

SITEBSi srl

Rassegna del bitume

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **08/88**

Sperimentazione sull'uso dello zolfo nel conglomerato bituminoso

Sascia Canale

Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Idraulica Trasporto e Strade

Sperimentazione sull'uso dello zolfo nel conglomerato bituminoso

Sascia Canale*

L'U.P.M. (University of Petroleum and minerals) di Dhahran in Arabia Saudita segue con attenzione la problematica relativa alla costruzione ed alla manutenzione della rete autostradale della regione orientale del Paese, dove appunto si trova l'Università.

L'attuale produzione di zolfo nella regione interessata si aggira sulle 4300 tonnellate al giorno che si ottengono sia per desolforizzazione del gas naturale che dalla raffinazione del petrolio greggio ad alto contenuto di zolfo.

In tale contesto è maturata la decisione dell'Università di Dhahran di avviare un programma di ricerca, per l'uso dello zolfo nei conglomerati bituminosi delle pavimentazioni stradali.

Il sistema usato prevedeva la sostituzione parziale del bitume con zolfo elementare caldo alla temperatura di 120-150°C. Questa gamma di temperature ricade dentro i limiti inferiore e superiore di temperature costituiti da 116°C per il punto di fusione dello zolfo e 160°C per il punto di inizio della sua polimerizzazione. La figura allegata mostra le curve di viscosità per un bitume 85-100, per una miscela bitume-zolfo al 50% in peso e per lo zolfo puro. Come si può notare l'aggiunta di zolfo abbassa la viscosità del bitume.

Gli esperimenti effettuati sono stati tre:

- 1) Autostrada Dammam-Abu Hadriyah. La sovrastruttura corrente era composta da 18 cm di conglomerato bituminoso in due strati e 25 cm di stabilizzato a calce.

Per un tratto di 1,4 Km si sono sperimentate quattro diverse combinazioni di conglomerato bituminoso con e senza zolfo come si può vedere in figura. La percentuale in peso dello zolfo era 30%.

- 2) Autostrada Dammam-Abu Hadriyah. La sovrastruttura corrente era la stessa del primo esperimento. Per un tratto di 2 Km si sono sperimentate altre quattro diverse combinazioni come si può vedere in figura. In questo caso si è ridotto lo spessore previsto per lo strato di base in conglomerato bituminoso per studiare la possibilità di riduzione dello spessore della pavimentazione con l'uso dello zolfo. Così lo strato di base è stato portato da 12 cm, a 9,5 cm. Inoltre la percentuale di zolfo in peso è stata portata al 45%.

- 3) Strada di accesso all'Università. La sovrastruttura era di 20 cm di conglomerato bituminoso sopra 30 cm di misto granulare.

L'esperimento è stato effettuato su una lunghezza di 800 m, con una miscela al 30% di zolfo e l'aggiunta di cemento nella misura dell'1% in peso degli inerti.

* Ricercatore presso il dipartimento di idraulica, trasporti e strade dell'Università di Roma 1.

MATERIALI

Gli inerti che si trovano nella zona non sono affatto di buona qualità per la preparazione di un conglomerato bituminoso. In genere provengono da formazioni superficiali di calcare. Il bitume ha un contenuto di zolfo del 5% circa. Lo zolfo aggiunto aveva una purezza minima del 98% ed un contenuto massimo di carbone dell'1%.

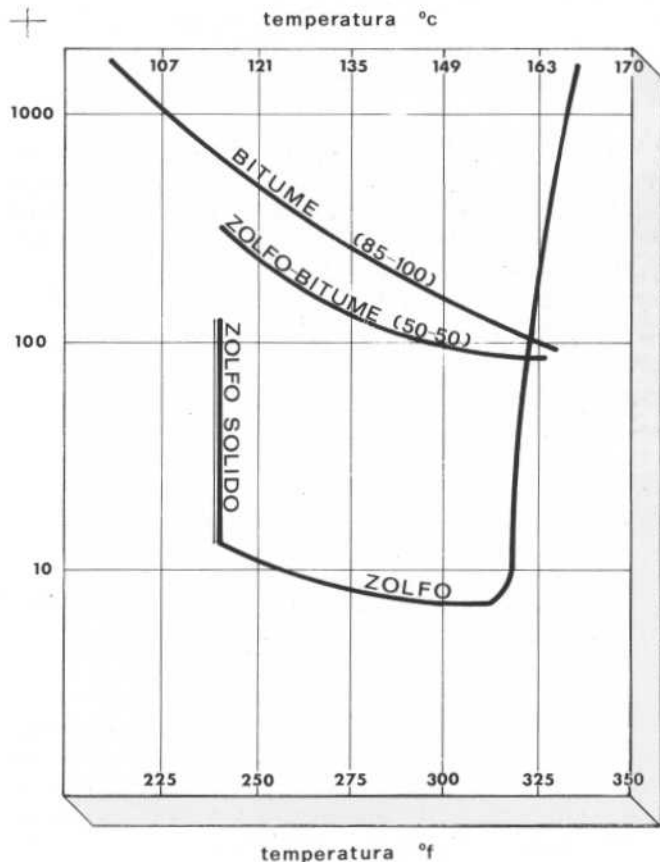
Dal momento che lo zolfo è circa due volte più denso del bitume, la miscela richiede due volte il peso dello zolfo per sostituire un ugual volume di bitume, in questo modo un'appropriata gamma di miscele bitume-zolfo ricade tra il limite più basso corrispondente ad una miscela confezionata in base al peso ed il limite più alto corrispondente ad una miscela confezionata in base al volume.

Le miscele suddette sono preparate normalmente miscelando zolfo fuso e bitume alla temperatura di $140 \pm 2^\circ\text{C}$ e quindi vengono versate entro 30 secondi dalla preparazione sugli inerti preriscaldati.

Le Tabelle allegate illustrano i risultati della prova Marshall per gli esperimenti 1 e 2. I risultati dimostrano che i conglomerati con aggiunta di zolfo seguono il normale andamento con l'eccezione delle stabilità che sono più alte che non per i provini senza aggiunta di zolfo.

Dopo 24 ore di immersione in acqua a 60°C la perdita di stabilità rimaneva nel limite richiesto del 25%.

Mentre ciò non accadeva nell'esperimento n. 3, dove la perdita di stabilità era del 100%. Da qui la scelta di aggiungere il cemento nella misura dell'1% in peso degli inerti.



Metodologie di produzione della miscela

I metodi seguiti per la confezione della miscela sono stati due: quello della SNEA (Società Nazionale Elf Aquitaine) e quello della Gulf Canada. Entrambi sono simili, anche se usano attrezzature differenti. Il principio su cui si basano è quello di aggiungere un miscelatore, in cui arrivano lo zolfo caldo e il bitume nelle percentuali desiderate, a monte della vasca di mescolazione con gli inerti in modo tale che lo zolfo si disperda omogeneamente nel bitume. In Figura è illustrato lo schema operativo.

Condizioni di traffico

A due anni dall'apertura al traffico dei tre tronchi sperimentali, si è riscontrato di recente il seguente traffico:
1° tronco: 1400 TGM con 25% di veicoli pesanti
2° tronco: 6000 TGM con 50% di veicoli pesanti
3° tronco: 1500 TGM con 5% di veicoli pesanti.

Per quanto riguarda il secondo tronco, che è il più trafficato, si è evidenziata la presenza di circa il 92% dei veicoli pesanti nella corsia di destra per un totale di 2800 veicoli/giorno.

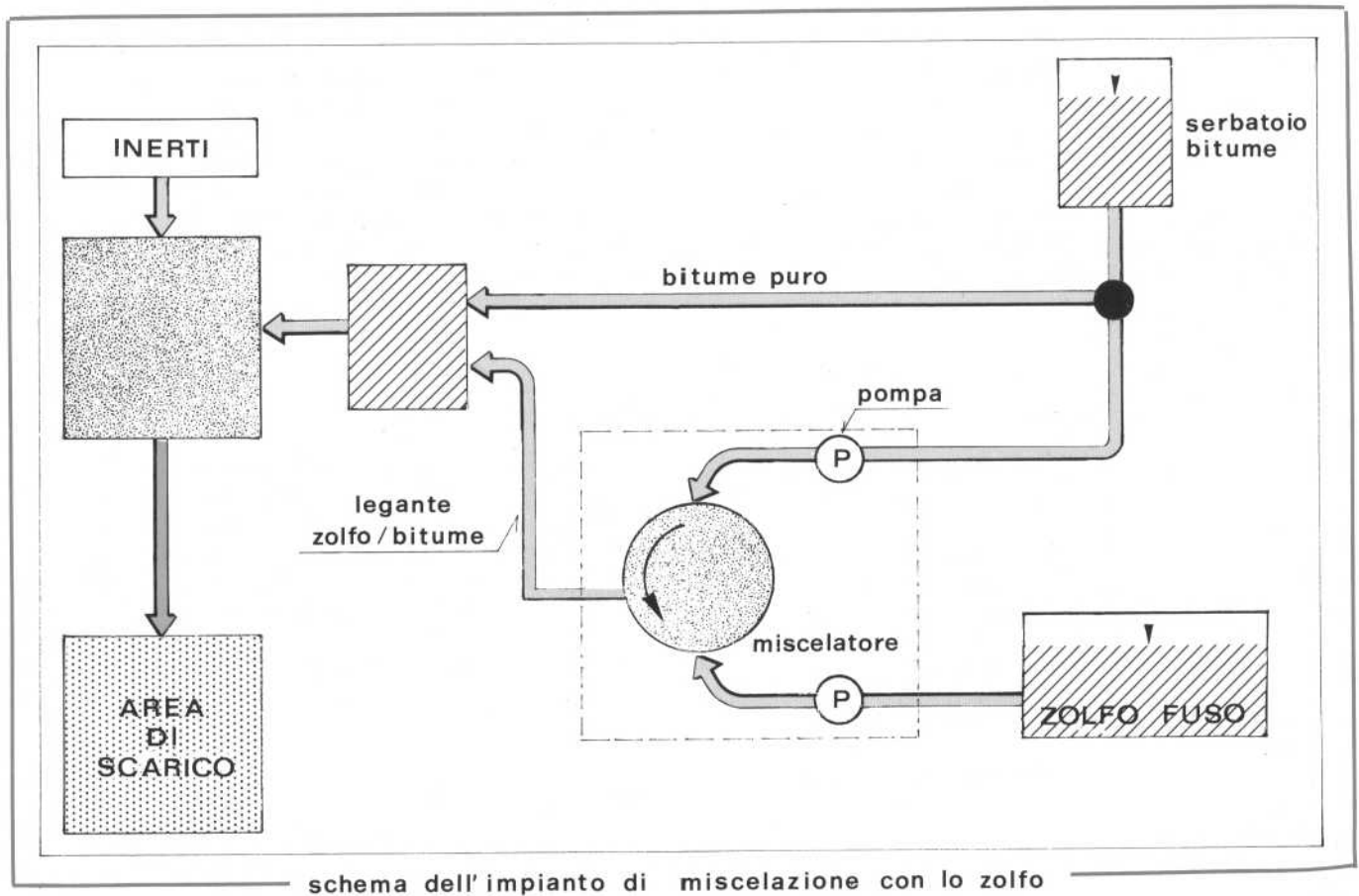
Misura delle deflessioni

Con la trave BENKELMAN si sono misurate le deflessioni lungo la traccia della ruota esterna nella corsia di destra usando un carico per asse di 82 KN. I punti di misura erano ubicati a 90 cm dal ciglio della pavimentazione ogni 20 m di intervallo lungo i tratti sperimentali. In ognuno di questi punti si misurava la temperatura alla profondità di 4 cm immediatamente dopo la misura di deflessione. L'ASPHALT INSTITUTE nella pubblicazione MS-17 raccomanda la temperatura di 21°C quale temperatura di riferimento, ma date le condizioni climatiche della regione si è scelta la temperatura di 35°C , che è la media delle temperature di quell'area.

In Figura sono illustrati i valori di deflessioni trovati sul tronco sperimentale n. 2, mentre in Tabella sono riportati per ogni tronco il valore medio, la deviazione standard e la loro somma.

Ormaie e fessurazioni

Per il tratto sperimentale n. 2 (l'unico in cui era stato ridotto lo spessore rispetto alla sezione corrente) si sono fatte contemporaneamente alle misure di deflessione anche misure per la profondità dell'ormaja e per le fessurazioni. La prima è stata fatta con una barra di riferimento lunga 2 metri. Le misure di fessurazione con un telaio di alluminio di 1 metro quadrato seguendo la procedura riportata da Smith e Jones sul TRRL report n. 935. In figura sono riportati gli indici riscontrati per il tronco n. 2 e in Tabella per ogni tronco, secondo il sistema raccomandato da Bulman e Smith sul TRRL report LR 507.



Come si può vedere nella Tabella allegata, sia alla deformazione che alla fessurazione si danno degli indici da 0 a 4. In questo modo si ottiene per ogni tronco l'intera classificazione sommando gli indici ottenuti per ogni singola misurazione effettuata nel tronco stesso. Per valore critico si intende il numero delle misure effettuate moltiplicato per quattro. Dalla Tabella si può riscontrare come il tronco n. 2 è quello in cui si sono trovati i più alti valori di deflessione e di fessurazione. Questo non sorprende proprio per il fatto della voluta riduzione di spessore e dell'aumentata percentuale di zolfo.

Analisi dei provini

Provini cilindrici del diametro di 10 cm sono stati prelevati dalla pavimentazione sia in alcuni dei punti di misura delle deflessioni che a caso in altri posti per studiare l'effetto dell'invecchiamento e dell'azione del traffico. Le prove effettuate sono state di tre tipi: peso specifico, modulo elastico, trazione indiretta.

Le prove di modulo elastico sono state fatte usando il sistema di carico ripetitivo sviluppato da Schmidt su HRR n. 404. Le prove di trazione sono state fatte con il sistema di carico della prova Marshall con un incremento di carico

di 50 mm/min. Il carico era applicato lungo due generatrici opposte attraverso due strisce curve di acciaio inossidabile. La rottura avveniva sempre subito dopo l'applicazione del massimo carico ammissibile per il provino. In Figura è illustrato lo schema di carico con la rottura. La tensione di rottura è data da:

$$S_T = \frac{2P}{\pi a h} \left(\sin 2\alpha - \frac{a}{2R} \right)$$

dove: P = massimo carico ammissibile
a = larghezza della striscia di carico
h = altezza del provino
 α = angolo al centro sotteso metà della larghezza della striscia di carico (in radianti)
R = raggio del provino

I provini sono stati prelevati in cinque momenti diversi, di cui i primi tre precedentemente all'apertura al traffico, la quarta volta dopo tre mesi di traffico e l'ultimo dopo due anni. In Figura sono riportati i risultati comparativi per il secondo tronco sperimentale. In dettaglio:

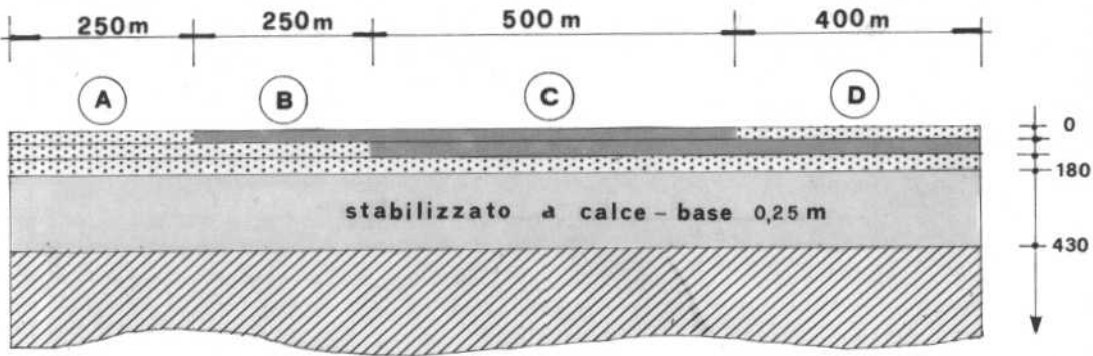
SPERIMENTAZIONE SULL'USO DELLO ZOLFO NEL CONGLOMERATO BITUMINOSO

PAVIMENTAZIONE NEI TRATTI SPERIMENTALI



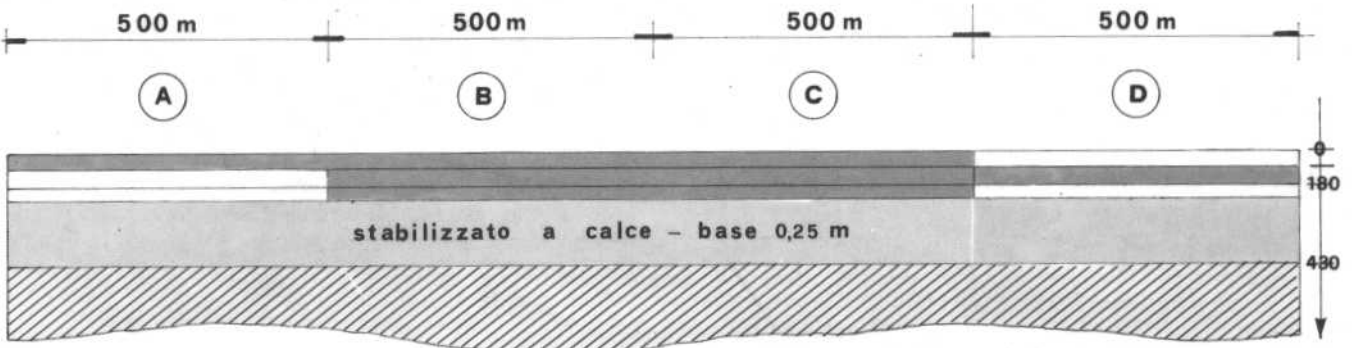
1° TRATTO SPERIMENTALE

rapp. Zolfo/Bitume 30/70

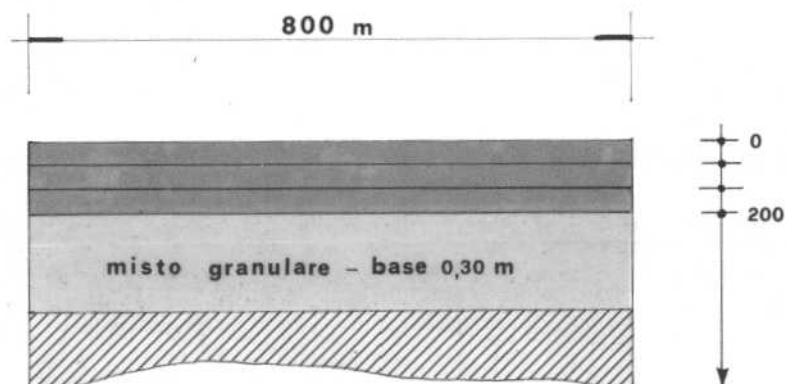


2° TRATTO SPERIMENTALE

rapp. Zolfo/Bitume 45/55



3° TRATTO SPERIMENTALE



Peso specifico

Varia da 2261 a 2270 g/cc per i tratti con lo zolfo rispetto alla variazione da 2278 a 2330 per i tratti senza aggiunta di zolfo. È evidente l'aumento del peso specifico per l'azione del traffico.

Modulo elastico

Varia da 2,84 a 5,37 x 10 Kpa con aggiunta di zolfo e da 4,31 a 4,83 x 10 KPa senza aggiunta di zolfo. Anche qui si nota l'aumento dovuto all'azione del traffico. Il maggiore incremento del primo caso può essere attribuito al noto fenomeno di ricristallizzazione che avviene all'interno della struttura con lo zolfo.

Trazione indiretta

Questa prova è stata fatta solo sui provini recenti prelevati dopo due anni di apertura al traffico. La tensione di rottura è stata di 1193,9 KPa per i provini con lo zolfo e di 1577,9 KPa per quelli senza. Il coefficiente di variazione è stato nel primo caso di 7,9 su 12 provini e di 10,89 su 10 provini nel secondo caso. Si noti che mentre la tensione di rottura è stata più bassa del 24,3% per i provini con lo zolfo, per questi ultimi il valore del modulo elastico è risultato più alto dell' 11,1 % .

Fessurazione nel tronco sperimentale n. 2

La riduzione di spessore del 20% e il più alto rapporto zolfo/asfalto (45/55) nella miscela sembrerebbero giustificare il diverso comportamento di questo tronco sperimentale rispetto agli altri. In realtà bisogna aggiungere che questo tratto da dovuto sopportare nei primi mesi di funzionamento un traffico pesante superiore al previsto.

CONCLUSIONI

La miscelazione di zolfo liquido con bitume produce un nuovo legante, dove lo zolfo si sostituisce al bitume fino al 50% in peso.

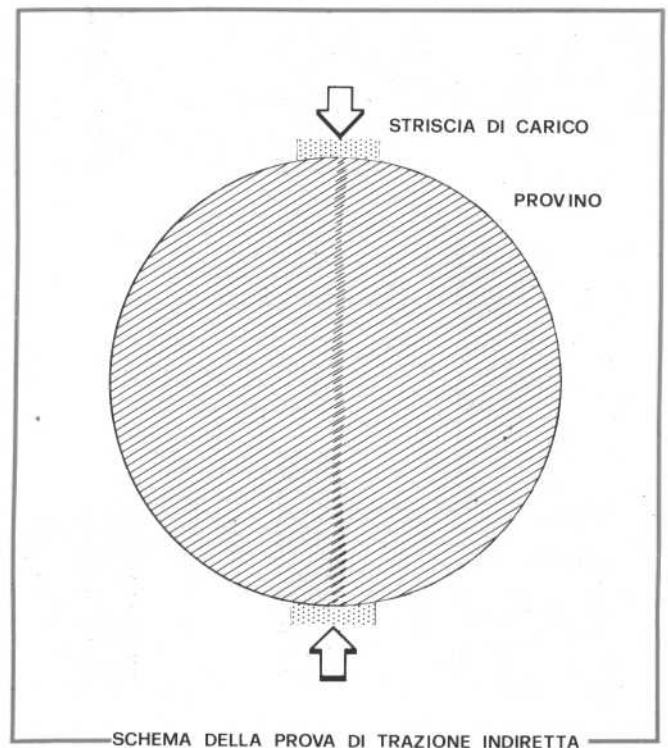
Tre tronchi sperimentali sono stati studiati durante la costruzione della rete autostradale della Regione Orientale dell'Arabia Saudita. Pur rimanendo sempre sotto osservazione i tratti sperimentali, si può dedurre quanto segue:

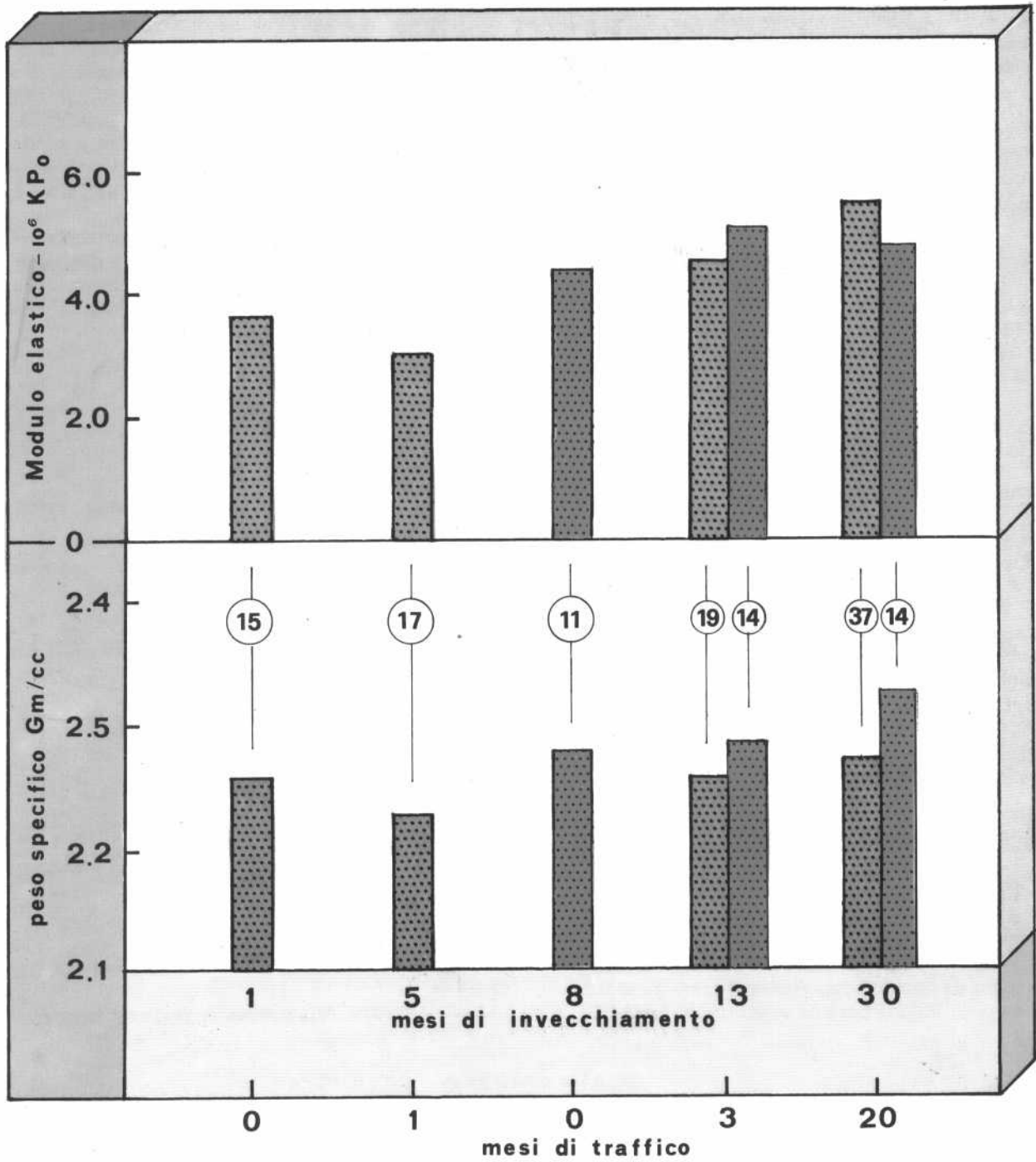
- 1) Le miscele zolfo/bitume possono essere confezionate, trasportate, stese e rullate con metodi e macchinari tradizionali.
- 2) Le proprietà meccaniche delle miscele zolfo/bitume sono comparabili con le miscele convenzionali con eccezione per l'effetto di indurimento che si ottiene quando la percentuale di zolfo è superiore al 30%.

Assorbimento di acqua nel tronco sperimentale n. 3

Le prove Marshall avevano rivelato che la frazione fine di alcuni inerti di origine calcarea disponibili nella Regione Orientale Dell'Arabia Saudita è sensibile all'acqua soprattutto quando si aggiunge lo zolfo alla miscela. In questo tronco sperimentale è stato aggiunto cemento nella quantità dell'1% in peso degli inerti per ovviare al suddetto inconveniente. Solo così infatti la stabilità Maxhall dopo 24 ore di immersione in acqua del provino raggiunge i valori richiesti dalle specifiche.

Questo probabilmente è dovuto alle particolari reazioni che si verificano fra lo zolfo e alcuni inerti di origine calcarea che potrebbero portare all'inizio di micro-fessurazioni seguite poi da macro fessurazioni e quindi da rotture.





conglomerato con zolfo
 conglomerato normale
 n° provini

**EFFETTO DELL'INVECCHIAMENTO E DELL'AZIONE
 DEL TRAFFICO ATTRAVERSO I PROVINI DEL 2° TRATTO
 SPERIMENTALE**

- 3) La riduzione di spessore e l'aumento di percentuale di zolfo fino al 45% ha portato ad una precoce fessurazione pur in presenza di traffico pesante oltre il previsto.
- 4) L'aggiunta di cemento nella misura dell'1 % in peso degli inerti è stata necessaria nel terzo tronco sperimentale per ridurre il danno da acqua nella prova Marshall dopo 24 ore di immersione. Alcuni inerti di natura calcarea sono sensibili all'acqua e richiedono quindi l'aggiunta di additivi (cemento, calce idrata).

BIBLIOGRAFIA

- 1) H.R. SMITH and C.R. JONES: *Measurement of Pavement Deflections in Tropical and Sub-Tropical Climates*. TRRL Report 935.
- 2) N.W. LISTER: *Deflection Criteria for Flexible Pavements*. TRRL Report 375.
- 3) J.N. BULMAN & H.R. SMITH: *A full scale pavement design experiment in Malaysia. Construction and first four years performance*. TRRL Report LR 507.
- 4) R.J. SCHMIDI: *A practical method for measuring Resilient Modulus of Asphalt. Treated Mixes*. HRR 404.

