

Manutenzione e risanamento delle pavimentazioni stradali

Ruolo del riciclaggio a freddo

INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi cinquant'anni le infrastrutture, in modo particolare le vie di comunicazione, hanno conosciuto uno sviluppo senza precedenti. In tutto il mondo, infatti, sono state costruite diverse migliaia di chilometri di nuove strade al fine di soddisfare le esigenze dei volumi di traffico in aumento. Molte di esse sono in uso da oltre vent'anni e, avendo raggiunto il limite della loro vita utile, necessitano di crescenti interventi di manutenzione volti a mantenere livelli accettabili di servizio. Inoltre, negli anni, la quantità media di automezzi è aumentata in modo costante in quanto un volume più elevato di merci, anziché su rotaie viene trasportato su strada visto che questo tipo di trasporto offre una maggiore rapidità e flessibilità. Il derivante incremento del traffico e delle sollecitazioni delle ruote, il maggiore carico per asse e “ l'età avanzata” sono tutti fattori che concorrono al deterioramento delle sedi stradali.

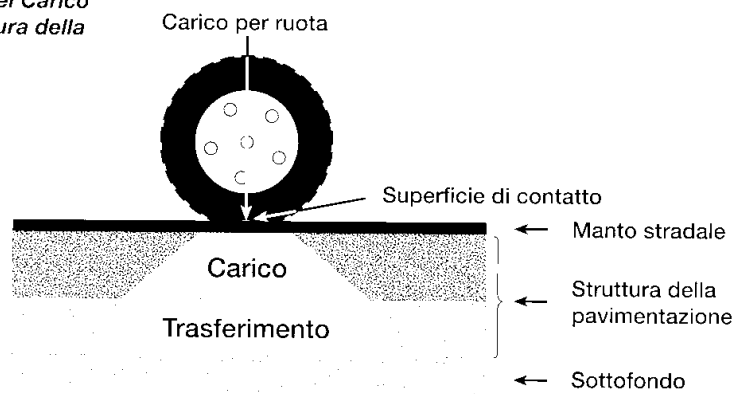
Con l'inizio del nuovo millennio, le reti viarie della maggior parte dei paesi presentano i problemi sopra elencati; da ciò deriva la necessità di destinare una quota maggiore del budget per la rete stradale alla sola manutenzione delle pavimentazioni preesistenti. Ne consegue una minore disponibilità di denaro per l'adozione di provvedimenti di risanamento o per la costruzione di nuove strade. Molti paesi, addirittura, non dispongono di sufficienti fondi per far fronte alle mere esigenze di manutenzione con un conseguente rapido deperimento della rete stradale. Al fine quindi, di ripristinare i livelli di servizio, risulteranno pertanto necessari interventi di risanamento più costosi. La realizzazione di nuove strade o di progetti di miglioramento, spesso, può essere presa in considerazione soltanto se gli introiti della tassa di transito giustificano l'esborso di capitali. Si tratta, insomma, di una spirale in discesa. Questo scenario, alquanto scoraggiante, rappresenta una sfida per gli ingegneri civili. La Banca Mondiale e altri enti hanno messo in evidenza che ogni stato necessita di un solido complesso di servizi pubblici onde garantire la propria salute economica e hanno sottolineato che una rete stradale in buone condizioni costituisce una parte fondamentale di dette infrastrutture. In quei casi in cui i fondi disponibili non siano sufficienti per superare l'attuale crisi, occorrerà individuare un metodo più redditizio di ripristino della sede stradale. Occorre pertanto fare innovazioni nel settore al fine di trovare metodi di costruzione alternativi in grado di aumentare la redditività dei budget già fissati. Il riciclaggio rappresenta una di queste alternative.

Il riciclaggio delle pavimentazioni stradali quale misura di risanamento è un concetto relativamente nuovo. Fatta eccezione per una serie di documenti tecnici riguardanti specifici argomenti nell'ambito del riciclaggio, non è molto il materiale pubblicato che gli ingegneri civili hanno a disposizione per conoscere nel dettaglio questo settore.

PAVIMENTAZIONI STRADALI

La superficie, o manto stradale, è di solito l'unica parte visibile di una strada. Detto manto riveste la struttura della pavimentazione formata da vari strati di diverso materiale che spesso raggiunge una profondità superiore al metro. La struttura è quella parte della strada che ha il compito di trasferire il carico, trasmesso sul manto dagli automezzi, al materiale naturale sottostante (denominato sottofondo). In genere, il sottofondo offre una scarsa portanza; per tale ragione, i carichi ad elevata intensità impartiti dagli automezzi sul manto stradale vengono distribuiti su un'ampia area di sottofondo.

Fig 1.1 Trasferimento del Carico tramite la struttura della Pavimentazione



COMPONENTI DELLA PAVIMENTAZIONE

La pavimentazione stradale è costituita da tre componenti principali: il manto, la struttura e il sottofondo; ognuno di essi ha uno scopo ben preciso.

Fig 1.2 Strati tipici della pavimentazione	Ubicazione nella struttura	Realizzato con
	Manto stradale	Asfalto / impermeabilizzante
	Base	Asfalto / bitume stabilizzante cemento stabilizzato / granulare
	Fondazione	Bitume stabilizzato / cemento stabilizzato / granulare
	Sottofondo	Cemento stabilizzato / granulare / materiale in situ

MANTO STRADALE: costituisce l'interfaccia con il flusso del traffico e l'ambiente, serve a proteggere la struttura della pavimentazione da entrambi questi elementi, offrendo durata nel tempo e impermeabilità.

- **Protezione dal traffico.** La rotazione dei pneumatici incide sul manto superficiale in due modi:

- le sollecitazioni trasmesse dai carichi delle ruote sono prevalentemente sul piano verticale; tuttavia, la componente orizzontale può rivelarsi un fattore importante, in particolare nelle curve e nelle forti pendenze. Il materiale impiegato per la realizzazione del manto stradale deve, quindi, possedere caratteristiche di resistenza tali da consentirgli di far fronte a tutte le citate sollecitazioni senza subire rotture da compressione o deformazioni;

- l'azione di sfregamento esercitata dai pneumatici, in particolare quando si affronta una curva, tende ad abradere la superficie stradale. Col tempo, questo effetto di levigatura provoca una riduzione delle proprietà di attrito (resistenza allo slittamento) del manto che diventa scivoloso, specialmente se bagnato, e quindi pericoloso.

- **Protezione dall'ambiente.** Il manto stradale è continuamente soggetto a due forme principali di attacchi da parte dell'ambiente: gli effetti termici e il "deterioramento provocato dal sole", quindi, deve possedere le seguenti due proprietà:

- Elasticità: che gli consente di dilatarsi e contrarsi ripetutamente in base alle variazioni termiche;
- Durata: che gli permette l'assorbimento del quotidiano bombardamento dei raggi ultravioletti senza invecchiare precocemente.

Il bitume è uno dei materiali più frequentemente utilizzati per i manti stradali in quanto si contraddistingue per flessibilità, durata ed elevata impermeabilità. L'asfalto a caldo(con una quantità di bitume pari a circa 5%) viene generalmente adoperato per realizzare i manti di prima qualità delle strade di traffico intenso, mentre i più economici trattamenti superficiali, che impiegano impermeabilizzante a scaglette vengono utilizzati in quei casi in cui il traffico automobilistico è ridotto.

STRUTTURA: ha il compito di trasferire il carico dal manto al sottofondo. Essa si compone sempre di vari strati di materiale aventi caratteristiche di resistenza differenti; ogni strato ha la funzione di distribuire il carico che riceve dalla parte superiore su un'area più ampia della parte sottostante. Gli strati posti nella parte superiore della struttura sono soggetti a livelli di sollecitazione maggiori rispetto agli strati inferiori e quindi devono essere costruiti con materiali più resistenti.

Il tipo di reazione del materiale ad un carico impartito dipende in larga misura dalle proprietà elastiche del materiale e dalle caratteristiche del carico(ampiezza, ritmo di caricamento, ecc.). Vediamo di seguito quali sono le caratteristiche più importanti:

- I materiali granulari, che includono pietrisco e ghiaia, trasferiscono i carichi applicati attraverso i singoli granuli, o armatura, della struttura. L'attrito intergranulare conserva l'integrità strutturale ma, in caso di ripetuti caricamenti, si verifica un graduale processo di addensamento man mano che i granuli si avvicinano gli uni agli altri. Questo fenomeno può avere luogo in qualsiasi livello della struttura provocando una deformazione della superficie. Tale deformazione si manifesta di norma sottoforma di solchi che si formano nelle aree di impronta delle ruote.
- I materiali legati, che includono i materiali stabilizzati e l'asfalto, agiscono piuttosto come una soletta. L'applicazione di un carico verticale sulla superficie di una soletta genera sollecitazioni di compressione orizzontali nella metà inferiore, con sollecitazioni massime nelle parti alte e in quelle basse. La deformazione provocata da queste sollecitazioni, in modo particolare quelle derivate da sforzi di trazione nella parte inferiore, causa infine un tipo di rottura da fatica per effetto delle numerose ripetizioni di carico. Si tratta di incrinature che si formano nella parte inferiore dello strato per poi propagarsi verticalmente man mano che le ripetizioni del carico proseguono.

Le deformazioni che si creano nel materiale naturale e le incrinature da fatica tipiche del materiale legato sono entrambe correlate al numero di ripetizioni di carico.

SOTTOFONDO: Il terreno naturale d'impianto della struttura della pavimentazione può essere sia materiale in situ o riportato. Le caratteristiche di resistenza di questo materiale determinano il tipo di struttura della pavimentazione in grado di distribuire il carico impartito alla superficie in modo tale che questo venga sorretto senza provocare deformazioni permanenti.

DETERIORAMENTO DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI

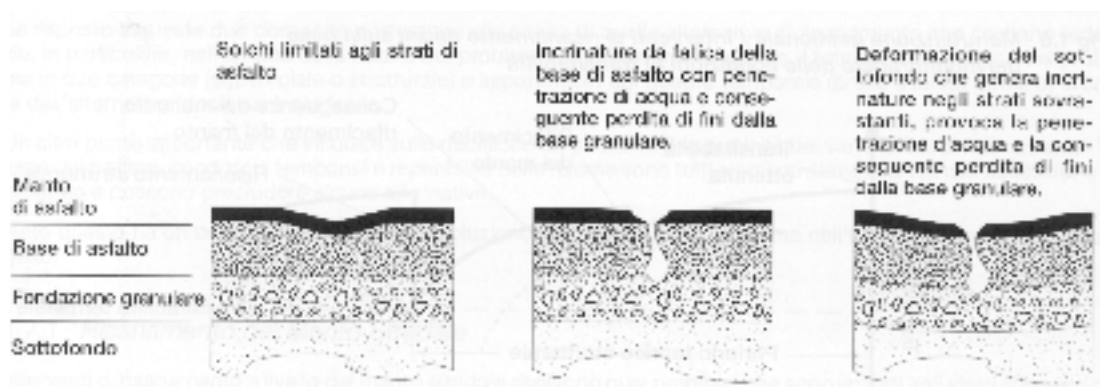
Le pavimentazioni stradali si logorano per diverse ragioni; le due cause più importanti sono rappresentate dai fattori ambientali e dal carico del traffico.

I raggi ultravioletti del sole provocano, in modo continuo, un lento indurimento del bitume; questo a sua volta causa una riduzione dell'elasticità con la formazione di fessure nel momento in cui il manto si contrae in seguito al raffreddamento. Una volta che il manto ha perso la propria capacità strutturale a causa delle suddette fessure, la pavimentazione tende a deteriorarsi ad un ritmo sempre crescente per effetto della penetrazione dell'acqua.

Gli effetti del carico impartito dal traffico causano lo sviluppo di solchi e d'incrinature all'interno della struttura della pavimentazione. Ogni veicolo in transito provoca una lieve deformazione temporanea alla struttura della pavimentazione. La deformazione indotta da un veicolo leggero è talmente piccola da essere irrilevante mentre i veicoli ad elevato carico provocano deformazioni relativamente ampie. Il passaggio di numerosi automezzi ha un effetto cumulativo che genera gradualmente deformazioni permanenti e/o incrinature da fatica. Assali sovraccaricati causano un numero sproporzionato di danni alla struttura della pavimentazione, accelerando così il fenomeno di deterioramento. Una volta che l'incrinatura s'insinua attraverso il manto protettivo, l'acqua penetra nella struttura sottostante della pavimentazione. L'effetto d'ammorbidimento dell'acqua comporta una riduzione della resistenza che a sua volta provoca un aumento del grado di deterioramento.

Inoltre, l'acqua trasmette prevalentemente carichi ruota verticali sotto forma di pressioni che erodono rapidamente la struttura del materiale granulare e provocano la separazione del bitume dall'aggregato d'asfalto. In queste condizioni le frazioni fini del materiale della pavimentazione sono espulse verso l'altro attraverso le incrinature, con il conseguente sviluppo di vuoti d'ampie dimensioni all'interno della pavimentazione. La formazione di buche e il rapido deterioramento della pavimentazione sono l'immediata conseguenza del logorio della sede stradale. In quei casi in cui la temperatura scende sotto i 4°C, l'eventuale acqua presente nella pavimentazione, si espande creando pressioni idrauliche, persino in assenza dei carichi delle ruote. La deformazione causata da ripetuti cicli gelo/disgelo rappresenta l'aspetto più grave per una pavimentazione caratterizzata da fessure; ne consegue il disfacimento.

Un'ulteriore causa della fessurazione superficiale, in modo particolare dei manti sottili d'asfalto, è legata alla mancanza di traffico. Un'azione di "impastamento" del traffico mantiene "vivo" il bitume. Un'ossidazione e il conseguente indurimento di tale materiale provocano la formazione di fessure termiche a livello della superficie bitumata. La continua esposizione a sollecitazioni del bitume provoca una tensione tale da chiudere queste fessure non appena si formano, evitandone così la propagazione.



Manutenzione e Risanamento delle Pavimentazioni Stradali

Gli interventi di manutenzione della pavimentazione consistono solitamente nell'evitare che l'acqua penetri all'interno della struttura della strada. A tale scopo, è necessario che il manto sia sempre impermeabile e che i provvedimenti di drenaggio siano efficaci al fine di impedire che l'acqua non si depositi lungo il ciglio stradale.

Le fessure, devono essere sigillate non appena compaiono e i margini della strada devono essere rifilati per consentire lo scolo dell'acqua. Affrontati con un certo anticipo, gli effetti dell'invecchiamento possono essere trattati efficacemente mediante la nebulizzazione d'emulsione bituminosa. In caso di condizioni più gravi si può applicare un impermeabilizzante d'emulsione e graniglia, qualora il volume del traffico sia ridotto, oppure un sottile rivestimento tradizionale d'asfalto miscelato a caldo.

Tali provvedimenti, che mirano a conservare la flessibilità e la durata del manto stradale, risolvono, in realtà, soltanto il deterioramento dovuto alle condizioni ambientali. Le deformazioni e le incrinature da fatica causate dal carico del traffico non possono essere trattate in modo efficace mediante trattamenti superficiali di manutenzione ma richiedono interventi di risanamento più profondo.

La decisione sul tipo d'intervento cui ricorrere per migliorare la pavimentazione stradale, o semplicemente per garantirne le condizioni di transitabilità, è spesso dettata da vincoli legati al budget. Provvedimenti di conservazione a breve termine sono indispensabili. Lasciare che la pavimentazione si deteriori ulteriormente è generalmente la decisione peggiore a causa dell'aumento esponenziale di deterioramento col trascorrere del tempo.

Risanamento del Manto Stradale: Interventi di risanamento a livello del manto stradale risolvono quei problemi che sono limitati agli strati superiori della pavimentazione (primi 70/150 mm) e che sono solitamente causati dall'invecchiamento del bitume e dalle fessure che si formano sul manto a causa degli sbalzi termici.

I metodi più comunemente usati per risolvere questo tipo di problema includono le operazioni di seguito indicate:

- Applicare un sottile rivestimento (40 mm) d'asfalto miscelato a caldo sul manto preesistente. Questa è la soluzione più semplice per un problema di carattere superficiale poiché il tempo richiesto per completare l'opera è breve e l'impatto sull'utente è minimo. Leganti modificati sono spesso utilizzati nell'asfalto per migliorare le prestazioni, aumentando così la vita del rivestimento. Ripetuti rivestimenti, tuttavia, aumentano l'innalzamento del manto stradale in seguito al quale possono sorgere problemi di drenaggio e d'accesso.

- Rimuovere mediante fresatura dello strato incrinato dell'asfalto e sostituirlo con materiale fresco miscelato a caldo, abbinato spesso con un legante modificato. Il processo è relativamente rapido grazie alle elevate capacità produttive delle moderne frese. Il problema è così risolto e i livelli dello strato d'asfalto e della pavimentazione rimangono inalterati.
- Riciclare il materiale nella pavimentazione preesistente (riciclaggio superficiale) che può essere fatto sia in un impianto, sia in loco con il processo a freddo. Questo tipo di riciclaggio mira principalmente a "ringiovanire" il legante bituminoso "invecchiato" presente nell'asfalto preesistente. Inoltre, le proprietà dell'asfalto che è riciclato possono essere modificate mediante l'aggiunta di nuovi materiali.

Consolidamento Strutturale: i provvedimenti di risanamento volti a risolvere problemi che interessano la parte interna della struttura di una pavimentazione sono in genere considerati soluzioni a lungo termine. Nell'affrontare problemi di carattere strutturale occorre ricordare che è la struttura della pavimentazione che si è deteriorata e non necessariamente i materiali in essa contenuti.

Il consolidamento dei sottofondi è una forma di miglioramento; maggiore è la densità del materiale e superiori saranno le caratteristiche di resistenza. Tuttavia, per permettere la compattazione è necessario demolire gli strati costruiti con materiale legato.

Di regola, il risanamento strutturale dovrebbe mirare a massimizzare il valore di recupero della pavimentazione preesistente.

Di seguito sono indicate le varie possibilità di risanamento strutturale:

Rifacimento totale. Questa è la scelta spesso preferita quando il risanamento abbinato ad un progetto di miglioramento richiede variazioni notevoli dell'allineamento della strada. Laddove il volume del traffico è elevato, spesso si preferisce costruire un nuovo impianto su un allineamento separato evitando in tal modo problemi d'accoglimento del traffico.

Costruzione di strati supplementari (di materiale granulare e/o asfalto) sulla parte alta del manto preesistente. Rivestimenti di asfalto di elevato spessore sono di frequente la soluzione più semplice per un problema di carattere strutturale se il volume del traffico è elevato. Come descritto sopra, un aumento dell'innalzamento del manto spesso causa problemi di drenaggio e d'accesso.

Riciclaggio nella profondità della pavimentazione nella quale si verifica il problema. Si crea così un nuovo strato spesso e omogeneo con caratteristiche di resistenza superiori. Strati supplementari possono essere aggiunti nel caso in cui la pavimentazione debba essere migliorata in modo significativo. Sostanze stabilizzanti sono spesso aggiunte al materiale riciclato, specialmente nel

caso in cui la pavimentazione preesistente sia di qualità inferiore e richieda un intervento di consolidamento. Il riciclaggio mira a recuperare il più possibile la pavimentazione preesistente, senza andare ad intaccare la struttura posta sotto il livello di riciclaggio.

IL RICICLAGGIO A FREDDO

Riciclare su vasta scala i prodotti di scarto provenienti dai vari settori industriali, può essere ritenuto uno degli obiettivi principali del mondo moderno.

Le motivazioni che sostengono la necessità di riciclare sono molteplici e tutte parimenti importanti, come ben sintetizzano le linee generali del documento “Recycling for road improvements” pubblicato dall’OCSE nel 1997:

- riduzione dell’impiego delle materie prime;
- riduzione dei territori da destinare a discarica;
- contenere l’inquinamento del suolo e dell’atmosfera dovuto al trasporto e all’incenerimento dei rifiuti;
- conservazione dell’energia;
- convenienza economica;
- vantaggi tecnici.

Nella stragrande maggioranza dei Paesi europei sono in atto politiche strategiche volte al sostegno delle attività di riciclaggio. Nella seguente tabella, tratta sempre dal report OCSE vengono sintetizzati gli obiettivi in materia di riciclaggio di alcuni Paesi, europei e non.

Australia	Nel lungo termine riutilizzare al 90% i materiali stradali esausti
Austria	Entro il 2000 ridurre del 50% la quantità dei rifiuti
Belgio	A partire dal 1996, riciclare il 70 % degli scarti del settore delle costruzioni
Danimarca	Entro il 2000 riutilizzare il 54% del totale dei rifiuti
Francia	Azzeramento delle discariche entro l’anno 2000
Giappone	Incrementare dal 42 all’ 80% il riutilizzo degli scarti entro il 2000
Olanda	Riutilizzare il 90% degli scarti del settore delle costruzioni
Regno Unito	In 15 anni raddoppiare l’utilizzo dei materiali riciclati

L’Italia non rientra nell’inchiesta OCSE in quanto, oltre a non aver dichiarato i propri obiettivi, il nostro Paese non ha fornito le risposte al questionario tecnico, predisposto e divulgato dal Gruppo di Lavoro autore del documento.

Questo fatto è sicuramente indicativo della situazione di confusione, disorganizzazione e deficit tecnologico in cui versa l'industria del riciclaggio in Italia. Alcune riflessioni su quanto sopra esposto possono essere riassunte nei seguenti punti:

- le attività di riciclaggio sono negativamente influenzate dal continuo incremento dei costi di raccolta e lavorazione dei rifiuti, assolutamente non competitivi nei confronti delle materie vergini,
- la competitività di questa industria viene negativamente influenzata dalla cattiva immagine dei prodotti riciclati, troppo spesso assimilati a prodotti di scarsa qualità.

SITUAZIONE EUROPEA

Nel quadro generale del riciclaggio, il settore delle costruzioni stradali offre notevoli possibilità per riutilizzare massicciamente sia i prodotti di scarto delle pavimentazioni stradali (conglomerati bituminosi, conglomerati cementizi, ecc.) sia quelli provenienti da altri settori industriali (ceneri, pneumatici triturati, ecc.).

Con riferimento ai soli conglomerati bituminosi, i risultati del documento OCSE, dai quali manca purtroppo sempre l'Italia, sono sintetizzati nella tabella che segue.

	Austria	Belgio	Danimarca	Finlandia	Francia	Olanda	Svezia	Regno Unito
% c.b..	80	100	90	95	/	100	75	90
Ricicl. c. impianto	diffuso	diffuso	diffuso	diffuso	diffuso	diffuso		diffuso
Ricicl. c. in sito	limitato		diffuso	diffuso	diffuso	diffuso	diffuso	limitato
Ricil. f. impianto					diffuso		diffuso	limitato
Ricil. f. in sito	limitato				diffuso		limitato	

Dai dati in tabella si possono quindi trarre le seguenti conclusioni:

- le % di conglomerato bituminoso disponibile per essere riciclato sono ovunque molto alte;
- il riciclaggio a caldo in impianto è ovunque molto diffuso;
- il riciclaggio a caldo in sito è ancora molto diffuso
- il riciclaggio a freddo in impianto è diffuso solo in Francia e Svezia;

- il riciclaggio a freddo in sito è diffuso solo in Francia;

Quanto detto apre la strada a numerose riflessioni che mettono in evidenza una serie di fattori estremamente importanti:

- l'utilizzo delle tecniche di riciclaggio a caldo, in massima parte ormai obsolete, oltre a non garantire buone prestazioni finali, lascia immutato il forte impatto ambientale connesso all'emissione dei fumi di bitume. Il riciclaggio a caldo è da considerarsi applicabile, nella sua versione più innovativa con termoventilazione, solo nel caso di conglomerati drenanti-fonoassorbenti.
- Alcune tecniche di riciclaggio a freddo, in Italia come nel resto d'Europa pur risolvendo il problema dei fumi, non sono ancora del tutto affidabili dal punto di vista delle prestazioni attese.

LA STORIA IN ITALIA

L'inizio del riciclaggio delle pavimentazioni bituminose in Italia parte attorno agli anni '70 dalla introduzione delle tecniche di fresatura delle pavimentazioni superficiali.

La prima tecnica utilizzata fu quella della fresatura a caldo, realizzata con il riscaldamento delle pavimentazioni a mezzo di riscaldatori alimentati a gas che poi aggrediti con pettini riusciva a demolire 5 o 6 cm di strati superficiali fessurati.

Il metodo ebbe un subitaneo successo perché in quegli anni erano state già installate parecchie barriere di sicurezza lungo le strade più transitate.

La fresatura consentiva pertanto il rifacimento senza superare le quote preesistenti ed evitando la necessità di rialzamento delle barriere.

I primi lavori realizzati con questa tecnica misero in mostra due grandi problemi:

- la pericolosità latente della fresatura a caldo per la presenza di notevoli contenitori di gas su strada;
- la limitazione dello spessore di intervento, come già detto, solo 5 o 6 cm nei periodi più caldi, quando già le pavimentazioni mostravano fessurazioni per tutto il pacchetto bituminoso e quindi fino a circa 15 cm di profondità.

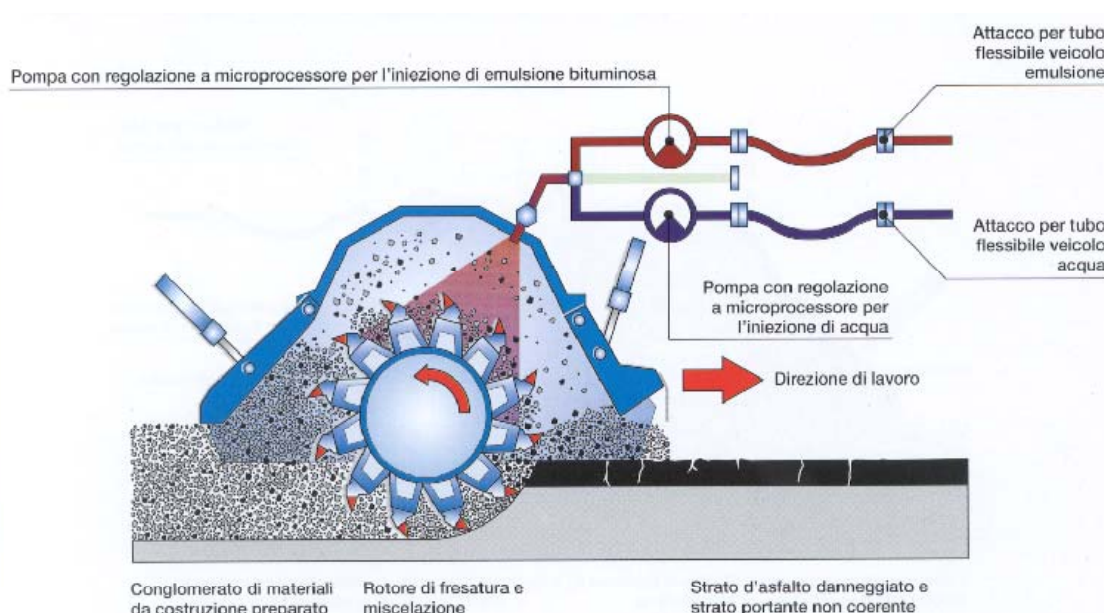
RICICLAGGIO A FREDDO IN SITU

Nel corso degli anni le riciclatrici si sono evolute; si è passati dalle frese modificate e dalle stabilizzatrici alle attuali riciclatrici specializzate. Essendo progettate per il riciclaggio di uno spesso strato di pavimentazione mediante un'unica passata, le moderne riciclatrici sono macchine di grosse dimensioni ad elevate prestazioni che possono essere montate su cingoli o su pneumatici.

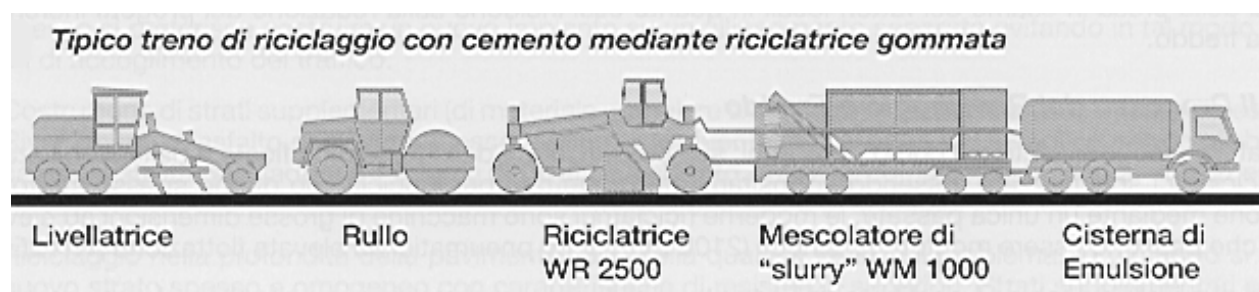
Il "cuore" di queste macchine è costituito da un tamburo di fresatura/miscelatura munito di un elevato numero di utensili da taglio che, mentre ruota, fresa il materiale della pavimentazione stradale preesistente.

Durante il processo di fresatura, l'acqua, contenuta in una cisterna collegata alla riciclatrice, è dosata con precisione tramite un impianto d'iniezione gestito da un microprocessore, spruzzata all'interno della camera di fresatura e accuratamente miscelata con il materiale fresato per ottenere il contenuto d'umidità ottimo per effettuare il costipamento.

Le sostanze stabilizzanti fluide, quali l'impasto liquido (o "slurry") di cemento/acqua o l'emulsione bituminosa, singolarmente o abbinati, possono anch'essi essere introdotti direttamente nella camera di miscelatura in modo analogo. Inoltre, il bitume espanso può essere iniettato nella camera di miscelatura mediante una separata barra spruzzatrice.



I treni di riciclaggio possono avere configurazioni diverse in funzione dell'applicazione e del tipo di stabilizzante impiegato. In tutti i casi, la riciclatrice funge da locomotiva e spinge o tira l'attrezzatura a lei collegata mediante barre di spinta o di traino.



Il treno rappresentato è normalmente usato quando si esegue il riciclaggio a freddo con cemento ed emulsione: il cemento e l'acqua vengono miscelati insieme in precise quantità prestabilite, e la

boiaccia così ottenuta viene trasferita mediante un tubo flessibile e iniettata contemporaneamente all'emulsione nella camera di miscelatura della riciclatrice.

Una volta riciclato, il materiale è soggetto ad una prima passata di un rullo vibrante che lo consolida. Di seguito è profilato da una motolivellatrice prima di essere costipato da un rullo statico o gommato.

Nei casi in cui è necessario riciclare l'asfalto e parte del pietrisco sottostante per aumentare lo spessore del manto bitumato complessivo è conveniente, vista la necessità di apportare una maggiore percentuale di legante, sostituire l'emulsione bituminosa con bitume espanso.

Vantaggi del Riciclaggio a Freddo

Il riciclaggio a freddo offre numerosi vantaggi, alcuni dei quali sono immediatamente evidenti mentre altri risultano essere meno tangibili:

Vantaggi Ambientali. Per mezzo di questo processo, viene utilizzato tutto il materiale della pavimentazione preesistente. Non occorre quindi trovare apposite aree di smaltimento, e il volume di riporto di materiale "vergine" è ridotto al minimo. Si limitano così le deturpazioni all'ambiente inevitabilmente causate dall'apertura di nuove cave. Anche l'entità delle operazioni di trasporto è inferiore rispetto agli altri processi. Il consumo globale di energia viene pertanto ridotto significativamente così come l'effetto nocivo sulla rete viaria dovuto alla presenza di mezzi di trasporto.

Qualità dello strato riciclato. Viene garantita una miscelatura di elevata e costante qualità dei materiali in sito con acqua e stabilizzanti. L'addizione di fluidi viene eseguita con precisione grazie agli impianti di iniezione gestiti da un microprocessore. E' assicurata una miscelatura di ottima qualità grazie alla scrupolosità con cui i vari componenti vengono miscelati insieme all'interno dell'apposita camera.

Integrità strutturale. Il riciclaggio a freddo genera strati spessi, legati e omogenei che non contengono interfacce deboli tra gli strati più sottili della pavimentazione, come avviene talvolta nel caso di pavimentazioni costruite con metodi tradizionali.

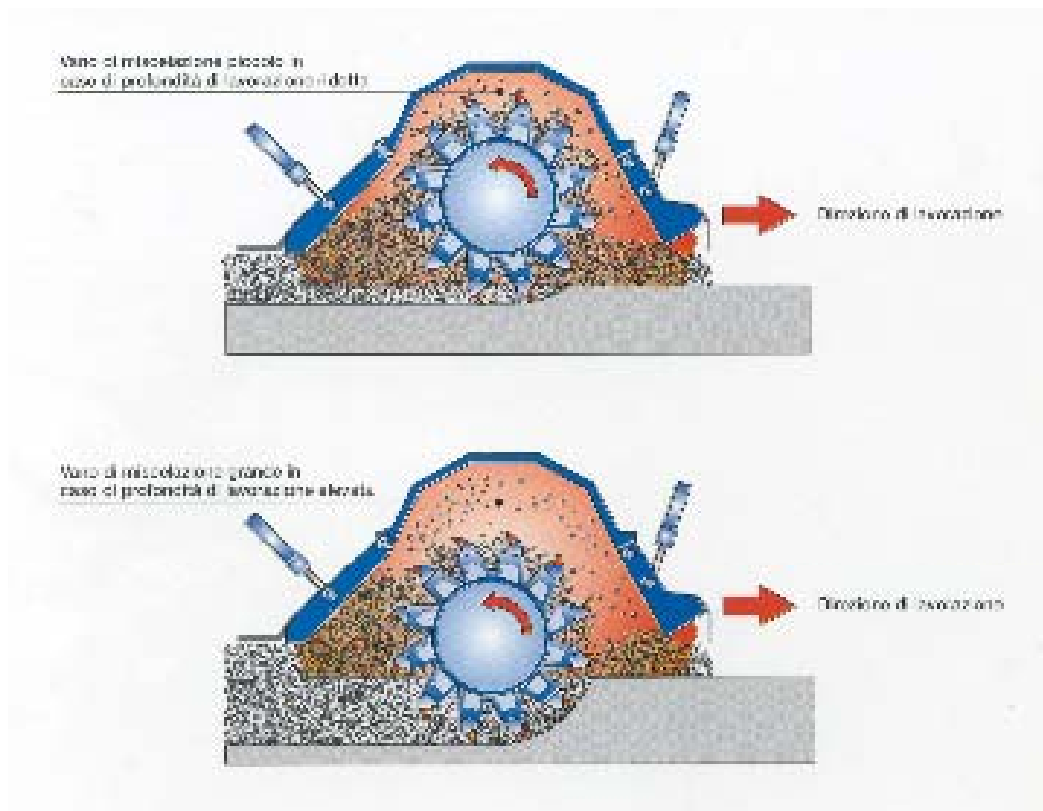
Il sottofondo non viene intaccato. Il riciclaggio a freddo è un'operazione a singola passata, vale a dire i pneumatici ad elevata flottazione passano una sola volta sul sottofondo scoperto che viene interessato in modo marginale. In caso di risanamento delle pavimentazioni mediante attrezzature di costruzione tradizionali il sottofondo è soggetto a carichi ripetuti ad elevata sollecitazione che creano una sorta di appesantimento e determinano la necessità di sterri e riporti.

Tempi più brevi di costruzione. Le moderne riciclatrici offrono elevati ritmi di produzione che riducono, se paragonati agli altri metodi di risanamento, in maniera significativa i tempi di costruzione e i disagi provocati agli utenti della strada.

Sicurezza dei traffico. Uno dei vantaggi più importanti è l'elevato grado di sicurezza del transito garantito da questo processo. Il treno di riciclaggio completo può essere infatti collocato in una sola corsia di scorrimento. Nel caso di strade a doppia corsia, il riciclaggio può essere quindi eseguito in una metà della larghezza della strada durante il giorno e l'intera larghezza della strada, inclusa la corsia riciclata finita, può essere riaperta al traffico all'imbrunire.

Categorie del Riciclaggio a Freddo

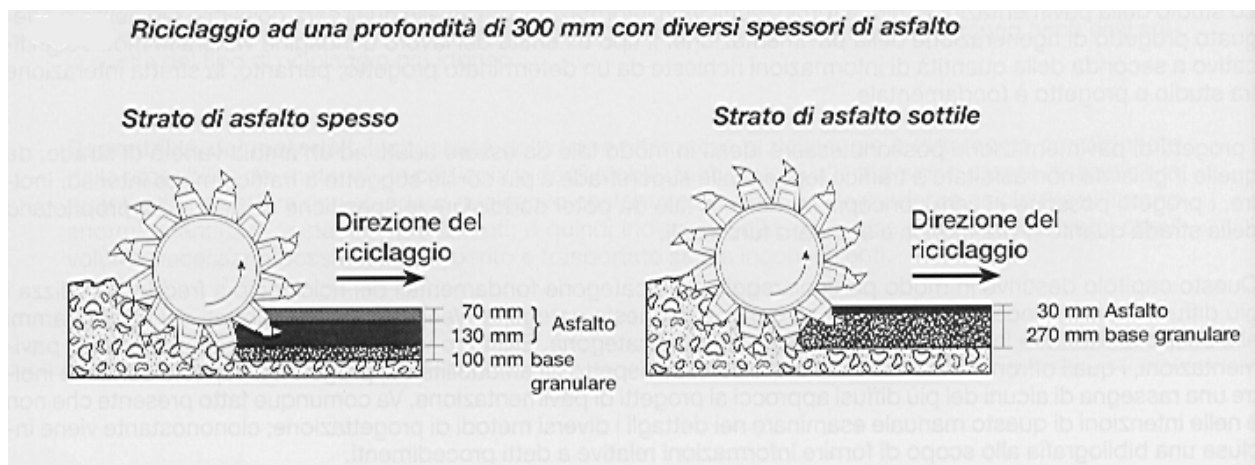
Il riciclaggio a freddo può essere diviso, per ragioni pratiche, in tre diverse categorie: riciclaggio in profondità, riciclaggio superficiale e il miglioramento di strade inghiaiate non asfaltate. In molti casi, non esiste una netta distinzione tra i primi due tipi di riciclaggio ed è quindi abbastanza usuale che i due approcci abbiano molti punti in comune.



Riciclaggio in Profondità

Il riciclaggio in profondità è idoneo al consolidamento di pavimentazioni preesistenti deteriorate aventi strati di asfalto sia spessi che sottili. La Figura illustra due esempi di riciclaggio in profondità.

In entrambi i casi, la profondità del riciclaggio è pari a 300 mm; mentre l'esempio a sinistra presenta uno strato di asfalto di elevato spessore, lo strato raffigurato nell'esempio di destra, invece, è relativamente sottile.



Una volta terminato il riciclaggio, è necessario stendere un nuovo manto. In caso di strade a traffico leggero, questo manto può essere costituito da uno slurry seal o un trattamento superficiale con emulsione e granigli oppure da un sottile strato di asfalto a caldo. Laddove, invece, la pavimentazione è soggetta a traffico intenso, potrebbe essere necessario realizzare sia la base sia il manto in asfalto.

Riciclaggio Superficiale

Normalmente si ricorre al riciclaggio superficiale per eliminare gravi fenditure degli strati di asfalto e al contempo per migliorare la transitabilità dei piani viabili. Questo tipo di riciclaggio, può essere utilizzato in quei casi in cui la sottofondazione è solida, eccezion fatta per alcuni punti deboli degli strati superiori di asfalto. Il riciclaggio superficiale viene svolto a profondità variabili da 80 mm a 150 mm.

Miglioramento delle Strade non Asfaltate

E' possibile migliorare le strade inghiaiate non asfaltate, mediante bitumatura, riciclando la ghiaia preesistente addizionata di emulsione bituminosa o di bitume espanso e applicando un manto sottile, come l'impermeabilizzazione con emulsione modificata e graniglia o lo "slurry seal". Gli ovvi vantaggi derivanti da questo tipo di intervento consistono in piani viabili privi di polvere con tempo asciutto e piani stradali più sicuri e stabili in caso di tempo piovoso. E' inoltre assicurato un impiego più utile delle risorse di materiale in quanto la ghiaia non deve essere sostituita ad intervalli regolari; le strade non asfaltate perdono solitamente 20-30 mm di ghiaia all'anno in seguito all'azione del traffico e agli effetti delle condizioni atmosferiche. In questo modo non verranno più causati quei danni ambientali dovuti all'effettiva necessità di aprire cave di prestito di ghiaia. Questo tipo di riciclaggio viene normalmente effettuato fino a profondità variabili da 100 mm a 150 mm. Va notato che si possono riciclare le strade inghiaiate prive di rivestimento utilizzando il cemento e/o la calce; in tal caso, però, lo strato riciclato deve avere uno spessore maggiore, pari a 200 mm, e quindi tale processo rientra nell'ambito dei riciclaggio in profondità.



SOSTANZE STABILIZZANTI

Oggi, le sostanze stabilizzanti sono usate in tutto il mondo per ovviare ai limiti che tipicamente derivano dall'impasto dei materiali naturali e che vanno ad influire sulle prestazioni della pavimentazione. Le sostanze stabilizzanti, non solo migliorano le caratteristiche di resistenza di un materiale, ma ne aumentano anche la durata e la resistenza all'azione dell'acqua.

In molte parti del mondo, è praticamente impossibile reperire materiali da costruzione di buona qualità per la realizzazioni di pavimentazioni stradali. I costi di trasporto per l'importazione di un materiale adeguato hanno favorito lo sviluppo di tecniche di stabilizzazione che permettono di utilizzare risorse disponibili in loco. La resistenza necessaria può spesso essere ottenuta applicando tecniche che prevedono l'utilizzo di un materiale di importanza secondari, disponibile sul posto, a cui vengono addizionate piccole quantità di sostanze stabilizzanti aventi un costo relativamente basso. Queste tecniche sono applicabili sia ai processi di riciclaggio sia in caso di realizzazione di nuove opere stradali. Aggiungendo una sostanza stabilizzante, il materiale recuperato da una pavimentazione preesistente può essere rinnovato, evitando così di dover importare materiale nuovo per dare alla struttura della pavimentazione rigenerata la resistenza desiderata.

TIPI DI SOSTANZE STABILIZZANTI

Le sostanze stabilizzanti attualmente utilizzate in tutto il mondo sono innumerevoli. La gamma comprende i composti chimici quali il cloruro di calcio, i polimeri a lunga catena e i prodotti sulfanati di petrolio, altri prodotti brevettati e le sostanze più comuni come il cemento. Tutte queste sostanze mirano a raggiungere lo stesso obiettivo: legare insieme le singole particelle per aumentare la resistenza della superficie e/o renderla maggiormente resistente all'acqua. Alcune sostanze sono più efficaci di altre se impiegate con determinati materiali, altre ancora sono economicamente più convenienti; tutte però conservano il loro spazio sul mercato e molte di esse vengono utilizzate al meglio tramite l'impiego delle moderne riciclatrici.

Oggigiorno vengono continuamente messi a punto nuovi prodotti ed è importante per il settore che questi vengano, giustamente, messi alla prova.

Le decisioni per stabilire la soluzione da adottare sono generalmente influenzate dai seguenti fattori:

- **Prezzo.** Il costo unitario della stabilizzazione resta comunque il fattore principale;
- **Reperibilità.** Certe sostanze stabilizzanti potrebbero non essere disponibili ovunque;
- **Caratteristiche del materiale.** Alcune sostanze stabilizzanti sono più efficaci di altre, se utilizzate con determinati materiali. Ad esempio la calce dovrebbe essere utilizzata al posto del cemento, nel caso in cui si debbano stabilizzare terreni caratterizzati da un indice di plasticità particolarmente elevato;
- **Politica.** Le politiche estremamente rigorose di alcuni proprietari di strade, in riferimento all'uso di certe sostanze stabilizzanti, sono spesso influenzate da precedenti esperienze;

SOSTANZE STABILIZZANTI CEMENTIZIE

La calce, il cemento e i composti ottenuti miscelando questi prodotti con cenere volante, scorie rocciose d'altoforno ed altre sostanze simili, rappresentano le sostanze cementizie stabilizzanti maggiormente utilizzate. Senza considerare la calce, già utilizzata dagli antichi Romani per i loro esperimenti, la sostanza che viene utilizzata da più lungo tempo è il cemento; per quanto ci è dato sapere, è stato usato per la prima volta negli Stati Uniti, nel 1917, come sostanza stabilizzante convenzionale.

La funzione principale è quella di aumentare la resistenza. Inoltre, la calce rilasciata durante il processo di idratazione, reagendo con le particelle di argilla presenti in un terreno plastico, ne riduce la plasticità. L'uso di miscele di cemento deve però essere limitato al trattamento di materiali con Indice di Plasticità inferiore a 10. La calce resta la migliore sostanza stabilizzante per la maggior parte delle materie plastiche.

La resistenza acquisita è principalmente determinata dalla quantità di sostanza stabilizzante aggiunta, ma allo stesso tempo varia in base al tipo di materiale trattato. Contrariamente a quanti alcuni ritengono, l'aggiunta di una quantità superiore di sostanza stabilizzante allo scopo di ottenere una maggiore resistenza, può ridurre le prestazioni dello strato. Il materiale trattato con una sostanza stabilizzante cementizia tende ad essere mediamente friabile. Aumentare la resistenza del materiale significa renderlo ancora più friabile e perciò lo strato stabilizzato sarà caratterizzato da una diminuzione delle proprie caratteristiche da fatica; in tale situazione, le continue sollecitazioni dovute al carico esercitato dagli automezzi comportano inevitabilmente un aumento delle incrinature che, per lo strato di una pavimentazione stradale, rappresentano ovviamente una caratteristica negativa. E' quindi fondamentale che i requisiti di efficienza dello strato stabilizzato vengano chiaramente indicati e che venga condotto uno studio adeguato delle miscele su campioni rappresentativi allo scopo di determinare il corretto tasso di applicazione.

SOSTANZE STABILIZZANTI BITUMINOSE

L'uso del bitume come sostanza stabilizzante, impiegato sia sottoforma di emulsione sia come bitume espanso, sta diventando sempre più diffuso, principalmente grazie ai progressi fatti in campo tecnologico. Certi bitumi liquidi sono stati usati con successo per stabilizzare strati sottili.

Quando il materiale viene stabilizzato con il bitume non è soggetto a incrinature da ritiro, tipiche dei materiali trattati con cemento. La superficie realizzata con materiale stabilizzato con bitume può essere immediatamente aperta al traffico, grazie alla legatura iniziale delle particelle in superficie che impediscono lo sfondamento come conseguenza del passaggio del traffico. Se una superficie stabilizzata con bitume è correttamente finita può essere usata subito senza particolari problemi. I mezzi pesanti, compresi i rulli compressori, non devono essere parcheggiati sulla superficie completata per almeno una settimana, periodo durante il quale la superficie aumenta la propria resistenza.

Il trattamento con il bitume è un metodo conveniente per aumentare la resistenza di un materiale e per limitare le conseguenze dell'azione dell'acqua. Lo strato realizzato con materiale legato con bitume è flessibile e presenta caratteristiche di resistenza all'usura superiori alla media se paragonato agli strati trattati con sostanze stabilizzanti cementizie che permettono di ridurre lo spessore dello strato senza sacrificare la capacità strutturale.

Esistono due tipi molto diversi di processi di riciclaggio che prevedono l'impiego del bitume:

- Il riciclaggio superficiale che interessa solo l'asfalto. Durante questo tipo di operazione, l'emulsione bituminosa è usata per rigenerare il vecchio strato di bitume sull'asfalto. Si tratta essenzialmente di un procedimento, in situ, di miscelatura a freddo dell'asfalto e non di un processo di stabilizzazione;
- un procedimento di stabilizzazione che prevede l'uso del bitume per stabilizzare il materiale riciclato. Normalmente, questo procedimento può essere applicato nei punti in cui lo spessore dello strato è superiore ai 100 mm.

E' importante capire che il riciclaggio in profondità con una sostanza stabilizzante bituminosa crea un materiale stabilizzato con bitume e non una sostanza simile all'asfalto. Una base di asfalto avrà un contenuto di vuoti pari a circa il 4 %. Contrariamente all'asfalto artificiale, la gradazione ottenuta dal materiale riciclato dipende, in particolar modo, dal tipo di materiale che costituisce la struttura della pavimentazione preesistente. Il materiale stabilizzato con bitume ha, di solito, un contenuto di vuoti compreso tra il 10 e il 20% e tende a comportarsi in parte come un materiale granulare, in grado di sopportare la sollecitazione di rottura a compressione dovuta alla frizione intergranulare, e in parte come un materiale viscoelastico che può sopportare sforzi di tensione ripetuti. Si tratta quindi di un ibrido.

PROCESSO DI STABILIZZAZIONE CON EMULSIONE BITUMINOSA

Le emulsioni bituminose sono state originariamente sviluppate per superare le difficoltà tipiche delle lavorazioni che prevedono l'impiego di bitume a caldo e, per realizzare a temperatura ambiente miscele con materiale umido.

Un'emulsione è composta da due liquidi immiscibili, uno disperso nell'altro sotto forma di goccioline o di piccoli globuli. Le più comuni emulsioni bituminose sono formate da goccioline di bitume disperse in fase acquosa continua, nella quale le particelle di bitume non possono raggrupparsi a causa della presenza di una sostanza attiva in superficie (un emulsionante) che forma una pellicola protettiva intorno alle particelle. La maggior parte delle emulsioni usate come sostanze stabilizzanti hanno una componente di "residuo di bitume" del 60%; ciò significa che il 60% del volume dell'emulsione è composto da bitume disperso nel 40% del volume di acqua.

Dopo aver realizzato la miscela con il materiale, l'acqua viene eliminata e le particelle di bitume si accorpano, formando una pellicola ininterrotta che si deposita sulla superficie dell'aggregato. Si dice comunemente che l'aggregato "rompe"; questo fenomeno è provocato da:

- perdita di acqua attraverso l'evaporazione o l'assorbimento da parte del materiale che viene miscelato;
- coagulazione chimica dovuta ad un processo di reazione tra l'emulsione e l'aggregato;
- disturbi meccanici provocati da eccessive pressioni di pompaggio, processi di miscelatura e sforzo di costipamento;
- composizione chimica dell'emulsione;

Normalmente il cemento viene utilizzato assieme all'emulsione bituminosa. Oltre ad aumentare la capacità di mantenimento della resistenza, il cemento agisce come una specie di catalizzatore, aumentando le originali caratteristiche di resistenza. Una ricerca condotta per studiare gli effetti della miscelatura del cemento ad una emulsione bituminosa ha dimostrato che si può aggiungere una quantità di cemento pari al 2% per massa senza che vengano ridotte significativamente le caratteristiche da fatica dello strato stabilizzato.

Esistono due tipi di emulsioni bituminose, quelle anioniche e quelle cationiche. La differenza fondamentale tra loro è il carico sugli ioni di bitume sospeso e la "fase" di sospensione. Le particelle di bitume in un'emulsione anionica hanno una carica negativa in una fase alcalina, mentre le emulsioni cationiche hanno delle particelle di bitume con carica positiva in fase acida. Prodotti chimici detti stabilizzanti vengono aggiunti in entrambi i tipi di emulsione, per prolungare il tempo di rottura, riducendo in maniera considerevole l'entità della carica sulle particelle di bitume verso l'aggregato.

Un'emulsione anionica si rompe solo quando l'acqua che contiene il bitume in sospensione evapora o viene assorbita dall'aggregato o dal cemento. Le emulsioni cationiche si rompono invece

chimicamente; ciò implica che vengono aggiunti, durante il processo di produzione, particolari prodotti chimici i quali provocheranno la separazione del bitume dall'acqua dopo un determinato periodo di tempo.

L'unica ragione per cui si utilizza il bitume emulsionante come sostanza stabilizzante è che esso permette di miscelare il bitume con materiali freddi e umidi.

PROCESSO DI STABILIZZAZIONE CON BITUME ESPANSO

L'espansione si forma quando piccole particelle di acqua vengono a contatto con il bitume a caldo; la superficie complessiva aumenta e la viscosità del bitume viene sensibilmente ridotta. Il bitume diventa allora particolarmente adatto per essere miscelato con un aggregato freddo e umido.

Il bitume espanso può essere utilizzato come sostanza stabilizzante con molti materiali; dal pietrisco di buona qualità alla ghiaia più scadente con una plasticità relativamente alta. I principali vantaggi della stabilizzazione ottenuta con il bitume espanso, piuttosto che con l'emulsione bituminosa, sono i seguenti:

- riduzione dei costi sostenuti per il legante e il suo trasporto; questo perché non bisogna sostenere alcun costo di produzione;
- subito dopo aver ultimato la miscela utilizzando il bitume espanso, il materiale ottenuto può essere posto in opera e costipato;
- il materiale trattato con bitume espanso rimane lavorabile per lunghi periodi;

I principali fattori che determinano l'impiego del bitume espanso come sostanza stabilizzante sono:

- **Caratteristiche di espansione.** Le caratteristiche del bitume espanso sono il rapporto di espansione e il tempo di semitrasformazione. Il rapporto di espansione è il rapporto tra il volume massimo del bitume allo stato espanso e allo stato non espanso. Il tempo di semitrasformazione corrisponde al tempo, misurato in minuti secondi, che la schiuma impiega a depositarsi fino a raggiungere metà del volume massimo ottenuto. Le caratteristiche di espansione più importanti sono: la temperatura del bitume, la quantità d'acqua addizionata al bitume, la pressione di iniezione del bitume nella camera di espansione, la presenza di sostanze antischiuma come i composti di silicio. Generalmente la schiuma migliore è quella che riesce ad ottimizzare sia l'espansione che il tempo di semitrasformazione
 - **Indice di bitume e reologia.** I bitumi più morbidi presentano generalmente delle caratteristiche schiumogene migliori. I bitumi più duri vengono utilizzati preferibilmente in condizioni climatiche caratterizzate da temperature elevate.
 - **Dispersione del bitume.** Contrariamente all'asfalto caldo, il materiale stabilizzato con il bitume espanso non è di colore nero. Questo succede perché le particelle più grosse di aggregato non sono ricoperte e sono solitamente prive di bitume.

COMPARAZIONE DEI PROCESSI DI STABILIZZAZIONE

CEMENTO	
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> -Reperibilità: cemento è disponibile in tutto il mondo, in sacchi oppure sfuso. -Costo: rispetto al bitume è molto più conveniente. -Facilità di applicazione: è sempre possibile spargere il cemento manualmente. -Notevole miglioramento delle caratteristiche da fatica con la maggior parte dei materiali. -Migliora la resistenza all'acqua dei materiali. 	<ul style="list-style-type: none"> -Le incrinature da ritiro sono inevitabili, ma il fenomeno può essere ridotto al minimo. -Aumenta la rigidità e ciò riduce le caratteristiche da fatica. -Richiede una maturazione adeguata.

EMULSIONE BITUMINOSA	
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> -Pavimentazione flessibile: la stabilizzazione con bitume forma un materiale elastico e viscoso con caratteristiche a fatica superiori alla media. -Facilità di applicazione: la riciclatrice è collegata al serbatoio con una barra spruzzatrice. -Le emulsioni bituminose sono ben conosciute nell'edilizia. 	<ul style="list-style-type: none"> -Costo: normalmente non sono fabbricate in loco . -Il contenuto di umidità del materiale nella pavimentazione preesistente a volte è troppo elevato e si satura con l'aggiunta di emulsione. -La maturazione può richiedere molto tempo. -Reperibilità

BITUME ESPANSO	
Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> -Facilità di applicazione: analoga all'emulsione bituminosa. -Pavimentazione flessibile: il bitume espanso è composto da bitume avente un indice di penetrazione standard. -Il materiale può sopportare il carico del traffico subito dopo la posa. 	<ul style="list-style-type: none"> -Il processo di espansione richiede un bitume molto caldo(170°C) sono quindi necessarie attrezzature speciali. -La qualità del materiale stabilizzato è determinata dalle caratteristiche schiumogene che dipendono dalla qualità del bitume.