

DALLA SPERIMENTAZIONE ALL'APPLICAZIONE

IL RICICLAGGIO A FREDDO È UNA REALTÀ

Il 2003 segna il passaggio dalla sperimentazione alla concreta applicazione del riciclaggio a freddo delle pavimentazioni stradali acquisito come tecnologia costruttiva sia nei lavori di adeguamento dell'autostrada Torino-Milano che negli interventi di manutenzione della Società Autostrade

FABRIZIO BONOMO

Da molti anni si parla di riciclaggio delle pavimentazioni stradali e in particolare di quello a freddo, che negli ultimi cinque anni ha visto un crescendo di prove e sperimentazioni da parte dei due maggiori gruppi autostradali italiani, per giungere alla fase applicativa proprio nell'anno in corso: la Torino-Milano ha inserito nei propri capitolati un tipo di riciclaggio a freddo e lo sta già applicando nei lavori di adeguamento dei suoi 127 chilometri (avviati proprio nel 2003), mentre parallelamente ne sta mettendo a punto un secondo tipo, derivato dal primo, che aumenta la dimensione e il ruolo del riciclato all'interno del pacchetto stradale; allo stesso modo, Autostrade Spa ha messo a punto diverse modalità di riciclaggio, che sono in via di inserimento nei propri capitolati e interessano sin d'ora cantieri di manutenzione per decine di chilometri (che si aggiungono agli oltre centocompletati nelle sperimentazioni degli scorsi anni), mantenendone come "sperimentali" alcune, almeno fino alla fine del 2003, perché si riserva il diritto di apportare modifiche durante il contratto, evitando contestazioni.

Gli approcci sono diversi, ma entrambi indicano che il 2003 segna il passaggio dalla sperimentazione all'applicazione, ponendo la realtà italiana al vertice nella ricerca e nello sviluppo di queste tecnologie, prefigurando una vera e propria rivoluzione nei prossimi anni, in termini di materiali e tecnologie per la gestione dei cantieri, uso del territorio e approccio alla manutenzione stradale.



Il caso dell'autostrada Torino-Milano

L'approccio del gruppo Astm è pragmatico e cautelativo – come sottolinea Marco Garozzo, Responsabile Ricerca e Sviluppo di Sineco Spa – e punta a recuperare in maniera tecnicamente valida il cento per cento della pavimentazione esistente sull'autostrada Torino-Milano, oltre che buona parte dello strato di fondazione, integrandole in una nuova struttura che negli strati superiori rimane di tipo tradizionale, realizzata cioè con materiali nuovi e a caldo.

Questo approccio è strettamente legato alla natura ancora sperimentale del riciclaggio a freddo, ma anche allo stato e alle caratteristiche dell'autostrada e al tipo di intervento previsto, unico nel suo genere perché prevede il rifacimento dell'intera pavimentazione, sin dagli strati più profondi, e l'allargamento a tre corsie più quella d'emergenza, su entrambi i sensi di marcia.

Non si tratta infatti di una semplice manutenzione, ma della costruzione quasi ex novo di un'arteria autostradale, a partire dallo strato di fondazione, realizzato alla fine degli anni Venti con un misto granulare di fiume, che necessita di essere sostituito con materiali più adatti a sostenere un tipo di infrastruttura percorsa da un volume di traffico molto elevato, collocata in pianura, spesso sotto falda (attraversa zone molto umide, come le risaie del vercellese), ed è soggetta a rivenute d'acqua.

Inoltre, la necessità di rimuovere completamente l'attuale pavimentazione produce un rifiuto da fresatura di quasi un milione di metri cubi, con tutto ciò che ne consegue in termini di smaltimento e/o riutilizzo.

Quindi la scelta del riciclaggio è strategica, perché significa innanzitutto un doppio risparmio: evita lo smaltimento in discarica di un'enorme quantità di materiale, e la diminuzione altrettanto grande delle necessità di inerti da cava.

Il tipo d'intervento

La soluzione adottata consiste nel rigenerare il fresato a freddo con emulsione



bituminosa, in impianto fisso ad alta produttività, e stenderlo poi come strato inferiore della nuova struttura, sopra la parte rimasta della fondazione in misto fiume, così da creare un sottofondo (o sottobase, paragonabile a uno strato di fondazione) dallo spessore di 20 centimetri, sopra il quale stendere una base di 10 centimetri in conglomerato bituminoso, 6 centimetri di binder e 4 centimetri di tappeto d'usura.

L'utilizzo del riciclato come sottobase è diretta espressione dell'approccio cautelativo di Astm, che in assenza di nozioni tecniche certe e di esperienze pregresse documentate sull'uso e sulle performance di questo tipo di materiale, ha ritenuto di limitarne l'utilizzo a uno strato di fondazione nuovo, di fatto non sottoposto a sollecitazioni elevate.

Il materiale proviene dalla rimozione degli strati legati a bitume della pavimentazione esistente, per uno spessore complessivo di 25 centimetri (4 di usura, 6 di binder e 13 di base), sotto il quale si rimuovono anche 15 centimetri della fondazione.

Il fresato è poi sottoposto a una frantumazione in mulino e a una successiva vagliatura al setac-

cio da 40 millimetri; da qui passa all'impianto di rigenerazione, dove viene lavorato come un normale inerte insieme con il 3,5 per cento di emulsione, 2 per

Mix design del riciclaggio a freddo sulla Torino-Milano

Fresato	100 %
Emulsione	3,5 %
Cemento	1,5 %
Acqua	2,0 %

Fonte: Sineco Spa.

cento di acqua di impasto e un 1,5 per cento di cemento; la miscela rigenerata viene quindi riversata su autocarri che la trasportano in cantiere, dove viene stesa e compattata con normali vibrofinitrici e rulli.

Struttura del corpo stradale dell'autostrada Torino-Milano, con la sezione della pavimentazione esistente, le parti fresate o demolite e gli strati del nuovo pacchetto stradale

Sezione esistente	Demolizione	Ricostruzione
Usura 4 cm	Fresatura 25 cm	Usura 4 cm
Binder 6 cm		Binder 6 cm
Base 13 cm		Base 10 cm
Fondazione misto fiume	Scavo 15 cm	Riciclato a freddo 20 cm
		Fondazione



Scavo di uno strato di 15 centimetri della fondazione in misto fiume realizzata negli anni Venti

Questa soluzione inserisce di fatto una variante in un normale processo produttivo, dove l'utilizzo di impianti fissi si adatta bene a un intervento che, come già ricordato, è di tipo straordinario e punta a una sostanziale ricostruzione dell'intero pacchetto stradale. Non solo, ma come afferma Marco Garozzo, le prove e i monitoraggi sui tratti

Veduta di uno degli impianti di rigenerazione



Compattazione dello strato rigenerato dopo la stesa in opera Stesa del conglomerato bituminoso della nuova pavimentazione



dove sono stati realizzati i primi pacchetti con sottobase riciclata, in opera ormai da cinque anni, continuano a indicare performance tecniche superiori alle attese, consentendo quindi di raggiungere obiettivi primari come il risparmio di cave di prestito e il reimpiego integrale del fresato, ma anche di costruire un pacchetto con caratteristiche di portanza che si avvicinano a quelle delle pavimentazioni semi-rigide, integrate da una resistenza a fatica elevata, tipica delle flessibili.

Inoltre – continua Garozzo – rispetto alle regole di progettazione canoniche si ritiene che possa anche aumentare la durata di vita di questa nuova pavimentazione, avvicinandola alle cosiddette “pavimentazioni a vita infinita”, garantendone, comunque, una facile riparabilità.

Cinque anni di studi e prove

Gli interventi di riciclaggio oggi applicati nei lavori della Torino-Milano sono il frutto di una evoluzione nel tempo che ha riguardato le tecniche di lavorazione e i materiali impiegati.

Il progetto, iniziato nel 1997, ha coinvolto i principali addetti al settore, sia interni al gruppo Astm Torino-Milano, quali la Sineco (che dispone di un laboratorio prove materiali e di apparecchiature di monitoraggio delle prestazioni finali delle sovrastrutture stradali) e l'impresa Itinera, esecutrice dei lavori, sia realtà importanti quali il Politecnico di Torino (per la definizione del protocollo di

ricerca) e la Esso (gruppo Exxon-Mobil), in particolare per la realizzazione delle emulsioni.

L'obiettivo è stato sin da subito quello di realizzare, in una prima soluzione, uno strato di fondazione in conglomerato bituminoso rigenerato, come valida alternativa alle classiche tecniche di stabilizzazione con calce o cemento, riservandosi la possibilità di un impiego nella ricostruzione di strati più superficiali quali, ad esempio, i 10 centimetri dello strato di base, portando a 30 centimetri lo spessore della sottobase in riciclato (sperimentazione già avviata da tempo, la cui adozione fra le tecniche d'intervento dovrebbe avvenire nel corso del 2003).

Nel 1997 – come ricorda Michele Mori, Direttore del laboratorio Materiali da costruzione di Sineco Spa – si sono svolte le prime prove e caratterizzazioni, con indagini di mercato (basate soprattutto su letteratura estera), contatti con produttori di emulsioni, prove in laboratorio sulle diverse emulsioni proposte ecc.

Il primo esperimento pratico risale all'estate del 1998, realizzato secondo criteri classici dei riciclaggi a freddo in sito, utilizzando un apposito treno Wirtgen Mixpaver WR 4500 già impiegato all'estero (in particolare in Germania e Austria), in grado di prelevare il materiale precedentemente fresato e, senza soluzione di continuità, miscelarlo con emulsione, cemento e acqua, per poi stenderlo in uno spessore uniforme.

Si è trattato di una sperimentazione a tutto campo che, pur essendo praticata di soli due chilometri, ha visto l'applicazione su più lotti di una serie di dif-

ferenti emulsioni, formule di impasto e tecniche di realizzazione. In quei due chilometri – ricorda ancora Michele Mori – sono emersi molti dati utili per valutare il mix design possibile: in quel contesto sono intervenuti sei produttori di emulsioni e sono state provate sette emulsioni differenti,

Estensione degli interventi di riciclaggio a freddo sulla Torino-Milano

1998	2,0 km
1999	15,2 km
2000	23,2 km
2001	22,1 km
2002	18,5 km
Totale	86,8 km

Fonte: Sineco Spa.

con diversi mix design.

Nei successivi interventi (1999, 2000 e 2001) la sperimentazione si è concentrata su una tecnica di riciclaggio a freddo in impianto, per migliorare la stabilità della produzione garantendo al tempo stesso le caratteristiche di

vata (fino circa 180 tonnellate/ora a regime).

L'estensione degli interventi è aumentata nel corso degli anni e, dopo i due chilometri del 1998, nel 1999 sono stati realizzati circa 15 chilometri suddivisi in sei lotti, utilizzando due emulsioni provenienti da società produttrici differenti.

Gli anni 2000, 2001 e 2002 vedono la progressiva messa a punto della tecnica ritenuta più valida, impiegando un'unica emulsione su interventi che hanno raggiunto di circa venti chilometri ogni anno, seguiti passo passo da una sistematica campagna di rilevamento, con diversi sistemi di misura su strada (rilievi deflettometrici con Curviametrè e Fwd, rilievi stratigrafici radar ecc.) e di



Particolare di uno degli interventi di carotaggio

Il Falling Weight Deflectometer (Fwd), utilizzato per il rilievo deflettometrico continuo dello strato rigenerato e della pavimentazione finita



Il Curviametrè, utilizzato per il rilievo deflettometrico continuo dello strato rigenerato e della pavimentazione finita



laboratorio.

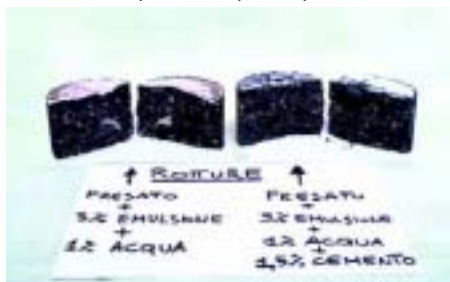
Avuto riprova che alcune sezioni rispondevano alle aspettative, è stato identificato il mix design più soddisfacente, con determinate quantità di cemento, tipo e quantità di emulsioni e tipo di fresato.

Oggi, dopo cinque anni, questa tecnica è inserita a pieno titolo nei capitolati dell'Autostrada Torino-Milano; rimane concettualmente "sperimentale" – come sottolinea Marco Garozzo – solo perché la produzione è monitorata in modo "un po' asfissiante" rispetto alle pavimentazioni tradizionali, in quanto è comunque una tecnica giovane e si ritiene utile mantenere un controllo sul corretto rapporto formula/prestazioni.

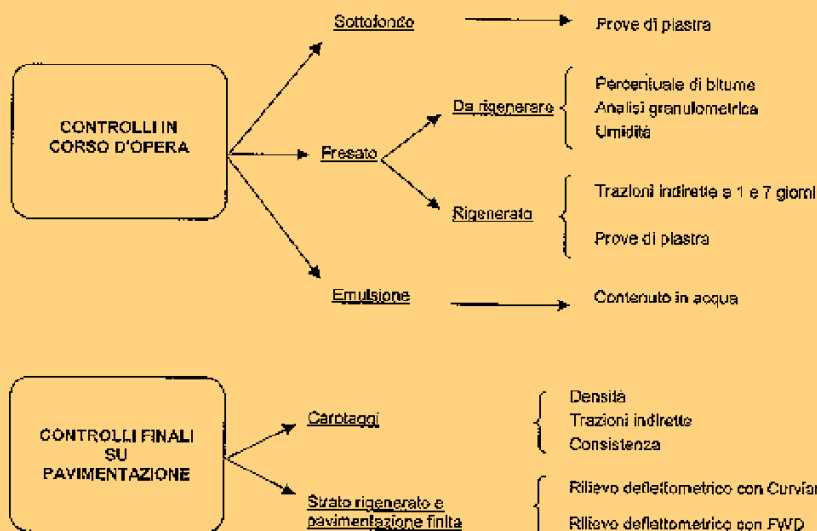
semplicità ed economicità delle lavorazioni.

In particolare è stato utilizzato l'impianto Marini Crp 300, che può essere montato in tempi contenuti in aree differenti – in funzione degli interventi previsti e dell'avanzamento dei lavori – e consente una produzione molto ele-

Alcuni dei campioni sottoposti a prova di rottura



Schema dei controlli effettuati sulle pavimentazioni dell'autostrada Torino-Milano



L'esperienza sulle reti del gruppo Autostrade

L'approccio della Società Autostrade è più sistematico e legato alle normali attività di manutenzione della sua rete, finalizzando la ricerca e le tecnologie alle differenti necessità di ripristino – dal tappeto d'usura all'intero pacchetto stradale – individuate e programmate mediante una costante misurazione dello stato delle pavimentazioni.

Va detto però che le tecniche di riciclaggio a freddo hanno avuto un'accelerazione dopo il cambio di proprietà, così che dal 2000, nell'ambito di interventi di manutenzione ordinaria, su oltre cento chilometri di autostrada si sono sperimentate e messe a punto una serie solu-



zioni sviluppate negli anni precedenti. Oggi si sta via via consolidando la scelta di utilizzare un pacchetto che prevede il riciclaggio degli strati profondi con bi-



tume schiumato e degli strati intermedi (binder+base) con emulsione di bitume, entrambi effettuati a freddo e in sito.

Quindi il nuovo pacchetto è quasi interamente riciclato; rimane per ora escluso lo strato d'usura ma già oggi (2002-2003) sono in corso sperimentazioni che affrontano il nodo del riciclaggio del drenante, sempre in sito ma a caldo, e in prospettiva si prevede la sperimentazione del riciclaggio delle altre usure non drenanti, completando l'intero ciclo e raggiungendo l'obiettivo del riciclaggio totale delle pavimentazioni stradali.

Le dimensioni dell'attività di sperimentazione sono consistenti: nel solo periodo iniziale, fra il 2000 e il 2001, nell'ambito dei lavori di manutenzione or-

dinaria sulla rete della Società Autostrade, sono stati messi in opera circa 160 mila metri quadrati di bitume schiumato, per uno spessore di 23 centimetri e un totale di 37 mila metri cubi, e circa 45 mila metri quadrati di riciclato con emulsione, per un totale di circa 6.700 metri cubi.

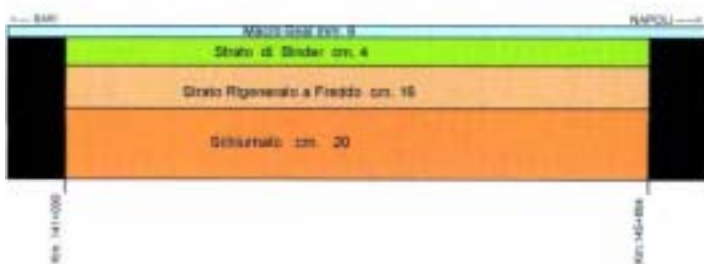
Le due tecnologie – segnala Gabriele Camomilla, responsabile funzione Studi misure e standard per la sicurezza di Autostrade Spa, e fra i maggiori protagonisti dell'innovazione in ambito stradale – rappresentano oggi la migliore soluzione per lo smaltimento e il riutilizzo dei materiali del corpo autostradale, oltre che per la riduzione dell'impatto ambientale, i minori tempi di disturbo all'utenza (ridotto traffico di cantiere, lavorazione in sito, elevate produzioni giornaliere, con-

Sezioni di due tipi di interventi di riciclaggio a freddo realizzati sulla rete della Società Autostrade

RIGENERAZIONE A FREDDO IN SITO

A/16 Km. 945+000 - 945+804 Est / Marcia

RICOSTRUZIONE



Laboratorio Centrale Ortona, Luglio 2002

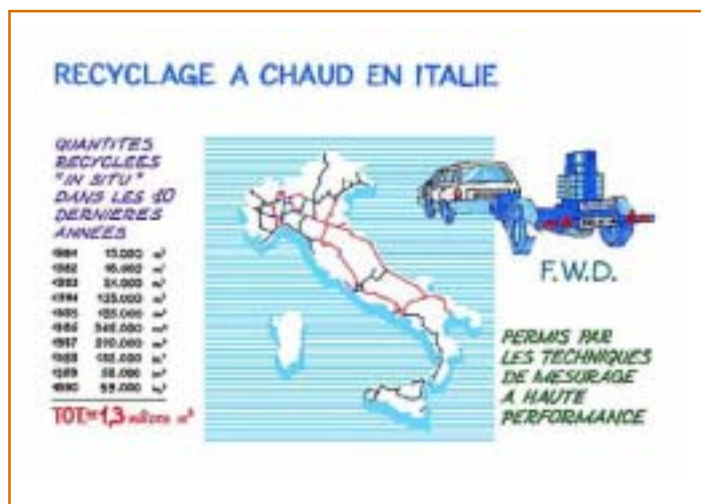
RIGENERAZIONE A FREDDO IN SITO

A/16 Km. 556+700 - 556+888 Sud / Marcia

RICOSTRUZIONE



Laboratorio Centrale Ortona, Luglio 2002



tenuti tempi di maturazione del prodotto), risparmio energetico e riduzione dei costi di produzione perchè non occorre scaldare i materiali e si riutilizzano componenti costosi e pregiati quali inerti e bitume), e sono inoltre tecnologie che presentano elevati margini di miglioramento tecnico.

Le origini del riciclaggio totale

Per la Società Autostrade la ricerca e l'applicazione di sistemi di riciclaggio risale agli anni Settanta: quel primo periodo ha visto un grande impiego di riciclaggi a caldo, in sito, seguito successivamente da riciclaggi in impianto, sempre a caldo; oggi si è passati al riciclaggio a freddo, che Gabriele Camomilla chiama "il riciclaggio povero", per i bassi costi energetici.

In Italia il riciclaggio delle pavimentazioni stradali risale sostanzialmente al 1974, come una delle risposte del mondo stradale alla crisi petrolifera che in quegli anni ha investito il mondo: uno dei prodotti energetici per eccellenza era il bitume, derivato dai residui di lavorazione del petrolio greggio, quindi il riciclaggio a caldo permetteva di recuperarlo dalle pavimentazioni esistenti, e riciclandole si riduceva a una percentuale minima la sua necessità.

Subito dopo però – ricorda Camomilla – è apparso evidente che il riciclaggio non è solo risparmio energetico, ma anche un processo razionale ed economico: razionale perché consente di intervenire in punti precisi, dove si trova il danno

(la corsia di transito del traffico pesante si consuma più delle altre), e con il materiale già presente in sito, quindi senza movimentazioni e con risparmio di bitume; economico perché fa risparmiare sia nell'acquisto che nella movimentazione degli inerti da cava, fattore quest'ultimo altrettanto importante considerando che la crisi energetica era anche crisi di consumi di trasporto.

Gradatamente, a partire dal 1974, la Società Autostrade ha via via messo a fuoco i diversi elementi necessari: dalle macchine per la fresatura e la ricostruzione al rigenerante per il bitume esistente, allo studio dei materiali, con l'analisi della portanza, la durata a fatica ecc.

Operativamente – continua Gabriele Camomilla – questi studi hanno trovato applicazione negli anni Ottanta, quando la consociata Pavimental contribuì alla nascita di una macchina (la Art, prodotta dalla Marini) in grado di produrre 180 tonnellate/ora di riciclaggio a caldo in sito, superando uno dei problemi centrali di questa tecnica, perchè le macchine sperimentate in precedenza offrivano una produzione di 20/30 tonnellate/ora, troppo bassa per un cantiere autostradale (gli impianti di materiale vergine producono 2/300 tonnellate/ora). Con l'introduzione della macchina Art – puntualizza Camomilla – dal 1985 al 1990 la Società Autostrade ha riciclato metà della sua rete, che quindi oggi risulta riciclata almeno una volta; ovviamente non tutte le pavimentazioni,

ma sicuramente quelle delle corsie di marcia.

I presupposti del riciclaggio a freddo

Il riciclaggio a caldo in sito, abbastanza rivoluzionario perché prevede il reimpianto di tutte le parti nobili della strada, conclude di fatto la sua stagione all'inizio degli anni Novanta, come conseguenza delle leggi sull'inquinamento dell'atmosfera e sul rischio industriale che, indirettamente (trattandosi di impianti mobili e non fissi) ha fatto ritenere fuori norma le macchine Art, essenzialmente perchè producevano fumo blu, derivato dal contatto fra la fiamma del bruciatore e il materiale fresato.

Così questi impianti sono stati dismessi e trasferiti all'estero, ad esempio in Russia, dove hanno riciclato strade per centinaia di chilometri, come la Mosca-Minsk, che è stata interamente risistemata con le riciclatrici italiane della Pavimental Est.

Ma così come la normativa ha decretato la fine del riciclaggio a caldo in sito in Italia, così il riciclaggio a freddo nasce sotto la spinta della nuova legge Ronchi del 1997, che definisce il materiale derivato dalla strada come "rifiuto speciale non pericoloso"; di fatto la norma lo ritiene potenzialmente pericoloso a meno di un riutilizzo nella strada stessa dalla quale è stato tolto (il presupposto è che, trattandosi di materiale sotto traffico, ha ricevuto inquinanti quali particelle di gomme, particolato di idrocarburi, piom-

bo, cadmio, cromo, metalli pesanti derivati dai freni ecc.).

Da qui – segnala Gabriele Camomilla – prendono corpo le soluzioni sperimentate negli ultimi anni, prendendo atto che il riciclaggio a freddo ha una durata inferiore di quello a caldo, però permette di riciclare qualsiasi materiale, non più solo il conglomerato bituminoso, perché non si riutilizza il legante esistente ma l'inerte, e il legante viene aggiunto.

Per fare questo si sono state messe a punto soprattutto le due tecnologie già citate in precedenza: il bitume schiumato e il riciclaggio con emulsione.

Il riciclaggio con bitume schiumato

La soluzione di riciclaggio con bitume espanso o "schiumato" ha avuto il suo sviluppo su strada solo negli ultimi due anni (2001-2002), ma parte da studi su macchine precedenti, effettuati nel quadriennio 1998-2001 sulla base di vecchie attrezzature statunitensi non utilizzabili in Europa.

La tecnica consiste nell'insufflare il bitume, all'interno di un mescolatore con dell'acqua ad alta pressione, che lo trasforma in una schiuma particolarmente adatta a essere mescolata a temperatura ambiente con inerti, compresi quelli derivati da una qualsiasi parte fresata della strada (sottofondi, pavimentazioni ecc.).

Questo conglomerato, con l'aggiunta del due per cento di cemento, si trasforma a

Miscele per riciclaggio con bitume espanso*

Bitume espanso	3 %
Cemento 32.5 Portland	2 %
Acqua totale di addensamento	6 %
Acqua per espansione bitume	3 %
Sabbia di integrazione**	12 %
Pietrisco**	10 %

Note

*Composizione media delle miscele poste in opera sulle rete della Società Autostrade nel periodo 2000-2001.

**Previsto solo in alcuni casi.

Fonte: Autostrade Spa



sua volta in un prodotto lavorabile per più tempo (stendere, spostare ecc.) e si indurisce solo a seguito di una buona rullatura; non ha periodo di maturazione, come ad esempio il misto cementato, matura nel tempo e non perde resistenza a fatica.

La tecnica del bitume schiumato – ribadisce Gabriele Camomilla – serve a riciclare gli strati profondi della pavimentazione che si sfondano con gli anni, senza che vi sia la necessità di effettuare altri interventi: si fresa lo strato inferiore, lo si integra con altro materiale, sempre di scarto, e infine lo si miscela in situ con il bitume schiumato.

Contrariamente ad altri sistemi, con lo schiumato l'eliminazione dell'acqua – che comunque è solo il 2 per cento – è facile e veloce, anche con spessori elevati, superiori a 25 centimetri: l'acqua evapora, il prodotto lega e tutta la vita utile viene sfruttata in sottofondi che si caratterizzano per la lunga durata e il basso costo.

Il segreto della sua durata a fatica (così come di altri riciclati) è nello spessore, aumentandolo si ottengono le durate richieste; occorre solo – puntualizza Camomilla – un mescolatore a volume variabile e un buon costipamento, perché il problema è il limite dell'addensabilità: il bitume schiumato non ha il comportamento desiderato se non si addensa bene, quindi deve essere rullato, con rulli da 16 tonnellate, e non si possono

realizzare più di 25 centimetri per volta, e se occorrono spessori maggiori è necessario intervenire in due tempi, con le complicazioni del caso.

Inoltre lo schiumato non può essere utilizzato in superficie, perché non ha resistenza all'abrasione da traffico: l'azione tangenziale delle ruote richiede resistenze ottenibili solo in impianto, in quanto la miscela non può avere punti di mancamento e l'impianto dà la certezza dell'omogeneità.

Prestazioni e produttività

La tecnologia del bitume schiumato non necessita di impiego di frese, perché le

Particolare della camera di fresatura e miscelazione



Schema della camera di fresatura e miscelazione di una Wirtgen WR 2500





Compattazione del riciclato, che richiede rulli di adeguata capacità sia dinamica che statica



Particolare del pannello di controllo elettronico della miscela prodotta

macchine che effettuano la lavorazione (ad esempio la Wirtgen WR 2500) sono dotate di un tamburo rotante che agisce all'interno di una campana e svolge sia la funzione di fresatura che di miscelazione.

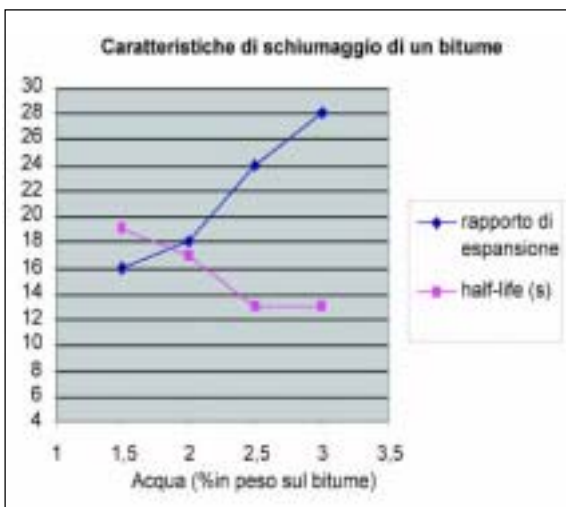
La profondità di lavorazione può spingersi fino a 50 centimetri, mentre quella operativa è di 20-25 centimetri, che rappresenta una misura ottimale per la compattazione.

Secondo i dati emersi dalle sperimentazioni, il materiale esistente viene recuperato dal 75 al 100 per cento, con un'ottima produzione oraria (superiore alle 200 tonnellate/ora) e consente la stesa immediata dello strato superiore e della successiva apertura al traffico, senza necessità di maturazione di presa come per le pavimentazioni in misto cementato.

Particolare del pulmino di controllo della Società Autostrade con all'interno una pressa giratoria



Vista di un treno di miscelazione mobile



Provini costipati con pressa giratoria e testati a trazione indiretta



Il riciclaggio con emulsione sperimentato da Pavimental

Per il riciclaggio degli strati intermedi la Società Autostrade interviene essenzialmente in due modi: nel tradizionale metodo a caldo, trasportando il fresato delle parti nere (base, binder e usura) in un impianto fisso, oppure con una nuova metodologia di riciclaggio a freddo in sito, con emulsione bituminosa, nella quale il bitume è modificato con polimeri, che di fatto sostituiscono il caldo. Quest'ultima tecnica è stata sviluppata operativamente fra il 2001 e il 2002, riprendendo però studi effettuati negli anni Ottanta e Novanta, in particolare dalla consociata Pavimental, ma rimasti fermi per motivi tecnici e organizzativi, soprattutto – come puntualizza Romano Foschi, tornato da alcuni anni ad essere il punto di riferimento della ricerca di Pavimental – perché mancavano ancora bitumi modificati adatti a un impiego autostradale.

In un recente articolo, Romano Foschi, Mario Bonola e Domenico Sandulli ricordano che già nel 1986 Pavimental realizza il riciclo in sito di pavimentazioni con emulsione di bitume; bisogna però arrivare ai test del 1995 e 1996, con la messa a punto delle emulsioni modificate, per ottenere delle lavorazioni interessanti dal punto di vista del traffico autostradale: 2,5 chilometri lungo l'A14 Adriatica, presso Porto Civitanova, e circa 300 metri di lunghezza sulla autostrada A1 in prossimità di Orvieto, dove sono stati applicati due tipi di emulsione, entrambi con bitume modificato, e con l'utilizzo totale del fresato, per uno spessore finito di 12 centimetri, ricoperto da un micro-tappeto di 2 centimetri; dopo sette anni, i tratti sono ancora in perfette condizioni strutturali e hanno sopportato un traffico di circa 7 milioni di assi da 12 tonnellate ciascuno.

Il fatto nuovo – che rispecchia anche l'accentuata attenzione della nuova proprietà di Autostrade Spa al rapporto costi/benefici – è il rilancio operativo di queste esperienze, dal quale nasce un deciso sviluppo del riciclaggio a fred-



do in sito, che oggi mostra risultati di rilievo e sotto certi aspetti ben oltre le previsioni.

Le sperimentazioni recenti

Nel corso del 2001 sono ripresi gli esperimenti su strada, e in sei mesi hanno interessato sei tratte autostradali differenti, per uno sviluppo complessivo di 20 chilometri, le cui pavimentazioni sono state sottoposte a oltre 35 anni di traffico e relativa manutenzione.

La sperimentazione ha prodotto 15 pavimentazioni di diverso tipo e spessore (10, 15 e 20 centimetri), realizzate con cinque tipi di emulsioni, di cui tre con bitume modificato con elastomeri e due con bitume modificato con lattice; il tutto completando il confezionamento della miscela di materiale fresato con aggiunta di cemento o calce idrata e di rigenerante del bitume presente nella

pavimentazione demolita.

Le varianti hanno interessato anche la fase di compattazione, effettuata con rullo metallico vibrante e rullo statico gommato da 35 tonnellate, mettendo a confronto quattro tipi diversi di rulli vibranti, per valutare l'adeguata capacità sia dinamica che statica.

Quest'ultima scelta segnala l'importanza che riveste la rullatura degli strati riciclati con emulsione perché – come spiega Gabriele Camomilla – è necessario espellere l'acqua presente nell'impasto

per realizzare elevati legami all'interno della miscela, che in media contiene circa il 40 per cento di acqua.

Non a caso si sono recentemente resi necessari tre rulli – uno vibrante e due gommati – per garantire una compattazione adeguata a fronte di una velocità di avanzamento molto alta garantita da un nuovo macchinario introdotto nel settembre scorso.

Nel complesso il 2001 ha visto la produzione di circa 50 tipologie di pavimentazioni differenti, create con lo scopo di costituire un "campionario" da cui attingere informazioni per le progettazioni successive.

Nel corso del 2002 Pavimental ha eseguito un piano di lavorazioni di circa 85 chilometri per un quantitativo di più di 50 mila metri cubi di riciclaggio di con emulsione, e si prevede di realizzarne altrettanti nel 2003.

Le macchine impiegate

Un aspetto significativo delle sperimentazioni riguarda le macchine impiegate, che in testa e in coda vedono l'utilizzo di modelli tradizionali, rispettivamente un granulatore miscela fresato (con fresa

Il vecchio impianto Marini Cmt 250



Il nuovo impianto mobile di riciclaggio in situ Marini Mcr 250, operativo dal settembre 2002



Miscele per riciclaggio con emulsione modificata (60 % di bitume - 40 % di acqua)*

Emulsione di bitume	4,2 %
Cemento 32.5 Portland	2.0%
Acqua totale di addensamento	6,5%

Note

*Composizione media delle miscele poste in opera sulle rete della Società Autostrade nel periodo 2000-2001.

Fonte: Autostrade Spa.

per la rimozione della pavimentazione) e una finitrice di stesa, ma il centro della scena è occupato da un impianto mobile concepito ad hoc in una collaborazione fra Pavimental e Marini (Gruppo Fayat).

Si tratta del treno per il riciclaggio a freddo in sito Cmt 250 con caricatore del fresato, sostituito dalla fine del settembre 2002 da una versione più compatta, la Mcr 250, con vagliatore e granulatore incorporati: è un impianto di grandi dimensioni e con capacità produttiva elevata, concepito per un'utilizzo su una rete estesa come quella della Società Autostrade, e può utilizzare sia materiali fresati che inerti vergini, con capacità massima di 250 tonnellate/ora.

Strutturalmente è costituito da due elementi separati, un trattore semovente e un veicolo rimorchiato: il primo, che fa da traino, raccoglie il materiale (fresato o vergine) lasciategli davanti, ne effettua una selezione granulometrica e lo



Particolare del caricamento del fresato



trasferisce al rimorchio, ma consente anche lo stoccaggio in cisterna di emulsione bituminosa o bitume e il riscaldamento del legante bituminoso; il secondo è attrezzato per la produzione di misto cementato (stabilizzazione con cemento), conglomerato bituminoso a freddo con emulsione bituminosa e conglomerato bituminoso a freddo con bitume schiumato.

Risultati fuori dal comune

Dopo oltre un anno di transito, tutte le lavorazioni realizzate nel 2001 mostrano di essere in perfette condizioni strutturali; inoltre – affermano i dirigenti Pavimental – alla riapertura al traffico (il momento più critico dal punto di vista strutturale) non si è verificata alcuna rottura o deformazione, nemmeno nelle lavorazioni effettuate sotto

la pioggia.

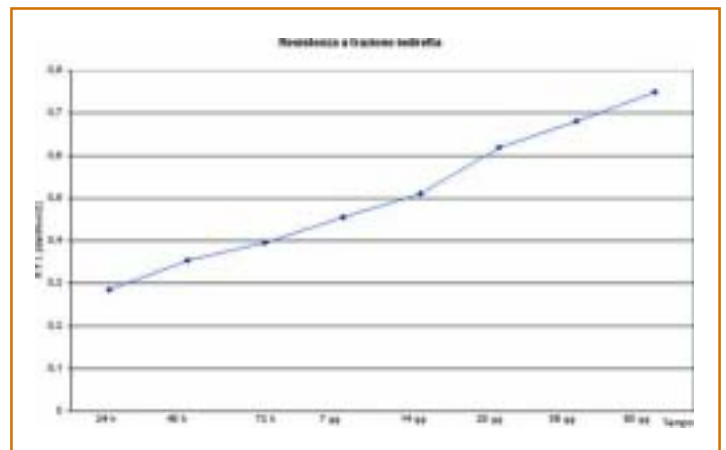
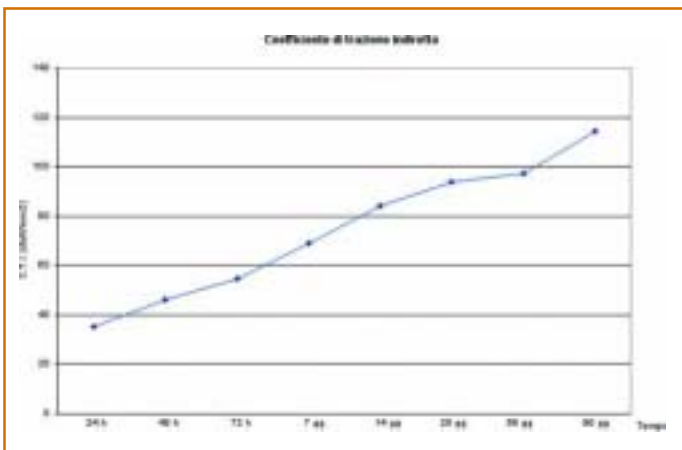
Dalla lettura dei dati, oltre al raggiungimento dei valori di norma prescritti, si segnala l'andamento in crescita nel tempo dei valori di resistenza meccanica; in particolare sono di notevole interesse i valori della Resistenza a trazione indiretta (Rti) e del Coefficiente di trazione indiretta (Cti), che mostrano una tendenza costante a migliorare nel tempo, anche fino a due volte in 28 giorni; così, mentre la pavimentazione a caldo decresce, quella riciclata a freddo con emulsione presenta una tendenza inversa, e a 90 giorni (rilevato il 15 gennaio 2003) presenta un Rti superiore a 0,7 e un Cti di quasi 120.

Quanto all'efficienza del sistema, Pavimental segnala che si sono ottenute produzioni di 180-200 tonnellate/ora, utilizzando emulsioni di bitume modi-

Trasporto del fresato al gruppo mescolatore



Valori medi delle resistenze meccaniche a 90 giorni – Resistenza a trazione indiretta (Rti) e Coefficiente di trazione indiretta (Cti) – rilevate su una pavimentazione riciclata a freddo con emulsione bituminosa, in situ, sulla rete della Società Autostrade





Il frantoio mobile, che raccoglie il fresato e produce la miscela granulata pronta per essere riciclata



Scarico della miscela rigenerata



Carotaggi di uno dei tratti eseguiti con riciclaggio con emulsione, qui ricoperti solo da 2 centimetri di microtappeto, su uno spessore di 23 centimetri del materiale riciclato



Stesa del riciclato con finitrice dotata di caricatore



Particolare del gruppo mescolatore



ficato con elastomero, e produzioni dei 140/160 tonnellate/ora (circa il 25 per cento in meno) per quelli con lattice di gomma, a causa di una rottura più rapida e di una rigidità maggiore determinata dal lattice.

Un premio che conferma

La validità di questa sperimentazione ottiene una prima conferma internazionale nel settembre 2002, con l'assegnazione a Pavimental, proprio in relazione alla sua recente esperienza di riciclaggio sulla rete della società Autostrade, di un premio promosso da Siteb e sponsorizzato da Valli Zabban, dedicato alla "Promozione dell'uso delle emulsioni nella costruzione e manutenzione delle strade" e aperto a tutte le associazioni aderenti alla Ibef (International Bitumen Emulsion Federation). L'assegnazione è avvenuta al termine della Seconda giornata mondiale dei produttori di emulsioni stradali bituminose, che si tiene ogni quattro anni, organizzata a Lione dalla Sferb (Syndicat des Fabricants d'Emulsion Routier

de Bitume) per conto della Ibef. La memoria preparata da Romano Foschi, Mario Bonola e Domenico Sandulli, ha destato un grande interesse tra i 180 partecipanti, espresso attraverso una

serie di domande di approfondimento dalle quali è risultato l'avanzato grado di ricerca applicata di Pavimental e della società Autostrade che, prevedendone l'impiego sulla sua rete, ne ha definito l'innovativa normativa tecnica di capitolato.

Treno con un rullo vibrante e due gommati, utilizzati contemporaneamente per garantire una compattazione adeguata e veloce



Un rapporto favorevole costi/benefici

L'esperienza della Torino-Milano e del Gruppo Autostrade nel riciclaggio a freddo mostra sia la validità tecnica di questi nuovi approcci alla costruzione e manutenzione delle strade, sia i vantaggi economici e ambientali (risparmio di cave di prestito e reimpiego integrale del fresato), ma anche benefici più legati all'attività di cantiere.

Il riciclaggio a freddo, con qualsiasi sistema, consente di riutilizzare il 100 per cento del fresato disponibile, e questo è un enorme vantaggio rispetto al sistema a caldo dove al massimo si sfrutta il 40 per cento (oltre si producono fumi tossici).

La velocità di realizzazione delle tecniche in sito, in particolare quella con emulsione – che come sottolinea Romano Foschi può raggiungere le 200/250 tonnellate/ora, cioè oltre quattro volte superiore a quella di un normale cantiere stradale – porta a una sostanziale riduzione della durata dei cantieri e quindi della permanenza delle code e il rischio di incidenti.

Inoltre, continua Foschi – per l'impresa di costruzione i risultati economici



sono buoni, in quanto vengono minimizzati i costi dei materiali, dei trasporti e del personale rispetto a quelli di un rifornimento da impianti fissi.

Secondo Pavimental, le valutazioni economiche indicano che si hanno riduzioni del 30 per cento dei costi diretti e del 10 per cento di costi indiretti, grazie al mancato allontanamento dei materiali demoliti, che per la parte non riutilizzabile, a norma di legge, dovrebbe essere trasportata a discarica autorizzata.

Tutto questo porta a un circolo virtuoso

calano anche i costi di spostamento dei cantieri, della segnaletica ecc.; quindi, conclude Foschi, con lo stesso prezzo si realizza il 135 per cento dei lavori rispetto ad altri metodi d'intervento.

Il risultato finale è che si possono mantenere le pavimentazioni spendendo meno rispetto al passato, realizzando pavimentazioni buone con costi minori.

Vantaggi ambientali

Per quanto riguarda l'aspetto ambientale, il riciclaggio a freddo offre vantaggi diretti per la salute degli addetti ai lavori, grazie all'assenza dei fumi di bitume e al fatto di operare a temperatura ambiente, evitando di conseguenza l'esposizione alle alte temperature tipiche delle stese di conglomerato bituminoso a caldo.

Infine sono evidenti i vantaggi per il territorio: si utilizza materiale già presente sulla rete autostradale, con la conseguente riduzione della necessità di materiale da cava; si annullano i trasporti di materiale, con un elevato risparmio energetico e minor inquinamento; la produzione del conglomerato, non avendo bisogno del calore per l'essiccazione del materiale e il mantenimento della fluidità del bitume, consente un risparmio energetico rilevante e l'azzeramento dei problemi connessi all'eventuale emissione di fumi e polveri.

Particolare di una cava di inerti



Luci e ombre di un mondo in evoluzione

In conclusione, le esperienze di questi ultimi anni evidenziano la validità di questo tipo di approccio alla costruzione e alla manutenzione delle strade, sia in termini economici che ambientali, ma soprattutto mettono in luce quale sia lo scenario nel quale si muove il mondo delle infrastrutture in Italia.

Innanzitutto vi sono elementi di vivacità progettuale e di ricerca di alto livello, che confermano il ruolo trainante delle concessionarie autostradali e pongono il nostro Paese ai primi posti in Europa e nel mondo: all'estero il riciclaggio a freddo non è una novità, ma avviene essenzialmente per strade di tipo secondario, rurale; non risultano impieghi industriali su strade di grande traffico.

Questa capacità di sviluppare soluzioni innovative – e di giungere alla loro concreta applicazione – assume un'importanza ulteriore se si considera la velocità con cui sono giunte a maturazione.

Come ricorda Gabriele Camomilla, una delle maggiori innovazioni del secolo scorso, la pavimentazione drenante, nasce a metà degli anni Ottanta, diviene operativa nel 1989 e oggi rappresenta una tecnica di riferimento nei lavori stradali, che già viene rivista alla luce della fonoassorbente e dei costi.

Allo stesso tempo, come già ricordato, il riciclaggio a freddo con emulsione si sviluppa operativamente in due/tre anni,

Vista di una cava di inerti



a partire dal 2001, riprendendo studi della fine degli anni Ottanta; il riciclaggio con bitume schiumato ha tempistiche simili, con due anni di concreto sviluppo su strada (2001-2002), partendo da studi sulle macchine precedenti elaborati nel quadriennio 1998-2001 sulla base di vecchie attrezzature Usa non utilizzabili in Europa.

Infine, il riciclaggio a freddo in impianto messo a punto dalla Torino-Milano nasce nel 1997 e cinque anni dopo è inserito nei capitolati dei lavori di adeguamento dell'autostrada.

Oltre le autostrade

Prevedendo un rapido consolidarsi del riciclaggio a freddo in ambito autostradale, il nodo riguarda se, come e quando queste tecniche possano trovare applicazione nella viabilità ordinaria: l'estensione di queste reti, la loro età, il livello di incidentalità e la domanda traffico che aumenta proporzionalmente al crescere dell'economia rendono

inevitabili gli interventi di adeguamento e riqualificazione.

Anzi, si può affermare che il rilancio delle infrastrutture è legato soprattutto agli interventi sulla viabilità ordinaria, dove la situazione è più critica e il fenomeno più esteso, e investe la quasi totalità dei circa 150 mila chilometri di strade regionali/provinciali e una parte consistente dei 16 mila circa di Statali, contro i poco più di 6 mila di autostrade, le uniche dove esiste un livello qualitativo accettabile.

La dimensione economica risulta ancora più evidente se si guarda a singoli aspetti della manutenzione/gestione, come ad esempio il consumo di conglomerati bituminosi, che sulla viabilità ordinaria – secondo dati forniti dall'Associazione italiana bitume asfalto strade (Siteb) – è di circa 36/38 milioni di tonnellate ogni anno, mentre sulle autostrade è meno di 2 milioni; di questi 40 milioni di tonnellate totali – puntualizza Stefano Ravaioli, Direttore del Siteb – la gran parte è utilizzata nella manutenzione e nei rifacimenti dei manti stradali esistenti (si stima oltre l'85 per cento) essendo ben poche le nuove realizzazioni.

Parallelamente – continua Ravaioli – la produzione di fresati provenienti da



Veduta di un raccordo fra la viabilità ordinaria e quella autostradale

demolizione delle pavimentazioni bituminose si attesta su circa 13 milioni di tonnellate annue, e circa un terzo di quanto si stende viene fresato annualmente, ma non più del 20 per cento è reimpiegato. Per questo è facile prevedere che il sem-

plice rifacimento delle pavimentazioni stradali presenta volumi economici consistenti: la rete della viabilità ordinaria richiede pesanti ed estesi interventi di rifacimento, sia perché ha caratteristiche generalmente inferiori allo standard minimo (meno di sette metri di carreg-

giata) sia perché sta progressivamente invecchiando.

Una stima di massima, effettuata dal Siteb, valuta in circa 20 milioni di tonnellate il materiale da utilizzare e/o smaltire nei lavori di manutenzione e adeguamento della rete stradale ordinaria: una dimensione enorme, calcolata considerando una fresatura di tre centimetri di pavimentazione (ma normalmente si arriva a dieci centimetri), e stimando di intervenire solo sul dieci per cento della rete.

Il nodo normativo

Il riciclaggio rappresenta quindi una delle frontiere del futuro prossimo, nonostante la jattura – come l’ha definita Paolo Pierantoni, Amministratore delegato dell’Autocamionale della Cisa, intervenendo a Infravia 2001 – che oggi si chiama “Rifiuto speciale”, come viene catalogata dalla legge Ronchi sui rifiuti (Dlgs 5 febbraio 1997, n. 22), che rende difficile l’utilizzazione del fresato al di fuori del riciclaggio sul sito, in quanto sottende a un iter autorizzativo proprio dei rifiuti speciali.

Nella stessa occasione, Romano Foschi ha ricordato che fino al 2001 non esisteva un contratto che non mettesse a carico dell’impresa lo smaltimento del materiale, con coinvolgimenti penali per il demolitore e il proprietario della strada; recentemente invece, Pavimental ha stipulato contratti con la Società Autostra-

Stime della produzione di asfalto e di fresato in Italia e nel mondo (Fonte: Siteb)

ASFALTO E FRESATO la situazione nei principali Paesi

1998	SVILUPPO RETE [KM]	CONGLOMERATO PRODOTTO [10^6 t]	QUANTITATIVO FRESATO [10^6 t]	PERCENTUALE DI IMPIEGO [%]
Francia	811.600	38,0	7,0	25
Germania	636.300	63,5	16,0	80
Svizzera	71.100	4,7	1,8	30
Paesi Bassi	105.800	7,5	3,0	100
Regno Unito	362.300	27,5	8,0	90
U.S.A.	6.277.900	515,0	50,0	80
Giappone	1.130.900	70,1	22,0	

Disponibilità di fresato in Italia

	Lunghezza [Km]	Larghezza [m]	$\times 10^6$ [m ²]	[%]
Autostrade	6 400	21,0	135	6
Strade Statali	44 700	13,5	603	25
Strade Provinciali	113 000	7,0	791	33,5
Strade Comunali Extraurbane	142 000	6,0	852	35,5
TOTALE			2400	100

IPOTESI: intervento sul 10% della superficie - profondità cm 3
 240×10^6 [m²] \times 0,03 [m] = $7,2 \times 10^6$ m³
 $7,2 \times 10^6$ [m³] \times 2,2 [t/m³] = $14,4 \times 10^6$ t

de in cui la responsabilità dello smaltimento è a carico del demolitore e il pagamento a carico della stessa Autostrade spa.

L'aspetto normativo rappresenta quindi uno dei nodi da sciogliere per consentire una concreta applicazione del riciclaggio a freddo fuori dall'ambito autostradale.

In Europa – ricorda Stefano Ravaioli – sono in vigore leggi severe per ridurre la produzione di rifiuti industriali e non, abbinati a incentivi per incoraggiarne il riutilizzo; in Italia la normativa per il trattamento dei rifiuti indica nel riciclaggio la strada maestra per il rifacimento delle strade, anche se permangono ostacoli burocratici e alcune contraddizioni che ne rendono difficoltosa l'applicazione pratica.

Di problemi ve ne sono molti – sottolinea Ravaioli – a partire dall'identificazione del materiale: mai, in Italia, sono state costruite strade in catrame, nemmeno in passato, ma sempre e solo in bitume; la distinzione tra i due prodotti è importante, perché il catrame è un derivato dal carbon fossile e classificato come prodotto cancerogeno, mentre il bitume deriva dalla distillazione del petrolio e attualmente non è classificato cancerogeno.

Per questo motivo le pavimentazioni in conglomerato bituminoso sono totalmente riciclabili; la distinzione bitume/catrame però non è propria né degli organismi competenti della sanità né del ministero dell'Ambiente, che oltre ad avere emanato una legge complicata sui rifiuti, nella quale ricade anche il fresato bituminoso, ha addirittura sbagliato l'inserimento dei codici CER nei decreti di attuazione, provocando situazioni contraddittorie, anche se oggi si è adottato qualche provvedimento tampone.

In ogni caso – spiega Ravaioli – per la legge in vigore il fresato stradale (materiale proveniente dalla demolizione della pavimentazione) diventa un rifiuto potenzialmente inquinante solo se viene rimosso e trasportato fuori dalla sede stradale, anche se può essere riconvertito in conglomerato bituminoso in apposito impianto autorizzato.

Per ottenere l'autorizzazione al trasporto e alla lavorazione si devono eseguire

mille adempimenti: se invece il fresato viene solo rimosso sul posto (riciclaggio in sito) e non trasportato, non è più un rifiuto, non è pericoloso, non inquina e non occorre alcun controllo né autorizzazione.

Negli altri Paesi europei, anche quelli dove realmente esiste il problema del catrame (Nord Europa), la responsabilità se riciclare o meno una pavimentazione è dell'amministrazione titolare della rete stradale e non viene lasciata l'iniziativa all'impresa (Germania); in Francia – ricorda Ravaioli – vige addirittura il divieto assoluto di portare in discarica il prodotto fresato, perché è considerato uno spreco di risorse e si applicano multe pesanti a chi non ricicla.

Secondo una stima Siteb inviata recentemente al ministero dell'Ambiente e all'Anpa, l'eventuale ricorso alla discarica del prodotto "fresato bituminoso" costerebbe allo Stato oltre 2 miliardi di euro l'anno.

Aspetti commerciali-industriali

Un'ultima variabile legata al riciclaggio è che di fatto riduce il consumo di bitume, di cave e di trasporti di materiale, causando potenziali attriti e resistenze in questi settori produttivi. Ma è davvero così?

Una delle maggiori associazioni del settore – il più volte citato Siteb – si dichiara nettamente favorevole al riciclaggio di fresati bituminosi, ritenendolo un materiale eccezionale per ricostruire le pavimentazioni, purché il tutto venga gestito con la giusta competenza tecnica; non a caso nel 2002 ha stampato un manuale sulle tecniche di riciclaggio che è divenuto rapidamente un punto di riferimento per chi si occupa di queste tematiche (insieme a quello sul riciclaggio a freddo edito nel 1998 da Wirtgen. Il vantaggio di un buon riciclaggio – ribadisce Ravaioli – non è certamente nel risparmio di bitume, e nemmeno nella diminuzione dei trasporti in quanto vale solo per il riciclaggio in sito attuato in autostrada, ma attualmente ancora poco applicato sulle altre strade dove spesso non è nemmeno possibile per ragioni di spazio.

Il risparmio vero è nel materiale inerte,

generalmente di grande qualità, che non deve essere portato in discarica, e nei costi energetici complessivi; è però sbagliato – conclude Ravaioli – pensare che il fresato sia una risorsa disponibile a costo zero.

Diverso è il discorso di trasformare la strada nella pattumiera di tutti gli scarti di lavorazione; con leggerezza eccessiva – sottolinea Stefano Ravaioli – si va incontro a grossi problemi e si demonizza il riciclaggio in senso lato, e sono purtroppo tanti i casi di mala gestione degli scarti di lavorazione sia nel bitume, come modificante, sia nel conglomerato come sostitutivo di alcune frazioni di curva granulometrica.

In realtà – afferma Gabriele Camomilla – per lavorare bene è necessario tenere conto di una serie di "se": se si valutano le portanze presenti, se si fanno studi su tipo di pavimentazione, se si creano le opportune curve di correzione, se si usano i materiali adatti, allora si può riciclare qualsiasi parte della strada; non bisogna cioè fermarsi all'affermazione finale, dimenticando le premesse, altrimenti si può utilizzare qualsiasi cosa, la si rulla, si stende lo strato d'usura ed è fatta la strada, che però si sfonda rapidamente.

Ma – puntualizza Camomilla – oggi esistono macchine in grado di misurare velocemente e con precisione tutte le prestazioni della strada, e se si utilizzano questo malcostume può essere contrastato efficacemente. ■

