

quarry & construction

Il G186 crusher
Vulcano della
Gasparin Impianti

Mitigazione del
rischio in galleria

I sondaggi della
Torino-Lione

Il Dumper
HM300-2
della Komatsu

Rienz Beton
sceglie Man

La Spagna e
i conglomerati
"tiepidi"

L'esperienza Spea
nella manutenzione



officina meccanica



cugini malagoli

Quarry and Construction - Rivista tecnica mensile di cave, cantieri, strade, costruzioni, movimento terra, opere infrastrutturali, prefabbricazione strutturale. Organo di informazione e documentazione di A.N.E.P.L.A. (Associazione Nazionale Estrattori Produttori Lapidari ed Affini) e di A.N.I.M. (Associazione Nazionale Ingegneri Minerari - Ingegneri delle Georisorse, Geotecnologie, dell'Ambiente e del Territorio).

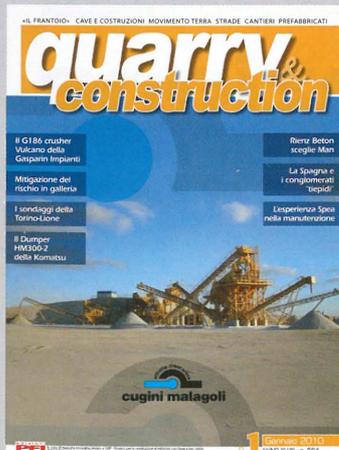
edizioni
PEI
srl

Amministrazione e Diffusione:
Edizioni PEI Srl
Strada Naviglio Alto 46/1 - 43122 Parma
Tel. 0521 771818 (r.a.) Fax 0521 773572
www.edizionipei.it info@edizionipei.it
info@quarry-construction.it

Direttore Responsabile: Carlo Cagozzi
Direttore Commerciale: Gianni Zanichelli
Coordinamento Editoriale: Luisa Casazza
Coordinamento Macchine: Maurizio Quaranta
Redazione: M. Cecilia Camozzi, Brunella Confortini, Cecilia Rinaldi
Redazione Associazioni: Vanni Badino (A.N.I.M.), Francesco Castagna (A.N.E.P.L.A.), Francesco Giannini (Federcave)
Collaboratori di redazione: Maurizio Agostino, Fabrizio Bonomo, Andrea Morgese
Staff Grafico: Marianna Delgrosso (responsabile), Barbara Andreoni, Elena Azzali, Danila Fasano, Elisa Giovati
Amministrazione: Tiziana Aceto
Abbonamenti: Samantha Giubilesi



Questo periodico è associato
alla Unione Stampa
Periodica Italiana



Cugini Malagoli e C. Srl
Via Mantegna, 4
42048 Rubiera (RE)
Tel 0522 626370 - 629491
Fax 0522 627114 - 624145
www.cuginimalagoli.com
info@cuginimalagoli.com

REPORTER

5 Attualità e notizie per i cantieri

CAVE & CANTIERI

9 Una novità dietro l'altra
Sembrebbe questo il leitmotiv della Gasparin Impianti, che a Parigi presentò Diabolo e ora a Bologna presenta Vulcano
di M. Quaranta

12 Il futuro si chiama MyLab
Focus sul nuovo servizio messo a punto da Cave Test che promette di segnare una svolta radicale nel mondo dell'analisi dei materiali

MACCHINE & MATERIALI

17 Nasce UnaCEA
Accendiamo i riflettori sulla nuova associazione delle aziende di macchine e attrezzature per le costruzioni

19 Mercedes Benz: una stella a tre punte
Vediamo da vicino i molti vantaggi del nuovo Sprinter con motore Euro 5
di M. Quaranta

22 Daf: imperativo qualità
Nonostante la crisi, il costruttore olandese continua a puntare sull'eccellenza di mezzi e servizi. Un consuntivo del 2009 nelle parole di Roberto Giorgi, A. D. di Daf V.I.
di B. Confortini

SUOLO & SOTTOSUOLO

27 Mitigazione del rischio in galleria
Le nuove normative hanno dato risposte metodologiche innovative per raggiungere un miglioramento sostanziale della sicurezza delle gallerie in fase di esercizio
di A. Focaracci

41 Il Piano sondaggi della Torino Leone
L'Osservatorio presieduto da Mario Virano ha compiuto l'ennesimo passo avanti nel ri-avvio del progetto per il nuovo valico ferroviario
di F. Bonomo

51 Dalla ceramica, luce in galleria
Utilizzo e posa in opera di un nuovo, vantaggioso tipo di rivestimento ceramico per i piedritti in galleria, proposto dal Gruppo Maccaferri
di C. L. Zent, C. Bonomi e F. Marani

INCONTRI & AZIENDE

61 Komatsu: alta tecnologia nel trasporto pesante
Vediamo i dumper Komatsu HM300-2 impegnati in Val Pola nel ripristino dell'alveo naturale del fiume Adda
di M. Quaranta

65 Man: una scelta "giusta"
Così ci pare la decisione di Rienz Beton di affidarsi al concessionario Carman e ai camion MAN, per gli automezzi destinati al trasporto del calcestruzzo
di M. Quaranta

70 Simex: illimitate applicazioni
Sono quelle delle testate fresanti del costruttore emiliano: dopo averle seguite in cava alle prese coi materiali più ostici, le abbiamo viste al lavoro in quella che sarà un futura vigna
di M. Quaranta

ASSOCIAZIONI

75 Notiziario ANIM a cura di V. Badino

STRADE & COSTRUZIONI

81 L'esperienza iberica nei conglomerati tiepidi
Maggiore attenzione alla sostenibilità con i conglomerati bituminosi a basse temperature, che permettono di ridurre il consumo di combustibile, quindi le emissioni in atmosfera e l'effetto serra
di M. A. Franceschi, F. Giuliani e F. Merusi

95 Per un futuro sostenibile
La Svizzera sempre più protagonista nel settore dei trasporti su rotaia: ne parliamo in un'intervista con Max Friedli, Direttore Ufficio Federale Trasporti Svizzero
di B. Confortini

CEMENTO & CALCESTRUZZO

99 Calcestruzzo: le domande dei lettori
Rispondiamo ad alcuni dei quesiti che più frequentemente i lettori ci pongono
di M. Agostino

103 Impianto Idroelettrico UHE Santo Antônio
Situato nella regione amazzonica, ha richiesto sei anni di studi per le valutazioni di impatto ambientale ed ha rappresentato una doppia sfida sia per la legislazione ambientale della regione, sia per le dimensioni del fiume su cui costruire lo sbarramento
di M. Brofferio, E. D'Andrea, M. Giovagnoli, C. Grometto, K. Ierardi, P. Paoloni e G. Venturini

113 L'arte della manutenzione
Una vera e propria Arte della manutenzione delle strutture stradali, quella messa a punto dalla esperienza pluridecennale della società Spea, che porta a privilegiare soluzioni di minore impatto sul traffico
di F. Bonomo

NOTIZIE & FIERE

121 Varie

L'Editore garantisce la massima riservatezza dei dati forniti dagli abbonati e la possibilità di richiederne gratuitamente la rettifica o la cancellazione, scrivendo a: Edizioni Pei Srl - responsabile dati personali, Strada Naviglio Alto 46/1, 43122 Parma. Le informazioni custodite nell'archivio elettronico di Edizioni Pei Srl verranno utilizzate al solo scopo di inviare agli abbonati vantaggiose proposte commerciali (D. Lgs. n. 196/03 tutela della riservatezza dei dati personali). Questo periodico è iscritto al Registro Stampa del Tribunale di Parma al n. 632 del 16/02/81 - Iscrizione al ROC Registro Operatori di Comunicazione n. 6297 - 26/08/82. Poste Italiane Spa - Sped. in A.P.D.I. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n.46) art. 1 comma 1 - DCB Milano. Dodici numeri all'anno. Prezzo euro 6,50, arretrati euro 7,00. Abbonamento annuale euro 52,00, pagamento su c/c n. 10253433 intestato a: Edizioni Pei Srl, Parma. Fotocomposizione interna. Stampato da Stameria srl - Parma. Pubblicità inferiore al 45%.

Responsabilità: La riproduzione delle illustrazioni e articoli pubblicati dalla rivista, nonché la loro traduzione, è riservata e non può avvenire senza espressa autorizzazione della Casa Editrice. I manoscritti, le illustrazioni, il materiale fotografico ed i supporti magnetici inviati alla redazione non saranno restituiti anche se non pubblicati e la Casa Editrice non si assume responsabilità anche se trattati di esemplari unici. La Casa Editrice non si assume responsabilità nell'eventualità di errori contenuti negli articoli pubblicati e nel caso di erronea riproduzione degli stessi sulla rivista.

Maggiore attenzione alla sostenibilità con i conglomerati bituminosi a basse temperature

L'esperienza iberica nei conglomerati tiepidi

MIGUEL A. FRANESQUI*, FELICE GIULIANI**, FILIPPO MERUSI***

Le implicazioni ambientali e la sostenibilità dei processi produttivi assumono, ogni giorno di più, importanza in tutte le fasi della programmazione delle attività antropiche e della realizzazione delle opere civili.

Nell'ambito della produzione e del confezionamento dei conglomerati bituminosi per pavimentazioni stradali si stanno ricercando e sviluppando differenti tecnologie con l'obiettivo di ottenere una maggiore compatibilità ambientale ed una maggiore efficienza energetica.

La produzione di conglomerati a bassa temperatura di confezionamento e di stesa, spesso denominati "a bassa energia", permette di ridurre il consumo di combustibile e, conseguentemente, le emissioni in atmosfera e l'effetto serra. In questo articolo si presentano e si analizzano le differenti tecnologie che si stanno implementando con il dichiarato obiettivo di aumentare la loro ecoefficienza, e si espongono alcune delle ultime esperienze realizzate in Spagna, attualmente secondo produttore europeo di conglomerati bituminosi a caldo. Una linea di ricerca è rappresentata dalle tecniche che perseguono la riduzione delle temperature di fabbricazione dei conglomerati tradizionali, con riduzioni delle temperature di processo fino ad oltre 40°C, grazie a differenti accorgimenti che consentono la riduzione della viscosità del bitume mantenendo la necessaria capacità di bagnare e rivestire l'aggregato lapideo e la buona lavorabilità della miscela.

Un'altra via è quella di avvicinare il comportamento meccanico di determinate miscele bituminose realizzate a freddo con emulsioni bituminose a quelle dei tradizionali conglomerati a caldo; ciò avviene attraverso il confezionamento di miscele con emulsioni bituminose mediante i comuni impianti fissi a caldo contenendo le temperature fra 60°C e 95°C e pervenendo a temperature minime di stesa comprese fra 40°C e 60°C. Si presentano dunque le caratteristiche e le tipologie di conglomerato bituminoso a bassa temperatura, le relative applicazioni ed i processi di fabbricazione e di controllo che attualmente si stanno utilizzando con successo in terra spagnola.

1. Introduzione

Una delle attuali priorità del settore dei conglomerati bituminosi è lo sviluppo di nuove tecnologie che permettano di migliorare l'efficienza ambientale (Figura 1), coerentemente con gli indirizzi e gli obblighi del protocollo di Kyoto, il documento che promuove gli sforzi utili a realizzare conglomerati bituminosi a temperature più basse di quelle attualmente raggiunte. La Spagna quale secondo produttore europeo di conglomerati bituminosi a caldo (49,9 milioni di tonnellate nel 2007), dopo la Germania, ha ritenuto strategico il miglioramento della efficienza energetica di questo settore, dai quali è lecito attendersi tangibili benefici.

Tipicamente la produzione e la posa in opera dei conglomerati bituminosi a caldo richiedono che i diversi componenti (aggregati e bitume) vengano riscaldati fino a temperature generalmente comprese fra 150°C e 180°C. Per raggiungere queste alte temperature è richiesto un notevole dispendio energetico, ovvero consumo di combustibile, necessario per l'evaporazione dell'umidità naturale dell'aggregato fine, riscaldare la miscela di aggregati e portare il bitume alla giusta viscosità per permettere una perfetta amalgama del conglomerato.

*DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL. UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA (SPAGNA)

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, DELL'AMBIENTE, DEL TERRITORIO E ARCHITETTURA. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

***DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, DELL'AMBIENTE, DEL TERRITORIO E ARCHITETTURA. UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

La fase di combustione che si realizza nel tamburo essiccatore degli aggregati lapidei in impianto è la principale fonte di emissioni direttamente associata alla produzione dei conglomerati bituminosi.

Una riduzione delle temperature di confezionamento e, di conseguenza, di stesa dei conglomerati porterebbe a benefici ambientali evidenti, tra i quali:

- **Risparmio nel consumo energetico:** la riduzione della temperatura di 20°C presuppone approssimativamente un risparmio di un litro di combustibile per ogni tonnellata di conglomerato.

Il maggior risparmio di combustibile si realizza se si riuscisse a lavorare a temperature inferiori ai 100°C ovvero in condizioni di lavoro che non prevedano il raggiungimento del potere calorifero per la vaporizzazione dell'umidità degli aggregati. In questo caso, la riduzione totale del consumo di carburante per produrre conglomerato bituminoso a meno di 100°C è di circa 4 litri/tonnellata rispetto ad un processo tradizionale a caldo (Figura 2).

- **Riduzione delle emissioni:** la diminuzione del consumo di combustibile presuppone una riduzione delle emissioni di gas causa di effetto serra (NO_x, SO_x, CO₂) e dei composti organici volatili (COV). La dipendenza delle emissioni dalla temperatura di produzione è di tipo esponenziale: un incremento di 20°C aumenta il tenore di emissioni di circa 9 volte mentre un incremento di temperatura di 40°C fa aumentare le emissioni in atmosfera di COV di circa 40 volte.

- **Miglioramento delle condizioni di sicurezza e salute degli Operatori:** la riduzione della temperatura diminuisce il rischio di ustioni accidentali. Inoltre i fumi ed i vapori emessi dal conglomerato caldo e gli idrocarburi policiclici aromatici si riducono complessivamente del 30-50%.

- **Limitazione dei fenomeni di invecchiamento del legante bituminoso:** si limitano i processi di cosiddetto invecchiamento primario dei bitumi per l'azione combinata di temperatura ed ossigenazione in configurazione di film sottile proprio del momento del confezionamento.

- **Maggiore indipendenza dalle condizioni di trasporto e dalle condizioni climatiche:** un abbassamento delle temperature di lavorazione permette una maggiore distanza di trasferimento del conglomerato rispetto all'impianto e la posa in opera è meno dipendente dalle condizioni meteorologiche o ambientali.

- **Maggiore percentuale di conglomerato riciclato (fresato, RAP) nelle nuove miscele bituminose.**

Senza dubbio questa riduzione di temperatura deve realizzarsi senza ridurre in maniera significativa le caratteristiche meccaniche ed il comportamento in opera del conglomerato, il che è tutt'altro che semplice. Inoltre è necessario che l'ottenimento dei requisiti meccanici sia relativamente rapido, considerato che devono risultare generalmente contenuti i tempi che intercorrono tra la fine della stesa e l'apertura al traffico.

In termini di eco-efficacia, il sistema più efficiente per realizzare conglomerati bituminosi è probabilmente la tecnologia

a freddo. Sovente essa viene sottovalutata o impropriamente associata a soluzioni proprie di Paesi in via di sviluppo. Tutt'altro, le statistiche di mercato riferite dalla International Bitumen Emulsion Federation relative al periodo 2002-2005 indicano nei Paesi più industrializzati d'Europa e d'America i leader della produzione mondiale di emulsioni: in Francia, nel 2007, il 27,6% del consumo di bitume è stato sotto forma di emulsione; la Spagna è il secondo produttore europeo di emulsioni con più di 350.000 tonnellate all'anno (circa il 20% del consumo annuo di bitume).

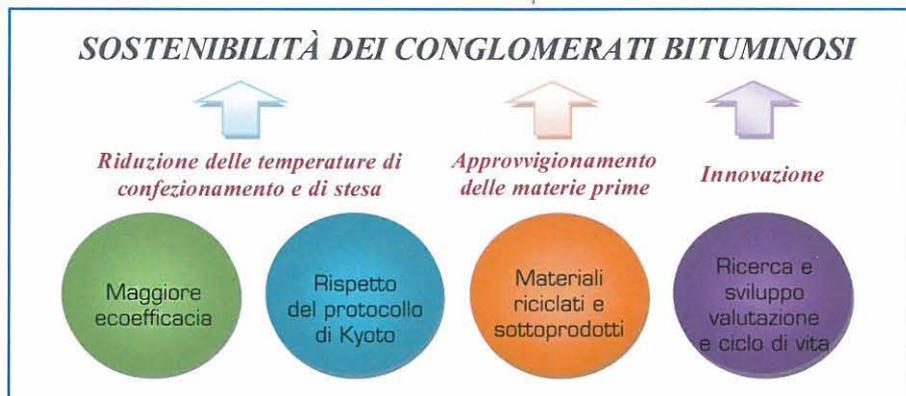
Tuttavia, da un punto di vista meccanico, il comportamento dei conglomerati bituminosi a freddo e la relativa durabilità risultano generalmente inferiori rispetto ai conglomerati a caldo, il che ridimensiona l'eco-efficacia reale se si tiene conto dell'analisi complessiva del ciclo di vita (Life Cycle Analysis, LCA) della sovrastruttura stradale, dalla costruzione alla demolizione. Per questo l'attuale tendenza è quella di avvicinare queste due tecnologie, la "fredda" e la "calda", per ottenere miscele bituminose efficienti, tanto dal punto di vista ambientale che dal punto di vista strutturale.

2. Classificazione dei conglomerati bituminosi a bassa temperatura

Le linee di ricerca e di innovazione di processo, ancora in pieno sviluppo, relative ai conglomerati bituminosi a bassa energia, sono orientati verso due ambiti di lavoro:

- **Riduzione delle temperature di confezionamento e di stesa dei tradizionali conglomerati a caldo:** sono miscele che, grazie alla riduzione della viscosità del legante alle alte temperature, possono essere realizzate a temperature più basse di circa 20°C÷40°C rispetto a quelle attualmente imposte per miscele convenzionali e poste in opera generalmente a meno di 100°C.

Figura 1 - Strategie per la sostenibilità dei conglomerati bituminosi



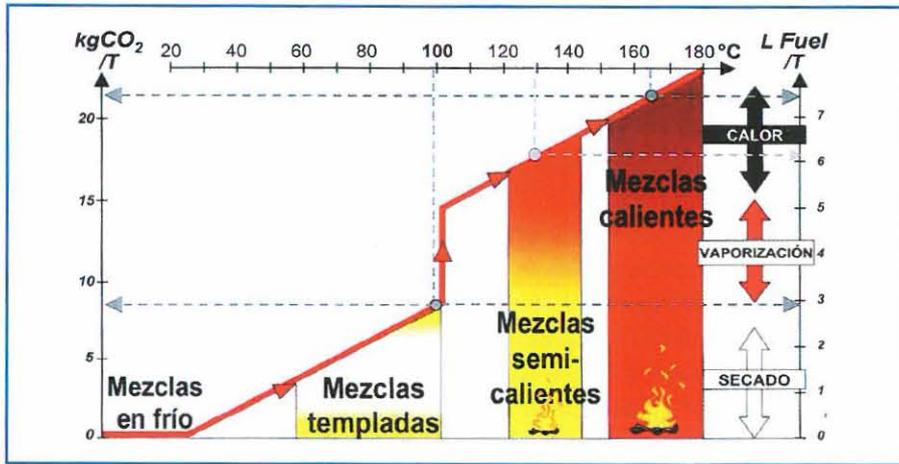


Figura 2 - Emissioni (kg CO₂/Tonnellata) e consumo di combustibile (Litri/Tonnellata) in funzione della temperatura di confezionamento del conglomerato bituminoso (miscela a freddo, tiepide, semicalde e calde)

• **Avvicinamento del comportamento meccanico dei conglomerati prodotti con la tecnologia a freddo a quello del conglomerato ottenuto con tecnologia a caldo:** queste miscele vengono solitamente ottenute con aggregati lapidei riscaldati ad una temperatura generalmente compresa fra 70°C e 90°C ed utilizzando emulsioni bituminose specifiche per ciascuna applicazione stradale, con una temperatura finale di produzione del conglomerato in tutti i casi inferiore a 100°C.

Queste miscele sono solite prevedere acqua nella loro composizione in quanto fase costituente l'emulsione bituminosa.

Generalmente, in Spagna si è convenuto denominare con il termine di "miscele semicalde" (mezclas semicalientes) quelle ottenute a temperature superiori alla temperatura di evaporazione dell'acqua (omologo del termine inglese Warm-Mix Asphalt, WMA), e con il termine "miscele tiepide" (mezclas templadas) quelle ottenute a temperature inferiori a 100°C (l'inglese Half-Warm Mix Asphalt, HWMA), identificando invece con il termine "a freddo" il conglomerato tipico delle lavorazioni a temperatura ambiente.

Nella presente trattazione, al fine di pervenire ad una più immediata distinzione delle tecnologie in esame, si farà riferimento a due categorie principali definite come segue:

1. Conglomerati tiepidi confezionati con emulsioni bituminose (Massima Tconf. < 100°C)
2. Conglomerati semicaldi confezionati con bitume-Warm Mix Asphalt (Massima Tconf. < 140°C)

3. Conglomerati tiepidi confezionati con emulsioni bituminose

3.1. Caratteristiche generali

In Spagna si suole denominare in questo modo i conglomerati realizzati con emulsione bituminosa in cui il legante è costituito da bitume di elevata consistenza e gli aggregati sono portati alla temperatura compresa fra 70°C e 90°C (nel procedimento noto come EvothermTM si riscaldano fino a 130°C).

A volte viene riscaldata la stessa emulsione, sulla base della viscosità, fino a temperature di 60°C÷70°C, per accelerare il processo di rottura. In genere l'emulsione bituminosa si può utilizzare già a partire da 20°C con un frequente impiego a temperature di circa 40°C÷50°C. I conglomerati tiepidi sono dunque miscele confezionate e stese a temperature inferiori a 100°C (il processo è in genere confinato fra 70°C e 90°C). Si utilizza pertanto un normale impianto di produzione di conglomerato bituminoso a caldo, di tipo continuo o discontinuo, o si può pensare ad un impianto pensato per produzioni a freddo al quale si affianca un tamburo essiccatore per riscaldare gli aggregati.

Il legante è generalmente una emulsione bituminosa cationica a rottura lenta o media.

Rispetto alle miscele aperte confezionate a freddo con emulsione, i conglomerati tiepidi presentano i seguenti vantaggi:

- Si osserva un completo ricoprimento degli aggregati da parte dell'emulsione, con una notevole uniformità della miscela in termini di pellicola legante, soprattutto nei casi in cui si faccia uso di un impianto per conglomerati a caldo. In generale si rileva un miglioramento sostanziale nella qualità e nelle proprietà meccaniche della miscela, con caratteristiche finali più simili a quelle dei conglomerati bituminosi caldi.

- Si raggiunge più rapidamente la necessaria coesione dopo la compattazione senza richiedere un tempo di maturazione. In questo caso si può aprire al traffico con molta rapidità, ovvero senza lunghi periodi di attesa, di fatto inevitabili per le miscele realizzate a freddo. La soluzione risulta pertanto adeguata nel caso di interventi di manutenzione in cantieri temporanei. Il risultato finale è in ogni caso una miscela dotata di una buona lavorabilità per strati che risultano dotati di una buona flessibilità, in virtù anche della versatilità di impiego di differenti tipologie di emulsione e di differenti temperature di miscelazione.

- Si ottimizza il tenore di bitume per la migliore efficacia nel ricoprimento dei grani propria della forma di emulsione nella quale viene utilizzato. Particolarmente interessante risulta la formazione di miscele con materiale riciclato nel quale parte di bitume residuo viene rigenerato da specifici agenti aggiunti all'emulsione.

Rispetto ai conglomerati a caldo, le miscele tiepide presentano i seguenti vantaggi:

- Il consumo di combustibile è molto minore e, conseguentemente, le emissioni sono molto ridotte. Il gran risparmio di combustibile deriva dal lavorare a temperature inferiori a 100°C e dal venir meno della necessità di sprecare calore nella fase di evaporazione dell'acqua. Questo risparmio può essere stimato pari a circa

4÷5 litri di carburante per tonnellata di conglomerato confezionato.

- Maggiore flessibilità degli strati realizzati con queste miscele, che risultano particolarmente indicate per stese su supporti deformabili o per strati di piccolo spessore.
- La contenuta differenza fra la temperatura della miscela e quella dell'ambiente circostante fa sì che non esistano limitazioni pratiche nella distanza esistente fra centrale di produzione e zona di stesa, con tempi di gestione dell'impasto estremamente flessibili.
- Si utilizzano gli stessi macchinari sia per la produzione che per la stesa di quelli riferibili alle tradizionali lavorazioni a caldo. È possibile anche un breve stoccaggio in cumuli (Figura 3), sempre che le condizioni ambientali non comportino rapidi abbassamenti di temperatura.

Si deve prestare particolare attenzione ad un aspetto essenziale che è la procedura di alimentazione di emulsione in impianto. Trattandosi di un materiale con elevato contenuto d'acqua (intorno al 40%), laddove non sia possibile impiegare altra via di alimentazione che quella normalmente destinata al bitume, il sistema di riscaldamento delle tubazioni si deve attenuare in modo che l'emulsione non venga a contatto con condotte che ne possono rapidamente vaporizzare l'ac-

qua in essa contenuta. Nel caso non sia possibile inibire il sistema di riscaldamento di queste condotte, si dovrebbe disporre di un sistema ausiliario che permetta un corretto dosaggio di emulsione da altra conduttura.

La miscela si stende mediante una normale vibrofinitrice e viene portata a termine da rulli compattatori, con le stesse regole delle miscele a caldo. Si presterà particolare attenzione al mantenimento di una temperatura di stesa superiore a quella minima che consente ancora una adeguata compattazione, desumibile dalle ipotesi di progetto di ciascun impasto.

Come detto, l'apertura al traffico si può pensare come praticamente immediata. La sfida attuale è quella di tendere a caratteristiche meccaniche finali e di durabilità simili a quelle dei conglomerati caldi. Laddove tali obiettivi vengano finalmente raggiunti, i conglomerati tiepidi risulteranno probabilmente i più utilizzati per le superiori prerogative di sostenibilità ambientale.

3.2. Tipologie ed applicazioni specifiche

Ad oggi, le tipologie di conglomerato bituminoso tiepido che si stanno utilizzando sulle strade spagnole sono riconducibili alle seguenti descrizioni:

Miscele drenanti tiepide ("Mezclas tem-

pladas drenantes" ovvero del tipo "Porous Asphalt", PA): sebbene vi siano state sporadiche esperienze precedenti, in Spagna si è cominciato a stendere conglomerati tiepidi nell'anno 2000 in lavori di manutenzione e rifacimento di manti di usura drenanti (figure 4 e 5). Si tratta di miscele a granulometria aperta, realizzate con emulsione bituminosa cationica modificata a media rottura. Originariamente l'impiego nasce quale strumento di riparazione localizzata di aree sgranate, buche, avvallamenti ovvero in un contesto dove le applicazioni in piccola scala dei conglomerati drenanti a caldo risultano operativamente inadeguate (rapido raffreddamento nel caso di piccole quantità di materiale). Solo in un secondo momento vengono realizzate opere con questo tipo di miscele in applicazioni di larga scala e in nuove realizzazioni, dove però l'alternativa tradizionale è costituita dai microtappeti drenanti a freddo.

Miscele tiepide contenenti materiale riciclato ("Mezclas templadas con material reciclado" ovvero del tipo "Reclaimed Asphalt", RA): trattasi di conglomerato riciclato tiepido in centrale con emulsione bituminosa, in Spagna spesso sinteticamente denominato "Reciclados Templados", che sfrutta contemporaneamente alcuni vantaggi del più noto riciclaggio a freddo del fresato stradale ed altri del riciclaggio a caldo:

- 100% di sfruttamento del materiale fresato da vecchie pavimentazioni.
- Temperatura di impiego prossima a



Figura 3 - Impianto di confezionamento di conglomerati tiepidi



Temperatura della miscela in impianto		60°C ÷ 65°C		
Temperatura di stesa e di compattazione		>40 °C		
Composizione della miscela	Granulometria degli aggregati PA 10/PA 12	Aggregato 0/6	20%	
		Aggregato 6/12	80%	
Composizione della miscela	Legante	Emulsione tipo ECM-m	7% rispetto al peso degli aggregati secchi (4,2% bitume modificato residuo)	
Proprietà specifiche di resistenza all'acqua	Vuoti residui nella miscela	16 - 21%		
	Ricoprimento degli aggregati	100%		
	Adesività valutata dopo ebollizione [% superfici ricoperte]	>90%		
	Segregazione aggregato/legante a 150 °C [%]	Nulla		
	Distacco di aggregati dalla miscela	A secco	<15%	
		Dopo immersione per 24 ore a 60 °C	<25%	
Resistenza a trazione indiretta (ITSR) su campioni Marshall (50 colpi/faccia)	>85%			
Confezionamento	Temperatura di riscaldamento degli aggregati	70-90°C		
	Temperatura di riscaldamento dell'emulsione	25-50°C		
	Temperatura della miscela in uscita dall'impianto	60 °C ÷ 70 °C		

Tabella 1 - Caratteristiche richieste dai conglomerati tiepidi drenanti secondo le esperienze spagnole

Figura 5 - Ripristino dello strato di usura drenante (PA) con nuova miscela tiepida drenante nell'autostrada AP-9. Aspetto finale e comparazione fra le tessiture del manto esistente e del nuovo intervento (Coruña, Spagna. Anno 2001)



quella ambientale.

- Riduzione di emissioni e di consumi energetici.
- Possibilità di controllare la granulometria e i dosaggi delle diverse pezzature avvalendosi di tutte le possibilità proprie di un controllo in centrale.
- Alta coesione iniziale e rapido ottenimento delle proprietà meccaniche do-

Figura 4 - Ripristino dello strato di usura drenante (PA) con nuova miscela tiepida drenante nell'autostrada AP-9 (Coruña, Spagna. Anno 2001)



vuti agli effetti della temperatura e di una maggiore interazione tra gli agenti rigeneranti del bitume nuovo con il vecchio legante contenuto nel fresato. Si assiste in genere ad un risparmio di legante rispetto ai conglomerati freddi.

La produzione si realizza riscaldando il prodotto della fresatura di pavimentazioni flessibili, preventivamente vagliato, qualificato e pesato, ad una temperatura compresa fra 85°C e 100°C (tipicamente 90°C). Il riscaldamento avviene all'in-

terno di un tamburo essiccatore prima di trasferire il materiale in camera di miscelazione unitamente all'emulsione bituminosa.

L'emulsione bituminosa impiegata è cationica e modificata con polimeri, e risulta a rottura lenta.

All'atto della miscelazione viene portata ad una temperatura compresa fra 20°C e 40°C. Le emulsioni, di nuova concezione, non subiscono lo choc termico con gli aggregati ed allo stesso tempo consentono di realizzare miscele di ele-



Temperatura della miscela in impianto		80 ÷ 90 °C	
Temperatura in fase di stesa e compattazione		> 60 °C	
Composizione della miscela	Materiale fresato da pavimentazioni bituminose	Granulometria RE1 (PG-4 spagnolo)	
		Granulometria RE2 (PG-4 spagnolo)	
	Legante nuovo	Emulsioni tipo: ECL-2 ECM-2	3,0% ÷ 4,5% sul peso di aggregati >1,5% bitume modificato residuo
Proprietà volumetriche	Vuoti residui nella miscela compattata [%]	4% ÷ 9%	
	Peso di volume (s.s.a.)	2,28 ÷ 2,35 g/cm ³	
Sensibilità all'acqua	ITSR (50 colpi/faccia) [%]	> 80% [traffico T1 e T2] > 75% [T3, T4] (generalmente 85% ÷ 98%)	
Proprietà viscoelastiche	Modulo dinamico a 20°C 10 Hz	> 6000 MPa	
Confezionamento	Temperatura di riscaldamento del materiale fresato	85 ÷ 100 °C (generalmente a 90 °C)	
	Temperatura di riscaldamento dell'emulsione	20 ÷ 40 °C	

Tabella 2 - Caratteristiche ricorrenti di conglomerati tiepidi contenenti materiale riciclato (fresato) sulla base dell'esperienza di opere già realizzate in Spagna e con riferimento alla normativa iberica

vata coesione iniziale, una elevata adesività e una lavorabilità sufficiente per essere stese con macchine finitrici convenzionali.

L'analisi preventiva delle caratteristiche del materiale riciclato e delle prestazioni del nuovo conglomerato che lo ingloba, in termini di sensibilità all'acqua, resistenza alla trazione indiretta e modulo complesso, definirà il tipo di emulsione da impiegare, le caratteristiche del bitume residuo e la opportunità o meramente la convenienza dell'uso di eventuali agenti rigeneranti. In alcune esperienze già realizzate con buon esito, un dosaggio del 3% in peso di emulsione bituminosa è risultata sufficiente per ottenere moduli dinamici superiori a 6000 MPa a 20°C e valori mantenuti ben oltre l'80% dopo simulazioni accelerate di

esposizione all'acqua. Le miscele possono essere stese a più strati essendo la temperatura limite minima di posa in opera pari a 60°C.

Si può far uso di vibrofinitrici tradizionali e la compattazione può risultare adeguata con rulli metallici da 14 tonnellate e rullo gommato di massa superiore a 25 tonnellate.

Processo Evotherm™ (MeadWestvaco Asphalt Innovations, USA) per la produzione di conglomerati tiepidi con emulsione bituminosa per applicazioni generali: si basa sulla preparazione di una emulsione bituminosa con additivi chimici ed emulsionanti brevettati ad alto contenuto di bitume residuo (70%) che viene miscelata con gli aggregati in un impianto a caldo tradizionale e che viene

stesa e compattata con tecniche tradizionali e, secondo la MeadWestvaco, senza la necessità di sostituzione di materiali o di modo di operare.

Gli additivi chimici agiscono come attivanti di adesione ed emulsionanti. Le riduzioni dichiarate di temperatura di confezionamento rispetto ai tradizionali conglomerati bituminosi a caldo possono arrivare a 50÷70°C (temperatura finale del conglomerato tiepido compresa fra 85°C e 115°C, generalmente pari a 90÷95°C), con risparmio energetico del 55%, riduzione delle emissioni di CO₂ e SO₂ del 45%, del 60% per NO_x, e del 41% per gli COV.

Attualmente è proposta la cosiddetta terza generazione di questa tecnologia, denominata Evotherm 3GTM (REVIX™ "Reduced Temperature Asphalt").

Nel procedimento Evotherm™ gli aggregati si riscaldano a 120÷130 °C e l'emulsione si introduce nel mescolatore a 80°C.

L'unica modifica nella centrale di produzione e la introduzione di un sistema di

Figura 6 - Stesa e compattazione di conglomerati tiepidi contenenti materiale riciclato



evacuazione controllata dei vapori generati all'interno del mescolatore. In Spagna sono documentate diverse applicazioni del processo Evotherm, la prima delle quali è stata realizzata nell'anno 2006.

Le specifiche esperienze in sito confermano che la stesa e la compattazione di miscele confezionate con processo Evotherm si realizzano attraverso metodi convenzionali e l'impasto si presenta con una eccellente lavorabilità permettendo la compattazione perfino a 70°C.



4. I conglomerati semicaldi con bitume (Warm Mix Asphalt)

4.1. Soluzioni tecnologiche e tipologie di processo

I conglomerati bituminosi semicaldi (mezclas semicalientes, warm mix asphalt WMA) sono conglomerati che, attraverso l'impiego di determinati procedimenti, si possono confezionare tra 120°C e 140°C ovvero a temperature di 20-40°C più basse rispetto le quelle impostate nelle lavorazioni tradizionali, e che si mettono in opera a meno di 100°C, riducendo i consumi energetici ed abbassando le emissioni di gas serra di circa il 25%. Nonostante la riduzione delle temperature di processo possa apparire non particolarmente significativa, occorre segnalare che i

Figura 7 - Stesa e compattazione con sistemi tradizionali del conglomerato tiepido con emulsione prodotta nel procedimento Evotherm™ (Huelva, Spagna, giugno 2007)

conglomerati del tipo WMA, rispetto alle tecnologie basate sull'utilizzo di emulsioni, garantiscono un livello prestazionale ed una durabilità più elevati, spesso confrontabili o superiori a quelli dei tradizionali conglomerati a caldo. In questo senso le tecnologie warm si basano su di un processo che comporti una riduzione delle temperature proprie delle lavorazioni delle miscele a caldo e che, nello stesso tempo, consentano di mantenere o migliorare le loro caratteristiche meccaniche. La combinazione di questi effetti spesso richiede una tecnologia che riduca la viscosità del legante durante le fasi di miscelazione e stesa e che non comporti effetti negativi alle temperature di esercizio stradale. Più recentemente sono state sviluppate anche miscele tiepide (quindi con temperatura finale di miscelazione inferiore a 100°C) realizzate con bitume. Presentano la caratteristica di non essere prodotte con emulsione bituminosa ma ancora con aggregati caldi e bitume, sfruttando l'umidità residua degli aggregati fini e favorendo alcuni processi di schiumatura localizzata del legante.

In pratica, il processo di produzione utilizza i principi fisico-chimici che consentono di ridurre la viscosità dei bitumi utilizzati per la produzione di conglomerati semicaldi. Dato che la temperatura finale di produzione dei conglomerati risulta inferiore a quella della evaporazione dell'acqua, continuano a chiamarsi miscele tiepide sebbene le componenti singole (bitume e aggregati) vengano riscaldati a temperature superiori ai 100°C.

Tra i procedimenti che permettono la produzione di conglomerati bituminosi a temperature inferiori a 100°C si possono menzionare i processi LEAB® ("Low Energy Asphalt Concrete"), LEA ("Low

Temperatura di miscelazione in impianto		90 ÷ 95 °C	
Temperatura di stesa e compattazione		> 70 °C	
Composizione della miscela	Tipo di miscela e natura degli aggregati lapidei	AC16 D (aggregati silicei) AC 22 S (aggregati granitici e diabasi)	
	Legante (% emulsione sul peso degli aggregati)	Emulsione Specificamente formulata	7,4% (miscela AC16 D, aggregati silicei) 7,0% (miscela AC22 S, aggregati granitici) 7,2% (miscela AC22 S, diabasi)
Proprietà fisiche e meccaniche	Vuoti residui nella miscela compattata (%)	11,4% (miscela AC16 D, aggregati silicei) 8,0% (miscela AC22 S, aggregati granitici) 6,7% (miscela AC22 S, diabasi)	
	Peso di volume (s.s.a.)	2,20 g/cm ³ (miscela AC16 D, aggregati silicei) 2,30 g/cm ³ (miscela AC22 S, aggregati granitici) 2,43 g/cm ³ (miscela AC22 S, diabasi)	
	Sensibilità all'acqua dopo prova di immersione e compressione spagnola	Resistenza conservata (%)	66,7% (miscela AC16 D, aggregati silicei) 81,7% (miscela AC22 S, aggregati granitici) 80,0% (miscela AC22 S, diabasi)
	Sensibilità all'acqua ITSr (50 colpi/faccia) (%)	70% (miscela AC16 D, aggregati silicei) 90% (miscela AC22 S, aggregati granitici) 87% (miscela AC22 S, diabasi)	
Confezione	Modulo complesso a 20°C a 10 Hz	8000 MPa (miscela AC22 S)	
	Temperatura di riscaldamento degli aggregati	120 ÷ 130 °C	
	Temperatura di riscaldamento dell'emulsione	80 °C	

Tabella 3 - Caratteristiche ricorrenti di conglomerati tiepidi ottenute con il procedimento Evotherm™ sulla base dell'esperienza di opere già realizzate in Spagna e con riferimento alla normativa iberica

Energy Asphalt") e LT Asphalt.

Esistono esperienze spagnole sintetizzabili in due metodi, principalmente associati alla modificazione della viscosità del legante di conglomerati a caldo che consente la lavorazione con successo entro una gamma di temperature più basse delle ordinarie. I principi generali sui quali si basano questi metodi sono presentati in linea generale nei seguenti paragrafi.

4.2. Azione del vapore acqueo e processi di micro-schiumatura

La reazione fra l'acqua e qualsiasi sostanza molto calda alla pressione atmosferica è molto violenta. L'acqua si espande rapidamente fino a più di 1500 volte il volume originale trasformandosi in vapore. Lo sfruttamento di questa proprietà è il principio cui si avvale la cosiddetta schiuma di bitume. L'introduzione controllata di piccole quantità di acqua (circa il 2% in peso) nel bitume caldo fa sì che questo si trasformi in schiuma (aumento del volume iniziale del bitume da 10 a 20 volte) caratterizzato da una minore viscosità e da una maggiore superficie potenzialmente a contatto con l'aggregato. L'acqua si può introdurre nel bitume attraverso due tecniche:

a) Mediante ugelli ad iniezione:

- Processo **LEAB**[®] ("Low Energy Asphalt Concrete"): L'olandese BAM ha sviluppato un processo di schiumatura del bitume mediante ugelli che iniettano acqua a temperatura ambiente (in alcune versioni viene iniettata anche aria compressa) sul bitume tenuto alla temperatura di 180°C. Un additivo a base amminica, simile a sostanze impiegate nella produzione di emulsioni, viene aggiunto nel dosaggio del 0,1% rispetto al peso del legante, immediatamente prima della sua schiumatura favorendone lo sviluppo e migliorando l'adesione con l'aggregato. BAM usa una batteria di 6 ugelli in serie e gli aggregati vengono divisi operativamente in due frazioni (grossa e fina). La temperatura finale di produzione del conglomerato viene ad individuarsi in circa 90°C. Il processo vede sovente l'aggiunta di fresato (RAP) fino a circa il 50% del

peso complessivo del conglomerato prodotto che viene preventivamente riscaldato a 110÷115°C. La tecnica permette di ottenere risparmio energetico fino al 40% rispetto ad un conglomerato tradizionale a caldo (30% se si utilizza RAP nella citata proporzione del 50%).

- Sistema **Double-Barrel Green**[®]: La ASTEC Inc. ha sviluppato un dispositivo ad ugelli multipli per la schiumatura del bitume, predisposto per l'utilizzo in impianti dotati di doppio tamburo. Il sistema consiste in una serie di valvole, camere di espansione e ugelli di iniezione. Le temperature di produzione delle miscele sono prossime a 135°C.

b) Mediante il processo **WAM-Foam**[®] (SHELL International Petroleum Company Ltd. y KOLO-VEIDEKKE, Noruega). Si basa sull'impiego di un sistema legante diviso in due componenti: uno blando (generalmente V1500), con il quale una prima porzione di miscela viene a rivestire gli aggregati precedentemente riscaldati a 130°C, ad eccezione del filler, con bitume alla temperatura di 110°C nella quantità pari circa il 20÷30% di quella complessivamente prevista. Il secondo componente, più consistente (tipicamente un bitume B70/100), viene schiumato iniettando acqua a temperatura ambiente (2÷5% rispetto al quantitativo del bitume a maggior consistenza impiegato) sul legante portato alla temperatura di 175÷180°C nel momento del suo ingresso nel mescolatore, producendo un significativo volume di schiuma di bitume di volume pari a circa 15 volte quello originario.

Nell'operazione si richiede l'uso di un attivante di adesione nella prima fase di miscelazione, essendo questa essenziale per assicurare che l'acqua si sia allontanata dall'interfaccia bitume-aggregato. La riduzione di viscosità migliora la lavorabilità della miscela che viene prodotta tra 100 e 120°C e compattabile a temperature inferiori a 100°C (tra 80 e 90°C). Il procedimento richiede centrali di produzione con modifiche specifiche rispetto agli allestimenti tradizionali ma comporterebbero, secondo Shell, un risparmio

fino al 30% di combustibile, la riduzione di polveri sottili fino al 50% e la riduzione di gas serra fino al 30%.

c) Mediante processo di miscelazione in doppio stadio con aggregati lapidei umidi (miscelazione con doppio ricoprimento), denominato processo **LEA** ("Low Energy Asphalt"): esistono diversi processi di tipo sequenziale depositati dalla FAIRCO (EBE, "Enrobé à Basse Énergie") e EIF-FAGE Travaux Publics (EBT, "Enrobé à Basse Température"). Le tecniche combinano l'azione della temperatura dell'acqua e dell'energia di miscelazione. Il processo consiste nell'essiccazione da un lato dell'aggregato grosso ad una temperatura compresa fra 120°C e 150°C per procedere ad un rivestimento con bitume ad una temperatura variabile tra 140°C e 180°C a seconda del grado di consistenza.

Una volta realizzato questo primo ricoprimento, si incorpora la parte fine dell'aggregato con una determinata percentuale di umidità che causa la schiumatura del bitume. Se l'umidità naturale apportata dall'aggregato fine, contenuta nel proprio scheletro minerale, non è sufficiente per il processo, si aggiunge la quantità di acqua necessaria per l'autoespansione del bitume.

Questo processo, al quale si aggiunge una adeguata azione di miscelazione, assicura il ricoprimento di tutta la miscela e la sua lavorabilità. Lo scambio termico permanente che si instaura nelle differenti fasi delle operazioni di miscelazione, produce la condensazione di acqua residua che viene dispersa nella massa del bitume e assicura la lavorabilità finale del conglomerato. La temperatura di stesa è inferiore a 100°C ed il contenuto d'acqua residuo è generalmente inferiore allo 0,5%. L'aspetto finale è molto simile a quello di un conglomerato tradizionale confezionato a caldo.

d) Mediante additivi inorganici:

- l'impiego di zeoliti sintetiche permette di abbassare le temperature di fabbricazione delle miscele. Trattasi di silicati di alluminio e metalli alcalini, idrotermicamente cristallini e idrofilici, con cavità inter-

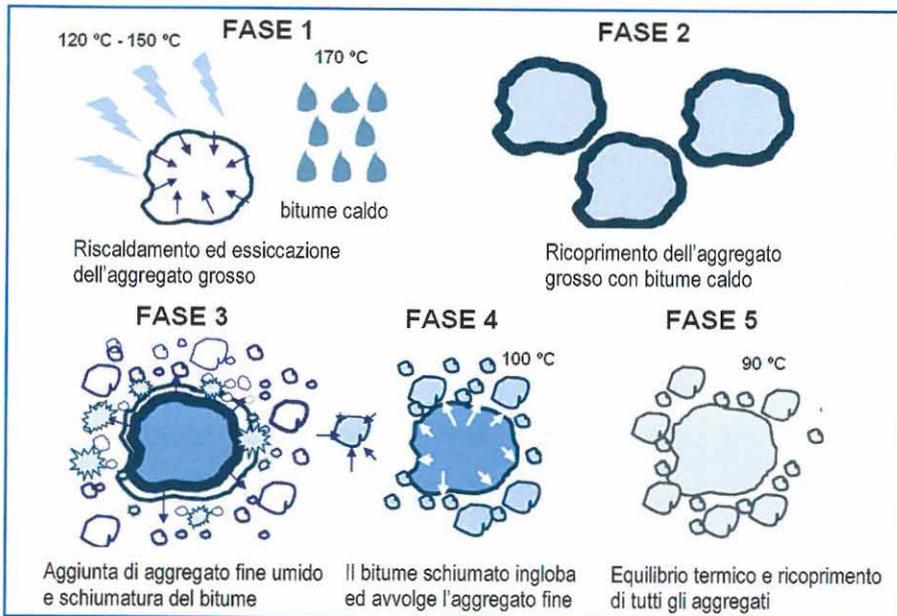


Figura 8 - Schema del processo LEA® ("Low Energy Asphalt")

zione nel settore stradale, di particolare interesse, è oggi scientificamente ben documentata da diverse esperienze sia spagnole (CEDEX, 2004) che internazionali (Edwards et al., 2007, Soenen et al., 2008, Giuliani e Merusi, 2009). Entrambe le tipologie di additivo modificano la relazione tra temperatura e viscosità di un bitume, rendendolo, in particolare, più fluido alle temperature proprie della fase di miscelazione e stesa del conglomerato e più consistente alle temperature di esercizio, con aumento del punto di rammolimento. Le temperature di miscelazione e stesa risultano ridotte generalmente fra 20° e 40°C e ciò a seguito dell'introduzione di tali additivi sotto forma di particole o di pellet all'interno del bitume.

Esistono diversi additivi di formulazione registrata che si propongono quali modificatori della reologia di un legante e che si possono aggiungere agevolmente nel processo di confezionamento di un conglomerato utilizzando un normale bitume:

- **Sasobit®** un prodotto della SASOL WAX GmbH (Germania) che può essere introdotto in forma di flocculi o di perle. Si tratta di cera paraffinica formate da catene alifatiche lunghe ottenute da processo di catalisi ad alta pressione del gas naturale secondo il procedimento Fischer-Tropsch, totalmente solubile nel bitume a temperature superiori a 115°C. Le catene molecolari di cui sono costituite tali cere (cere FT) sono molto più lunghe (da 40 a 115 atomi di carbonio) di quelle di una cera paraffinica naturale (da 22 a 45 atomi di carbonio) e dotate di una strut-



connesse di dimensioni molecolari che permettono interscambio ionico e possiedono la proprietà di assorbire e liberare molecole di acqua senza alterare la propria struttura cristallina. Sono molto note come sostanze che dolcificano l'acqua e contengono nella propria struttura cristallina fino al 21% di acqua rispetto alla propria massa che si libera lentamente durante il processo di miscelazione e di compattazione, permettendo di favorire il ricoprimento degli aggregati da parte del bitume ad una temperatura più bassa ed utilizzando una temperatura più bassa anche per l'essiccazione degli stessi aggregati.

Diverse sono ad oggi le esperienze scientifiche a supporto di questa tecnologia (Bocci et al., 2007, Hurley e Prowell, 2006).

- Negli Stati Uniti è stato sviluppata ed utilizzata una zeolite sintetica denominata **Advera® WMA** (PQ Corporation) che produce lo stesso effetto di schiumatura del bitume nella fase di miscelazione con l'aggregato. L'acqua è liberata ad una temperatura superiore a 100°C nel momento in cui la zeolite viene a contatto con il bitume caldo (aggiunta raccomandata del 0,25% in peso di zeolite sotto forma di polvere).

- Processo **LT Asphalt** sviluppato da NYNAS: si tratta di un processo che utilizza additivi inorganici di caratteristiche igroscopiche (filler dosato fra 0,5 e 1,0% in peso). Anche tale additivo instaura un processo di schiumatura del bitume che consente di pervenire a conglomerati di temperatura finale pari a circa 90°C.

4.3. Additivi organici a basso punto di fusione

Un altro modo di ridurre la viscosità di un legante si basa sull'uso di additivi organici, prevalentemente ammidi e cere paraffiniche a catena lunga, la cui introdu-

Figura 9 - Cera paraffinica Fisher-Tropsch Sasobit® in forma di granuli

- Il processo brevettato da EUROVIA Services GmbH (Germania), denominato **Aspha-Min®**, consiste nella incorporazione simultanea nel mescolatore del legante e di una zeolite sintetica idratata in forma di polvere bianca (diametro approssimativamente pari a 0,3 mm) e nella proporzione del 0,3% sulla massa complessiva della miscela.

Durante il riscaldamento, la zeolite libera l'acqua di idratazione schiumando il bitume, permettendo la riduzione delle temperature di produzione fino a 15°C e favorendo la miscelazione del conglome-



Figura 10 - Additivi organici della serie Asphaltan® (immagine a sinistra ed immagine centrale) e Licomont BS 100® (immagine a destra)

tura cristallina più fine il che si traduce in un punto di fusione più elevato.

Tali cere, riducendo la viscosità del legante, fanno sì che la temperatura di produzione del conglomerato venga ridotta da 10° a 15°C favorendo altresì la compattazione e la posa in opera.

Alle temperature inferiori al punto di fusione, dette cere formano una struttura interna al legante che ne conferisce una buona resistenza alle deformazioni per-

Tabella 4 - Sintesi delle tecniche di produzione di conglomerati semicaldi e tiepidi (dati 2008)

		Processo	Società	Additivi	Temperatura produzione in centrale (°C)	Utilizzata in	Produzioni al 2008
Processi di schiumatura del bitume	Mediante ugelli di iniezione di acqua	LEAB®	BAM (Olanda)	Si, aggiunti al 0,1% in peso rispetto al peso del bitume per stabilizzare la schiuma, favorire il ricoprimento e migliorare l'adesione	90	Olanda	7 progetti
		Double Barrel Green	ASTEC Inc. (USA)	Non necessario	116 ÷ 135	USA	> 4.000 T
	Sistema legante a due componenti	WAM-Foam®	SHELL, KOLO-VEIDEKKE, BP	Non necessario (si può aggiungere un agente tensioattivo per certi bitumi)	110 ÷ 120	Francia, Norvegia, U.K., Italia, Lussemburgo, Olanda, Svezia, Svizzera e Canada	> 60.000 T
		Miscela in doppio stadio con aggregato umido	LEA, EBE, EBT	LEACO, FAIRCO, EIFFAGE Travaux Publics (Francia)	Si, attivante di adesione in ragione del 0,2% ÷ 0,5 % rispetto al peso del bitume	< 100	Francia, Spagna, Italia, USA
Mediante additivi inorganici	Aspha-Min® (zeolite)	EUROVIA, MHI (Germania)	Si, ≈ 0,3% del peso della miscela	130 ÷ 170 (secondo la penetrazione del legante)	Francia, Germania, USA	> 300.000 T	
	Advera® WMA (zeolite)	PQ Corporation (USA)	Si, ≈ 0,25% del peso della miscela	130 - 170 (secondo la penetrazione del legante)	USA	> 10.000 T	
	LT Asphalt (filler igroscopico)	NYNAS	Si, 0,5% ÷ 1% del peso della miscela	90	Olanda, Italia	Sconosciuto	
Additivi organici a basso punto di fusione (resine e cere)	Sasobit® (Fischer-Tropsch Wax)	SASOL WAX (Germania)	Si, aggiunto 2,5% sul peso del bitume (Germania); 1%÷1,5% sul peso del bitume (USA)	130 ÷ 170 (secondo la penetrazione del legante)	Germania e altri 20 paesi nel mondo	> 100.000.000 T	
	Asphaltan® (Cera Montan)	ROMONTA (Germania)	Si, aggiunto 2,5% sul peso del bitume (Germania)	130 ÷ 170 (secondo la penetrazione del legante)	Germania	Sconosciuto	
	Licomont BS 100® (additivo) o Sübit (legante) [ammidi di acidi grassi]	CLARIANT (Germania)	Si, aggiunto 3% sul peso del bitume	130 ÷ 170 (secondo la penetrazione del legante)	Germania	> 120.000 T	
	3E-LT/Ecoflex	COLAS (Francia)	Si	120 ÷ 160	Francia	Sconosciuto	
Miscele con emulsioni bituminose	Evotherm™ (aggregati caldi mescolati con emulsione)	MEAD-WESTVACO (USA)	Si, attivanti di adesione ed emulsionanti	85 ÷ 115	Francia, Spagna, USA, Canada, Sudafrica, Cina	> 20.000 T	
	ECOMAC (Miscela a freddo riscaldate prima della stesa)	SCREG	Si	45	Francia	Alcune prove	

manenti alle temperature di servizio. Il dosaggio di cera più ricorrente nelle applicazioni documentate è di circa il 3% in peso rispetto al peso di bitume e va aggiunto al solo bitume prima dell'ingresso nel mescolatore.

- **Asphaltan®** (ROMONTA GmbH, Germania) è una resina estera di acidi grassi a basso peso molecolare che si presenta in forma granulare. Si aggiunge in una proporzione del 2%÷4% rispetto al peso del bitume direttamente nel mescolatore o prima ancora nel bitume stesso che a sua volta può essere sia convenzionale che modificato. Si ottiene dalle cere fossili contenute nella lignite dell'Era Terziaria che, grazie alla loro alta stabilità ed insolubilità in acqua, si sono accumulate inalterate per interi periodi geologici (cere Montan). Il punto di fusione dell'Asphaltan B® è approssimativamente compreso fra 82°C e 95°C.

- **Licomont BS 100®**: Le ammidi sintetiche degli acidi grassi sono state utilizzate da tempo come regolatori di viscosità ed hanno un punto di fusione approssimativamente pari a 140°C. Questi additivi si impiegano nella industria dei prodotti impermeabilizzanti per l'edilizia dalla fine degli anni 70. Licomont BS 100® si commercializza in Germania in polvere o in forma granulare come additivo per bitumi.

4.4. Miscele in doppio stadio con aggregati lapidei umidi (miscelazione con doppio ricoprimento secondo processo LEA): esperienze spagnole

Le tecniche che sfruttano l'umidità degli aggregati nella miscelazione a doppio ricoprimento sembrano mostrare un futuro promettente in Spagna e si realizzano come alternativa ai conglomerati a caldo nelle applicazioni generali.

Questa tecnica, oltre a risparmiare energia, modifica la reologia degli impasti a tal punto da stendere perfino a temperature inferiori a 100°C, portando come unica modifica l'adattamento ai tempi di compattazione. È possibile ottenere una miscela dall'aspetto e dalle caratteristiche

Temperatura di stesa e compattazione		82 °C	
Miscelazione	Umidità dell'aggregato grosso	1%	
	Umidità della sabbia	4%	
	Temperatura di riscaldamento dell'aggregato grosso	150 °C	
	Temperatura di riscaldamento del bitume	170 °C	
	Temperatura finale del conglomerato sul camion	95 °C	
Composizione della miscela tipo AC16 D	Natura degli aggregati	Silicei	
	Granulometria degli aggregati	Filler (% passante 0,063 mm)	6,7%
		Aggregato fine (% passante 2 mm e trattenuto 0,063 mm)	30,6%
		Aggregato grosso (% trattenuto 2 mm)	62,7%
Bitume	B 60/70	5,1% (sul peso della miscela)	

dei conglomerati a caldo e la realizzazione è possibile sia in impianti di tipo continuo che discontinuo a patto di realizzare piccole modifiche dei sistemi di controllo dell'umidità degli aggregati.

Si impegnano bitumi di uguale penetrazione, e nello stesso dosaggio, di quelli normalmente previsti per le realizzazioni a caldo. Al termine della stesa si rilevano prestazioni meccaniche vicine ai valori previsti in via definitiva, con una maturazione del tutto analoga, in pari condizioni operative e temporali, ai conglomerati tradizionali. L'aspetto più importante da tener in conto è il controllo esatto dell'umidità dei diversi materiali, rispetto ai quali si richiedono dispositivi di controllo automatico continuo, così come risulta degno di attenzione il sistema di allontanamento dell'acqua prodotta per condensazione dei vapori nella fase di miscelazione.

Nella posa in opera della miscela di queste caratteristiche si possono impiegare gli stessi mezzi di trasporto, di stesa e di compattazione. La perdita di temperatura è minore per i conglomerati tiepidi, es-

Tabella 5 - Caratteristiche di fabbricazione di miscele ottenute attraverso il procedimento LEA secondo le esperienze di opere realizzate in Spagna



Figura 11 - Dispositivo di trattamento del vapore generato nella produzione di miscele tiepide con aggregati umidi

Figura 12 - Scarico di conglomerato all'interno di cassoni senza la formazione di fumi

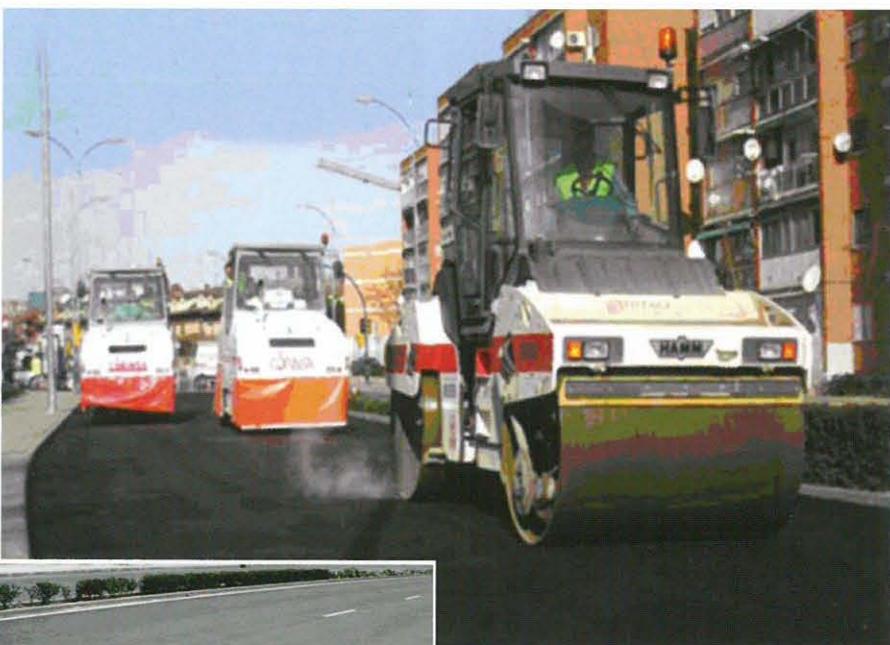


Figura 13 - Temperatura alla stesa di conglomerato tiepido prodotta secondo il processo LEA e aspetto della realizzazione finale



sendo minore la differenza tra la temperatura del conglomerato allo scarico dal mescolatore e la temperatura esterna ambientale, il che consente la possibilità di aumentare le distanze di trasferimento. La compattazione si realizza utilizzando gli stessi mezzi convenzionali nella se-

Figura 14 - Compattazione mediante rullo metallico e pneumatico e aspetto finale del piano viario (Opere di pavimentazione urbana nella città di Madrid, 2008)



quenza: compattazione con rullo metallico vibrante, seguita da rullo gommato a pneumatici.

Quest'ultimo tipo di compattazione deve prevalere per tali miscele che presentano un comportamento viscoelastico alla temperatura attesa in questa fase operativa (82 °C). L'apertura al traffico può intendersi possibile già a fine compattazione.

Il bilancio energetico che scaturisce dal confronto fra le due tipologie di confezionamento di conglomerato bituminoso, evidenzia una riduzione del 50% del consumo energetico rispetto a quanto previsto da una miscela confezionata a caldo in modo tradizionale. Il maggior consumo avviene nella fase di vaporizzazione corrispondente all'eliminazione dell'umidità degli aggregati grossi.

Conclusioni

La Spagna è risultata negli ultimi anni un laboratorio di sviluppo tecnologico di lavorazioni stradali mirate al risparmio energetico ed alla concezione e realizzazione di conglomerati bituminosi a minor impatto ambientale.

In più occasioni il cantiere stradale è stato la sede di valutazione diretta e di misura di prestazioni di soluzioni tecniche che oggi si affermano con nuovo ed ampliato interesse anche in Italia. In termini generali, attualmente è possibile produrre e stendere conglomerati bituminosi a temperature che vanno da 60°C a 140°C in alternativa ai conglomerati bituminosi a caldo tradizionali confezionati nel range 150 °C ÷ 180 °C.

Le emissioni possono ridursi dal 25% al 50% in funzione delle scelte di progetto e di processo; in ogni caso esistono diverse alternative alle tecniche tradizionali che comportano miglioramenti tangibili generalizzati, da un punto di vista ambientale ed energetico, e che possono affiancare o sostituire le attuali tecniche di lavorazione.

I conglomerati tiepidi (conglomerati a freddo con aggregati riscaldati ad una temperatura compresa fra 10°C e 90°C) ed i conglomerati semicaldi che, mediante schiumatura o additivi, modificano la viscosità del bitume e permettono una produzione a temperature da 30°C ad oltre 60°C più basse delle lavorazioni tradizionali mantenendone le formulazioni e la lavorabilità.

Tali conglomerati costituiscono le eco-alternative più efficaci, con comportamenti meccanici non inferiori a quelli attesi da miscele a caldo convenzionali. ■

Tabella 6 - Confronto fra le emissioni di CO₂ di un conglomerato tradizionale ed di un conglomerato tiepido confezionato con bitume secondo il processo LEA

Tipo di conglomerato	CO ₂ (T/h)	NO (ppm)	SO ₂ (ppm)	H ₂ (ppm)
Conglomerato tradizionale a caldo	4,81	27	181	460
Conglomerato bituminoso tiepido	3,43	3	136	184
Riduzione delle emissioni (%)	28,7 %	88,9 %	24,9 %	60 %

Riferimenti bibliografici

CORRIGAN, M. (2004). Warm Mix Asphalt Technology. 44th Annual Idaho Asphalt Conference. Moscow, Idaho, USA.

DEL VAL, M. A. (2005). Consideraciones ambientales sobre las mezclas asfálticas. Reciclado de mezclas. Mezclas semicalientes". Jornada Técnica "Panorámica actual de las mezclas bituminosas, un nuevo enfoque". Madrid: ASEFMA, Spagna.

FRANESQUI, M. A. (2009). Innovaciones en mezclas templadas con emulsión. XIV Jornadas de Carreteras. Las Palmas de Gran Canaria, Spagna, Aprile 2009.

MIRANDA, L. (2008). Comportamiento de las mezclas templadas en obra comparativa frente a una mezcla convencional. VIII Congreso Nacional de Firmes. Valladolid, Spagna, Ottobre 2008.

SOTO, J. A.; BLANCO, A.; COLÁS, M. M. (2005). Mezclas semicalientes. Mezclas asfálticas fabricadas en centrales en caliente con emulsión. Jornada Técnica "Panorámica actual de las mezclas bituminosas, un nuevo enfoque". Madrid: ASEFMA, Spagna.

UGUET CANAL, N.; LESUEUR, D. (2008). Diminuir la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas en caliente: mezclas semicalientes y templadas. VIII Congreso Nacional de Firmes. Valladolid, Ottobre 2008, Spagna.

Hurley, G.C., Prowell, B.D. (2006). Evaluation of potential process for use in warm mix asphalt. The Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 75, pp. 42-90.

CEDEX (Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas. (2004). Influencia de la utilización de betunes asfálticos modificados con Sasobit en la mezclas bituminosas. Technical report, Madrid, Spain.

Edwards, Y., Tasdemir, Y., Isacson, U. (2007). Rheological effects of commercial waxes and polyphosphoric acid in bitumen 160/220 - high and medium temperature performance. Construction and Building Materials, 21 (10), pp. 1899-1908.

Soenen, H., Tanghe, T., Redelius, P., De Visscher, J., Vervaecke, F., Vanelstraete, A. (2008). A laboratory study on the use of waxes to reduce paving temperatures. Proceedings of the 4th Euroasphalt and Eurobitume Congress, Copenhagen, Denmark.

Giuliani, F., Merusi, F. (2009). Flow characteristics and viscosity functions in asphalt binders modified by wax. International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 2 (2), pp. 51-60.

Eccellente Vibrazione.



bauma HALL C1
2010 BOOTH 415

www.italvibras.it

Motovibratori Italvibras:
affidabilità, sicurezza e prestazioni.

I motovibratori elettrici Italvibras, fino a 250 kN di forza centrifuga, sono stati progettati per garantire risposte di qualità nelle apparecchiature vibranti che operano in ambienti di lavoro estremi. I motovibratori Italvibras rispondono alle più severe normative di sicurezza internazionali (ATEX, UL, CSA, GOST) per garantire affidabilità anche nelle condizioni d'uso più critiche. **Italvibras. La specializzazione del leader.**

1959
50
2009

italvibras
g.silingardi

Italvibras G. Silingardi SpA
41042 Fiorano Modenese MO Italy - via Ghiarola Nuova, 22/26
Tel. +39 0536 804634 - Fax +39 0536 804720
italvibras@italvibras.it - www.italvibras.it

