UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in ingegneria Civile e Ambientale

Valutazione del grado di spogliamento bitume-aggregato variando tipologia e dosaggio di additivo attivante di adesione

Evaluation of the degree of bitumen-aggregate stripping varying type and dosage of anti-stripping additives

Relatore: Chiar.mo

Prof. Maurizio Bocci

Tesi di Laurea di:

Matteo Colella

A.A. 2019 / 2020

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 3
2. MATERIALI 4
2.1. AGGREGATI LAPIDEI 4
2.1.1. Origine e produzione 4
2.1.2. Proprietà degli aggregati 5
2.2. LEGANTE BITUMINOSO 6
2.2.1. Introduzione 6
2.2.2. Origine e processi di produzione 7
2.2.3. Chimica del bitume 8
2.3. CONGLOMERATI BITUMINOSI 11
3. APPROCCIO TEORICO ADESIONE 14
3.1. ADESIONE BITUME-AGGREGATO 14
3.2. VALUTAZIONE AFFINITÀ 15
3.3. ADDITIVI ATTIVANTI DI ADESIONE 16
4. PROTOCOLLO DELLA PROVA E MATERIALI 17
4.1. AGGREGATO UTILIZZATO 17
4.2. BITUME 17
4.3. ADDITIVI 18
4.4. PROTOCOLLO AST 18
5. ANALISI RISULTATI 20
5.1. SENZA ADDITIVO 20
5.2. PROVE CON ADDITIVI 21
6. CONCLUSIONI 69
BIBLIOGRAFIA 71
NORMATIVE 71
SITOGRAFIA 71

1. INTRODUZIONE

La durata di un conglomerato bituminoso e di conseguenza della pavimentazione stradale è senza dubbio legata alla buona adesione tra bitume ed inerte ed alla possibilità che questa venga conservata nel tempo. La perdita di adesione comporta un rapido deterioramento degli strati superficiali della pavimentazione stradale, con il manifestarsi di fenomeni di spogliamento e quindi un distacco della pellicola di rivestimento dei granuli. L'adesione viene meno soprattutto in presenza d'acqua, meteorica o di falda. Questo induce a richiedere che il parametro di adesione ottenuto in condizioni asciutte non abbia una drastica caduta in presenza d'acqua.

L'adesione dei leganti bituminosi coinvolge proprietà fisiche di differente origine, infatti l'affinità bitume-aggregati è influenzata dalle caratteristiche sia del bitume, sia dell'aggregato utilizzato nella miscela, nonché dalle condizioni ambientali (umidità e temperatura), dalle caratteristiche superficiali della pavimentazione (rugosità, porosità e rivestimento) e dal traffico a cui è soggetta. Da un punto di vista generale, l'adesione può essere definita come la forza molecolare di attrazione che si manifesta tra due corpi di diversa natura a contatto tra loro. Nel contesto dei conglomerati bituminosi il contatto è di tipo liquido (bitume) e solido (aggregati).

Lo scopo della ricerca è l'analisi di particolari additivi, attivanti di adesione, che riducono considerevolmente lo spogliamento di bitume aumentando di conseguenza l'adesione bitume-aggregato, contrastando l'azione disgregante dell'acqua e garantire una perfetta adesione del bitume all'inerte.

Gli attivanti di adesione hanno lo scopo di migliorare l'adesività del bitume in due modi simultanei: creando reazioni di tipo chimico maggiore e abbassando la tensione interfacciale tra bitume ed inerte. L'utilizzo degli attivanti di adesione per conglomerati bituminosi consente di eliminare la possibilità che si generino alcuni dissesti come sgranamenti e formazione di buche. Esistono diverse prove di laboratorio che permettono di verificare sia la relativa necessità sia di determinare le percentuali ottimali di utilizzo, garantendo adeguata vita utile delle pavimentazioni. L'affinità bitume-aggregato nella sperimentazione è stata indagata tramite l'Ancona Stripping Test (il protocollo della prova è esposto nel paragrafo 4.4), tale prova ha permesso inoltre la valutazione dell'efficacia degli additivi testati.

La necessità di garantire maggiore vita utile e di ridurre i costi di produzione-manutenzione delle pavimentazioni stradali ha comportato negli ultimi 50 anni lo sviluppo di nuovi prodotti e tecnologie. Tali sviluppi hanno consentito il miglioramento prestazionale delle miscele bituminose e

il riciclaggio di materiali derivanti dalla demolizione di vecchie pavimentazioni, portando conseguentemente anche alla diminuzione degli impatti ambientali.

2. MATERIALI

Come qualunque opera la qualità di essa dipenderà da molteplici fattori a partire dalla progettazione, fino alla gestione e controllo dell'opera finita. In ciascuna fase gli aspetti relativi ai materiali sono di fondamentale importanza. I materiali che costituiscono i vari stati della pavimentazione quali: aggregati lapidei, bitume, emulsioni bituminose e cemento

2.1. AGGREGATI LAPIDEI

Gli aggregati lapidei sono costituiti da granuli e hanno origine dalle rocce e possono trovarsi in depositi naturali formati attraverso un complesso insieme di fenomeni chimico-fisici oppure posso essere estratti da cave. Gli aggregati hanno un ampio utilizzo nella costruzione di stradali, e dal punto di vista volumetrico sono il materiale più utilizzato nella costruzione stradale, sia in forma sciolta, negli strati più profondi della pavimentazione stradale, sia in maniera legata, negli strati più superficiali posso essere impastati con un legante idraulico (il cemento) formando così i misti cementati o con un legando bituminoso dando origine hai conglomerati bituminosi.

2.1.1. ORIGINE E PRODUZIONE

Nella costruzione delle strade gli aggregati possono essere:

- Naturali: rocce sciolte o frantumante
- Artificiali: prodotti industrialmente (ceneri volanti, argilla espansa, ecc)
- Riciclati: dalla fresatura di pavimentazioni esistenti, o scarti di costruzione e demolizione di costruzione

I più largamente utilizzati sono quelli naturali di origine sciolta già presenti in tale forma in natura oppure prodotti da frantumazione di rocce compatte.

Le rocce dalle quali si originano gli aggregati di dividono in:

- Ignee
- sedimentarie
- metamorfiche

Le rocce ignee si formano a seguito della consolidazione dei magmi si dividono in tre categorie: Intrusive (graniti, gabbri, dioriti) presentano una struttura cristallina grossolana, piroclastiche (pomici, tufo) deposito dei materiali emessi nel corso delle fasi esplosive dell'attività vulcanica ed effusive (basalti, porfidi) struttura cristallina fine, vetrosa e come le piroclastiche hanno subito un rapido raffreddamento. Le rocce ignee effusive sono le più usate nei tappetti di usura potendo garantire una buona aderenza con conseguente aumento di sicurezza essi infatti tendono meno a levigarsi rispetto ad altri tipi di rocce.

Le rocce sedimentarie si suddividono in base alla composizione chimico mineralogica prevalente: carbonatica o silicea, tale distinzione è rilevante, le rocce carbonatiche sono basiche e hanno maggiore affinità con il bitume viceversa le rocce silicee essendo acide.

Gli aggregati possono essere estratti da cave di roccia compatta tramite una serie di successivi sbancamenti effettuati con mezzi meccanici o mediante uso di esplosivi all'interno di una cava di prestito, oppure, da depositi di materiali sciolti molto più facile da caricare ma essi sono usualmente costituiti da granuli arrotondati che sotto l'azione dei rulli compattatrici tendono a scivolare e rendono la costipazione degli strati maggiormente difficoltosa, inoltre in tali depositi vi è la presenza di depositi limosi-argillosi non compatibili con bitume o cemento a tale scopo si può effettuare un'operazione di lavaggio.

2.1.2. PROPRIETÀ DEGLI AGGREGATI

Le proprietà degli aggregati sono: geometriche, fisiche e chimiche.

Nella sperimentazione fatta ha fondamentale importanza l'interazione tra aggregato e bitume influenzata particolarmente dalla proprietà chimica degli aggregati.

La caratterizzazione chimica degli aggregati riguarda, oltre, alla composizione elementare, un insieme di altre proprietà legate al loro grado di instabilità, e alle interazioni con il materiale utilizzato come legante, sia esso di tipo bituminoso o idraulico. I comuni procedimenti per l'analisi chimica comprendono la determinazione del contenuto di cloruri, di solfati idrosolubili, di solfati e solfuri, di zolfo, la perdita per calcinazione, la presenza di contaminanti leggeri e organici questi

possono interferire sul legame di adesione del legante bituminoso al granulo o provocare la comparsa di macchie e rigonfiamenti sulla superficie.

La proprietà chimiche degli aggregati dipendono dai minerali componenti la roccia madre che influenzano in modo determinante l'adesione aggregato-bitume

- Aggregati calcarei:

  $CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{++} + HCO_3^- + OH^-$ *comportamento basico*.

  Tali aggregati quindi dato il loro comportamento basico hanno maggiore affinità al bitume (idrofobi) sviluppando forti legami di tipo chimico e conseguentemente elevata adesione anche in presenza di acqua.

- Aggregati silicei:

  $SiO_2 + H_2O \rightarrow HSiO_3^- + H^+$ *comportamento acido*.

  Essi avendo un comportamento acido presentano maggiore affinità all'acqua (idrofili) perciò saranno maggiormente soggetti a degrado (spogliamento, stripping), per migliorare l'adesione si utilizzano additivi: attivanti di adesione o filler calcarei.

- Bitume: presenza di –COOH si carica negativamente in presenza di acqua avendo un comportamento acido.

L'aggregato siliceo tuttavia ha caratteristiche di resistenza meccaniche maggiori rispetto a quelli calcarei, principalmente in termini di levigazione a tale scopo per i tappeti di usura si utilizzano materiali silicei, inoltre i tappeti di usura sono anche gli strati maggiormente a contatto di acqua che tende a disgregare il bitume legato. A causa di tale problematica nel bitume vengono aggiunti additivi che tendono ad invertire il comportamento del bitume da acido a basico permettendo di sviluppare un'adesione con gli aggregati silicei.

2.2. LEGANTE BITUMINOSO

2.2.1. INTRODUZIONE

I leganti utilizzati in ambito stradale, in particolare nelle pavimentazioni li possiamo suddividere in:

1. Leganti Idraulici: cemento, calce, loppa.
2. Leganti Organici: polimeri, polimeri + bitume, idrocarburici.

I leganti organici sono i maggiormente utilizzati, principalmente in Italia, dove le pavimentazioni in calcestruzzo sono poco diffuse.

In un conglomerato bituminoso, il bitume ha la funzione di conferire alla
miscela la necessaria coesione a un ammasso sciolto come terra granulare e aggregati lapidei per poter resistere alle sollecitazioni di taglio e flessione dovute ai carichi superficiali indotti dal passaggio veicolare. Il bitume non sviluppa una reazione chimica nel conglomerato bituminoso, al contrario del cemento.
Storicamente i primi impieghi di bitume in campo stradale hanno riguardato trattamenti antipolvere delle massicciate stradali, inizialmente impiegando bitumi naturali.

2.2.2. ORIGINE E PROCESSI DI PRODUZIONE

Con legante bitume si intende un composto di natura organica derivante dal petrolio. Oltre ai bitumi derivanti da processi di raffinazione del greggio di petrolio, detti anche industriali o bitumi di petrolio, esistono dei bitumi naturali in forma più o meno pura e in diversi stati di consistenza, si presentano come ammassi sotterranei o a cielo aperto o come componenti impregnanti formazioni rocciose o sabbiose. Ad oggi vi è esclusivamente l'utilizzo di bitume industriale: una miscela di idrocarburi e loro derivati metallici e non, ricavati come sottoprodotto della distillazione del petrolio.
I sistemi di produzione dei bitumi tradizionali si basano essenzialmente sulla distillazione frazionato del greggio di petrolio. La distillazione è un processo fisico durante il quale vengono separate le fasi di una miscela (petrolio grezzo) per effetto delle diverse temperature di ebollizione e di condensazione che competono a ciascuna di esse, come mostrato in figura ssuccessiva.

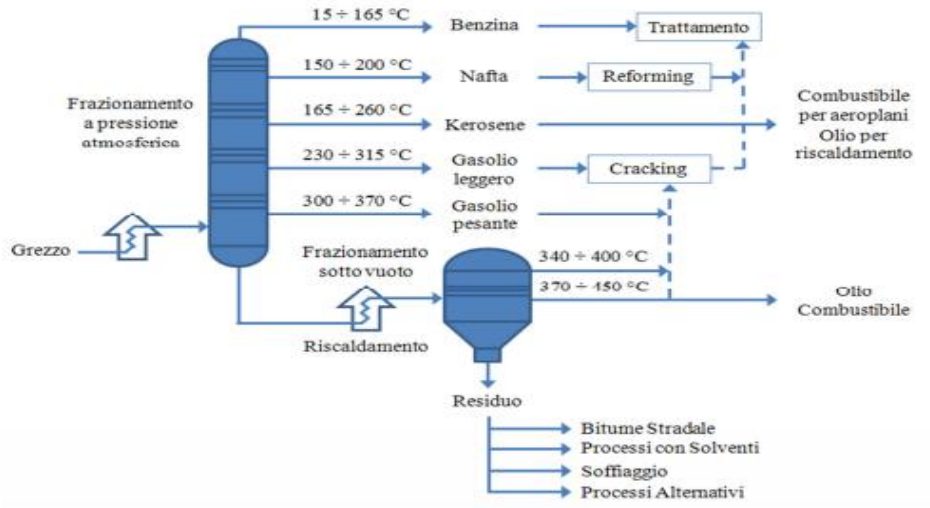

Fig. 1 schema di frazionamento del grezzo

Il principio generale consiste nel separare le varie componenti del greggio, caratterizzate ciascuna da un diverso punto di ebollizione, all'interno di torri di frazionamento. In particolare, si possono distinguere due fasi principali: una distillazione a pressione atmosferica, nel corso della quale vengono separate le parti più leggere, con temperatura di ebollizione fino a un massimo di 400 °C e una distillazione sotto vuoto, eseguita sul residuo di lavorazione della prima torre. Essendo costituito dalle frazioni più pesanti, il bitume stradale costituisce tipicamente il prodotto di fondo ottenuto in condizioni di vuoto che può essere utilizzato direttamente oppure essere sottoposto a ulteriori trattamenti, tra i quali si distinguono principalmente:

- ossidazione a caldo con getti d'aria a temperature dell'ordine di 200 °C, ottenendo i bitumi ossidati o soffiati. Tale processo si applica quando è necessario aumentare la viscosità del residuo e migliorarne la suscettività termica. Un campo di impiego tipico è quello delle coperture e delle impermeabilizzazioni;
- diluizione con solventi, ottenendo i cosiddetti bitumi liquidi. Si applica per abbassare la viscosità del bitume al fine di renderlo lavorabile a basse temperature.

La categoria dei leganti bituminosi comprende sia i bitumi propriamente detti, originati attraverso le comuni lavorazioni di raffineria, sia altre tipologie di materiali, sempre a base bituminosa ma prodotti con particolari processi tecnologici in grado di conferire loro delle proprietà specifiche chiamati bitumi modificati derivanti dall'unione di un bitume tradizionale e di particolari composti chimici, detti agenti modificanti, nella gran parte materiali polimerici di varia natura e composizione.
Il bitume modificato costituisce un prodotto sostanzialmente diverso da quello di origine, in quanto il polimero non funge da semplice additivo ma determina una modificazione chimico-fisica di tipo irreversi-bile unita a un miglioramento complessivo delle caratteristiche prestazionali.

2.2.3. CHIMICA DEL BITUME

Le prestazioni in opera di un legante dipendono direttamente dalle proprietà fisiche e reologiche del materiale, le quali chiaramente dalla composizione chimica e strutturale del bitume.
Il bitume è un sistema multi-fase costituito da miscele di idrocarburi paraffinici, aro-matici e loro derivati, che si differenziano per struttura molecolare e composizione. Gli idrocarburi variano a

seconda del greggio di provenienza e dei processi di distillazione utilizzati; in genere. presentano una struttura chimica del tipo:

$$C_nH_{2n+2}, C_nH_{2n}, C_nH_{2n+2}$$

dove ha un valore variabile tra 2 e 30.

Il carbonio e l'idrogeno vanno a costituire il 90% in peso, gli elementi costituenti sono lo zolfo, l'ossigeno e l'azoto che possono presentarsi isolatamente o sotto forma di gruppi funzionali;

La composizione elementare è:

- Carbonio (81÷88%)
- Idrogeno (8÷10%)
- Zolfo (1÷6%)
- Ossigeno (0÷3%)
- Azoto (0÷1%)
- Metalli vari quali vanadio, nichel, ferro

A seconda del tipo di petrolio si avranno differenze sia nella qualità che nella quantità del bitume ricavato e ,le percentuali sopra indicate possono variare a seconda del greggio di origine e dal processo produttivo del bitume utilizzato, in generale però i risultati sono nei range indicati.

I legami chimici che uniscono le molecole sono deboli e possono essere facilmente spezzati mediante il riscaldamento e si riformano durante il raffreddamento. Questo, spiega la natura viscoelastica e termoplastica del bitume e perché la struttura riformata sia differente da quella avente prima del riscaldamento.

Nonostante i bitumi non manifestano un comportamento reologico simile a quello colloidale, per descriverne la struttura chimica usualmente riferimento al modello di Nellensteyn. Secondo tale modello, il bitume può essere rappresentato come un sistema colloidale costituito da una dispersione di micelle solide detti asfalteni, in un mezzo oleoso di base malteni, costituito a sua volta da altre componenti aromatici e saturi.

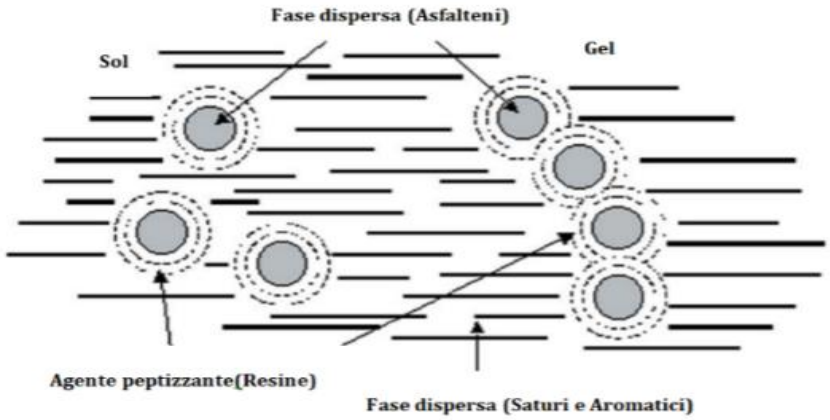

Fig. 2 modello di Nellensteyn

Secondo Richardson, nei bitumi si possono distinguere le seguenti classi:

- carboidi, elementi insolubili in solfuro di carbonio (CS_2);
- carbeni, elementi insolubili in tetracloruro di carbonio (CCl_4);
- asfalteni, elementi insolubili in alcano bassobollente;
- malteni, prodotto solubile in ognuna delle precedenti sostanze; a loro volta si suddividono in resine e oli ricavati attraverso un procedimento detto di adsorbimento (resine) ed eluizione (oli).

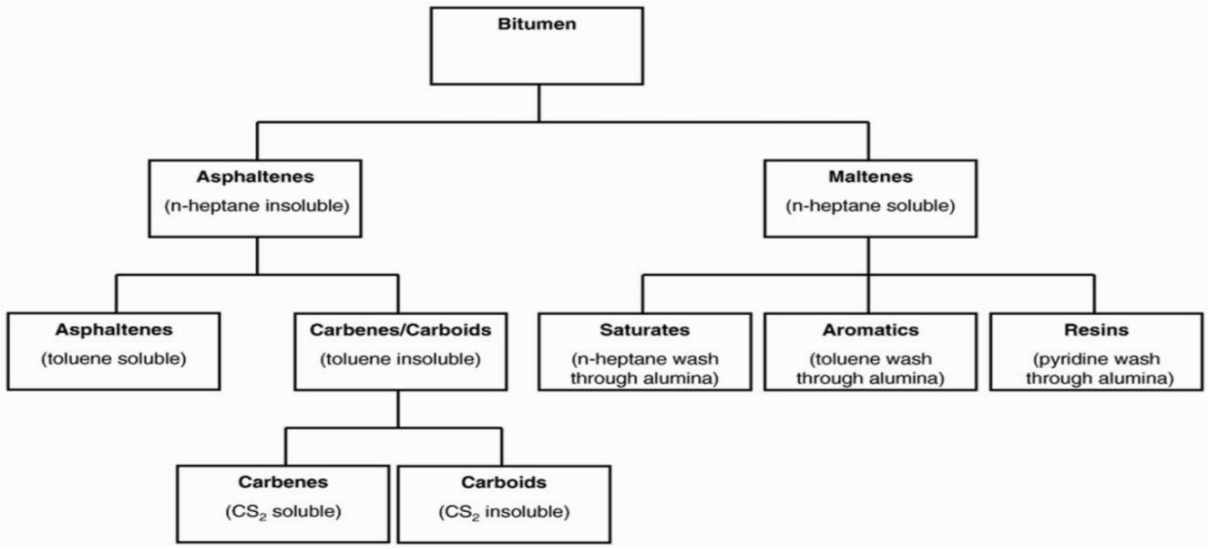

Fig. 3 modello di Richardson

Il Bitume è quindi costituito da Asfalteni + Malteni (resine e oli):

- *Gli asfalteni* sono polveri solide, di colore bruno con elevato peso molecolare danno "corpo" al bitume e sono presenti circa per il 10÷20% in peso. Essi contengono la maggior parte di zolfo, ossigeno e azoto presenti nel bitume.
- *Le resine* sono sostanze semi-solide che conferiscono al bitume le proprietà leganti e impermeabilizzanti con composizione simile a quella degli asfalteni seppur con minore polarità, fungono da agenti peptizzanti attraverso un meccanismo di repulsione elettrostatica, in tal modo le resine fungono da agenti disperdenti per gli asfalteni.
- *Gli oli* sono liquidi bianchi o incolori a basso peso molecolare e fungono da agenti flocculanti nei confronti degli asfalteni.

Sempre con riferimento al modello colloidale, il comportamento del bitume può variare tra quello di un sistema "sol" prettamente Newtoniano e quello di un "gel" non-Newtoniano a carattere tissotropico e pseudoplastico. Nel caso sol le resine sono presenti in quantità tali da mantenere gli asfalteni in uno stato altamente disperso nella fase oleosa cosicché il materiale può considerarsi, schematicamente, come una dispersione di sfere indeformabili in un liquido perfettamente viscoso. Poiché le interazioni tra le agglomerazioni micellari sono ridotte, ne consegue una risposta di tipo lineare sia alle basse sia alle alte temperature. Una struttura di tipo gel si presenta invece quando le resine non sono del tutto efficaci nella peptizzazione degli asfalteni, questi ultimi allora tendono a reticolare fra loro con conseguente separazione delle fasi. Normalmente ciò si può rappresentare mediante un insieme di sfere indeformabili collegate tra loro con delle molle e la risposta conseguente è di tipo non-Newtoniana.

2.3. CONGLOMERATI BITUMINOSI

Il conglomerato bituminoso a caldo di tipo tradizionale è costituito da una miscela di aggregati lapidei di primo impiego, filler, legante bituminoso, additivi ed eventuale conglomerato riciclato, confezionata a caldo in specifici impianti. Il suo maggior uso è di gran lunga quello delle pavimentazioni, principalmente flessibili e semirigide, oltre all'inferiore utilizzo nelle pavimentazioni composite utilizzato nel ricoprimento di lastre rigide in calcestruzzo. I conglomerati presentano caratteristiche differenti in relazione allo stato della pavimentazione a cui sono destinati.

Possono essere in relazione hai vuoti di tipo:

- Chiuso (% vuoti < 5%)
- Semichiuso (% vuoti 5 - 10%)
- Semiaperto (% vuoti 10 - 15%)
- Aperto (% vuoti > 15%)

Gli aspetti principali legati alla composizione riguardano l'assortimento granulometrico e il dosaggio del legante.

Gli aggregati lapidei costituiscono la fase solida dei conglomerati bituminosi a caldo.

Essi risultano composti dall'insieme di aggregati grossi, di aggregati fini e di filler che può essere proveniente dalla frazione fina o di additivazione. La miscela lapidea deve rispettare opportuni limiti dimensionali in modo da rientrare all'interno di un fuso granulometrico, definito sulla base di una curva di distribuzione ottimale.

Nei materiali di tipo tradizionale, si fa generalmente riferimento alla formulazione di Fuller, secondo il quale la curva di massima densità degli aggregati si ricava da:

$P\ [\%] = 100\ (d/D)^n$

Dove:

- P è la percentuale di passante corrispondente alla dimensione d
- D è la dimensione dell'aggregato
- n = costante

Si fa generalmente riferimento alla formulazione di Fuller con esponente n pari a 0,45 adottando un diametro più elevato per gli strati di base a cui corrisponde un assortimento più grossolano e valori via via decrescenti per quelli superiori, caratterizzati da un assortimento più fine.

pur costituendo una frazione specifica (passante al vaglio di apertura pari a 0,075 mm oppure 0,063 mm) della distribuzione granulometrica degli aggregati, viene considerato come un componente a sé stante e infatti all'atto della produzione viene aggiunto separatamente.

Il filler che rappresenta il passante al vaglio di apertura pari a 0,075 mm oppure 0,063 mm pur costituendo una frazione specifica della distribuzione granulometrica degli aggregati, viene considerato come un componente a sé stante e infatti all'atto della produzione viene aggiunto separatamente rispetto alle restanti classi di aggregato tramite una linea dedicata. Esso realizza un'intima unione con il legante per formare il cosiddetto mastice bituminoso, che avvolge la fase lapidea e fornisce coesione all'intera miscela. In generale, un incremento della percentuale di filler determina una riduzione contenuto ottimale di bitume, un aumento della densità finale della

miscela, della sua stabilità e rigidezza. Di contro, se dosato in quantità eccessiva compromette le caratteristiche di lavorabilità e comporta un incremento considerevole della superficie specifica degli aggregati, con conseguente riduzione dello spessore della pellicola legante che può esporre il materiale a un processo di ossidazione più repentino e a problemi di perdita di adesione. Il mastice filler + bitume quindi controlla molte proprietà delle miscele dosato nella giusta quantità evita il trasudamento, previene lo spogliamento e aumenta la stabilità delle miscele.

La distribuzione dei granuli influenza anche il secondo parametro, ovvero il contenuto bitume generalmente in valore percentuale rispetto al peso degli aggregati. La quantità ottimale deve essere tale da ricoprire con una pellicola legante di spessore adeguato la superficie complessiva di tutte le particelle. La determinazione del dosaggio di effettivo impiego avviene attraverso la procedura di mix design.

La composizione della miscela può prevedere anche la presenza di conglomerato riciclato, proveniente dalla fresatura di pavimentazioni preesistenti. Le percentuali in peso di materiale riciclato riferite al totale della miscela degli

aggregati, devono essere comprese nei limiti di seguito specificati:

- conglomerato per strato di base < 30%
- conglomerato per strato di collegamento < 25%
- conglomerato per tappeto di usura < 20%

Per la base può essere utilizzato conglomerato riciclato di qualsiasi provenienza;

per il binder materiale proveniente da vecchi strati di collegamento ed usura, per il

tappeto materiale provenienti solo da questo strato.

La percentuale di conglomerato riciclato da impiegare va obbligatoriamente

dichiarata nello studio preliminare della miscela che l'impresa è tenuta a presentare

alla Direzione Lavori prima dell'inizio dei lavori.

Gli additivi sono prodotti naturali o artificiali che, aggiunti agli aggregati o al

bitume, consentono di migliorare le prestazioni dei conglomerati bituminosi. Tra i prodotti più diffusi si hanno:

- attivanti d'adesione sono sostanze tensioattive che favoriscono l'adesione bitume-aggregato e dunque utilizzati per migliorare la durabilità all'acqua delle miscele bituminose;
- rigeneranti sono impiegati per rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato contenuto nel conglomerato bituminoso riciclato (quando previsto);

- fibre naturali o sintetiche (in poliestere, polipropilene, cellulosa) sono generalmente usate per conferire stabilità al mastice bituminoso;

Il loro dosaggio, da individuare obbligatoriamente nello studio della miscela,
potrà variare a seconda delle condizioni di impiego, della natura degli aggregati
e delle caratteristiche del prodotto.

3. APPROCCIO TEORICO ADESIONE

3.1. ADESIONE BITUME-AGGREGATO

La stabilità del legame che si instaura tra i granuli lapidei e il bitume di ricoprimento risulta essenziale affinché quest'ultima possa esplicare la sua azione legante. La presenza di acqua può alterare significativamente tale legame determinando una perdita di adesione tra le due fasi con conseguente riduzioni delle prestazioni.

Il meccanismo di adesione-aggregato può essere spiegato in due modi.

Nel primo si può fare riferimento al tipo di carica elettrica superficiale che i materiali componenti assumono in acqua e al conseguente grado di affinità.

Il bitume è dotato di una componente naturale -COOH che al contatto con l'acqua libera ioni H+ caricandosi negativamente dando luogo a una soluzione acida

Gli aggregati si distinguono (come detto nel paragrafo 2.1.2) in relazione alla loro natura mineralogica e in particolare in:

- idrofili o acidi, caratterizzati da una carica di segno negativo, gli aggregati silicei appartengono a questo gruppo;
- idrofobi o basici — caratterizzati da una carica di segno positivo, i materiali di natura calcarea appartengono a tale gruppo

L'affinità all'acqua degli aggregati silicei indebolisce l'adesione con il legante causando un possibile distacco della pellicola di ricoprimento per interposizione di un velo idrico tra bitume e aggregato. Nel caso degli aggregati calcarei, invece, essendo idrofobo favorisce un'adesione notevolmente superiore rispetto a quello con aggregati silicei.

Un secondo approccio per valutare l'affinità tra bitume-aggregato è basato sulla misura dell'energia superficiale considerata come un buono indicatore di affinità.

3.2. VALUTAZIONE AFFINITÀ

La valutazione dell'affinità bitume-aggregato e della suscettività all'acqua costituisce dunque un aspetto molto importante per la corretta selezione dei materiali componenti e risulta propedeutico alla procedura di mix design dei conglomerati bituminosi. I metodi di controllo comunemente adottati sono molteplici e riguardano sia le miscele sciolte, sia quelle allo stato compattato.

Nel caso delle miscele compattate, il grado di suscettibilità all'acqua viene valutato in maniera indiretta, confrontando le caratteristiche meccaniche del materiale prima e dopo aver subito un predefinito processo di condizionamento. Il metodo Lottmann prevede la preparazione di nove provini cilindrici, compattati a un livello di addensamento pari a quello atteso in opera e suddivisi in tre gruppi da tre. I primi tre campioni non sono sottoposti ad alcun trattamento e vengono pertanto assunti come riferimento, i campioni del secondo gruppo vengono saturati in acqua sotto vuoto per 30 minuti, i campioni del terzo gruppo vengono saturati come sopra e sottoposti a un ciclo di gelo-disgelo. Tutti i campioni sono successivamente testati mediante una prova di rottura in configurazione di trazione indiretta a temperatura prestabilita. Si definisce in tal modo (per il secondo e terzo gruppo) un parametro di resistenza residua TSR dato dal rapporto:

$$TSR_{2,3} = RTI_{2,3} : RTI_1$$

dove con RTI si indica la resistenza a trazione indiretta, valutata per ciascun gruppo come media dei valori relativi ai tre campioni. I campioni del secondo gruppo, saturati in acqua, sono rappresentativi del materiale posto in opera dopo un periodo di esercizio di quattro anni, mentre il trattamento riservato al terzo gruppo simula un periodo di esercizio compreso tra 4 e 12 anni.

Un'altra procedura per miscele compatta è quella elaborata da Tunnicliff e Root, basata anch'essa sulla prova di rottura a trazione indiretta. In questo caso si preparano 6 campioni con un volume di vuoti pari al 6-8%. Successivamente 3 di essi vengono sottoposti a prova meccanica, mentre i restanti vengono condizionati sotto vuoto fino a raggiungere un livello di saturazione compreso nell'intervallo 55-80% e poi immersi in acqua alla temperatura di 60 °C per un periodo di circa 24 ore. Si ricava in tal modo un parametro analogo a quello espresso nel metodo Lottmann. In entrambi i casi si richiede un valore di resistenza residua TSR non inferiore a 0,7-0,8.

Su miscele sciolte la valutazione dell’affinità, è molto diffusa una prova consiste nel miscelare un campione di aggregati di date caratteristiche granulometriche con il bitume da impiegare impiegando un dosaggio predefinito (generalmente pari al 3-3,5%). La miscela viene

successivamente immersa in acqua demineralizzata mantenuta a una temperatura costante (si adottano valori pari a 25 e 40 °C) e condizionata per un tempo sufficientemente lungo (24 ore). Al termine del trattamento si determina visivamente la quantità di elementi che hanno subito il distacco o lo spogliamento della pellicola, rapportando la loro massa a quella iniziale (grado di spogliamento). Su un principio simile si basa il Boiling Water Test che si differenzia rispetto al caso precedente per il fatto che la miscela viene sottoposta a bollitura anziché a semplice immersione, ma per un periodo di tempo più limitato. La temperatura dell'acqua ha un ruolo fondamentale tale da apprezzare maggiormente l'affinità bitume-aggregato, la graniglia bitumata messa in acqua in ebollizione permette un ammorbidimento del bitume e strappa il bitume e a fine della prova si valuta la superficie di aggregato scoperta.

3.3. ADDITIVI ATTIVANTI DI ADESIONE

Gli attivanti di adesione (anti-stripping) sono miscele chimiche contenenti particolari gruppi funzionali attivi che migliorano l'adesione del film di bitume sulla superficie degli aggregati. Miscelati con il legante, essi tendenzialmente agiscono attraverso l'abbassamento della tensione superficiale del bitume. L'angolo di contatto è una misura dell'interazione del bitume con l'aggregato. Un ampio angolo di contatto significa che è molto difficile per il bitume ricoprire la superficie dell'aggregato. In particolare, non si ottiene la cosiddetta adesione micromeccanica poiché il bitume non riesce a penetrare nei piccoli pori e crepacci presenti sulla superficie dell'aggregato lapideo, o ancora risulta difficile per il bitume scorrere attraverso le micro-particelle di polvere presenti sulla superficie dell'aggregato. L'aggiunta di additivo ha come effetto la riduzione dell'angolo di contatto bitume-aggregato. Un angolo di contatto più piccolo favorisce l'adesione del bitume alla superficie dell'aggregato, agevola la bagnabilità delle parti fini e soprattutto facilita il bitume ad entrare nei pori microscopici presenti sulla superficie dell'aggregato Esistono anti-stripping di diversa natura (amminica, polifosforica o silanica) e la scelta di uno, rispetto agli altri, dipende sostanzialmente dalla natura chimica degli aggregati utilizzati. Avendo il bitume natura acida si ha che:

- i polifosforici e i silanici sono utilizzati con Porfidi, Graniti, Calcari e Basalto (in generale con tutti i tipi i aggregati);
- gli amminici sono utilizzati con Porfidi, Graniti e Basalto (aggregati a medio e alto contenuto di silice).

La porzione amminica contribuisce a migliorare le proprietà adesive ed essendo basici, gli additivi amminici funzionano meglio con gli aggregati di tipo acido, dove il potere adesivo è parzialmente dovuto all'azione esercitata dalle cariche di segno opposto. Gli additivi contengono inoltre gruppi funzionali che influenzano anche la dispersione e la peptizzazione dei costituenti di tipo asfaltenico, con conseguenti cambiamenti per quanto concerne le forze coesive.

4. PROTOCOLLO DELLA PROVA E MATERIALI

La fase sperimentale di questa tesi prevede la valutazione dell'affinità bitume aggregato valutata tramite la ripetizione dell' Ancona Stripping Test andando a variare i dosaggi cioè la percentuale di additivo in peso del bitume e il tipo di additivo

4.1. AGGREGATO UTILIZZATO

Nella sperimentazione si è impiegato il porfido in quanto è il materiale maggiormente utilizzato nei tappeti di usura, avendo esso una resistenza meccanica maggiore rispetto ai materiali calcarei, ma essendo un aggregato siliceo e avendo quindi un comportamento acido in acqua come il bitume, i due hanno avranno una bassa affinità.

La struttura della roccia è porfirica, con 35-40% (in volume) di minerali cristallizzati in una pasta microcristallina o vetrosa. I minerali sono, in volume ed in ordine decrescente di abbondanza: quarzo, sanidino, plagioclasio, rara biotite.

La composizione mineralogica può essere molto varia un'analisi chimica media è:

SiO_2: 74,14% silice

Al_2O_3: 13,01% ossido di alluminio

K_20: 4,69% ossido di potassio

4.2. BITUME

Il bitume utilizzato è un bitume vergine 50/70 campionato nell'impianto di miscelazione e testato in laboratorio. Le caratteristiche del bitume selezionato sono le seguenti:

Caratteristiche essenziali *Essential characteristics*	Unità di Misura *Unit*	Prestazione *Performance*	Metodo/Specifica tecnica armonizzata *Test method/ Harmonised technical specification*
Penetrazione a 25°C *Penetration at 25°C*	0,1mm	50÷70	EN 1426 – EN 12591:2009
Punto di rammollimento *Softening point*	°C	46÷54	EN 1427 – EN 12591:2009
Indice di Penetrazione *Penetration index*	--	-1,5÷0,7	Annex A EN 12591:2009
Penetrazione residua *Retained penetration*	%	≥50	EN 1426 - EN 12607/1 - EN 12591:2009
Aumento del rammollimento dopo RTFOT *Increase in softening point*	°C	≤11	EN 1427 - EN 12607/1 – EN 12591:2009

Fig. 4 caratteristiche del bitume utilizzato

4.3. ADDITIVI

Nella sperimentazione si è andata a valutare l'adesione bitume-aggregato andando a variare tipo di additivi e dosaggi. I tipi di additivi sperimentati sono stati molteplici e di varia natura sono costituiti prevalentemente da ammine, il loro scopo è attraverso l'abbassamento della tensione superficiale del bitume migliorare l'adesione. Le percentuali di dosaggio sono funzione della natura degli inerti e del tipo di bitume utilizzato. Il dosaggio standard può variare dallo 1% allo 0,2% sul peso del bitume, ma ovviamente dipende anche dalla loro diluizione.

4.4. PROTOCOLLO AST

L'Ancona Stripping Test (AST) è stata messa a punto presso il laboratorio di Strade del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura della Facoltà di Ingegneria con lo scopo di valutare l'affinità tra bitume-aggregato e conseguentemente la suscettibilità allo spogliamento del materiale. Tale metodo misura, indirettamente, la capacità di un bitume di aderire all'aggregato e prevede condizioni di prova molto severe, tra le varianti di tale prova questa risulta la più efficace, la miscela infatti non viene semplicemente immersa in acqua per 24h ma viene sottoposta a bollitura, ciò permette di apprezzare maggiormente l'affinità tra i materiali, in quanto la temperatura dell'acqua causa un ammorbidimento del bitume e i moti convettivi dovuti alla bollitura nel becher tendono a spogliare il bitume.

La modalità di prova è così svolta:

1. preparazione di un campione di aggregato lapideo, passante al setaccio da 3/8'' (9,50 mm) e trattenuto al setaccio da 1/4'' (6,35 mm);

2. lavaggio ed essiccamento dell'aggregato in forno per almeno 60 minuti;
3. riscaldamento su piastra di circa 50 g di legante rendendolo facilmente lavorabile;
4. miscelazione di 30 g di aggregato con 1,5 g di legante, pari al 5% in peso rispetto all'aggregato, per formare una graniglia bitumata;
5. riscaldamento su piastra della graniglia bitumata per far rivestire completamente il legante, queste ultime due azioni devono essere svolte in pochi minuti per non alterare troppo le proprietà chimiche del legante;
6. posizionamento della graniglia bitumata su due supporti di rete metallica (maglia 5x5 mm) rialzata di 15 mm e raffreddamento del campione a temperatura ambiente;
7. posizionamento dei due campioni all'interno di un becher riempito di acqua e immersione dello stesso in un recipiente contente acqua in ebollizione per una durata complessiva della prova di 45 minuti. Nei primi 15 minuti, l'acqua che bagna il provino raggiunge la temperatura di ebollizione che si manterrà costante per altri 30 minuti;
8. rimozione del campione di prova, raffreddamento fino a temperatura ambiente, eliminazione con un tampone della patina formatasi in superficie ed estrazione del supporto di rete metallica con la graniglia "bitumata", per la valutazione dello spogliamento

Per la determinazione del grado di spogliamento del materiale è basato sul giudizio visivo di cinque operatori che devono indicare il grado di spogliamento con una approssimazione del 5%. La media dei cinque risultati fornisce il valore della percentuale di superficie non più coperta dal legante.

$$\text{Stripping (\%)} = 100\ (\%) - \text{superfice coperta di bitume (\%)}$$

Questa prova è stata ripetuta più volte e testata con vari tipi di additivi che sono stati aggiunti al bitume durante la sperimentazione. In particolare, sono state effettuate prove con percentuali in peso al bitume pari al 1%, 0,5%, 0,3%, 0,2% e con diverse diluizioni dell'additivo con olio di girasole, olio di anacardo, additivo di anacardo e additivo minerale.

5. ANALISI RISULTATI

5.1. SENZA ADDITIVO

L'effetto dello stripping test su un aggregato senza l'aggiunta dell'additivo attivante di adesione causa uno spogliamento del bitume dell'80-85%..

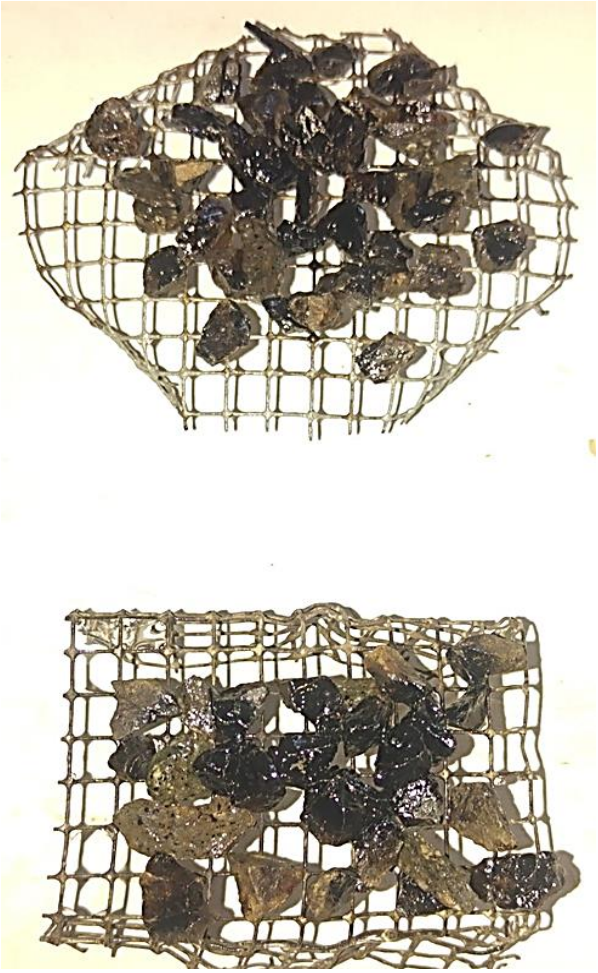

Fig. 5 AST senza additivo

Come si vedrà nelle successive prove questo dimostra la fondamentale importanza dell'additivo attivante di adesione.

5.2. PROVE CON ADDITIVI

La prova è stata eseguita su 20 additivi, variando tempo di stoccaggio, diluente (olio di girasole, olio di anacardo, additivo di anacardo e additivo minerale) e percentuali di additivo nel bitume
Tabella riassuntiva additivi:

ADDITIVO	STOCCAGGIO	DILUENTE	PERCENTUALE INIZIALE	PERCENTUALE FINALE	% ADDITIVO NEL BITUME
C1	24h	Olio di anacardo	4%	1%	0,2%
C2	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C3	24h	Additivo minerale	5%	1%	1%
C4	24h	Olio di anacardo	4%	1%	0,2%
C5	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C6	24h	Additivo minerale	5%	1%	1%
C7	24h	Olio di anacardo	4%	1%	0,2%
C8	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C9	24h	Additivo minerale	5%	1%	1%
C10	24h	Olio di anacardo	4%	1%	0,2%
C11	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C12	24h	Additivo minerale	5%	1%	0,2%
C10	A freddo	Olio di anacardo	4%	1%	0,2%
C11	A freddo	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%

C12	A freddo	Additivo minerale	5%	1%	0,2%
C1	24h	Olio di anacardo + olio di girasole	4%	1%	1%
C2	24h	Additivo anac. + olio girasole	4%	1%	1%
C3	24h	Additivo minerale + olio di girasole	5%	1%	1%
C1	10d	Olio di anacardo	4%	1%	0,2%
C2	10d	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C2 + CLW (80%)	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	1%
C2 + LP1 (80%)	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	1%
C3+ CLW (80%)	24h	Additivo minerale	5%	1%	1%
C3 + LP1 (80%)	24h	Additivo minerale	5%	1%	1%
C1	24h	NON DILUITO	0,1% (10:1)		0,2%
C11	24h	Additivo si anacardo	0,1% (10:1)	0,5% (15:1)	0,2%
C11	24h	Olio di anacardo	0,1% (10:1)	0,5% (15:1)	0,2%
C11	24h	Olio di girasole	0,1% (10:1)	0,5% (15:1)	0,2%
C2 + olio di anacardo	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C2 + olio di girasole	24h	Additivo di anacardo	4%	1%	0,2%
C3 + olio di anacardo	24h	Additivo minerale	5%	1%	0,2%

C3 + olio di girasole	24h	Additivo minerale	5%	1%	0,2%
ANA + C M1 – 20G N°1					0,2%
ANA + C M1 – 30G N°2					0,2%
ADD + C M1 – 20G AA N°3					0,2%
ADD + C M1 – 30G AA N°4					0,2%
ADD + C M1 – 30G OA N°5					0,2%
ADD + C M1 – 30G OA N°6					0,2%
Olio di girasole					0,2%
ADD + C M1 – 30G AA N°4			50% olio di girasole		0,2%
ADD + C M1 – 30G AA N°4			100% olio di girasole		0,2%
ADD + C M1 – 30G AA N°4			200% olio di girasole		0,2%
ADD + C M1 – 30G OA N°6			50% olio di girasole		0,2%
ADD + C M1 – 30G OA N°6			100% olio di girasole		0,2%
ADD + C M1 – 30G OA N°6			200% olio di girasole		0,2%

Di seguito sono riportate le foto dei risultati della prova AST variando tipologia e quantità di additivo. Nelle tabelle antecedenti alle immagini vi è la percentuale in peso dell'additivo presente nel bitume e la valutazione del grado di spogliamento espressa tramite range.

ID del campione: *C1 miscelato a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 6 C1 caldo 24h

L'additivo C1 con la miscelazione a caldo non perde le sue qualità adesive, mantenendo un ottima affinità.

ID del campione: *C2 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 7 C2 caldo 24h

L'additivo C2 ha un comportamento analogo al C1, non perde le sue qualità additive dopo 24h dalla miscelazione a caldo.

ID del campione: *C3 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 8 C3 caldo 24h

Il test effettuato con l'additivo C3 dopo miscelazione a caldo e stoccaggio 24 ore risulta eccellente e paragonabile a C1 e C2.

ID del campione: *C4 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 9 C4 caldo 24h

L'additivo C4 ha un risultato ottimo paragonabile ai precedenti.

ID del campione: *C5 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

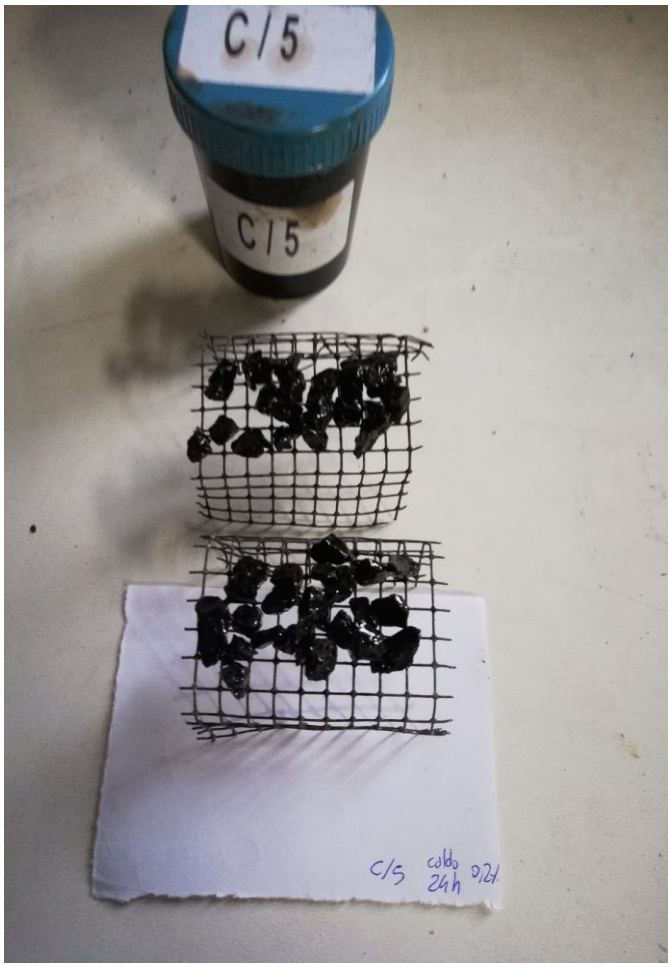

Fig. 10 C5 caldo 24h

Il risultato dell'additivo C5 è ottimo e paragonabile ai precedenti.

ID del campione: *C6 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 11 C6 caldo 24h

Anche con l'additivo C6 il risultato è ottimo.

ID del campione: *C7 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

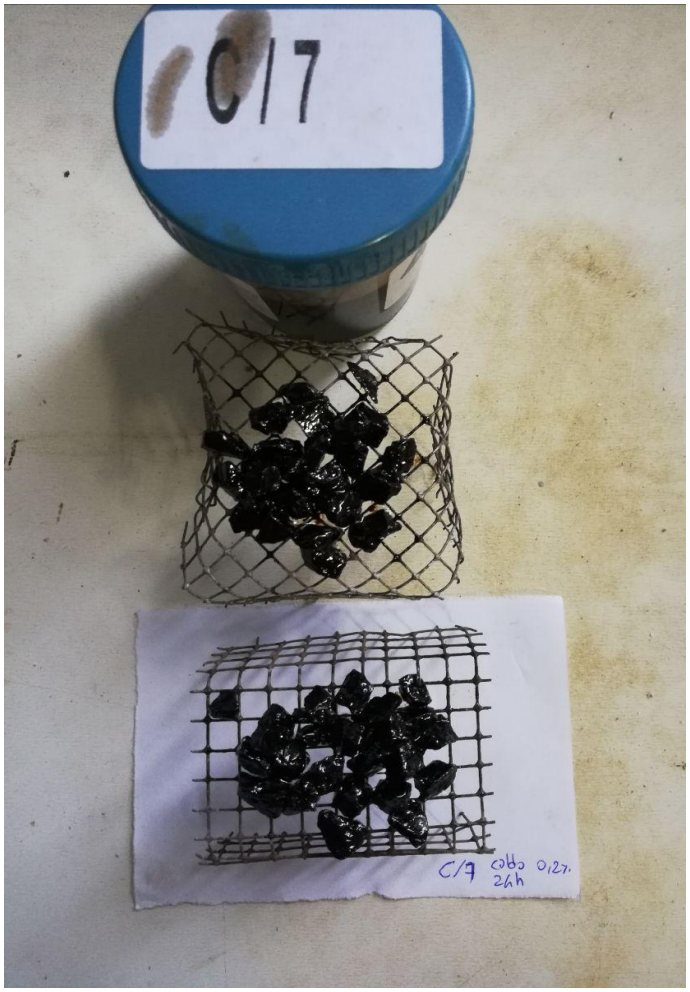

Fig. 12 C7 caldo 24h

L'additivo C7 ugualmente ai precedenti è buono.

ID del campione: *C8 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	5%

Fig. 13 C8 caldo 24h

L'additivo C8 ha un ottima efficacia.

ID del campione: *C9 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 14 C9 caldo 24h

Il risultato riscontrato con l'utilizzo dell'additivo C9 è ottimo.

ID del campione: *C10 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 15 C10 caldo 24h

L'additivo C10 ugualmente ai precedenti è ottimo.

ID del campione: *C11 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 16 C11 caldo 24h

Il risultato dell'additivo C11 è ottimo e paragonabile ai precedenti.

ID del campione: *C12 a caldo 24h*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 17 C12 caldo 24h

L'additivo C12 ha un ottima efficacia.

ID del campione: *C10 a freddo*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 18 C10 freddo

L'additivo C10 miscelato a freddo ha un efficacia paragonabile alla miscelazione dello stesso additivo a caldo (risultato della miscelazione del C10 a caldo pag. 32).

ID del campione: *C11 a freddo*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 19 C11 freddo

Anche nell'additivo C11 la miscelazione a freddo non influenza il risultato della prova (risultato C11 miscelato a caldo pag.33).

ID del campione: *C12 a freddo*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 20 C12 freddo

Come gli additivi C10 e C11 anche nel C12 la miscelazione a freddo non influenza l'efficacia dell'additivo (risultato della miscelazione del C12 a caldo pag. 34).

ID del campione: *C1 caldo 24h + olio di girasole in percentuale uguale a quella del diluente*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 21 C1 caldo + olio di girasole

Aggiungendo l'olio di girasole nella stessa percentuale del diluente non si denotano cambiamenti nel grado di spogliamento, i risultati sono paragonabili a quelli ottenuti senza l'aggiunta di olio (pag. 23).

ID del campione: *C2 a caldo 24h + olio di girasole in percentuale uguale a quella del diluente*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-5%

Fig. 22 C2 caldo + olio di girasole

L'aggiunta di olio di girasole nell'additivo C2 determina un leggero aumento del grado di spogliamento rispetto al C2 senza olio di girasole (pag. 24).

ID del campione: *C3 a caldo 24h + olio di girasole in percentuale uguale a quella del diluente*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	5-10%

Fig. 23 C3 caldo + olio di girasole

L'aggiunta di olio di girasole nel C3 causa un aumento dello spogliamento maggiore del 5% rispetto al risultato ottenuto a pag. 25.

ID del campione: *C1 a caldo 10d*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	5%

Fig. 24 C1 caldo 10d

Lo stoccaggio di 10 giorni dell'additivo C1 influisce in maniera minima sul grado si spogliamento, (pag. 23 risultato dell'additivo C1 stoccato 24 ore)

ID del campione: *C2 a caldo 10d*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 25 C2 caldo 10d

Nell'additivo C2 lo stoccaggio di 10 giorni non influisce sul risultato della prova essendo esso identico a quello ottenuto con uno stoccaggio 24 ore (pag.24).

ID del campione: *C2 caldo 24h + CLW (80%)*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 26 C2 caldo 24h + CLW

L'aggiunta del CLW all'additivo C2 non influisce sul grado di spogliamento (risultato delle prova senza l'aggiunta del CLW a pag. 24). Il CLW è un attivante chimico impiegato per rigenerare le caratteristiche del bitume invecchiato contenuto nel conglomerato bituminoso riciclato. Da questa evidenza si può valutare l'utilizzo dei due additivi in maniera combinata.

ID del campione: *C2 caldo 24h + LP1 (80%)*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-5%

Fig. 27 caldo 24h +LP1

L'aggiunta dell'LP1 influisce in maniera esigua sul grado di spogliamento. L'LP1 come il CLW è un attivante chimico impiegato nei conglomerati riciclati. Anche in questo caso si potrebbe valutare l'utilizzo dei due additivi contemporaneamente.

ID del campione: *C3 caldo 24h + CLW (80%)*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 28 C3 caldo 24h + CLW

Anche nel C3 l'aggiunta di CLW non influisce sul grado di spogliamento che risulta uguale a quello ottenuto senza l'aggiunta del rigenerante (pag. 25).

ID del campione: *C3 caldo 24h + LP1 (80%)*

PERCENTUALE ADDITIVO	1%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-5%

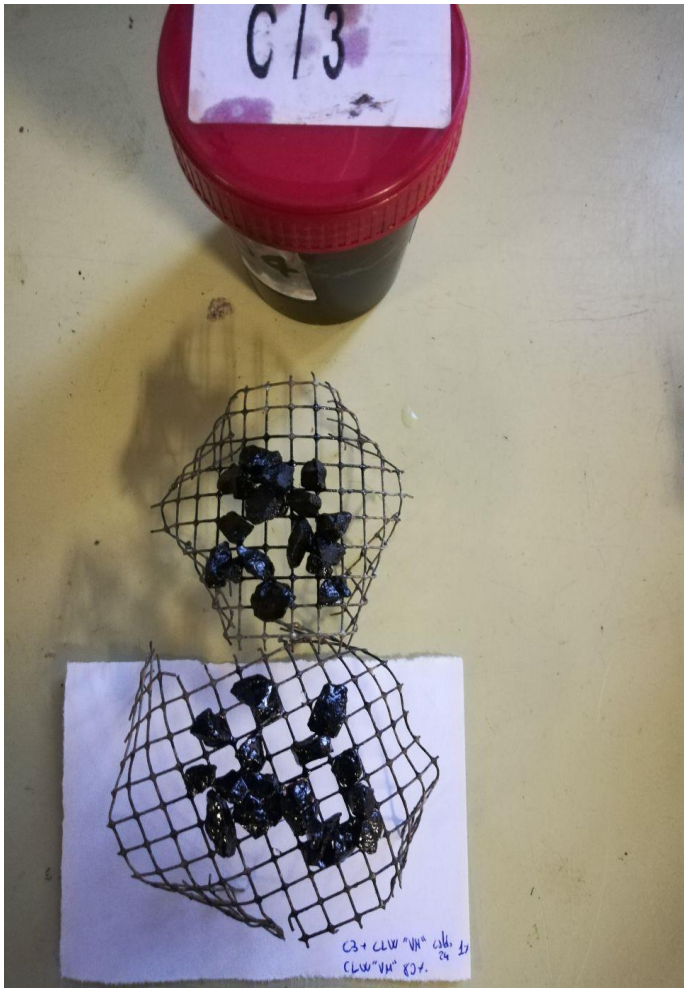

Fig. 29 C3 caldo 24h + LP1

L'aggiunta dell'LP1 nel C3 influenza in maniera limitata il grado di spogliamento.

ID del campione: *C11 a caldo 24h non diluito*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

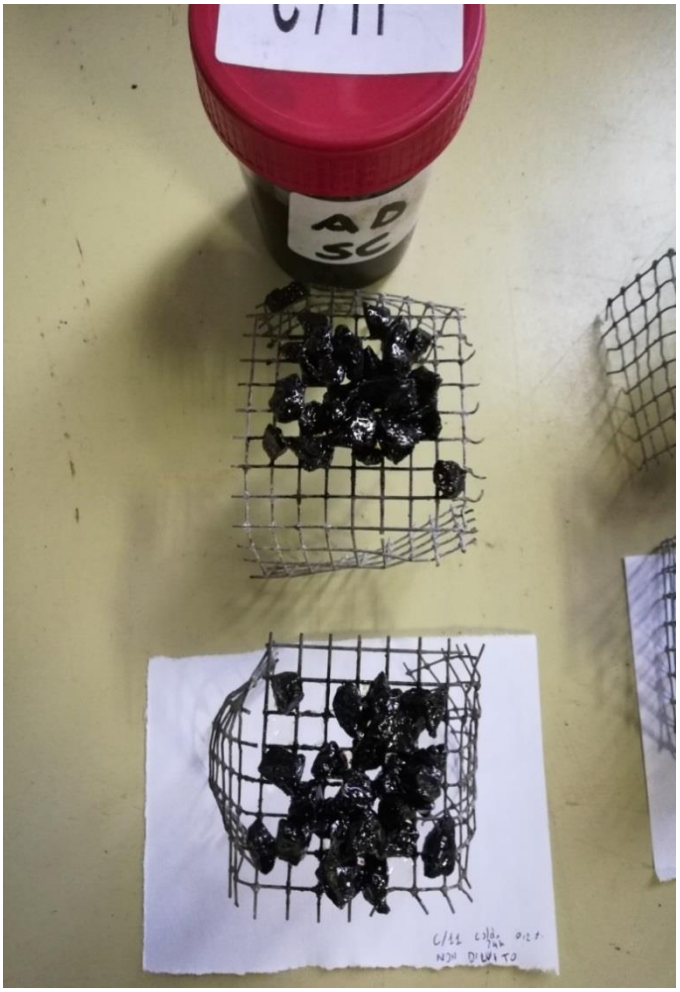

Fig. 30 C11 caldo 24h non diluito

Il risultato C11 non diluito ha un ottima efficacia

ID del campione: *C11 a caldo 24h diluito con additivo di anacardo, percentuale finale (15:1)*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 31 C11 caldo 24h + additivo di anacardo

Anche diluendo il C11 con l'additivo di anacardo l'adesione tra bitume e aggregato rimane ottima

ID del campione: *C11 a caldo 24h diluito con olio di anacardo, percentuale finale (15:1)*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-6%

Fig. 32 C11 caldo 24h + olio di anacardo

Diluendo il C11 con l'olio di anacardo il grado di spogliamento aumenta leggermente rispetto all'aggiunta dell'additivo di anacardo.

ID del campione: *C11 a caldo 24h diluito con olio di girasole, percentuale finale (15:1*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	3-8%

Fig. 33 C11 caldo 24h + olio di girasole

Utilizzando come diluente l'olio di girasole si nota un lieve incremento dello spogliamento rispetto all'utilizzo dei precedenti.

ID del campione: *C2 a caldo 24h diluito con olio di anacardo, percentuale finale (15:1)*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 34 C2 caldo 24h + olio di anacardo

Anche il C2 diluito con olio di anacardo ha un ottima efficacia confrontabile a quella del C11 + olio di anacardo a pag. 49.

ID del campione: *C2 a caldo 24h diluito con olio di girasole, percentuale finale (15:1)*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-6%

Fig. 35 C2 caldo 24h + olio di girasole

Come nel C11 (pag. 50) la diluizione con l'olio di girasole risulta meno efficiente rispetto a quella con l'olio di anacardo.

ID del campione: *C3 a caldo 24h diluito con olio di anacardo, percentuale finale (15:1)*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 36 C3 caldo 24h + olio di anacardo

L'additivo C3 diluito con l'olio di anacardo ha un comportamento ottimo paragonabile hai risultati del C11 e C2 diluiti con lo stesso additivo.

ID del campione: *C3 a caldo 24h diluito con olio di girasole, percentuale finale (15:1)*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-6%

Fig. 37 C3 caldo 24h + olio di girasole

Anche nel C3 l'efficienza dell'adesione è minore utilizzando l'olio di girasole come diluente.

ID del campione: *Anacardo + C M1 – 20G N°1*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 38 additivo C M1 N°1

L'additivo C M1 N°1 diluito con l'anacardio ha un comportamento ottimo

ID del campione: *Anacardo + C M1 – 30G N°2*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 39 additivo C M1 N°2

Anche l'additivo N°2 ha un ottimo risultato.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 20G AA N°3*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-5%

Fig. 40 additivo C M1 N°3

Con l'utilizzo dell'additivo N°3 si riscontra leggero aumento del grado di spogliamento.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G AA N°4*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	2-5%

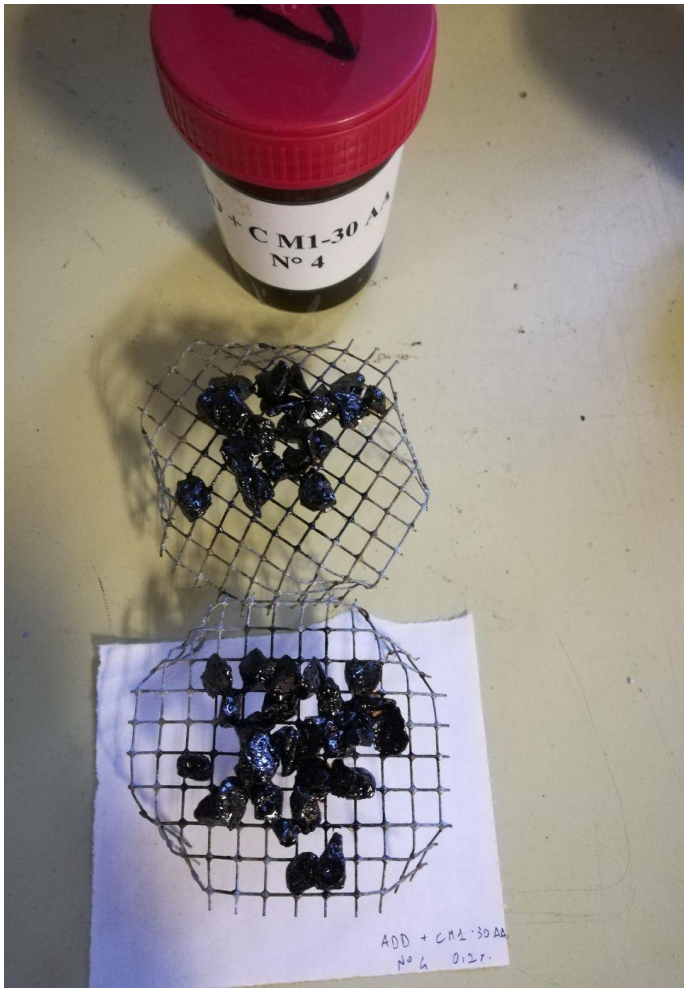

Fig. 41 additivo C M1 N°4

L'additivo N°4 ha uno spogliamento analogo al N°3.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G OA N°5*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 42 additivo C M1 N°5

L'additivo N°5 ha un ottima adesione.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G OA N°6*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	0-5%

Fig. 43 additivo C M1 N°6

Il risultato ottenuto utilizzando l'additivo N°6 è paragonabile a quello ottenuto con il N°5.

ID del campione: BITUME + OLIO DI GIRASOLE 0,2%

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	40-45%

Fig. 44 bitume + olio di girasole

La diluzione del bitume con olio di girasole determina uno spogliamento maggiore del 40%, ma inferiore allo spogliamento del solo bitume visto a pag. 19.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G AA N°4 + 50% olio di girasole*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	5%

Fig. 45 additivo C M1 N°4 + 50% olio di girasole

La diluizione dell'additivo C M1 N°4 al 50% con l'olio di girasole ha un ottima affinità.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G AA N°4 + 100% olio di girasole*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	5-7%

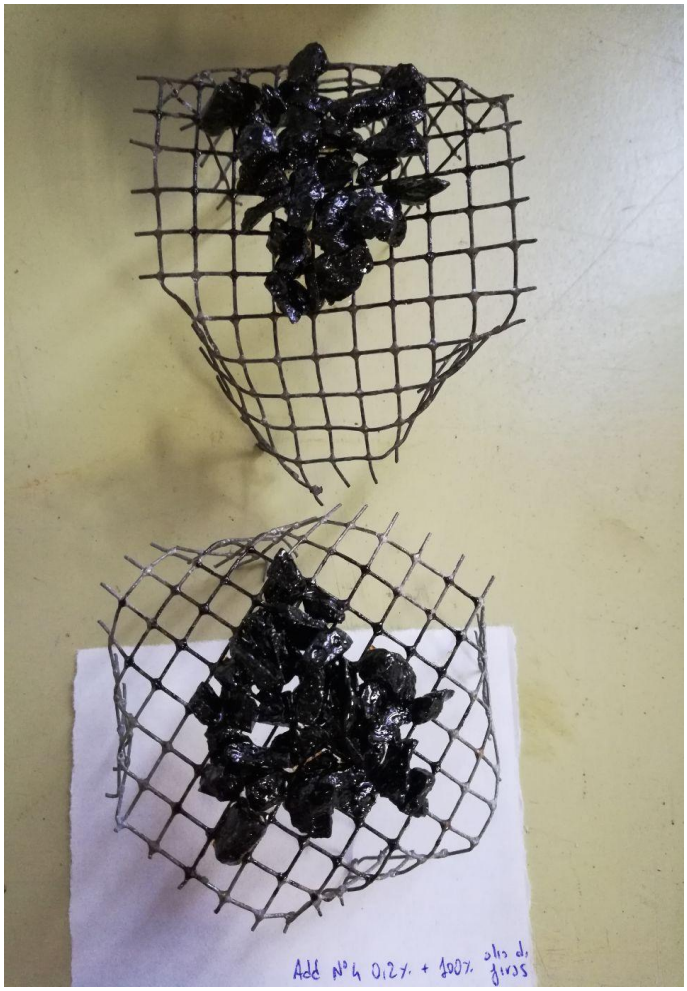

Fig. 46 additivo C M1 N°4 + 100% olio di girasole

Raddoppiando la diluizione arrivando al 100% di olio di girasole nell'additivo N°4 il grado di spogliamento aumenta ma in maniera esigua.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G AA N°4 + 200% olio di girasole*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	10-15%

Fig. 47 additivo C M1 N°4 + 200% olio di girasole

Diluendo l'additivo N°4 al 200% lo spogliamento incrementa.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G OA N°6 + 50% olio di girasole*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	3-5%

Fig. 48 additivo C M1 N°6 + 50% olio di girasole

La diluizione dell'additivo C M1 N°6 al 50% con l'olio di girasole ha un ottima affinità paragonabile al N°4 + 50% di olio di girasole (pag. 62).

ID del campione*: Additivo + C M1 – 30G OA N°6 + 100% olio di girasole*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	5-10%

Fig. 49 additivo C M1 N°6 + 100% olio di girasole

Raddoppiando la diluizione aumenta il grado di spogliamento come riscontrato nell'additivo N°4 a pag. 63.

ID del campione: *Additivo + C M1 – 30G OA N°6 + 200% olio di girasole*

PERCENTUALE ADDITIVO	0,2%
GRADO SPOGLIAMENTO	10-15%

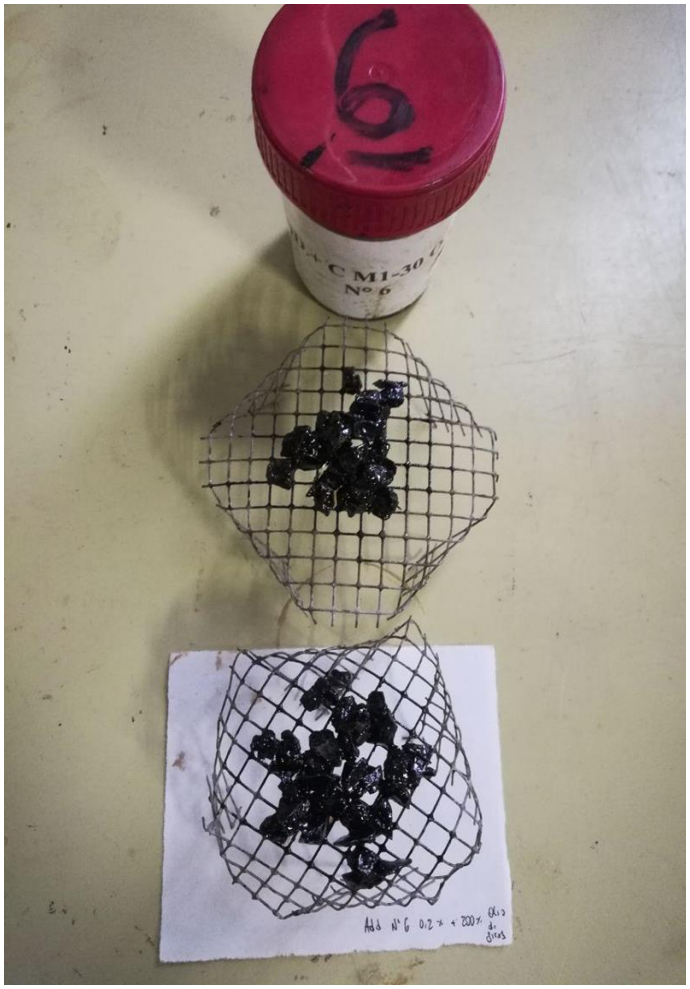

Fig. 50 additivo C M1 N°6 + 200% olio di girasole

Diluendo l'additivo N°6 al 200% si ha un incremento del grado di spogliamento, paragonabile a quello ottenuto con la diluizione del 200% dell'additivo N°4.

6. CONCLUSIONI

L'azione negativa che l'acqua reca ai conglomerati bituminosi è stata studiata, sia in ambito nazionale ma soprattutto in quello internazionale, sotto diversi aspetti: da quello chimico, a quello meccanico, sino a quello molecolare. In ogni caso, indipendentemente dalla teoria sviluppata, è stato accertato che se l'adesione bitume-aggregato non è ottimale, l'acqua accelera l'ammaloramento della pavimentazione (sgranamenti, fessurazioni, buche, ecc.) e ne riduce la vita utile. La perfetta adesione tra bitume-aggregato è difficilmente ottenibile mescolando semplicemente le materie prime, ma è possibile raggiungerla con l'utilizzo di attivanti di adesione, scelto in funzione della natura dell'aggregato utilizzato (porfidi, graniti, calcari, ecc.), garantendo in questo modo l'ottimizzazione di tutti i materiali nella miscela.

Tramite l'Ancona Stripping Test (AST) si è effettivamente evidenziata l'efficacia degli additivi testati e l'evidente differenza tra adesione bitume-aggregato senza additivo (spogliamento dell'80% - 85%) e l'adesione con additivo (spogliamento < 15%). Anche immessi nella miscela in basse percentuali e consapevolmente diluiti dimostrano incisivamente l'aumento di adesione.

In definitiva, dai dati ottenuti dalla sperimentazione si può concludere che:

- Lo spogliamento del bitume senza additivo è >80%
- Lo spogliamento con la sola aggiunta dell'additivo è <15%
- All'aumentare della percentuale di additivo nel bitume diminuisce lo spogliamento, ma la differenza del grado spogliamento tra l'aggiunta dello 0,2% e del' 1% di additivo è minima, quindi, si preferisce l'aggiunta dello 0,2%
- L'aggiunta dell' additivo caldo o freddo nel bitume non influenza il risultato finale
- All'aumentare della diluizione dell'additivo il grado di spogliamento aumenta, è di fondamentale importanza la tipologia di diluente.
- La diluizione con additivo di anacardo, additivo minerale e olio minerale è risultata ottima, andando ad influire in maniera minima o nulla sul risultato finale
- La diluizione dell'additivo con l'olio di girasole, invece, incide sullo grado di spogliamento incrementandolo del 5%, ciò è dovuto probabilmente alla difficile miscelazione tra bitume e olio causata dalla differenza di densità dei due materiali.
- Come osservato (da pag.43 a 46) si potrebbero combinare l'azione dell'additivo attivante di adesione con l'additivo attivante chimico impiegato per rigenerare le caratteristiche del

bitume invecchiato contenuto nel conglomerato bituminoso riciclato, sfruttando in tal modo la duplice funzione dei due additivi.

Da tali evidenze sperimentale si dimostra l'importanza degli additivi di adesione garantendo adeguata vita utile delle pavimentazioni e conseguente riduzione dei costi di produzione-manutenzione e manutenzione delle pavimentazioni stradali, l'utilizzo di tali attivanti per conglomerati bituminosi anche i basse percentuali consente di ridurre la possibilità che si generino alcuni dissesti come sgranamenti e formazione di buche.

BIBLIOGRAFIA

- Felice A. Santagata – TEORIA E TECNICA DELLE PAVIMENTAZIONI STRADALI - vol. 2 – costruzione, gestione e manutenzione (2016)
- A. Benedetto – STRADE FERROVIE AEROPORTI – (2015)

NORMATIVE

- UNI EN 13043:2013 : Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico
- UNI EN 13108-8:2016 : Miscele bituminose - Specifiche del materiale - Parte 8: Conglomerato bituminoso di recupero

SITOGRAFIA

- www.iterchimica.it
- www.stradeeautostrade.it