

**SITEBSi srl**

# Rassegna del bitume

**RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE**

ESTRATTO DAL N° **02/86**

**Conferenza dibattito**

**La tecnica del riciclaggio nelle pavimentazioni**

*Vittorio Castagnetta*

# Conferenza dibattito

## La tecnica del riciclaggio nelle pavimentazioni

### Relazione generale

Ing. Vittorio Castagnetta

#### 1. INTRODUZIONE

Nel settore delle costruzioni stradali e, in particolare, in quello degli interventi di manutenzione e di rafforzamento, la crisi, economica ed energetica ha incentivato negli ultimi anni lo studio e lo sviluppo di innovazioni intese ad assicurare il migliore impiego delle risorse finanziarie e di materiali naturali.

In questo contesto si inseriscono l'introduzione e, si può ormai dire, l'affermazione delle nuove tecniche di riciclaggio delle pavimentazioni bituminose stradali degradate, cioè dei nuovi processi di rimozione, rigenerazione e riutilizzo dei conglomerati bituminosi già impiegati nelle vecchie pavimentazioni (1).

I vantaggi di queste nuove tecniche sono diversi perché, oltre ad un risparmio economico ed energetico rispetto ai conglomerati bituminosi prodotti ex novo, si consegue un notevole risparmio di materiali lapidei naturali, diminuendone il prelievo da cave o depositi alluvionali e contribuendo quindi a ridurre gli inerenti problemi ecologici e, talvolta, anche tecnici; infine, un ulteriore vantaggio è costituito dal minore impiego di bitume nuovo e pertanto dalla minore incidenza sui consumi di prodotti petroliferi.

C'è quindi una serie di motivazioni economiche, energetiche ed ecologiche in favore del riciclaggio delle vecchie pavimentazioni bituminose degradate, tanto più rilevante quando si pensi ai notevoli quantitativi di materiali di cui trattasi nel campo della manutenzione e del rafforzamento stradale, autostradale ed aeroportuale.

#### 2. ASPETTI TECNICI E TECNOLOGICI

I presupposti che hanno reso possibili ed affidabili le nuove tecniche di riciclaggio delle pavimentazioni bituminose sono costituiti essenzialmente da quattro ordini di fattori:

- formulazione, sperimentazione ed ottimizzazione dei cosiddetti agenti di riciclaggio, cioè di nuovi prodotti specifici da aggiungere ai bitumi invecchiati per ripristinare la composizione, le caratteristiche e le proprietà originali; elaborazione di un metodo generale di analisi dei conglomerati bituminosi invecchiati, studio della loro rigenerazione e delle eventuali integrazioni, ottimizzazione e controllo dei conglomerati riciclati;
  - elaborazione di idonee prescrizioni tecniche per i conglomerati bituminosi riciclati;
  - sviluppo e progressivo perfezionamento dei processi tecnologici operativi e delle relative attrezzature meccaniche per applicazioni su scala industriale;
- che si richiamano brevemente di seguito per quanto concerne i processi di *riciclaggio a caldo* sviluppati in Italia (2).

##### 2.1 L'agente di riciclaggio

Come si è accennato, il riciclaggio dei conglomerati bituminosi invecchiati richiede normalmente la rigenerazione del bitume in essi contenuto.

Il bitume invecchiato ha subito infatti delle modifiche chimico-fisiche che possono essere richiamate principalmente come segue:

- aumento dei componenti asfaltetecnici
- diminuzione dei componenti aromatici
- aumento della viscosità
- diminuzione delle proprietà leganti e di adesione.

Per rigenerare il bitume invecchiato - cioè per ripristinare la composizione, le caratteristiche e le proprietà originali - è quindi necessario integrarlo con un prodotto a base di idrocarburi aromatici e con basso contenuto di asfaltetecnici e bassa viscosità, completato con un pacchetto di additivi specifici costituito, oltre che da attivanti di adesione, da agenti peptizzanti per facilitare la rigenerazione ed antiossidanti per assicurare l'indegradabilità alle elevate temperature di impiego.

(1) In mancanza di esperienze dirette italiane, il riciclaggio delle pavimentazioni stradali *cementizie* non viene preso in considerazione in questa sede.

(2) Per quanto riguarda i primi studi e sperimentazioni in Italia dei processi di riciclaggio *a freddo*, vedasi: Emilio ed Ettore Corbelli, «Impasti bituminosi realizzati a freddo con materiali provenienti dalla fresatura di pavimentazioni stradali esauste», Atti del XIX Convegno Nazionale, 1982.

Questi prodotti, denominati «agenti di riciclaggio», sono stati oggetto di ricerche approfondite e di ampie sperimentazioni e sono ormai ben definiti e classificati, come risulta ad esempio dalle norme tecniche d'appalto della Società Autostrade per la manutenzione delle pavimentazioni con i processi di riciclaggio in impianto o in situ (maggio 1985), che prescrivono:

- composizione chimica *del prodotto* (gruppi di idrocarburi, metodo di prova ASTM D 2007 modificato per bitumi) (3):
- asfaltini (insolubili in n-eptano più insolubili in n-pentano): max. 5% p.
  - saturi (paraffine + nafteni): max 20% p.
  - polari (resine): min. 20% p.
  - aromatici: min. 55% p.
- caratteristiche chimico-fisiche:
- densità a 25/25° C. (ASTM D 1298): 0,99-1,02
  - punto di infiammabilità v.a. (ASTM D 92): > 200°C
  - viscosità a 60°C (ASTM D 445): 0,5-1,2 P
  - solubilità in tricoroetilene (ASTM D 2042): >= 99,5% p.
  - numero di neutralizzazione (IP 213): 1,5-2,5 mg KOH/g
  - contenuto di acqua (ASTM D 95): ≤ 0.5% p. o v.
  - contenuto di azoto (ASTM D 3228): 0,5-1,5% p.

## 2.2 Il metodo di studio e di controllo

Il processo di riciclaggio richiede una fase preventiva di studio e controllo di laboratorio per l'esame delle condizioni attuali del conglomerato invecchiato da riutilizzare, la definizione delle integrazioni occorrenti per la sua rigenerazione e la verifica della idoneità delle caratteristiche fisiche e meccaniche ottenute nel conglomerato riciclato, come richiamato di seguito.

- A. *Esame delle condizioni attuali di un campione rappresentativo del conglomerato bituminoso di recupero*
- A.1 Estrazione a freddo del bitume (CNR B.U. 38/1973)
  - A.2 Recupero del bitume dalla soluzione estratta (ASTM D 1856/79 - Metodo CNR equivalente in corso di normalizzazione)
  - A.3 Analisi granulometrica della miscela di aggregati estratta (CNR B.U. 23/1971)
  - A.4 Massa volumica apparente dei granuli della miscela di aggregati estratta (CNR B.U. 63/1978)
- B. *Determinazione del grado di invecchiamento del bitume estratto*
- B.1 Penetrazione a 25°C (CNR B.U. 24/1971)
  - B.2 Punto di rammollimento P.A. (CNR B.U. 35/1973)
  - B.3 Punto di rottura Fraass (CNR B.U. 43/1974)
  - B.4 Viscosità dinamica a 60°C (ASTM D 2171/81) o viscosimetro rotazionale)

B.5 Composizione chimica (gruppi di idrocarburi, ASTM D 2007 modificato per bitumi con preventiva estrazione degli asfaltini insolubili in n-eptano e di quelli insolubili in n-pentano, con modalità analoghe a quelle del metodo IP 143)

C. *Determinazione delle integrazioni occorrenti per riciclare il conglomerato bituminoso di recupero*

- C.1 Aggregati lapidei
- C.2 Bitume nuovo
- C.3 Agente di riciclaggio («Asphalt Hot-Mix Recycling», The Asphalt Institute, USA - Traduzione italiana autorizzata «Il riciclaggio a caldo dei conglomerati bituminosi», Industria Italiana Petroli, Genova)

D. *Preparazione dei provini del conglomerato bituminoso riciclato e verificato delle sue caratteristiche fisiche e meccaniche*

- D.1 Contenuto di vuoti residui intergranulari (CNR B.U. 39/1973)
- D.2 Comportamento a compressione a 60°C (prova Marshall, CNR B.U. 30/1973)
- D.3 Comportamento a trazione a 25° C o a -10°C (prova di trazione indiretta, Metodo CNR in corso di normalizzazione)
- D.4 Deformabilità a carico costante (CNR B.U. 106/1985)

La composizione del conglomerato riciclato, studiata ed ottimizzata in laboratorio come indicato sopra, dovrà essere poi riprodotta nel processo di riciclaggio industriale e si dovrà infine verificare la rispondenza delle caratteristiche del conglomerato effettivamente prodotto e messo in opera rispetto a quelle ottenute in fase di studio preventivo.

## 2.3 Le prescrizioni tecniche

Per quanto riguarda le prescrizioni tecniche che i conglomerati bituminosi riciclati devono soddisfare, basta dire che un *conglomerato riciclato a regola d'arte deve presentare caratteristiche fisiche e meccaniche allo stesso livello qualitativo di un buon conglomerato bituminoso di nuova produzione.*

Poiché tali caratteristiche variano a seconda dell'impiego del conglomerato (per strato di base, di collegamento o di usura), in ogni caso specifico devono essere prescritte ed ottenute le caratteristiche tipiche dell'impiego di cui trattasi.

Le caratteristiche necessarie devono essere conseguite sia sul legante bituminoso rigenerato (miscela bitume vecchio di recupero, bitume nuovo di aggiunta ed agente di riciclaggio) che sul conglomerato bituminoso riciclato (miscela conglomerato vecchio di recupero, aggregati nuovi di integrazione granulometrica, bitume nuovo ed agente di riciclaggio).

(3) L'identificazione qualitativa della composizione deve essere comunque controllata mediante analisi spettrofotometrica infrarosso, con supporto di cloruro di sodio e senza diluire il prodotto con alcun solvente.

Ad esempio, volendo riciclare un vecchio strato di collegamento al livello qualitativo di uno nuovo prodotto con

bitume 60/70, si hanno le equivalenze riportate nelle Tabelle 1 e 2.

**TABELLA 1**

Legante bituminoso	Legante bituminoso rigenerato				Bitume 60/70 nuovo (per confronto)
	Bitume vecchio di recupero	Bitume 180/200 nuovo di aggiunta	Agente di riciclaggio	Miscela	
Composizione					
Bitume 60/70 nuovo, %p.	-	-	-	-	100
Bitume vecchio di recupero, %p.	100	-	-	61,22	-
Bitume 180/200 nuovo, %p.	-	100	-	32,66	-
Agente di riciclaggio, %p.	-	-	100	6,12	-
Caratteristiche					
Penetrazione a 25°C, dmm	31	188	-	62	60-70
Punto di ramm.to P.A., °C	63	39	-	53	48-56
Punto di rottura Fraass, °C	-	-15	-	-10	max. -8
Viscosità dinamica a 60°C, p	22.300	496	1	2.700	2500-3000

**TABELLA 2**

Conglomerato per strato di collegamento	Metodi di prova	Conglomerato bituminoso riciclato		Conglomerato bituminoso nuovo (per confronto)	
		Aggregati	Legante	Aggregati	Legante
Composizione					
Congl. bit. di recupero: 83 p.p.		80 p.p.	3,0 p.p.	80 p.p.	
Pietrischetto 15/25 di integrari. granulometrica: 20 p.p.		20 p.p.	-	20 p.p.	-
Bitume nuovo 180/200: 1,6 p.p.		-	1,6 p.p.	-	-
Agente di riciclaggio: 0,3 p.p.		-	0,3 p.p.	-	-
Bitume nuovo 60/70		100 p.p.	4,9 p.p.	100 p.p.	4,9 p.p.
Granulometria aggregati (% p.):	CNR B.U. 23	-	-	-	
tot. pass. setaccio ASTM 1"		100,0		100,0	
tot. pass. setaccio ASTM 3/4"		97,4		97,4	
tot. pass. setaccio ASTM 1/2"		77,0		77,0	
tot. pass. setaccio ASTM 3/8"		64,8		64,8	
tot. pass. setaccio ASTM 1/4"		54,0		54,0	
tot. pass. setaccio ASTM n. 4		51,4		51,4	
tot. pass. setaccio ASTM n. 10		27,4		27,4	
tot. pass. setaccio ASTM n. 40		13,8		13,8	
tot. pass. setaccio ASTM n. 80		7,4		7,4	
tot. pass. setaccio ASTM n. 200		4,2		4,2	
Caratteristiche					
Massa volumica aggregati, kg/dm <sup>3</sup>	CNR B.U. 63	2,628		2,628	
Densità legante a 25/25°C "	CNR B.U. 67		1,022		1,016
Massa volumica impasto, kg/dm <sup>3</sup>	calcolato		2,488		2,447
Densità provini Marshall, compattati con 2x50 colpi, kg/dm <sup>3</sup>	CNR B.U. 40		2,321		2,324
Vuoti residui Marshall, % vol.	CNR B.U. 39		5,19		5,03
Prova Marshall a 60°:					
stabilità (S), kg			1205		1174
scorrimento (s), mm			3,88		3,82
rigidità (S/s), kg/mm			310,6		307,3
Prova a trazione indiretta a 25°C:					
carico di rottura P a compressione diametrale, kg	CRR 15-Belgio		640,1		608,3
accorciamento diametrale verticale unitario a compressione	(Metodo CNR in corso di normalizzazione)		0,027		0,030
R = 2P/nDh, kg/cm <sup>z</sup>			6,48		6,27
allung. diametrale orizz. unitario a trazione indiretta			0,017		0,019

## 2.4 I processi tecnologici

Il riciclaggio delle pavimentazioni bituminose degradate comprende due operazioni:

- rimozione e recupero del conglomerato bituminoso della vecchia pavimentazione;
- rigenerazione, eventuale integrazione e reimpiego del conglomerato bituminoso recuperato.

La prima operazione necessaria è infatti quella della rimozione di uno strato o di tutta la vecchia pavimentazione da riciclare, e può essere effettuata mediante scarifica a caldo o a freddo con idonee macchine fresatrici.

La *fresatura a caldo* richiede l'immediato reimpiego del conglomerato bituminoso recuperato (che diversamente, col raffreddamento, non sarebbe più lavorabile) e può essere quindi utilizzata solo nei processi di riciclaggio in sito.

La *fresatura a freddo* fornisce invece un conglomerato di recupero che resta sciolto e lavorabile e può quindi essere riutilizzato sia nei riciclaggi in sito che in quelli in centrale.

La seconda operazione riguarda la rigenerazione del conglomerato bituminoso recuperato, cioè l'additivazione con l'agente di riciclaggio per rigenerare il legante bituminoso invecchiato e, se necessario, l'integrazione con bitume nuovo e con nuovi aggregati lapidei.

Questa operazione può essere eseguita con processo in sito o in centrale.

Il *processo in sito* è effettuato con speciali macchine semoventi che, avanzando sulla strada, raccolgono il conglomerato di recupero fresato, lo rimescolano a caldo aggiungendo i materiali occorrenti e lo ridistendono in un nuovo strato che viene infine debitamente rullato.

Con il *processo in centrale* il conglomerato fresato è trasportato con autocarri ad un impianto centralizzato di mescolamento, dove viene rimescolato a caldo con l'aggiunta dei materiali occorrenti, e quindi riportato sulla strada, stesso con normale vibrofinitrice e rullato.

Questo processo può essere eseguito con un impianto

di mescolamento tradizionale, sia di tipo continuo che discontinuo, oppure con i nuovi impianti a cilindro essiccato-re-mescolatore; in entrambi i casi gli impianti di mescolamento devono essere predisposti per il riciclaggio.

Il progressivo perfezionamento dei vari processi tecnologici operativi e delle rispettive attrezzature meccaniche per applicazioni a carattere industriale - costituendo una delle condizioni indispensabili per l'idoneo impiego delle nuove tecniche di riciclaggio su vasta scala - ha indubbiamente apportato un rilevante contributo allo sviluppo di questi interventi in Italia.

## 3. ASPETTI ECONOMICI

Nell'impossibilità di effettuare una valutazione generale dei vantaggi economici conseguibili con l'impiego delle nuove tecniche manutentorie di riciclaggio rispetto a quelle tradizionali (ricarica e rafforzamento, oppure scarifica e ricostruzione) - dato che i termini da mettere a confronto sono molti e notevolmente variabili (tipi di strutture, di materiali, di interventi, ecc.) - appare tuttavia interessante citare un esempio presentato al recente Seminario internazionale sul riciclaggio delle pavimentazioni bituminose tenuto dalla Association Royale Permanente des Congrès Belges de la Route in collaborazione con la European Asphalt Pavement Association. (4)

L'esempio fa il confronto fra il valore di mercato di un conglomerato bituminoso prodotto ex novo in un impianto di medio-alta capacità (100.000 m<sup>3</sup>/anno) e quello di un conglomerato riciclato in impianto di pari capacità.

Dai risultati del confronto, riportati nella Tabella 3, si evidenziano le seguenti economie per i conglomerati riciclati:

- riutilizzo di 50% di conglomerato di recupero: economia 24,2%
- riutilizzo di 60% di conglomerato di recupero: economia 29,6%

TABELLA 3

Valore di mercato di un conglomerato bituminoso franco impianto di produzione				
Conglomerato bituminoso	Prodotto ex novo	Riciclato		
		Con impiego di conglomerato di recupero		
		50%	60%	70%
Costo materie prime (aggregati lapidei, filler, bitume)	68%	34,0%	27,2%	20,4%
Costo conglom. bituminoso di recupero (*)	—	6,8%	8,2%	9,5%
Costo produzione (ammortamento impianto, manutenzione, riparazioni, olio combustibile, energia elettrica, spese generali, utile) (")	32%	35,0%	35,0%	35,0%
Economia	—	24,2%	29,6%	35,1%
Totali	100%	100,0%	100,0%	100,0%

(\*) Si assume un maggior costo del 20% del conglomerato bituminoso di recupero rispetto alle materie prime, per accatastamento e occupazione del cantiere, sfri-  
do, aggiunta dell'agente di riciclaggio, ecc.

(") I costi di produzione variano mediamente dal 32% per conglomerati normali al 35% per conglomerati riciclati, per i maggiori costi di ammortamento e delle altre  
spese relative agli impianti integrati per il riciclaggio.

(4) G. Turrini, P. Verbist, «Il bilancio globale economico del riciclaggio, Atti del Seminario internazionale Recyclage en centrale des revêtements hydrocarbonés, Bruxelles, 19 aprile 1986.



**Fig. 1-2 - Scarifica (fresatura a caldo) e riciclaggio in sito del vecchio conglomerato bituminoso («termo-rigenerazione») sull'Autostrada Quincinetto-Aosta.**



**Figg. 3-4 - Scarifica (fresatura a freddo) e riciclaggio in sito del vecchio conglomerato con impianto mobile sulla pista di volo dell'Aeroporto civile di Genova.**

- riutilizzo di 70% di conglomerato di recupero: economia 35,1%

Naturalmente questi dati sono solo orientativi, poiché il rapporto dei costi delle materie prime, del conglomerato di recupero e della produzione variano da caso a caso; tuttavia, seguendo il metodo sopra indicato, è agevole verificare i vantaggi economici conseguibili con la tecnica del riciclaggio in ogni caso specifico.

#### **4. ASPETTI ENERGETICI**

Per quanto riguarda i minori consumi energetici conseguibili con le varie tecniche di riciclaggio, a fronte dell'impiego delle tecniche tradizionali di manutenzione, sono state fatte diverse valutazioni sia in Italia che in altri paesi con risultati più o meno confrontabili ma comunque sempre a favore dei riciclaggi.

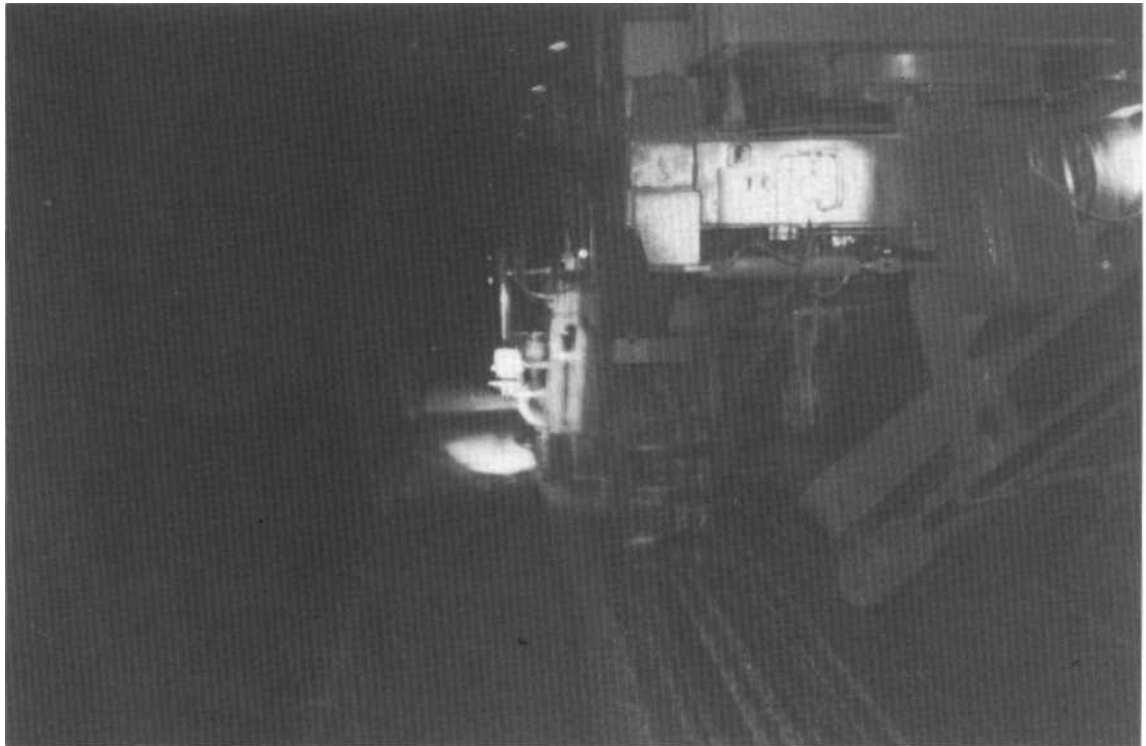
Anche in questo caso la complessità dell'argomento (vari tipi di strutture, di materiali, di interventi, ecc.) non consente un breve riepilogo dei risultati, ma giova ricordare che uno studio approfondito in proposito è stato presentato in Italia nel 1981. (5)

Si rimandano quindi gli interessati a questo studio per l'esame dei numerosi casi specifici; tuttavia per fornire in questa sede almeno un ordine di grandezza dei vantaggi energetici consentiti dal riciclaggio nel settore in esame, si citano le seguenti conclusioni generali:

- i maggiori dispendi energetici dipendono dalle materie

prime (specialmente inerti) e dal confezionamento agli impianti di materiali prodotti ex novo;

- le lavorazioni tradizionali presentano consumi energetici sempre più elevati dei riciclaggi;
- tali differenze a favore dei riciclaggi vanno, per l'Italia, da un minimo di 12,3% (riciclaggio in sito su 5 cm. di spessore, rispetto a ricarica con 5 cm. di conglomerato nuovo) ad un massimo del 66,8% (fresatura a freddo di 5 cm. e ripristino con conglomerato riciclato, rispetto all'impiego di conglomerato nuovo).



**Figg. 5-6 - Scarifica (fresatura a freddo) e recupero del vecchio conglomerato bituminoso  
In galleria sull'Autostrada Savona-Ventimiglia.**



(5) G. Camomilla, «Riciclaggio delle pavimentazioni e tecniche di manutenzione tradizionali - Consumi energetici a confronto», Autostrade N. 6, giugno 1981.





**Figg. 7-8 - Riciclaggio in centrale del vecchio conglomerato bituminoso recuperato e riapplicazione del conglomerato riciclato sull'Autostrada Savona-Ventimiglia.**



## 5. CONCLUSIONI

Le crescenti esigenze di risparmi economici, energetici e di materiali naturali (inerti e petrolio) hanno motivato anche in Italia l'introduzione e lo sviluppo delle nuove tecniche di riciclaggio delle pavimentazioni bituminose stradali ed aeroportuali degradate.

L'intensa attività di ricerca ha portato alla messa a punto dei materiali occorrenti per la rigenerazione dei leganti e dei conglomerati bituminosi invecchiati, nonché alla elaborazione di idonei metodi di studio e di controllo dei conglomerati riciclati.

Contemporaneamente, il progressivo perfezionamento dei processi tecnologici operativi e delle relative attrezzature meccaniche ha consentito lo sviluppo delle applicazioni su vasta scala - sia con il metodo del riciclaggio in sito che con quello in centrale - con possibilità di recuperare e

riutilizzare i vecchi conglomerati bituminosi in proporzioni variabili dal 50 al 100% dei conglomerati riciclati.

Anche in campo aeroportuale si possono citare le prime importanti applicazioni effettuate nel 1985 nelle piste di volo e di rullaggio degli Aeroporti civili di Genova (riciclaggio in sito) e di Bologna (riciclaggio in centrale) e, per quanto risulta, quelle previste dalla Aeronautica Militare per il 1986 nell'aeroporto di Brindisi e per il 1987 negli aeroporti di Cervia e di Gioia del Colle.

Le esperienze riportate consentono di affermare che si sono realizzati tutti i presupposti affinché - con una idonea progettazione ed una corretta esecuzione - le nuove tecniche di riciclaggio possano fornire in futuro un essenziale contributo alla soluzione del problema della manutenzione delle reti stradali e delle piste aeroportuali, a vantaggio dell'economia del Paese e della sicurezza degli utenti e con rilevante risparmio di risorse di materiali naturali.