

SITEBSi srl
**Rassegna
del bitume**

RIVISTA DEL SITEB-ASSOCIAZIONE ITALIANA BITUME ASFALTO STRADE

ESTRATTO DAL N° **49/05**

**Studio sperimentale sull'efficacia delle mani d'attacco bituminose
per mezzo di prove a taglio diretto interstrato**

**Experimental study of the tack coats efficiency by means
of interlayer direct shear tests**

Cesare Sangiorgi
DISTART - Strade Università di Bologna

Studio sperimentale sull'efficacia delle mani d'attacco bituminose per mezzo di prove a taglio diretto interstrato

Experimental study of the tack coats efficiency by means of interlayer direct shear tests

CESARE SANGIORGI

Dottore di Ricerca presso il DISTART Strade dell'Università di Bologna

Riassunto

Partendo dalla caratterizzazione sperimentale dell'entità del collegamento esistente all'interfaccia tra i vari strati bituminosi della pavimentazione, si è studiata l'efficacia delle mani d'attacco nel conferire resistenza meccanica al collegamento. La sperimentazione condotta ha permesso di determinare un criterio per la scelta del tipo di prodotto e di valutare il quantitativo ottimale di legante da impiegare.

Summary

Starting from the experimental characterization of the entity of connection among pavement bituminous layers, the paper studied the efficiency of tack coats in giving mechanical resistance to the connection itself. The experimentation led has allowed to determine a criterion for the choice of product and also to estimate the optimal quantitative of binder to be employed.

1. Il distacco tra gli strati bituminosi

1.1 Come si manifesta

Tra i fenomeni di degrado delle pavimentazioni stradali, il distacco tra gli strati di conglomerato bituminoso del pacchetto è forse quello che, in passato, ha ricevuto minor attenzione da parte dei tecnici del settore. A differenza dei fenomeni di fessurazione ed ormaimento che, pur avendo spesso origine da carenze interne della sovrastruttura, si manifestano sul piano viabile per stadi successivi di ammaloramento, il distacco tra gli strati non è direttamente visibile se non quando si verifica tra i due strati più superficiali con il loro reciproco slittamento e/o l'asportazione di conglomerato bituminoso. Ciò non significa, tuttavia, che il fenomeno non sia dannoso o che partecipi in misura minore al deterioramento della pavimentazione. Trattandosi del collegamento esistente alle interfacce tra strati bitu-

minosi e trovandosi queste al di sotto della superficie viabile, risulta effettivamente difficile individuarne e valutarne la mancanza se non attraverso la realizzazione di carotaggi che interessino più strati. Alla stregua delle fessurazioni *bottom-up* che si manifestano in superficie quando il danno è oramai completo, anche il distacco tra lo strato superficiale e quello sottostante si manifesta, nella maggior parte dei casi, con la separazione di porzioni più o meno estese di conglomerato bituminoso. Esistono poi casi nei quali il fenomeno di distacco è accentuato al punto che intere zone del conglomerato bituminoso sovrastante scendono rispetto a quello sottostante, allo stesso modo in cui un tappeto domestico può scivolare su un pavimento. Le fotografie a e b di Fig. 1 riportano due esempi di tali casi. La fotografia c rappresenta, invece, un caso evidente di distacco superficiale nei pressi di una intersezione a raso. »



FIG. 1 Slittamento di conglomerato di usura senza asportazione e con distacco superficiale

Diversi sono gli effetti quando il distacco interessa interfacce più profonde. In tali casi, pur non essendovi un riscontro superficiale diretto con l'asportazione di conglomerato bituminoso, il fenomeno è comunque degradante per la sovrastruttura e lo è forse in misura maggiore rispetto alle separazioni superficiali se osservato con riferimento alla vita utile. Uno studio francese [1], ha evidenziato come il problema del collegamento tra gli strati in conglomerato bituminoso della pavimentazione stradale ne riduca di 3,8 volte la vita utile. In pratica, ciò è dovuto alla non collaborazione tra gli strati bituminosi nel sopportare i carichi esterni. Il pacchetto si trova ad operare come l'insieme di più elementi resistenti disgiunti di spessore diverso. Questo comporta che le risorse di resistenza dei materiali dei singoli strati vengano chiamate in causa separatamente e che, conseguentemente, sia più facile esaurirle. In superficie non si ha evidenza diretta del fenomeno profondo, se non con la comparsa di altri fenomeni ad esso legati e da esso accentuati.

1.2 Le cause

Le cause del distacco tra gli strati della pavimentazione stradale sono molteplici. La Tabella 1 riporta i principali fattori che governano il problema. Ciascun fattore ha una influenza più o meno accentuata sulle condizioni di collegamento riscontrabili nella pavimentazione appena realizzata e durante la sua vita utile. Le cause di distacco sono da ricercarsi nella non corretta progettazione e/o esecuzione del pacchetto stradale; ad esempio, fattori quali l'applicazione di un non

corretto quantitativo di mano d'attacco o l'eccessiva contaminazione del piano di posa possono anche compromettere una adeguata progettazione iniziale. Così come la posa di una miscela bituminosa non in grado di sfruttare le capacità di ingranamento offerte dai meati superficiali dello strato sottostante, difficilmente potrà garantire sufficienti proprietà di resistenza alle sollecitazioni tangenziali nel tempo all'interfaccia. La sperimentazione oggetto del presente studio ha preso in considerazione, tra gli aspetti elencati, soprattutto quelli legati all'applicazione della mano d'attacco ed alla contaminazione della superficie di posa in relazione al tipo di pavimentazione sia essa nuova o rinnovata.

1.3 Gli effetti

Se il collegamento tra gli strati non è sufficientemente resistente nei confronti delle sollecitazioni trasmesse dai carichi esterni si possono verificare separazioni alle interfacce. Nel caso in cui il distacco avvenga in profondità la vita utile della sovrastruttura si riduce, con la contemporanea accentuazione indiretta dei principali fenomeni di degrado quali fessurazioni ed ormaiamenti.

Se il distacco avviene in superficie invece, si può verificare l'asportazione e/o lo slittamento del conglomerato bituminoso superficiale rispetto a quello sottostante con la formazione di buche ed avvallamenti.

Dal punto di vista della funzionalità stradale e quindi in termini di sicurezza e regolarità del moto, la mancanza di collegamento tra gli strati superficiali può

Tabella 1 Fattori che governano il collegamento tra gli strati della pavimentazione stradale

Proprietà dei materiali	Tipo di aggregati, legante, additivi, etc. Tipo di miscela: Usura 0/8, usura 0/15, SMA 0/12, Binder 0/20, etc. Proporzioni di miscela: % aggregati, contenuto di bitume, % additivi, etc.
Proprietà dell'interfaccia	Reciproco ingranamento tra gli strati e rugosità del piano di posa Contaminazione della superficie di posa: fresata, sporca, umida, oleosa, etc. Applicazione della mano d'attacco: tipo, quantità, tempo di rottura, bitume anidro residuo, etc. Trattamenti speciali della superficie di posa, del conglomerato bituminoso, etc.
Variabili costruttive	Spessore degli strati e larghezza di stesa Velocità di stesa, tipo di finitrice, temperature delle piastre, etc. Energia del proceso di compattazione: tipo/i di compattatore, metodo di compattazione, etc. Condizioni climatiche di posa: temperatura, umidità, etc.
Caratteristiche della pavimentazione	Pavimentazione nuova o rinnovata Posizione dell'interfaccia: usura/binder, binder/base, usura/base, etc. Tipo della pavimentazione: flessibile, semi-rigida, rigida Portanza degli strati di fondazione e del sottofondo Geometria e singolarità della strada: curve, incroci, rotatorie, pendenze, opere d'arte, etc.
Condizioni di strada	Traffico: carichi, velocità, frequenze, etc. Condizioni climatiche di esercizio Età e tempo di esercizio

essere molto nociva. La fotografia c di Fig. 1 mostra, infatti, come il formarsi di una zona di distacco possa generare una pericolosa irregolarità del piano viabile. In tale caso, sono dannosi anche i detriti di materiale che si separano potendo essi essere sollevati dai veicoli transitanti o costituire elementi singolari di instabilità. In secondo luogo, l'irregolarità che si forma può sorprendere l'utente alla guida del veicolo modificando il contatto pneumatico/via, riducendo, in pratica, l'aderenza od instabilizzando gli organi di guida. Essa è poi sede preferenziale di ristagni di acqua e detriti che possono ridurre ulteriormente l'aderenza locale. Nei riguardi del deterioramento della pavimentazione i fenomeni di distacco possono dare luogo od accentuare altri aspetti di degrado. Ecco che, ad esempio, una larga zona di distacco può costituire una via preferenziale per la percolazione profonda delle acque superficiali, a determinare uno scadimento localizzato delle proprietà di resistenza dei materiali del pacchetto e la comparsa di fenomeni fessurativi altrimenti non riscontrabili. Non trascurabile è poi l'effetto di auto-estensione del problema. In sostanza, in corrispondenza di una singolarità quale ad esempio un avvallamen-

to da distacco, i carichi dovuti ai mezzi transitanti vengono trasmessi in modo anomalo alla sovrastruttura; il loro effetto dinamico viene accentuato e le sollecitazioni si concentrano localmente in un punto prossimo al difetto portandolo, col tempo, alla rottura ed estendendo l'anomalia di origine.

2. Analisi del collegamento

Le sollecitazioni che interessano i punti nell'intorno dell'interfaccia tra due strati adiacenti di una pacchetto stradale multistrato sono dipendenti da diversi fattori:

- ▶ l'entità dei carichi agenti: statici, dinamici, verticali, orizzontali, etc;
- ▶ le condizioni in cui i carichi sono applicati: temperature, frequenze, etc.;
- ▶ la presenza di stati di sollecitazione coattivi;
- ▶ le caratteristiche meccaniche e geometriche di ciascuno strato;
- ▶ le caratteristiche meccaniche e geometriche del collegamento tra gli strati;

- ▶ le caratteristiche meccaniche e geometriche del pacchetto stradale;
 - ▶ la posizione nel pacchetto dell'interfaccia considerata.
- In accordo con le soluzioni del problema dell'andamento delle tensioni in un pavimentazione multistrato elastica disponibili in letteratura [2][3], la distribuzione tensionale in corrispondenza della regione di interfaccia e nei materiali adiacenti è fortemente influenzata dalle condizioni del collegamento all'interfaccia stessa e ciò avviene, in particolar modo, negli strati più alti del pacchetto. In generale, è possibile affermare che il collegamento esistente tra gli strati della sovrastruttura è sicuramente compreso tra la perfetta adesione ed il completo distacco.

Nel 1978, J. Uzan [2] propose il modello per la rappresentazione del collegamento parziale tra gli strati della sovrastruttura flessibile elastica multistrato. Esso si basa sull'assunzione che il collegamento tra due strati sia paragonabile ad un sottile film di materiale avente modulo di Taglio (G) e spessore (t) e che la tensione tangenziale (τ) all'interfaccia, dovuta all'applicazione dei carichi esterni, determini uno spostamento relativo orizzontale (Δu) tra le due facce a contatto tale per cui si abbia:

$$\tau = G \gamma \quad (1)$$

dove (γ) rappresenta la deformazione di taglio del film di materiale pari a ($\Delta u/t$); sostituendo quest'ultimo in (1) si ottiene:

$$\tau = (G/t) \Delta u \quad (2)$$

ovvero,

$$\tau = K \Delta u \quad (3)$$

dove, esprimendo (τ) in MN/m^2 e (Δu) in m , risulta (K), Modulo di Reazione orizzontale dell'interfaccia espresso in MN/m^3 .

L'equazione (3) è nota anche come legge costitutiva di Goodman per la rappresentazione del collegamento all'interfaccia nei multistrati elastici [3].

L'interfaccia tra due conglomerati bituminosi adiacenti è sottoposta a sollecitazioni derivanti sia dall'azione verticale (p_v) dei veicoli, sia dall'azione orizzontale (q_h) dovuta, ad esempio, alle forze che la ruota esplica sulla superficie del piano viabile in fase di frenatura.

La Fig. 2 è una fotografia digitale ravvicinata dell'interfaccia tra due strati superficiali di conglomerato bituminoso così come osservabili da una sezione verti-

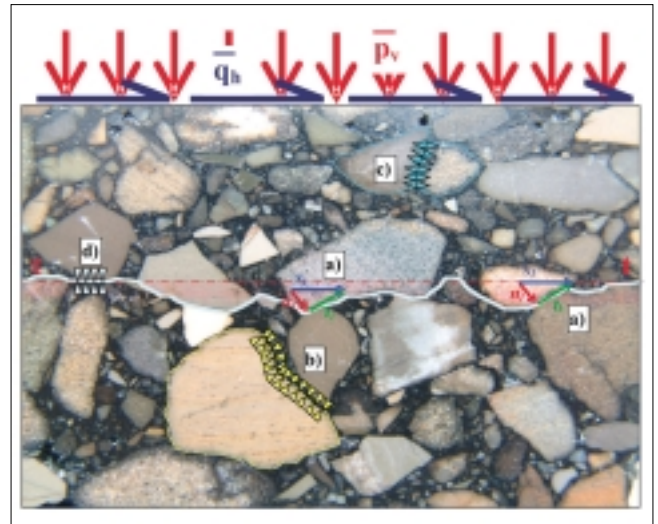


FIG. 2 Comportamento di una interfaccia: fattori che caratterizzano il collegamento

cale di una carota prelevata in sito. I fattori che intervengono nella caratterizzazione del comportamento del collegamento strato-strato quando esso è sottoposto alle azioni sopra descritte sono identificati in figura tramite elementi grafici colorati. Essi sono:

- ▶ l'ingranamento reciproco offerto dagli aggregati dei due conglomerati a contatto;
- ▶ l'adesione del bitume di miscela agli inerti del conglomerato di appartenenza;
- ▶ la coesione che il bitume è in grado di sviluppare tra gli inerti del conglomerato di appartenenza;
- ▶ l'adesione e la coesione che il bitume della mano d'attacco (residuo anidro od applicato a caldo) sviluppa nei confronti degli aggregati coi quali viene a contatto, appartenenti ai due conglomerati adiacenti, tenendo anche conto della presenza dei bitumi di miscela a ricoprire gli inerti.

L'ingranamento tra gli strati che chiama in causa le rigidità degli aggregati lapidei, fornisce un notevole contributo alla resistenza meccanica del collegamento [4]; purtroppo per via delle modalità costruttive, il contributo che ne deriva è spesso ridotto, perché ridotto è il numero di aggregati che si frappongono all'interfaccia. L'adesione e la coesione nei conglomerati bituminosi di strato sono fattori fondamentali perché, oltre a definire la resistenza intrinseca del materiale nel suo volume, contribuiscono alla resistenza del collega-

mento conferendo rigidità ai contatti con il conglomerato adiacente. La mano d'attacco, infine, spesso trascurata nelle operazioni di cantiere è una componente indispensabile nel collegamento; nella stragrande maggioranza dei casi essa rappresenta l'unico elemento resistente del collegamento tra due strati ed in quanto tale, andrebbe progettata e curata con attenzione. L'insieme dei fattori citati caratterizza il collegamento strato-strato sotto carico e quindi rappresenta la risposta dell'interfaccia alle sollecitazioni esterne. Essa, in campo elastico, è dunque identificabile col Modulo di Reazione orizzontale (K) di Goodman e quantificabile in laboratorio con prove di taglio diretto interstrato su provini bituminosi doppio-strato.

3. La sperimentazione condotta

3.1 Introduzione

La sperimentazione oggetto del presente studio è stata resa possibile grazie al supporto della Valli-Zabban, società fiorentina tra le maggiori fornitrici di prodotti bituminosi in Italia. La stessa ha concesso al DISTART Strade dell'Università di Bologna ove sono state condotte tutte le prove di laboratorio, l'utilizzo dell'apparecchiatura di prova denominata Leutner. Grazie, inoltre, ai contatti intercorsi con i tecnici del settore Viabilità della Provincia di Bologna è stato possibile assistere ad alcuni interventi di manutenzione ordinaria realizzati sulle sovrastrutture di loro competenza nel periodo compreso tra il giugno e l'ottobre 2003. Dai siti sperimentali adottati sulle strade provinciali e da altri compresi nel territorio bolognese si sono prelevati, in seguito alle operazioni di stesa, i campioni di pavimentazione da sottoporre alle prove di laboratorio. I siti adottati sono stati in totale sette e per ciascuno di essi si sono eseguite le operazioni di cantiere e di laboratorio riportate nei paragrafi successivi. Le mani d'attacco impiegate sono state fornite dalla Valli-Zabban. In due siti le emulsioni adottate erano di altri produttori.

3.2 Scopo della sperimentazione

Scopo della ricerca è stato quello di caratterizzare sperimentalmente l'en-

tità del collegamento esistente all'interfaccia tra gli strati in conglomerato bituminoso delle pavimentazioni stradali in presenza di mano d'attacco bituminosa. In sostanza, si è voluta studiare l'efficacia delle mani d'attacco bituminose nel compito di conferire resistenza meccanica al collegamento di cui sopra, prefiggendosi di:

- ▶ determinare un criterio col quale scegliere il prodotto bituminoso specifico per uno specifico intervento;
- ▶ valutare, oggettivamente, il quantitativo ottimale di legante da impiegare per quello specifico intervento, prescindendo da fini economici.

Per fare ciò, si è optato per realizzare lo studio sfruttando interventi di manutenzione reali nel territorio bolognese. Se da un lato, la veridicità delle stese attribuisce un'importante attendibilità ai risultati di laboratorio, dall'altro introduce tutte le aleatorietà non controllabili in sito, rendendo talvolta ardua l'interpretazione dei risultati ottenuti. Si è tuttavia cercato di limitare le variabili in gioco riducendo il numero dei casi applicativi in esame (Tabella 2).

In particolare si sono considerati:

- ▶ il tipo di piano di posa: nella stragrande maggioranza dei casi gli interventi di costruzione stradale sono di tipo manutentivo. In pratica, non si tratta di realizzare un pacchetto stradale ex novo, ma soltanto di ripristinare le condizioni di funzionalità di quello esistente. A seconda delle condizioni di degrado della pavimentazione, delle disponibilità economiche e, quindi, del piano manutentivo programmato si può presentare una delle tre superfici di posa proposte: binder nuovo, usura vecchia o superficie fresata;
- ▶ il tipo di emulsione è un parametro legato alla scelta tecnica del progettista e, purtroppo, spesso non viene tenuto in giusta considerazione non esistendo sufficienti indicazioni e regole su come sceglierlo. In realtà a mancare è la cultura della progettazione mirata della mano d'attacco.

Tabella 2 Variabili in gioco nella sperimentazione

Tipo di piano di posa	Tipo di emulsione	Quantitativi
Binder nuovo	di bitume normale 70-100	nessuno
Usura vecchia	di bitume modificato 50-70/80	quantitativo A
Superficie fresata	di bitume normale 160-220	quantitativo B

Per quanto riguarda i quantitativi di mano d'attacco stesi si è distinto tra sezioni di pavimentazioni prive di mano d'attacco e sezioni con determinati quantitativi di bitume residuo anidro rilevato per metro quadrato.

3.3 Leutner Shear Test

La metodologia di prova adottata per la sperimentazione è una tipica prova di taglio diretto su provini cilindrici: il *Leutner Shear Test*.

La prova, proposta fin dal 1979 dal Prof. Rolf Leutner [5], viene eseguita su provini doppio strato del diametro di 150 mm circa. Le carote possono anche presentare più strati e quindi più interfacce, da poter essere testate in tempi diversi.

La Fig. 3 mostra gli schemi costruttivi dell'apparecchiatura Leutner così come riportati sulle normative tecniche tedesche.

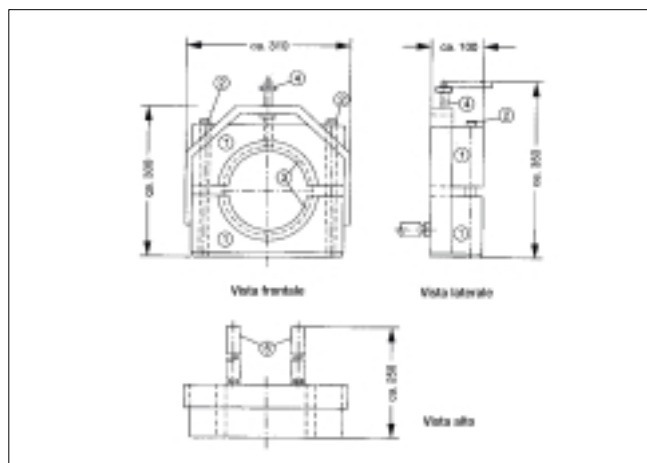


FIG. 3 Leutner Shear Tester

Il Leutner consta di due semi-anelli metallici dei quali uno inferiore fisso, al quale viene vincolata la porzione di carota che si trova a tergo dell'interfaccia, ed uno superiore mobile che, sottoposto all'azione di una pressa, imprime allo strato di conglomerato anteriore uno spostamento controllato di 50 ± 1 mm/minuto.

Nel test l'azione tagliente è concentrata esattamente sull'interfaccia che deve pertanto essere correttamente posizionata in corrispondenza del piano di taglio definito dai due semi-anelli citati. Il test viene condotto alla temperatura di prova di 20 ± 1 °C dopo stagionatura dei provini per almeno 12 ore.

Nella configurazione di base il risultato di una singola prova di taglio è rappresentato dal grafico sforzo tagliente – spostamenti ottenuto per portare a rottura il collegamento all'interfaccia. Dall'area della superficie di taglio si può facilmente risalire alle tensioni tangenziali sviluppatesi.

Il Leutner test costituisce la prova di riferimento per la valutazione del collegamento tra gli strati sia in Germania, sia in Svizzera essendo, nel primo caso indicato nelle istruzioni di contratto per le prove sui materiali bituminosi (2312-1999: Asphalt Prüfung-ALP A-Stb Teil 4), nel secondo caso richiamato come test nelle norme per il controllo delle pavimentazioni bituminose stradali svizzere (SN 617961 ed SN 640430) [6][7][8].

3.4 Test in sito e prelievo dei campioni

Per caratterizzare il collegamento tra gli strati misurato in laboratorio si è resa necessaria, per ciascuno dei sette siti indagati, una serie di rilievi da effettuare prima della posa del conglomerato di usura.

A seconda del tipo di piano di posa ed emulsione impiegata si sono identificati per ogni sito due o più tratti di lunghezza variabile tra i 50 ed i 200 m con larghezza equivalente a quella del banco di stesa. Nel caso di piano di posa costituito da usura vecchia o fresata si sono registrate tutte le anomalie superficiali quali fessurazioni, buche od avvallamenti. Nel caso di posa su binder nuovo sono state annotate le riprese di stesa, le variazioni di conglomerato e la posizione dei giunti complanari.

Sono stati poi condotti test per la misurazione della macrorugosità superficiale del piano di posa tramite prova di "Altezza in sabbia".

Il motivo per cui si sono eseguiti è semplice: l'ingranamento reciproco tra le miscele bituminose a contatto è uno dei fattori più importanti tra quelli che contribuiscono alla resistenza meccanica del collegamento all'interfaccia tra due conglomerati qualsiasi, soprattutto se le configurazioni di contatto tra gli aggregati appartenenti ai due strati adiacenti sono molte e disposte in modo tale da ostacolarne lo spostamento relativo indotto dalle azioni esterne. Con ciò è evidente la necessità di misurare quanto la macrorugosità della superficie del piano di posa sia tale da favorire l'ingranamento reciproco tra gli strati accogliendo nei

propri meati gli inerti caldi e ricoperti di bitume del nuovo conglomerato.

Inoltre, si è eseguita la misurazione del quantitativo di bitume residuo anidro steso per unità di superficie tramite un semplice test di deposito. Il test consiste nel disporre un certo numero di vassoi di materiale non assorbente, sulla superficie della sezione di pavimentazione interessata dalla spruzzatura. La fotografia a della Fig. 4 rappresenta la disposizione in cantiere di un certo numero di vassoi prima del passaggio della barra. Le fotografie b e c sono state scattate dopo il passaggio del mezzo: nella prima lo si scorge al termine della stesa, nella seconda è ben visibile un vassoio ricoperto di emulsione in via di rottura.

Dopo la spruzzatura si possono rimuovere i vassoi. Le migliori condizioni vorrebbero prima l'attesa della rottura, tuttavia, per facilitare le operazioni di cantiere, è possibile rimuoverli in anticipo sfruttando il contenimento offerto dai bordi rialzati. Sulla base della tara e della superficie del vassoio ci si riconduce al quantitativo di bitume anidro realmente steso per metro quadrato.

Infine, un numero rappresentativo di carote del diametro di 150 mm è stato prelevato da ogni sezione di ciascun sito comprendendo anche quelle relative alle sezioni di controllo prive di mano d'attacco.

3.5 Rappresentazione dei risultati ottenuti

Per definire una chiave di lettura dei risultati ottenuti che non si limiti solo al confronto dei valori di picco delle curve Leutner, si è fatto ricorso al calcolo di alcuni parametri in grado di descrivere gli andamenti delle

curve di rottura nel loro complesso. Tali parametri consentono anche di trarre indicazioni circa le effettive condizioni di resistenza del collegamento durante le diverse fasi della sua vita in esercizio.

Il primo parametro deriva dalla caratterizzazione del collegamento all'interfaccia espressa tramite il Modulo di Reazione Orizzontale (K). Sulle curve di rottura ottenute dalle prove di taglio diretto su provini doppio strato, Uzan ha calcolato i valori di (K) per uno spostamento iniziale (δ) pari a 0,13 mm. Il parametro (K) così calcolato mostra quale possa essere il comportamento resistente del collegamento alla prima somministrazione di carico tagliante quale ad esempio quella trasmessa da un mezzo pesante in frenata. Nell'analisi dei dati della sperimentazione si sono restituiti i valori di (K_s) calcolati per uno spostamento iniziale (δ) di 0,1 mm.

Il secondo parametro adottato corrisponde alla pendenza della retta secante la curva Leutner in corrispondenza del picco di rottura. In pratica, il parametro (K_{sec}) scelto è rappresentato dal rapporto tra il valore di (τ_{picco}) e quello di (Δs_{picco}). Per identificare compiutamente la posizione del picco di rottura, si sfrutta anche il valore del modulo (m) del vettore di picco che individua il massimo della curva a partire dall'origine degli assi.

Con riferimento al significato attribuibile ai parametri (K_{sec}) ed (m), in relazione alle condizioni di resistenza del collegamento in esercizio, si può ritenere che essi esprimano la risposta che il collegamento tra gli strati bituminosi offre alle applicazioni dei carichi successive alla prima. In sostanza, tali parametri forniscono una indicazione circa la capacità che il collegamento in



FIG. 4 Test dei vassoi: posa dei vassoi, superficie di stesa bagnata di emulsione e vassoio bagnato

esame ha di resistere nel tempo ai carichi orizzontali esterni.

Il quarto parametro (p) è identificato nella pendenza che la curva assume dopo il picco di rottura. Il parametro descrive la resistenza che il collegamento offre all'applicazione di carichi esterni orizzontali successivi a quello che ha determinato la rottura all'interfaccia, ossia la tendenza al distacco della porzione superiore di conglomerato dal pacchetto.

La Figura 5 rappresenta una tipica curva di rottura ottenuta da una prova di taglio Leutner ed espressa in termini di tensioni tangenziali medie. Sulla stessa sono stati identificati i quattro parametri geometrici descritti.

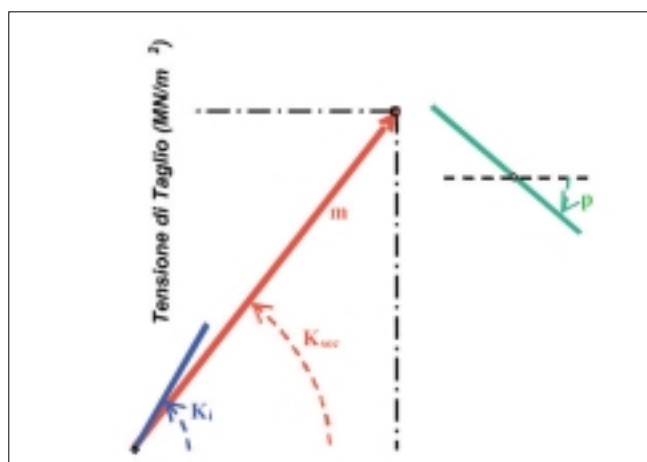


FIG. 5 Identificazione dei parametri geometrici per la caratterizzazione delle curve (τ - spostamento) ottenute

4. Conclusioni

Dall'analisi dei risultati ottenuti dai sette siti indagati, si possono trarre alcune considerazioni valide per tutta la sperimentazione condotta ed in grado di fare più luce sulle effettive condizioni di collegamento all'interfaccia tra gli strati bituminosi superficiali della pavimentazione stradale e sull'efficacia delle mani d'attacco. Le osservazioni seguenti non vogliono essere esaustive nei confronti del problema esaminato quanto, piuttosto, lasciare a chi legge utili spunti su cui avviare riflessioni e nuovi studi in proposito. Allo stesso tempo si cerca di indirizzare verso la messa a punto di nuove regole ed indicazioni circa l'impiego delle

mani d'attacco e di controlli da effettuarsi in opera ed in laboratorio legati al problema del collegamento tra gli strati bituminosi.

La prima osservazione riguarda i valori medi ottenuti dall'insieme delle curve Leutner per il parametro (K_i) che valuta le condizioni di collegamento iniziali all'interfaccia. Secondo gli studi di Uzan [2] il parametro (K) presenta una grande variabilità. In particolare, si ha la quasi certezza di distacco quando (K) scende sotto i 10 MN/m^3 e la quasi perfetta adesione quando (K) supera i 100000 MN/m^3 . Dalle curve Leutner si sono ottenuti valori di (K_i) mediamente compresi tra i 400 ed i 1100 MN/m^3 . Tali valori, seppur bassi, corrispondono a condizioni intermedie di collegamento tra gli strati e sono in linea con quanto rinvenuto in altre sperimentazioni [9].

Si osserva poi che il quantitativo ed il tipo di mano d'attacco necessari per raggiungere le migliori condizioni di collegamento tra due strati di conglomerato bituminoso, non possono essere stabiliti senza tener conto delle effettive condizioni al contorno presenti. Fattori come l'ingranamento tra i conglomerati presenti, la resistenza meccanica dei conglomerati e la compatibilità tra i bitumi del sistema, debbono fungere da base sulla quale fondare la "progettazione della mano d'attacco".

Anche questo studio, al pari di altri, ha evidenziato come l'aumento di bitume residuo sul piano di posa non corrisponda necessariamente ad un proporzionale aumento di resistenza del collegamento [9]. Occorre pertanto eseguire uno studio sul quantitativo e sul tipo di emulsione da impiegarsi al fine di evitare sprechi e migliorare l'efficacia dell'applicazione. Inoltre, con riferimento alle condizioni di resistenza del collegamento una volta sopraggiunta la rottura all'interfaccia si può ritenere che la presenza della mano d'attacco sia benefica riducendo la probabilità di distacco completo di porzioni di pavimentazione dal pacchetto stradale. Nei casi di risagomatura del piano viabile tramite posa diretta di nuovo conglomerato si è riscontrato un ruolo preponderante della macrorugosità superficiale e del conseguente ingranamento nel conferire resistenza al collegamento finale. Se non è stata applicata mano d'attacco, tale ingranamento può risultare fragile ed il collegamento complessiva-

mente debole. Al contrario, l'applicazione di legante, esalta la resistenza associata all'ingranamento. Si può pensare che il bitume della mano d'attacco svolga la funzione di legante all'interno della miscela bituminosa costituita dai due conglomerati a contatto.

Nei casi in cui la macrorugosità non sia spiccata o si verifichi la presenza di un trattamento superficiale preesistente, si suggerisce di evitare la posa diretta del nuovo conglomerato, anche se con quantitativi considerevoli di mano d'attacco.

Si ritiene più proficuo un intervento di scarifica superficiale che non solo elimini la presenza di eventuali interfacce deboli al di sotto del piano di posa, ma che generi una maggiore possibilità di ingranamento tra i due strati adiacenti. Si è infatti riscontrata una elevata resistenza dei collegamenti realizzati su piani di posa fresati. L'ingranamento offerto dalle irregolarità del piano di posa è notevole, soprattutto se coadiuvato dalla presenza di una buona mano d'attacco. Tuttavia, si è visto che aumenti notevoli di legante residuo non corrispondono ad altrettanti contributi alla resistenza del collegamento. Ciò è dovuto alla prevalenza del contributo dell'ingranamento sulla resistenza rispetto a quello della mano d'attacco. Si può anche pensare che, in tali casi, la mano d'attacco sia necessaria per ripristinare le percentuali di bitume superficiale asportate con la scarifica.

Si è parlato dell'effetto controproducente che una applicazione eccessiva di mano d'attacco può avere sulla resistenza del collegamento e del fatto che esista un valore ottimale di legante residuo da applicare oltre il quale o non si hanno effetti benefici giustificabili, soprattutto nel caso di posa su conglomerato di nuova realizzazione. Ciò è legato alla presenza di un binder "giovane", con un bitume ancora attivo ed in grado di fungere da legante nei confronti del conglomerato superficiale. La discontinuità tende ad essere cancellata, soprattutto se la compattazione favorisce la compenetrazione tra le due miscele. Si può pensare che vi sia una analogia tra il comportamento resistente del conglomerato creatosi all'interfaccia al variare del quantitativo di mano d'attacco ed il comportamento di un conglomerato tradizionale valutato con la prova Marshall al variare della percentuale di bitume. Pertanto, nella valutazione dei quantitativi di

mano d'attacco per i casi di stesa su conglomerato nuovo è opportuno considerare anche le percentuali di legante presenti nelle due miscele bituminose a contatto.

L'impiego di emulsioni modificate ha mostrato la sua efficacia sia su "binder" nuovo, sia su "usura" esistente. In alcuni casi i valori di resistenza a rottura sono triplicati. Gli andamenti delle curve post-rottura hanno mostrato notevoli riserve di resistenza residue, anche per elevati scorrimenti. L'adozione di emulsioni modificate tuttavia rende spesso necessaria l'applicazione di materiali di distacco per evitarne l'asportazione da parte dei mezzi di cantiere. Tale materiale deve avere caratteristiche tali da non compromettere l'adesione del bitume residuo al nuovo conglomerato posato o ancor peggio l'insufficiente compattazione del conglomerato superficiale. Nel caso di impiego di emulsioni normali è da preferirsi quello di bitumi a bassa penetrazione rispetto a quello di emulsioni con bitume a penetrazioni superiori ai 160 dmm. Le ragioni sono legate alla compatibilità del bitume residuo dall'emulsione con i bitumi delle miscele di strato, aventi in genere, penetrazioni medie. Il fenomeno della "scomparsa della mano d'attacco" è tipico nel caso di impiego di emulsioni di bitume morbido.

Alla luce di quanto finora concluso e dell'importanza attribuibile al collegamento tra gli strati del pacchetto stradale è lecito richiedere una progettazione mirata della mano d'attacco a seconda di ciascun caso applicativo; non ci si deve limitare quindi a fornire tipi e quantitativi di legante predefiniti o valori minimi assoluti di resistenza del collegamento, ma occorre sviluppare una metodologia prestazionale di progetto e verifica delle mani d'attacco in grado di valutare gli effettivi quantitativi di legante necessari per ciascuna applicazione.

I punti di una siffatta metodologia che adotti l'utilizzo combinato di un compattatore col quale produrre provini doppio strato e del dispositivo Leutner o di una qualsiasi dispositivo a taglio diretto sono descritti tra le conclusioni maturate dalla sperimentazione oggetto dello studio [10].

Si è poi trattato della particolare configurazione che si sviluppa all'interfaccia tra due conglomerati bituminosi a contatto in presenza di mano d'attacco; il conglome- ➤

merato bituminoso misto che si crea nello straterello di collegamento all'interfaccia, ha lo stesso comportamento resistente di un conglomerato di strato e per questo motivo si presume possa risentire anch'esso del quantitativo di legante, o di leganti, che lo interessano. Ecco che, alla stregua della nota metodologia Marshall, si ritiene plausibile l'individuazione di un tipo e di un quantitativo ottimale di mano d'attacco da impiegarsi a seconda di ciascuno specifico intervento manutentivo. La "metodologia" citata a cui si rimanda, può essere impiegata nello studio di tutte le interfacce bituminose presenti nel pacchetto stradale, sia esso in fase di nuova realizzazione o sottoposto ad un intervento

manutentivo superficiale o profondo e prevede due fasi distinte e consecutive: una prima fase di progetto ed una seconda fase di verifica.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione e la disponibilità prestata nella realizzazione del presente lavoro il Sig. Fabio Capanelli responsabile tecnico della Valli-Zabban, l'Ing. Gabriele Cesari, l'Ing. Annalisa Bonini e l'Ing. Pietro Luminasi della Provincia di Bologna, i tecnici del Laboratorio del DISTART-Strade e l'Ing. Marco Ferretti. ■

Bibliografia

- [1] SETRA/DTC, "Le décollement des Couches de Revêtement de Chaussées", Information Note n° 25, SETRA, 1986.
- [2] Uzan, J., Livneh, M., Eshed, Y., "Investigation of adhesion properties between asphalt concrete layers", Proc. AATP, Vol.47, 495-521, 1978.
- [3] Goodman R. E., Taylor R. L., Brekke T. L., "A Model for the Mechanics of Jointed Rock", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol.94, May, pp.637-658, 1968.
- [4] Collop A.C., Thom N.H., Sangiorgi C., "Assessment of Bond Condition Using the Leutner Shear Test", ICE Journal of Transportation, UK, 12/2002.
- [5] Leutner R., "Untersuchungen des Schichtenverbundes beim Bituminosen Oberbau", Bitumen 3, pp. 84-91, Heft, 3/1979.
- [6] 2312-1999: Asphalt Prüfung-ALP A-Stb Teil 4, Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner.
- [7] SN 671961: Enrobés bitumneux ; Determinacion de la liaison entre les couches, 2000.
- [8] SN 640430: Enrobés bitumneux Compactés: Conception, exécution, exigences pour les couches en place, 2004
- [9] Canestrari F., Ferrotti G., Santagata E., Santagata F.A., "Interpretazione del ruolo delle mani d'attacco nelle pavimentazioni flessibili", Rapporto finale CIRS, Workshop Bitem, Giachino Bitumi S.p.A., Valli-Zabban S.p.A., Asphaltica 2003.
- [10] Sangiorgi C., "Analisi Sperimentale e Teorica dei meccanismi di collegamento con leganti bituminosi degli strati di conglomerato bituminoso delle pavimentazioni stradali", Tesi di Dottorato in Ingegneria dei Trasporti XVI Ciclo, Università di Bologna, Marzo 2004.