tecnici obbligatori per un suo impiego nelle pavimentazioni stradali e, in particolare, negli strati legati a bitume (conglomerati bituminosi a caldo e a freddo) e cemento (misti cementati), in quanto è in possesso di marchio CE è rispondente alle normative UNI EN 13043 ed UNI EN 13242. Le sabbie così prodotte possono avere vari impieghi a partire dagli strati del conglomerato bituminoso standard (base, binder e usura), alle applicazioni in forma stabilizzata fino agli impieghi nel conglomerato bituminoso a freddo in percentuali variabili tra il 5% ed il 25%.

## Le certificazioni delle sabbie riciclate

Le sabbie descritte sono caratterizzate anche dal fatto che si tratta di prodotti certificati EPD. EPD, acronimo di "Environmental Product Declaration", è una dichiarazione ambientale che ha lo scopo di comunicare al mercato le caratteristiche e le prestazioni ambientali di un prodotto in modo oggettivo e confrontabile con articoli simili. La certificazione viene ottenuta sempre attraverso un percorso di Valutazione del Ciclo di Vita (LCA) delle sabbie da RSU in accordo alla norma in-



ternazionale ISO 14040. Lo studio di LCA ha comportato una rigorosa quantificazione degli aspetti ambientali, ovvero le interazioni con l'ambiente delle sabbie da RSU dalla fase di approvvigionamento delle materie prime fino al completamento del ciclo produttivo di stabilimento. Inoltre il produttore, al fine di rendere i suoi prodotti conformi ai futuri CAM Strade, ha ottenuto la Certificazione Remade in Italy® per la sabbia da RSU prodotta. Lo schema di certificazione ReMade in Italy ha richiesto la predisposizione di un piano di tracciabilità delle materie e dei flussi all'interno del processo produttivo, il controllo continuo dei fornitori, la classificazione delle materie in ingresso e la massima trasparenza nei confronti della documentazione rilevante e di ogni elemento che possa dimostrare la correttezza dei passaggi e la cura nel processo. Per questi motivi i prodotti certificati Remade in Italy® esprimono la massima attenzione del produttore nel gestire la materia prima che deriva da rifiuti.

## Gli studi sperimentali

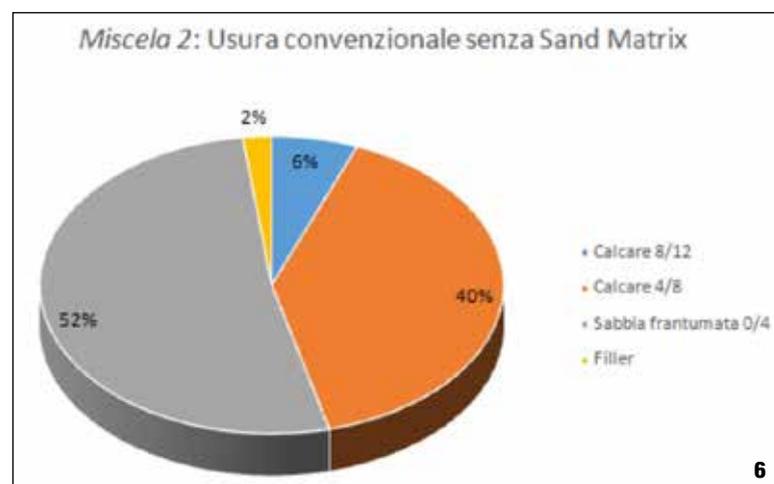
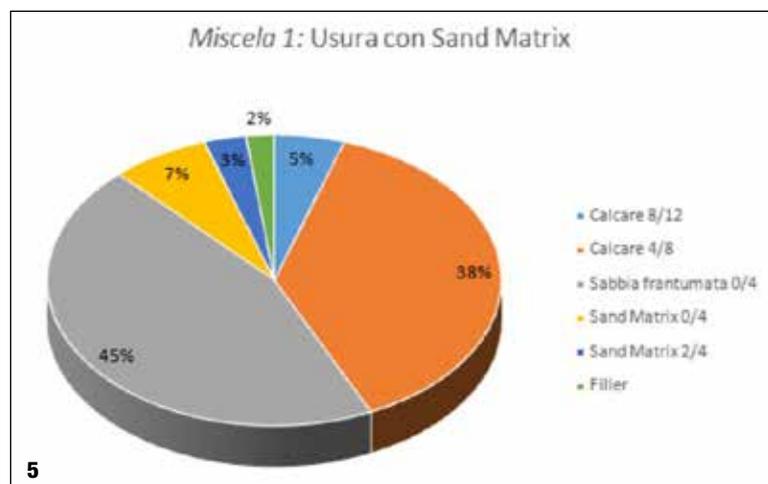
Negli ultimi anni si è assistito all'evoluzione delle tecniche di produzione e di stesa e all'utilizzo di nuovi materiali di riciclo grazie a studi sperimentali e campi prova pratici. Gli effetti di questi studi si riflettono pertanto su:

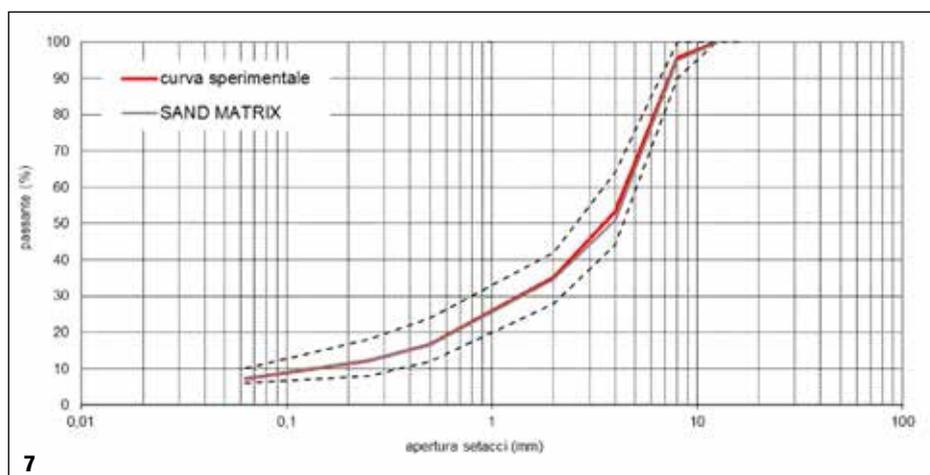
- Impianti di produzione (introduzione del fresato);
- Tecniche di stesa (rigenerazione a freddo della fondazione, conglomerati a tiepido);
- Gestione ambientale dei materiali (normative dedicate alla corretta gestione dei materiali riciclati);
- Nuovi studi e progetti di ricerca volti a caratterizzare a livello prestazionale le miscele prodotte con queste tecniche. Con il supporto tecnico di laboratori di prova e con la reale applicazione in campi prova stradali è stato efficacemente testato e validato l'impiego delle sabbie riciclate in diverse tipologie di conglomerato bituminoso prodotto a caldo (per strati di base, binder e usura, nonché materiali drenanti), sia a freddo, quest'ultimo usato esclusivamente per la manutenzione localizzata del manto stradale e per i ripristini di buche, nonché nei misti cementati. Gli studi sperimentali hanno avuto come scopo la caratterizzazione a livello prestazionale e ambientale di miscele in conglomerato bituminoso a percentuali massimizzate di ri-

## 4. Logo Remade in Italy®

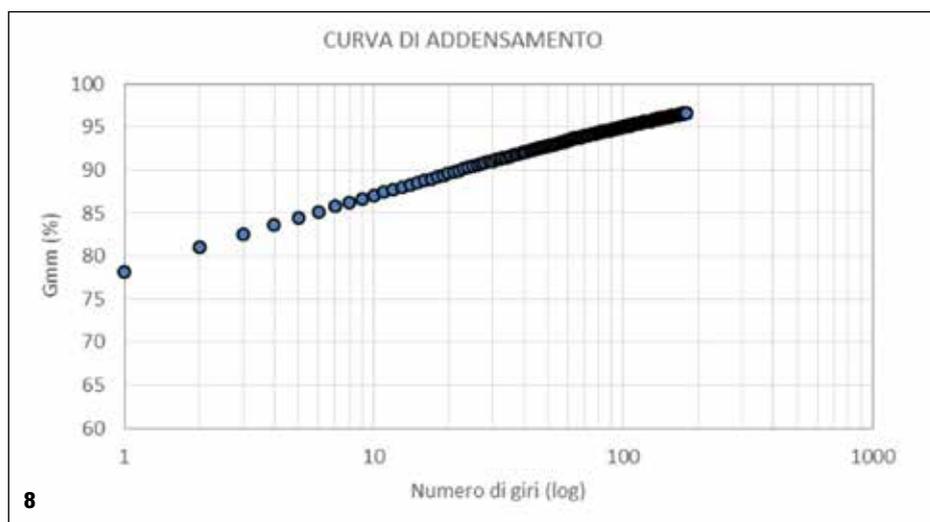
## 5. Miscela 1 con Sand Matrix

## 6. Miscela 2 senza Sand Matrix





7



8

TAB. 1 VALORI DEI VUOTI: IL CONFRONTO TRA LE MISCELE

Miscela	Vuoti residui (%)	Valori Capitolato Anas (%)
Miscela 1 (con sabbia da RSU)	N1: 12,9 N2: 4,5 N3: 3,0	N1: 11-15 N2: 3-6 N3: >2
Miscela 2 (senza sabbia da RSU)	N1: 12,7 N2: 4,2 N3: 2,7	

### 7. Confronto tra curve granulometriche

### 8. Curva di addensamento

ciclati, con l'obiettivo di individuare quali fattori incidono maggiormente sugli impatti ambientali causati dalla realizzazione di una strada, valutando se l'utilizzo di riciclati possa effettivamente migliorare gli aspetti ambientali. La sperimentazione ha avuto come oggetto l'impiego di sabbie da RSU in miscele di conglomerato bituminoso per strato di usura con bitume non modificato 50/70. Dopo una prima caratterizzazione chimico-fisica del prodotto, la fase sperimentale ha previsto il proporzionamento degli elementi compositivi aggregati e del bitume, in modo da costituire miscele bituminose conformi ai requisiti del capitolato tecnico Anas, di dare avvio la produzione delle stesse miscele e, infine, eseguire le prove secondo le normali pratiche tecniche e in conformità alle normative

vigenti. Lo studio condotto è di tipo comparativo: quindi è stata prodotta in laboratorio una miscela definita "convenzionale" con soli aggregati di origine naturale (cave di prestito) e una miscela "non convenzionale", con la sostituzione, nella misura del 10% in peso, delle sabbie naturali con sabbie da RSU di pezzature 0/4 mm e 2/4 mm. Per essere confrontabili, le due curve granulometriche sono state opportunamente ricomposte in modo da risultare pressoché uguali, in modo da non modificare la percentuale ottimale di bitume.

Successivamente alla miscelazione in laboratorio, è stato eseguito lo studio di addensamento mediante procedimento volumetrico con pressa giratoria, volto a valutare la lavorabilità del materiale e i vuoti ottenibili dal conglomerato una volta in posa. Le miscele prodotte in laboratorio con sabbia da RSU sono risultate perfettamente miscelabili e con un'ottima attitudine alla lavorabilità, grazie al raggiungimento dei valori dei vuoti minimi di accettabilità in condizioni di compattazione standard.

Si evidenzia, a tal proposito, che il metodo di compattazione scelto in laboratorio (ovvero con la pressa giratoria in conformità alla normativa UNI EN 12697-31) è quello che maggiormente si avvicina alle procedure di addensamento in opera, in quanto riproduce negli aggregati il medesimo movimento roto-traslato che favorisce il loro posizionamento all'interno del conglomerato.

Dal punto di vista della compatibilità con aggregati e bitume, nella percentuale del 10% utilizzata per questo studio non si sono evidenziati effetti negativi dovuti né a rigetto e neppure a eccessivo assorbimento nel legante, e anche le prove meccaniche tradizionali (trazione indiretta e modulo di rigidità) sono risultate per i due materiali conformi ed entro i limiti di soglia.

La sostituzione di parte della pezzatura delle sabbie naturali con sabbia da RSU può quindi considerarsi pienamente accettabile e senza effetti negativi. Questo è stato anche confermato dalle prove prestazionali che simulano su campioni di laboratorio le sollecitazioni del traffico veicolare sulla pavimentazione in esercizio: tali prove, che sono ampiamente utilizzate in ambito internazionale, non trovano applicazione diffusa nelle normali procedure di controllo nazionali, ma sono di grande supporto progettuale per comprendere il comportamento dinamico dei conglomerati bituminosi. Allo scopo si sono scelte prove di resistenza alla fatica con metodo flessionale alla temperatura di 10°C e prove di ormaiamento con wheel tracking alla temperatura di 50°C. Anche i risultati delle prove prestazionali hanno dato evidenza di buoni valori e, la presenza delle sabbie da RSU, ha prodotto risultati in linea con quanto atteso per conglomerati bituminosi di analoghe caratteristiche e tipologia.

### Gli studi applicativi

Lo studio sperimentale ha visto l'impiego di tre materiali riciclati:

- Fresato d'asfalto
- Sabbia riciclata (Sand Matrix)
- Aggregato artificiale.



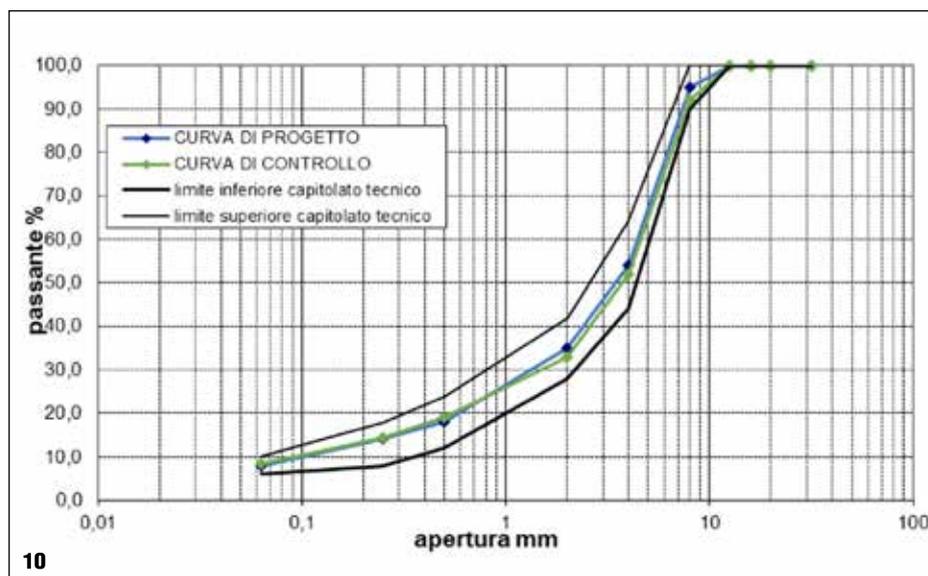
9

Il caso pratico che verrà presentato nel seguito prevede l'impiego delle sabbie Matrix all'interno del conglomerato bituminoso sull'Autostrada A2 del Mediterraneo. Nel 2018 è stato eseguito un campo prova per la stesa di strati di usura (drenante e tipo B) in conglomerato bituminoso contenenti sabbia riciclata, ottenuta dall'incenerimento di rifiuti solidi urbani. I campi prova sono stati eseguiti in corrispondenza dello svincolo di Battipaglia sull'autostrada A2, in particolare:

- Campo prova 1: drenante di 4 cm (zona rossa indicata nella planimetria di fig. 9)
- Campo prova 2: usura tipo B di 3 cm (zona gialla indicata nella planimetria di fig. 9).

Entrambi i campi prova sono stati posti in opera da Ciefte Costruzioni Srl di Nocera (SA). Le miscele sono state preventivamente studiate in laboratorio con la stessa procedura vista prima nello studio sperimentale condotto da un laboratorio accreditato. Le fasi sono state quindi le seguenti:

- Studio delle pezzature di aggregati disponibili e definizione della curva granulometrica di progetto;
- Confezionamento di tre miscele di conglomerato bituminoso variando la percentuale di bitume e realizzazione dei provini con pressa giratoria, successiva valutazione dell'addensamento dei tre livelli di compattazione (N1 giri iniziali, N2 giri di progetto e N3 giri di massimo addensamento);
- Scelta della miscela che ottimizza la percentuale di vuoti in funzione delle prescrizioni tecniche del capitolato;



- Prova meccanica di trazione indiretta.

La miscela prodotta è conforme alle norme di marcatura CE UNI EN 13108-1 e 13108-7. Il controllo della miscela del campo prove è stato poi eseguito in laboratorio e ha seguito le fasi di controllo della curva di progetto. Lo scostamento tra la curva di progetto e quella di controllo è risultato minimo, per cui le curve sono sovrapponibili ed entrambe conformi alle prescrizioni; nel dettaglio:

- *Verifica del comportamento di addensamento e percentuale di vuoti.* Lo studio volumetrico è stato effettuato per

### 9. Planimetria del campo prove

### 10. Definizione della curva granulometrica di progetto e di controllo



11. Campioni di conglomerato

TAB. 2 LIVELLI DI ADDENSAMENTO

Numero di giri	Miscela	Limiti CSA Anas
N1	12,9%	11-15%
N2	4,5%	3-6%
N3	3,0%	≥ 2%

TAB. 3 VALORI DI TRAZIONE INDIRECTA

Campione	ITS	Limiti CSA Anas	CTI	Limiti CSA Anas
1	1,41 MPa		162 MPa	
2	1,47 MPa		183 MPa	
3	1,38 MPa		168 MPa	
Media	1,42 MPa	0,95-1,90 MPa	171 MPa	≥ 75 MPa



12. Prova di trazione indiretta

determinare il grado di addensamento raggiunto dal materiale. Si è osservato che ai tre livelli di addensamento i parametri capitolari sono stati soddisfatti. La miscela con sabbia da RSU ha risposto positivamente al controllo volumetrico: i vuoti ottenuti sono risultati infatti coerenti con una miscela standard di usura tradizionale.

• *Verifica del comportamento meccanico tramite prova di trazione indiretta.* Anche per lo studio meccanico, così come per quello volumetrico, i parametri sono risultati soddisfatti. La presenza di sabbia riciclata non influenza la risposta meccanica del conglomerato.

Quindi: comportamento volumetrico e meccanico sono stati entrambi soddisfatti, così come i rilievi superficiali di regolarità e macrotessitura. E dal punto di vista ambientale? È stato anche valutato il beneficio ambientale relativo alla costruzione di una strada utilizzando un'usura tradizionale e una con sabbia da RSU, come sperimentato nel campo prova in oggetto. Le principali categorie di impatto considerate mostrano come la soluzione green, ovvero che utilizza la sabbia da RSU, riduce le stesse di percentuali variabili, che nel caso di specie è risultata pari al 10%, ma probabilmente potranno essere anche superiori, ma si dovrà valutare tali condizioni con studi specifici ed accurati. Quindi, anche dal punto di vista strettamente ambientale tale soluzione risulta "vincente".

## Conclusioni

Da quanto descritto nei paragrafi precedenti, l'impiego di sabbie artificiali da RSU per i materiali con applicazione stradale si ritiene conforme alle prescrizioni tecniche e ambientali e risulta anzi auspicabile alla luce del comparto normativo di prossima emanazione da parte del Ministero dell'Ambiente riguardante i Criteri Ambientali Minimi per la Progettazione e la Costruzione delle Infrastrutture Stradali (i cosiddetti CAM Strade), che promuoverà l'ingresso di tecnologie innovative per recuperare al massimo la materia riciclata nelle pavimentazioni stradali. Oltre allo studio di laboratorio, è stato eseguito un campo prova in cui si è previsto l'utilizzo di usura e drenante con la sostituzione parziale delle sabbie naturali con le riciclate. Anche in questo caso l'esito è risultato positivo (dal punto di vista tecnico le prescrizioni da CSA Anas sono state soddisfatte, da quello ambientale, in chiave LCA, gli impatti generati risultano diminuiti). Si ritiene pertanto che lo sviluppo di queste applicazioni nelle pavimentazioni stradali possa essere ulteriormente ampliato.

La soluzione con sabbia Da RSU è valida e permetterà di ampliare il mercato dei conglomerati anche a questo materiale, proponendolo come valido sostituto delle sabbie naturali. L'auspicio è quello che i vari Enti appaltanti promuovano, anche alla luce dei CAM e di protocolli come Envision, la possibilità di utilizzare le sabbie riciclate, anche in combinazione con il fresato e con altri materiali alternativi di origine industriale. In tal senso è in fase di progettazione uno studio sperimentale di laboratorio con sviluppi in campi di prova per la produzione di conglomerati bituminosi con aggregati costituiti al 100% da materiali riciclati a elevate prestazioni di aderenza. ■