

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria per l'ambiente e il territorio

Tesi di Laurea in Strade, Ferrovie ed Aeroporti



ANALISI, UTILIZZAZIONE E IMPATTO AMBIENTALE DEL BITUME

ABSTRACT

Relatori

Prof. Ing. Renato Lamberti

Prof. Ing. Gianluca Dell'Acqua

Correlatore

Ing. Mariarosaria Busiello

Laureando

Esposito Carmela matr. 49/1152

Il presente lavoro di tesi si propone di esplorare in modo approfondito il bitume per poter conoscere il rischio a cui sono esposti le persone e l'ambiente.

Il bitume è un materiale con proprietà uniche, prodotto oggi nelle raffinerie di petrolio e impiegato soprattutto per la produzione di conglomerati stradali e di membrane impermeabilizzanti.

In una prima fase è stata analizzata la composizione del bitume, cercando di conoscere tutti i suoi aspetti, dall'estrazione alla produzione. Questo ci ha portato a conoscere le sue caratteristiche fisico-chimiche e il ruolo che ogni singolo componente riveste.

Il bitume è costituito da due principali classi di composti: gli *asfalteni* ed i *malteni*.

Gli asfalteni, presenti nel bitume da un 5% a un 25% in peso, sono miscele complesse di idrocarburi, costituiti principalmente da: composti aromatici e composti eteroaromatici.

I malteni possono essere suddivisi in due sottogruppi: Resine e Oli.

Ognuno dei composti ricopre un ruolo diverso:

- Gli asfalteni sono i responsabili delle proprietà di consistenza, resistenza alle sollecitazioni meccaniche e adesività del bitume.
- Le resine conferiscono elasticità e duttilità (sono i “ponti” della struttura).
- Gli oli danno fluidità e sono gli artefici dello scorrimento a caldo del bitume, che è fondamentale per ricoprire efficacemente e velocemente il materiale lapideo che forma il conglomerato bituminoso per le pavimentazioni.

Il bitume presenta una densità tipicamente compresa tra 1,01 e 1,04 g/cm³. La densità dipende dalla quantità e qualità dei legami degli atomi di carbonio ed influenza sia l'estrazione del petrolio che la relativa raffinazione, più il petrolio è denso, più sarà difficile estrarlo e raffinarlo. Il greggio è generalmente chiamato bitume se la sua densità supera 1 g/cm³ a 15,6 °C.

L'analisi fisico-chimica è effettuata per frazionamento con specifici solventi. Resine e asfalteni costituiscono le frazioni più polari, ma sono contraddistinte da una differente solubilità: gli asfalteni sono insolubili nelle paraffine a basso peso molecolare, quindi generalmente la prima fase del frazionamento consiste nella separazione della frazione asfaltenica con n-eptano o n-pentano. La parte maltenica viene successivamente frazionata mediante cromatografia ed eluizione con solventi a polarità crescente. L'efficacia dell'identificazione dipende molto dal tipo di solvente utilizzato.

Il processo di produzione di asfalti ed emulsioni bituminose comprende diverse fasi di lavoro: una prima fase in cui le materie prime vengono trasportate e caricate in apposite tramogge, che alimentano un forno a tamburo. Qui avviene un preriscaldamento a 140-160°C; nella seconda fase il bitume viene stoccato in serbatoi metallici; da qui viene riscaldato dalla caldaia oleotermica alimentata con olio combustibile e successivamente mantenuto a temperatura costante con olio diatermico; nell'ultima fase il bitume e gli inerti pretrattati vengono miscelati in appositi mescolatori con successivo scarico dell'asfalto su mezzo di trasporto.

Un bitume per pavimentazione stradale deve poter essere facilmente miscelato al materiale litoide per ottenere una miscela adatta alla stesa, ma allo stesso tempo deve poter resistere alle sollecitazioni del traffico stradale senza deteriorarsi. Il bitume presenta un comportamento di tipo viscoelastico associato a una marcata dipendenza dalla temperatura. La teoria della viscoelasticità è di facile comprensione se si fa riferimento a due modelli ideali: il solido elastico ed il liquido viscoso.

Un solido ideale soggetto ad uno sforzo si deforma elasticamente: l'energia spesa nella deformazione si conserva sotto forma di energia potenziale elastica ed è restituita quando viene rimosso lo sforzo applicato. Al contrario, fluidi ideali subiscono deformazioni totalmente irreversibili: cioè, tutta l'energia spesa per imporre la deformazione è dissipata sotto forma di calore

e non può essere restituita annullando la deformazione stessa (comportamento puramente viscoso). Sono particolarmente indicate prove reologiche nelle quali siano assicurati l'accurato controllo della temperatura e la perfetta conoscenza del comportamento tenso-deformativo in ogni istante e in ogni punto del campione preso in esame. Tali prove possono essere semplici prove di viscosità oppure prove nelle quali vengono messe in luce anche le componenti di risposta elastica del bitume quali le prove di deformazione a carico costante, o di creep, le prove di rilassamento a deformazione imposta, e le prove in regime oscillatorio dette anche dinamiche.

Allo stesso tempo ci si è focalizzati sulla sua utilizzazione come legante nelle miscele bituminose che vengono impiegate per la costruzione delle pavimentazioni stradali; quindi si è analizzato il contenuto del conglomerato bituminoso e le sue proprietà meccaniche.

Un bitume è "modificato" quando il suo comportamento reologico e le caratteristiche che lo contraddistinguono sono tendenzialmente assimilabili a quelle del polimero modificante utilizzato, avendo contemporaneamente salvato tutte le proprietà leganti originali della base bituminosa.

I polimeri possono essere naturali (esempio: gomma naturale e cellulosa) o provenire da processi di sintesi. I principali polimeri sintetici di interesse per le modifiche dei bitumi si differenziano in: elastomeri (gomme sintetiche); plastomeri (materie plastiche). I bitumi modificati con polimero, usati per gli asfalti stradali devono essere stabili fisicamente e chimicamente durante lo stoccaggio, l'applicazione e il servizio.

I conglomerati bituminosi sono materiali a tre o addirittura a quattro fasi (aggregati, bitume, aria e in alcuni casi acqua). Gli aggregati, forniscono al materiale uno scheletro solido che attraverso l'addensamento e il contatto tra i grani determina lo sviluppo della resistenza al taglio e di un'accettabile elasticità alle alte temperature di servizio. Il bitume, grazie alle sue caratteristiche viscoelastiche e alla sua adesione agli aggregati, svolge le funzioni di legante, dotando l'ammasso lapideo di quella coesione che altrimenti non potrebbe avere. La fase gassosa del sistema, costituita dai vuoti residui, influenza direttamente le proprietà fisiche e meccaniche della miscela.

Per poter effettuare una scelta ottimale dei conglomerati bituminosi è indispensabile caratterizzarne le proprietà meccaniche. Tali proprietà riguardano tanto la risposta tenso-deformativa del materiale sotto carico, quanto le sue caratteristiche di resistenza.

Una proprietà fondamentale da prendere in esame è la durabilità del conglomerato bituminoso, cioè la sua capacità di resistere nel tempo alle variazioni delle proprie caratteristiche prestazionali indotte da fattori ambientali.

La penetrazione di acqua all'interfaccia aggregato-bitume porta all'indebolimento e all'eventuale perdita del legame di adesione tra le due fasi costituenti.

Si individua, così, un progressivo indurimento e infragilimento che il bitume subisce nel tempo a seguito di una serie di fenomeni concomitanti che ne alterano la composizione chimica e la struttura. L'insieme di tali fenomeni va usualmente sotto il nome di invecchiamento.

I problemi più frequenti di deterioramento sono: deformazioni permanenti con formazione di ormaie, fenomeni di sgranamento, fessurazioni e formazione di corrugazioni.

Successivamente è stato valutato la pericolosità del bitume in ogni sua forma. Per primo sono stati analizzati i fumi prodotti dal suo riscaldamento e l'esposizione a cui sono sottoposti gli operatori che lavorano alla produzione. Poi si è tenuto conto del rilascio di inquinanti nell'ambiente e delle emissioni atmosferiche che provengono dagli impianti di produzione.

Il bitume contiene idrocarburi policiclici aromatici (IPA) fra quelli classificati pericolosi in quantità estremamente ridotte; ma l'attenzione è proprio incentrata sugli stessi e sui loro derivati, per i quali

più è alta la temperatura di riscaldamento del bitume, più alta è la loro concentrazione nelle sue emissioni.

Durante il riscaldamento il bitume rilascia vapori, che raffreddandosi e condensando sotto forma di aerosol risultano arricchiti nei componenti più volatili presenti nel prodotto.

La temperatura è il parametro che maggiormente influenza il livello di emissioni di fumi da un bitume.

Gli operatori addetti alle lavorazioni del bitume, dei conglomerati bituminosi e di applicazioni del prodotto, vengono esposti alla produzione dei fumi del bitume.

L'esposizione può avvenire sia per inalazione che per assorbimento attraverso la pelle.

Tra i fattori che possono influenzare la potenziale esposizione ai fumi ricordiamo:

- la temperatura dei materiali
- il tipo di applicazione
- il tipo di bitume impiegato
- le condizioni meteorologiche
- il tipo di lavoro (mansione) e la sua durata.

Quello che riveste maggior importanza per la potenziale esposizione dei lavoratori è la temperatura di riscaldamento del bitume o dei materiali bituminosi.

I parametri più utilizzati per la valutazione dell'esposizione professionale ai fumi del bitume sono il particolato solido totale (TPM, Total Particulate Matter), la sua frazione solubile in benzene (BSM, Benzene Soluble Matter) e il materiale organico totale (TOM, Total Organic Matter).

Ai fini della valutazione dell'esposizione professionale per inalazione e per via cutanea il campionamento dei fumi del bitume viene eseguito direttamente sugli operatori, mediante uso di filtri tarati attraverso i quali viene fatto passare un volume determinato di aria o mediante prelevamento e confronto del materiale depositato su una determinata zona di pelle all'inizio e alla fine del turno lavorativo.

Molti studi e ricerche sono stati effettuati per valutare i possibili effetti sulla salute dei lavoratori che hanno portato i seguenti risultati: Irritazione della pelle e degli occhi; Tossicità sub cronica; Cancerogenicità; Genotossicità; Irritazione di occhi, naso e gola; Irritazione della pelle.

Per quanto riguarda gli inquinanti considerati nelle emissioni atmosferiche, possiamo riassumerli di seguito:

- Polveri sottili (PM, Particulate Matter). Vengono distinte in PM_{10} e $PM_{2.5}$. Con PM_{10} (polveri inalabili) viene definito il particolato formato da particelle inferiori a 10 μm , di cui le polveri sottili $PM_{2.5}$ (polveri toraciche) rappresentano le particelle con diametro inferiore a 2,5 μm . Tale distinzione riflette la differente capacità del particolato di raggiungere le diverse parti dell'apparato respiratorio in funzione delle sue dimensioni.
- Composti organici volatili (VOC), il termine "volatile" indica la tendenza di tali sostanze chimiche ad evaporare a temperatura ambiente;
- Idrocarburi policiclici aromatici (IPA);
- Ossidi di azoto (NOx);
- Ossidi di zolfo (SOx);
- Ossido di carbonio (CO).

Si tratta di inquinanti atmosferici la cui fonte di emissione può essere identificata con gli impianti di produzione del conglomerato, ad esclusione degli IPA. Gli IPA per le loro caratteristiche

rappresentano dei microinquinanti ubiquitari; sono composti solidi a temperatura ambiente e presentano punti di ebollizione e di fusione relativamente elevati; la loro tensione di vapore è generalmente bassa ed inversamente proporzionale al numero di anelli aromatici.

Come microinquinanti organici ambientali gli IPA si riscontrano nell'aria sia in forma gassosa che nel particolato.

Gli IPA contenenti due o tre anelli aromatici permangono principalmente in forma gassosa quando vengono immessi nell'atmosfera. Gli IPA con 4 o più anelli, al contrario, tendono a venire adsorbiti su particelle di particolato.

Gli IPA adsorbiti sulle particelle raggiungono quindi il suolo o i bacini acquiferi attraverso "dry deposition" (precipitazione gravitazionale, diffusione) e "wet deposition" (neve, nebbia, pioggia), mentre gli IPA presenti in atmosfera in fase gassosa, nella zona di interfaccia aria/acqua si ripartiscono tra le due fasi secondo il coefficiente di trasferimento aria/acqua.

Tra le emissioni atmosferiche incontriamo il termine "hot mix asphalt" (HMA) con il quale si definisce la miscela, prodotta a circa 150-160°C, di materiale litico e bitume in quantità appropriate alla specifica applicazione in campo stradale.

Gli impianti per la produzione di HMA possono essere stazionari o mobili; sulla base del processo di mescolamento possono essere distinti in continui (drum mix plants) e discontinui (batch mix plants). Negli impianti continui un tamburo essiccante provvede sia all'essiccamento dell'aggregato che al suo mescolamento con il bitume, mentre negli impianti discontinui l'aggregato viene prima essiccato e quindi trasferito in un miscelatore dove viene mescolato con il bitume. In entrambi i casi l'HMA prodotto viene stoccato in un silo per il successivo carico su automezzi e trasporto sui siti di applicazione.

All'interno degli impianti di produzione di HMA la sorgente di emissioni più significativa appare la sezione di essiccamento del materiale lapideo. Le emissioni di tale sezione comprendono i prodotti di combustione completa (NO_x , SO_2 , CO_2 e acqua) e incompleta (VOC, CO, SVOC) del combustibile utilizzato per il riscaldamento e polveri sottili PM_{10} sostanzialmente provenienti dal materiale litico.

Infine sono state analizzate le varie fasi della stesa per una corretta superficie di posa.

Le fasi della stesa sono: trasporto, superficie di posa, stesa, rullatura, giunti.

Durante il trasporto con gli autocarri il materiale perde parte del calore immagazzinato in precedenza. Molto importante è la temperatura esterna, possibilmente superiore a 8°-10°C; e il fondo stradale deve essere perfettamente asciutto.

Per la superficie di posa si possono usare emulsioni elastomerizzate o bitumi liquidi modificati per conferire il massimo di impermeabilità e per sigillare le fessure.

Durante la stesa la temperatura del prodotto e la maggiore viscosità del legante, sono parametri da tenere costantemente sotto controllo per non incorrere in problemi di resistenza. Le temperature del prodotto più idonee alla stesa, sono comprese tra 145°-160°C in relazione al tipo di legante.

L'operazione di rullatura inizia immediatamente dopo la posa, senza tempi di attesa. Si parte dai lati esterni con il costipamento della giunzione con la strisciata precedente e si procede verso il centro. Occorre lavorare bene nei pressi della finitrice quando il materiale è ancora caldo; ogni passaggio deve essere sovrapposto per metà con il precedente.

Ogni punto di discontinuità del manto stradale è un punto a rischio in quanto è soggetto per primo a fenomeni di fessurazione che danneggiano l'opera quando l'acqua vi penetra. E' necessario fare il minor numero possibile di giunti e quelli necessari occorre farli bene.

Anche se il bitume è un materiale strategico e con proprietà uniche, non si deve però dimenticare che, oltre certi limiti di reperibilità e di costi, possono diventare attraenti altre tecnologie con altri materiali.

Il presente lavoro di tesi è stato realizzato per contribuire alla raccolta di informazioni utili alla conoscenza della materia.