

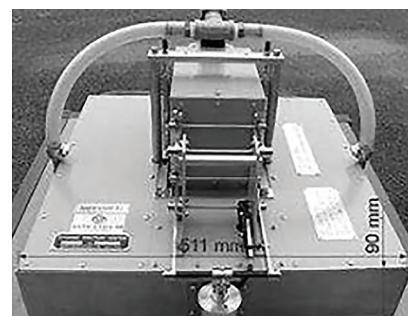
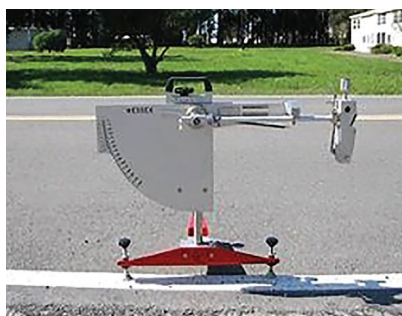
UN CONCRETO STRUMENTO PROGETTUALE PER L'ADERENZA DELLE PAVIMENTAZIONI

**UN APPROCCIO SPERIMENTALE PER LA PREVISIONE DELL'ADERENZA
A LUNGO TERMINE DI CONGLOMERATI BITUMINOSI PER TAPPETI DI USURA**

L'esecuzione dei lavori stradali, come di tutte le opere pubbliche, presuppone una progettazione esecutiva che deve definire e precisare - anche per mezzo del Capitolato Speciale d'Appalto (C.S.A.) - le lavorazioni necessarie per dare l'opera compiuta a perfetta regola d'arte secondo le esigenze rappresentate dalla Stazione Appaltante. All'interno del C.S.A., le Norme tecniche possono avere un'impostazione variabile tra prescrittive e prestazionali.

Le prime guidano l'Impresa esecutrice in maniera piuttosto rigida lungo tutto il percorso che porta dalla scelta dei materiali alla loro messa in opera, le seconde fanno riferimento alle prestazioni che l'opera dovrà garantire al termine della sua realizzazione. Tali prestazioni vengono associate a parametri di controllo che possono essere valutati a prescindere dai materiali impiegati e dalle tecniche di lavorazione.

Ne deriva che, per essere pienamente efficaci, le Norme Tecniche prestazionali devono basarsi su grandezze di assoluta affidabilità, inequivocabilmente legate alle prestazioni finali. In tale

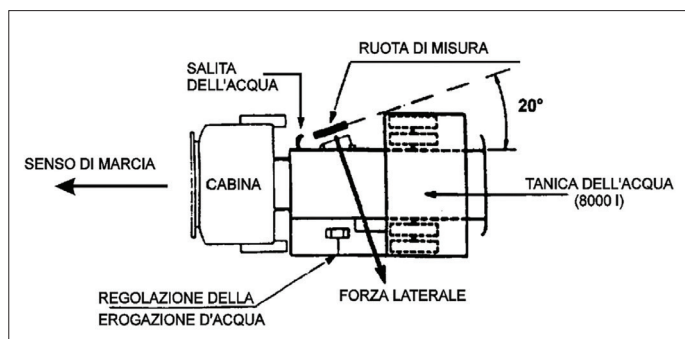


2A e 2B. I sistemi di misura puntuali: il British Pendulum Tester (2A) e il Dynamic Friction Tester (DFT - 2B)

contesto è da privilegiare l'impiego di grandezze derivanti da prove simulative in scala reale e/o da prove di tipo razionale a scapito di quello empirico.

Se da una parte, in relazione alle prestazioni strutturali di una pavimentazione, esiste una serie numerosa di test simulativi di laboratorio che possono guidare, congiuntamente all'applicazione di modelli di calcolo appropriati, le scelte progettuali finalizzate al raggiungimento di un dato obiettivo prestazionale, per le prestazioni funzionali, in particolar modo di aderenza, si rimanda esclusivamente a parametri indirettamente correlati con la stessa: la natura petrografica e la resistenza alla levigabilità degli aggregati, la macrotestatura della miscela, il suo assetto volumetrico e compositivo.

Emerge dunque la necessità di poter eseguire un test di laboratorio che possa misurare, nella fase di progettazione della miscela, direttamente la caratteristica di aderenza di un conglomerato bituminoso, ma soprattutto che possa misurare la sua evoluzione nel tempo al fine di determinarne la durabilità con l'evidente vantaggio di orientare il mix design verso l'ottimizzazione delle caratteristiche, non solo volumetriche, meccaniche e prestazionali strutturali ma anche funzionali.



1. L'apparecchiatura SCRIM per la misura del CAT

Il presente articolo descrive un particolare approccio sperimentale messo a punto dallo Staff e dalla Direzione Ricerca e Sviluppo del laboratorio STS Mobile.

La metodologia sviluppata permette di misurare il valore di attrito radente offerto da un campione di conglomerato bituminoso nelle condizioni iniziali (tappeto di usura appena posato), di aderenza massima (tappeto di usura con il totale contributo all'aderenza della microtestatura dei suoi aggregati che hanno perso la pellicola di bitume di rivestimento) e a lungo termine (tappeto di usura in cui gli aggregati hanno subito un processo di levigatura rappresentativo dell'azione del traffico veicolare).

I METODI DI MISURA E DI PREVISIONE DELL'ADERENZA SUPERFICIALE

La misura dell'aderenza superficiale non è di semplice esecuzione in quanto le forze in gioco risultano sensibili a una moltitudine di fattori non controllabili (temperatura, chimica dei materiali, composizione dello pneumatico, proprietà degli eventuali agenti contaminanti, ecc. [1 e 2]).

Ad oggi risultano disponibili diversi metodi di misura dell'aderenza che si dividono principalmente in sistemi di misura continui, ovvero installati su mezzi gommati o carrelli/rimorchi, e sistemi di misura puntuali che permettono rilevazioni in un singolo punto della pavimentazione.

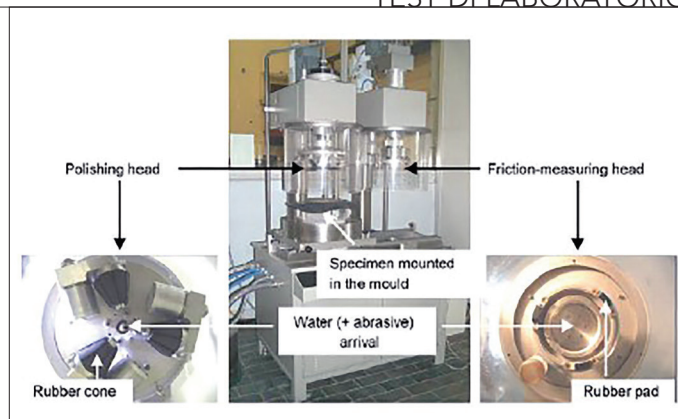
La prima casistica si divide a sua volta in sistemi di misura dell'aderenza longitudinale (LFC - Longitudinal Friction Coefficient) e dell'aderenza trasversale (CAT - Coefficiente di Aderenza Trasversale o SFC - Sideway Friction Coefficient). Per quanto riguarda la rete stradale e autostradale italiana, la misurazione dell'aderenza in fase di accettazione dell'opera e di monitoraggio manutentivo riguarda la componente trasversale, ovvero il CAT o l'SFC.

La misura del CAT avviene tramite uno pneumatico indipendente installato con un certo angolo rispetto la direzione di moto del mezzo trainante (angolo di scivolamento θ).

L'angolo di scivolamento provoca attrito tra lo pneumatico e la pavimentazione: la forza risultante viene registrata e il coefficiente di aderenza trasversale (CAT o SFC) viene espresso come il rapporto tra la forza tangenziale normale al piano della ruota F_a e il carico verticale sullo pneumatico P :

$$CAT_{S=v\sin\theta} = \frac{F_a}{P} \quad (1)$$

L'apparecchiatura SCRIM (Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine) consente la rilevazione sistematica delle caratteristiche di aderenza trasversale di un manto stradale in presenza d'acqua (Figura 1). Un complesso sistema di ammortizzazione permette alla ruota di mantenere un contatto assolutamente continuo con la superficie della pavimentazione. Lo SCRIM presenta l'inconveniente di far riferimento a valori di aderenza che si discostano da quelli che si avrebbero considerando l'effettivo assetto del veicolo, soprattutto nel caso di traiettorie curvilinee. Inoltre, essendo l'angolo di deriva disallineato rispetto alla direzione di moto del veicolo, lo pneumatico di prova può essere facilmente soggetto a errori e/o danneggiamenti a causa delle irregolarità della pavimentazione, come fessurazioni o buche [3].



3. La macchina di Wehner-Schulze [7]

I sistemi di misura dell'aderenza puntuali possono essere usati sia in sito che in laboratorio su lastre realizzate con compattatori a piastra: in sito garantiscono risultati dettagliati sulla variabilità spaziale dell'aderenza superficiale della pavimentazione, in laboratorio offrono una rappresentazione della prestazione nelle specifiche condizioni di prova. Tali strumenti utilizzano tasselli di gomma come simulazione dello pneumatico, i quali vengono installati in fondo a un pendolo (British Pendulum Tester o Skid Tester - UNI EN 13036-4) o a un'apparecchiatura rotante (Dynamic Friction Tester, DFT - ASTM E1911) (Figure 2A e 2B). A seconda della procedura utilizzata, tali tasselli rallentano il loro moto in contatto con la pavimentazione (o parte di essa, nel caso del laboratorio), restituendo il valore di attrito. I principali vantaggi di questi metodi consistono nella portabilità e semplicità. Sono particolarmente utili nelle ricerche di laboratorio per lo studio di superfici resistenti allo scivolamento e sono di interesse per il tecnico stradale al fine di valutare l'aderenza nei punti di potenziale incidentalità [4, 5 e 6].

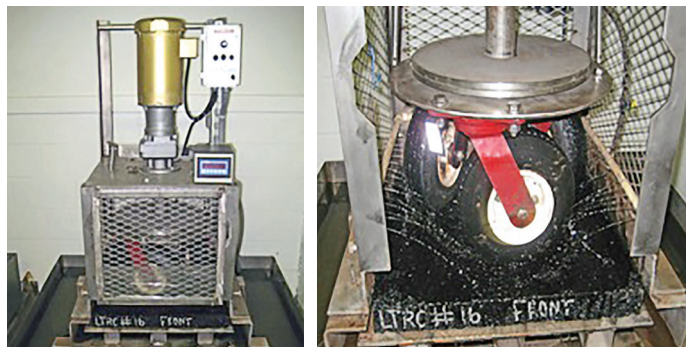
Lo skid tester presenta il grosso limite di basarsi su una specifica simulazione (pneumatico che slitta alla velocità di 50 km/ora), lasciando fuori gran parte delle situazioni di rischio potenzialmente verificabili a velocità più elevate.

Le metodologie presentate riguardano evidentemente una misurazione puntuale o continua, in sito o di laboratorio di valori di attrito offerto dal conglomerato bituminoso in una particolare condizione coincidente con lo stato in cui esso si trova e non offrono valutazioni sui processi evolutivi o previsionali a lungo termine del parametro misurato.

Esistono anche metodi standardizzati che prevedono la levigatura (polishing) del conglomerato bituminoso e la successiva misura del valore di attrito offerto, questa volta indicativo delle prestazioni a lungo termine (previsione).

Uno dei metodi standardizzati, presenti in letteratura per la procedura di levigatura del materiale e la successiva determinazione dell'attrito (in questo caso volvente), prevede l'utilizzo della macchina di Wehner-Schulze (Figura 3).

Essa è composta da due testine, la prima per simulare il polishing (levigatura) e la seconda per la misura dell'aderenza. I campioni, di forma circolare di diametro 22,5 cm, possono essere ricavati dalla superficie della pavimentazione o da lastre create appositamente in laboratorio. L'azione pulente di "levigatura" viene eseguita da tre coni di gomma, montati su un disco rotante, che rotolano sulla superficie del campione. La rotazione è pari a 500 giri/min. corrispondente ad una velo-



4A e 4B. Il Three-Wheel Polishing Device (TWPD) [8]

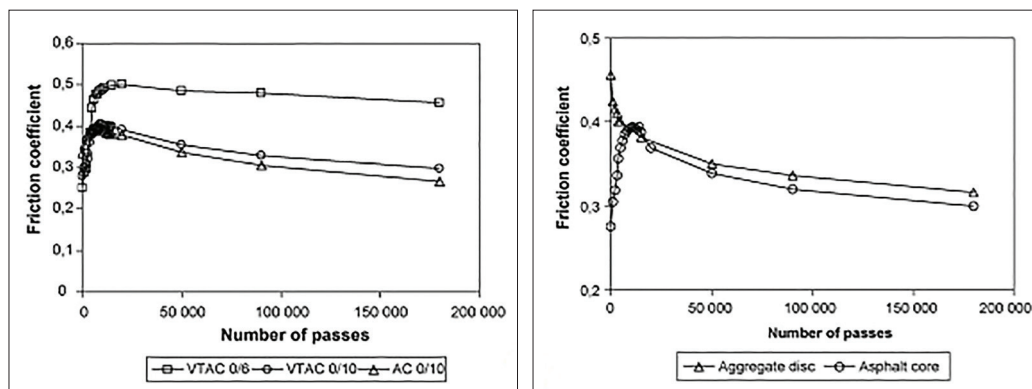
cià lineare di 17 km/ora. La pressione di contatto tra i coni e la superficie del provino è pari a 0,4 N/mm².

Una seconda metodologia, sviluppata dal National Center for Asphalt Technology (NCAT), prevede l'utilizzo di una polishing machine a tre pneumatici, three-wheel polishing device (TWPD) (Figure 4A e 4B) [8]. La TWPD procede alla levigatura di una porzione di pavimentazione (o lastra compattata in laboratorio di dimensioni 50x50) tramite moto circolare, con un diametro medio di 280 mm. Il carico verticale applicato durante il test è di circa 467 N e la pressione dello pneumatico è fissa a 3,4 bar. Durante la levigatura, un flusso d'acqua continuo viene spruzzato per simulare la misura su pavimentazione bagnata. Si tratta di una metodologia di abrasione che consente, con successive misure puntuali di attrito, di valutare la variazione nel tempo della prestazione indagata.

Alcuni studi hanno correlato il numero di cicli delle suddette apparecchiature all'andamento dell'aderenza superficiale. Ad esempio, tramite l'utilizzo della Wehner-Schulze, è stato osservato che il massimo dell'aderenza su campioni di conglomerato bituminoso viene raggiunto tra i 5.000 e i 20.000 cicli, in relazione allo spessore di pellicola di bitume superficiale (numero maggiore di cicli necessari per una pellicola più spessa).

Allo stesso tempo è stato mostrato come dopo il raggiungimento del picco di aderenza, l'andamento dell'attrito sia strettamente correlato agli aggregati (effetto della microtessitura) (Figure 5A e 5B) [9].

Risultati simili sono stati ottenuti utilizzando la TWPD, dove il picco di aderenza è stato rilevato tra 5.000 e 10.000 cicli [10].



5A e 5B. Il coefficiente d'attrito nel tempo: i diversi materiali a confronto (5A) e la prova eseguita su carota in sito e campione di aggregati (5B) [9]

LA PROPOSTA DI UNA PROCEDURA SPERIMENTALE DI PREVISIONE DELL'ADERENZA

I metodi di previsione dell'aderenza devono basarsi sulle seguenti fasi:

- lo spogliamento del legante bituminoso dalla superficie del materiale di prova;
- il polishing dello strato superficiale del conglomerato bituminoso;
- la misurazione del valore di attrito.

Il nuovo protocollo sperimentale si basa su un processo di spogliamento del legante bituminoso, ottenuto con una combinazione di azioni chimica-meccanica necessaria per la rimozione della pellicola di bitume che riveste la miscela di aggregati, su una simulazione della "levigatura", eseguita mediante la polishing machine utilizzata per il PSV Test - Polished Stone Value Test (UNI EN 1097-8) (Figura 6), e sulla successiva determinazione dell'attrito radente mediante Skid Test (Figura 7).

La valutazione dell'aderenza del conglomerato bituminoso viene condotta con lo scopo di verificarne l'evoluzione nel tempo in funzione dello stato in cui il conglomerato stesso si trova in opera, ovvero:

- aderenza iniziale: condizione di aderenza senza passaggio del traffico (conglomerato bituminoso appena posato, superficie di rotolamento caratterizzata da aggregati ricoperti da una pellicola di legante bituminoso, aderenza indipendente dalla microtessitura degli aggregati e dalla loro resistenza alla levigatura);
- massima aderenza: condizione di spogliamento dell'aggregato dal legante bituminoso di ricoprimento superficiale (aderenza dipendente anche dalla microtessitura degli aggregati);
- aderenza finale: condizione finale di aderenza dopo lo spogliamento



6. La polishing machine



7. Lo skid tester

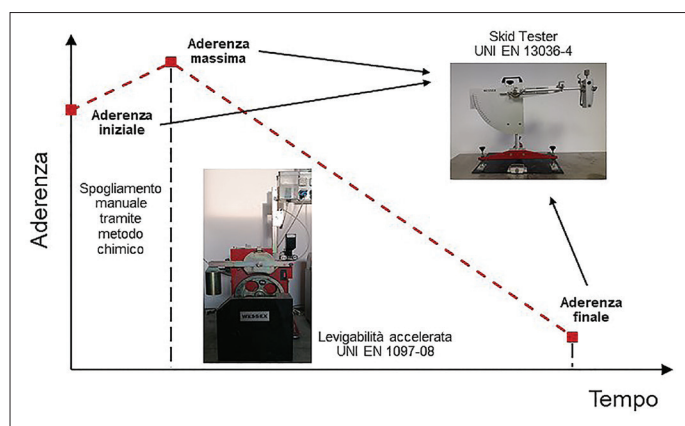
e la levigatura dell'aggregato superficiale (aderenza dipendente anche dalla microtessitura degli aggregati e dalla loro resistenza alla levigabilità).

Tale procedura restituisce una valutazione dell'andamento del valore di attrito radente nel tempo relativo al materiale investigato. L'esempio riportato in Figura 8 può essere ragionevolmente considerato paragonabile con il classico modello teorico di aderenza nel tempo (Figura 9).

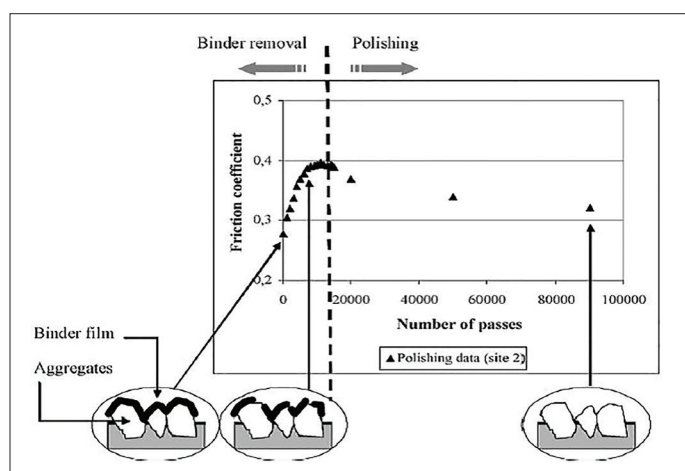
In particolare, ricordiamo come l'aderenza offerta da una pavimentazione aumenti all'aumentare dello spogliamento degli aggregati dalla pellicola di bitume di rivestimento a causa del crescente contributo della microtessitura.

A seguito della tendenza alla levigazione, il contributo della microtessitura si riduce fino ad un minimo che dipende da altre variabili tra cui:

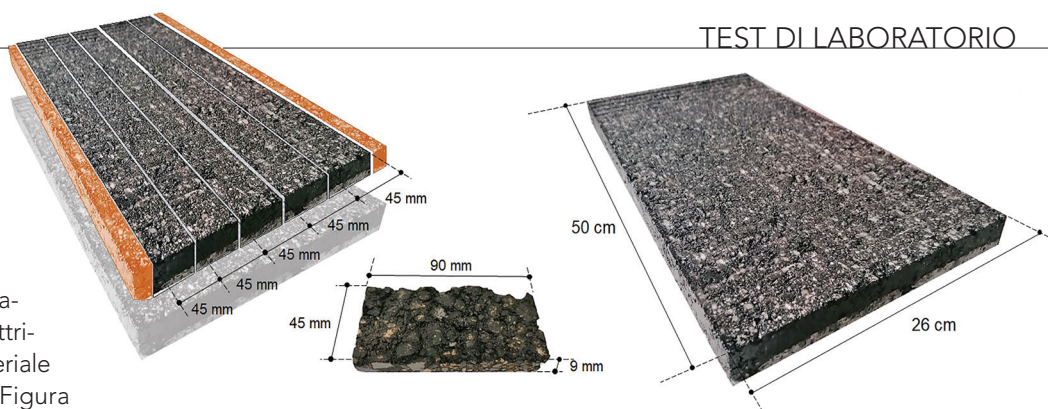
- le caratteristiche superficiali della pavimentazione (macrotesitura, megatesitura, temperatura, proprietà dei materiali);
- le proprietà dello pneumatico (disegno del battistrada e le sue condizioni, composizione e durezza della gomma, temperatura, carico, pressione di gonfiaggio);



8. Lo schema riassuntivo del protocollo sperimentale proposto



9. Il modello evolutivo dell'aderenza di una pavimentazione [11]



10A e 10B. Il confezionamento della lastra (10A) e la serie di provini ricavati dalle lastre mediante sega circolare (10B)

- i parametri operativi del veicolo (velocità di scorrimento, velocità del veicolo, azione frenante, manovre di guida, svolta, sorpasso);
- i fattori ambientali (fattori climatici, vento, temperatura, acqua, neve e ghiaccio, contaminanti, sporco, fango e detriti, materiali antiscivolo come sale e sabbia) [11].

La preparazione dei provini

Vengono realizzate lastre compattate in accordo alla UNI EN 12697-33, di dimensioni 26x50 cm con le caratteristiche volumetriche desiderate: da ciascuna si ricavano, mediante sega circolare, cinque travetti da cui si ottiene una serie di 14 provini di dimensioni 45x90x9 mm da sottoporre alle successive determinazioni sperimentali (Figure 10A e 10B).

Il numero di provini realizzati per ciascuna lastra è rappresenta-



11A e 11B. Le fasi di riscaldamento dei provini in conglomerato bituminoso (11A) e di deformazione del provino per ottenere la forma ricurva (11B)



12A e 12B. Provini modellati con resina

tivo di circa l'80% dell'intera superficie; dunque, gli stessi sono rappresentativi delle generali caratteristiche di microtessitura e macrotessitura superficiale del conglomerato bituminoso in analisi. I tasselli così ottenuti dalla lastra vengono riscaldati in forno a 50 °C, il tempo minimo necessario (almeno 30') per poterli modellare a forma ricurva, adeguata ai supporti di prova per lo Skid tester e/o la Polishing machine (Figure 11A e 11B), senza che gli stessi si lesionino.

Una volta raffreddati i tasselli, viene applicata una resina bi-componente a presa rapida in modo da completare la configurazione necessaria (Figure 12A e 12B).

La quantità di resina da applicare deve essere necessaria a riempire tutti i vuoti presenti all'interfaccia con il conglomerato, in modo da non costituire punti di discontinuità che potrebbero provocare la rottura del tassello in fase di prova.

La misurazione dell'aderenza iniziale a 20 °C

Nella condizione iniziale di aderenza, ovvero nel caso di conglomerato bituminoso posto in opera e non ancora soggetto a traffico veicolare, le variabili in gioco sono tutte dipendenti dalle caratteristiche intrinseche della miscela ad eccezione della temperatura, unico parametro definito e fissato a 20 °C. I rilevamenti in condizioni iniziali vengono eseguiti sia sulla lastra confezionata, determinando una media di 14 misurazioni, uniformemente distribuite sulla superficie, sia su ciascuno dei 14 provini a forma ricurva in condizioni iniziali, riportando i due valori medi.

La misurazione sulla lastra viene eseguita dunque a 20 °C con lo slider grande (larghezza 76,2±0,5 mm, lunghezza 25,4±1,0 mm, spessore 6,35±0,5 mm), viene rilevata sulla scala grande dello skid tester e corrisponde al parametro PTV (Pendulum Test Value) in accordo alla Norma UNI EN 13036-4.

La misurazione eseguita su ciascuno dei 14 provini ricurvi viene eseguita a 20 °C con lo slider piccolo (larghezza 31,75±0,50 mm, lunghezza 25,40±1,0 mm, spessore 6,35±0,50 mm), viene rilevata sulla scala piccola dello skid tester e corrisponde alla determinazione della forza di attrito radente iniziale offerta dal campione analizzato, correlata alla sua aderenza caratte-

ristica iniziale. Il provino viene contrassegnato frontalmente all'alloggiamento del pendolo in modo da eseguire tutte le misure successive nello stesso verso (Figure 13).

La singola misurazione viene eseguita in accordo alla Norma UNI EN 13036-4 con cinque ripetizioni di misura per ciascuno dei 14 tasselli determinandone la media delle ultime tre letture di ogni provino indagato.

Si determinano così i seguenti parametri:

- PTV_i = PTV medio di 14 punti di misura sulla lastra in condizioni iniziali;
- AR_i = Attrito Radente medio su 14 provini ricurvi in condizioni iniziali;
- PTV_i / AR_i = Coefficiente di correlazione delle condizioni iniziali.

La misurazione dell'aderenza massima a 20 °C

La misurazione viene eseguita su provini sottoposti a spogliamento della superficie mediante trattamento chimico abrasivo che simula l'effetto del traffico, mettendo quindi in gioco il contributo della microtessitura degli aggregati. Lo spogliamento chimico degli aggregati viene eseguito su ciascuno dei 14 provini ricurvi mediante solvente, combinando azione chimica e meccanica, con l'utilizzo di un panno di cotone imbevuto, fino alla completa rimozione superficiale del legante bituminoso.

L'azione abrasiva di spogliamento su ciascun provino ricurvo viene controllata con misurazioni ripetute della forza di attrito radente offerta, ovvero può ritenersi conclusa con il raggiungimento di un valore massimo costante.

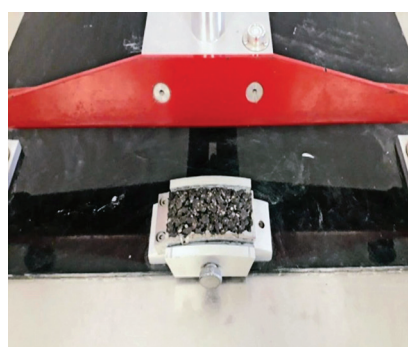
L'azione di spogliamento non deve comunque comportare la rimozione di particelle di aggregati che altererebbe la tessitura del provino. La misurazione su ciascuno dei 14 provini ricurvi



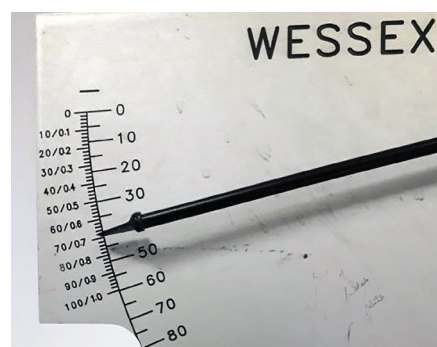
13. Il provino installato su pendolo con segno frontale



16. La condizione iniziale (a sinistra) e massima (spogliamento - a destra) del provino



14A e 14B. La determinazione di aderenza su lastra in conglomerato bituminoso (14A) e su provino ricurvo (14B)



15. Le letture eseguite sulle due scale dello skid tester

viene eseguita a 20 °C con lo slider piccolo, viene rilevata sulla scala piccola dello skid tester e corrisponde alla determinazione della forza di attrito radente massima offerta dal campione analizzato, correlata alla sua aderenza caratteristica massima. Si determina così il seguente parametro:

AR_{max} = Attrito Radente medio su 14 provini ricurvi in condizioni di massima aderenza.

Il polishing e la misurazione dell'aderenza finale a 20 °C

La condizione finale di aderenza è rappresentata dalle caratteristiche di attrito radente dei provini sottoposti a spogliamento della superficie dal legante bituminoso e successivo trattamento di levigatura mediante polishing machine (Figura 17), in accordo alla EN 1097-8.

I 14 provini di ciascun materiale investigato devono essere alloggiati con il segno precedentemente apposto rivolto verso l'interno dell'apparecchiatura. Questo permette di avere una misura dell'attrito coerente con l'azione di levigatura esercitata dallo pneumatico della polishing machine.

Il polishing viene eseguito a 20 °C secondo la procedura riportata dalla UNI EN 1097-8. I provini vengono successivamente rimossi e lavati con acqua in modo da rimuovere le particelle contaminanti dovute al trattamento. Qualora durante il trattamento qualche provino risultasse rotto o fortemente danneggiato, questo dovrà essere escluso dalla valutazione sperimentale del materiale investigato.

La misurazione su ciascuno dei 14 provini ricurvi viene eseguita a 20 °C con lo slider piccolo, viene rilevata sulla scala piccola dello skid tester e corrisponde alla determinazione della forza di attrito radente finale offerta dal campione analizzato, correlata alla sua aderenza caratteristica finale.

Si determina così il seguente parametro:

- AR_{finale} = Attrito Radente medio su 14 provini ricurvi in condizioni di aderenza finale;
- perdita di attrito radente post-polishing = $100 * (AR_{max} - AR_{finale}) / AR_{max}$.

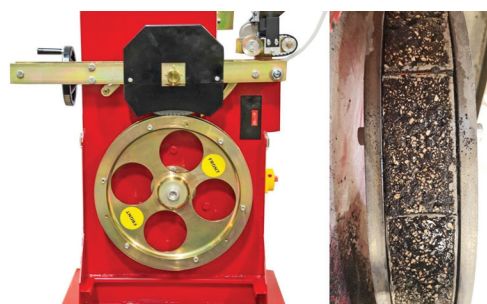
Considerazioni sulla scelta metodologica

Poiché il passaggio dalla condizione di aderenza iniziale a quella massima dipende da numerose variabili (il dosaggio e la gradazione del bitume, l'affinità bitume-aggregato, la temperatura media di esercizio, le condizioni di traffico), la scelta metodologica di optare per uno spogliamento chimico-meccanico per simularlo si è resa necessaria poiché l'utilizzo della polishing machine ha mostrato appunto la netta dipendenza dello spogliamento da dette variabili.

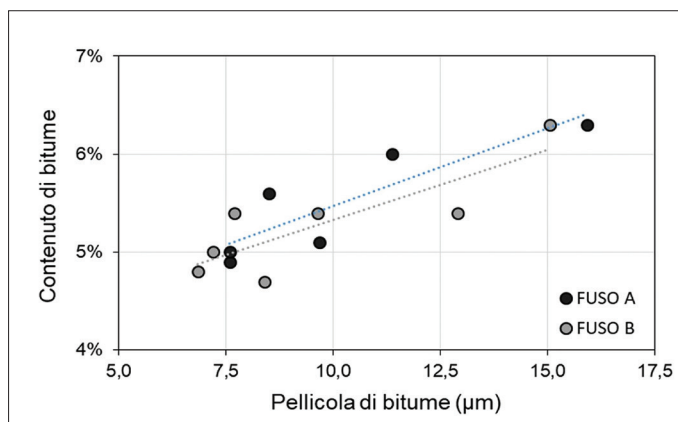
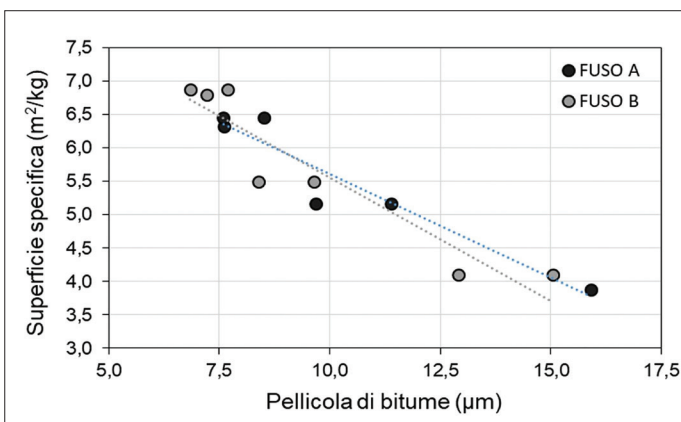
A tal proposito, brevemente si riportano alcuni dati sperimentali desunti su miscele in conglomerato bituminoso di Usura Anas tipo A e B (variamente dosate con bitumi tal quale 50/70 e modificato 45-80/70 e con differente tenore dei vuoti residui) in cui si evidenzia come la pellicola di bitume sia correlata in maniera quasi lineare alla superficie specifica della curva granulometrica e al contenuto di bitume. In particolare, la pellicola di bitume aumenta con l'aumentare del contenuto di bitume e diminuisce con l'aumentare della superficie specifica (Figure 18A e 18B).

Avendo verificato tale dipendenza, si è riscontrato come un maggior spessore della pellicola di bitume porti a un aumento del numero di cicli di polishing machine necessari a raggiungere l'aderenza massima (Figure 19A e 19B). I dati mostrano anche che all'aumentare della temperatura (da 15 °C a 30 °C) incrementa il numero di cicli necessari per giungere alla condizione di massima aderenza, così come per il passaggio da bitume tal quale 50/70 a bitume modificato 45-80/70 (Figure 19A e 19B).

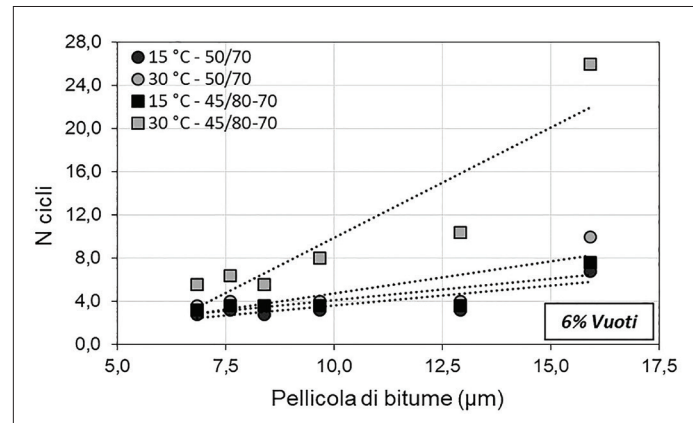
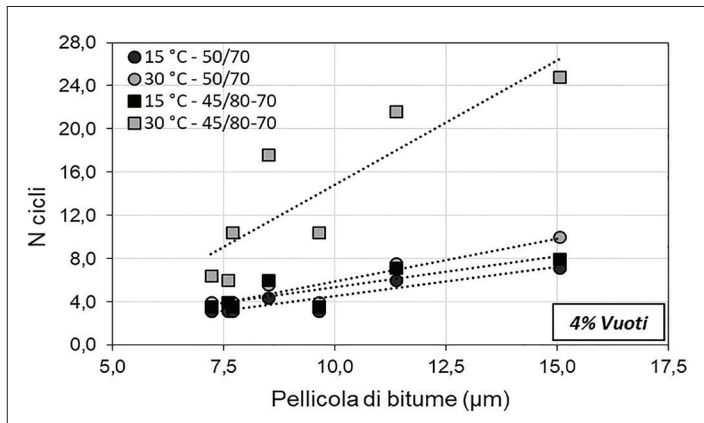
Dunque, si è ritenuto più opportuno optare per una azione chimica e meccanica per riportare direttamente i campioni analizzati alla condizione di massima aderenza, eliminando una serie importante di variabili in gioco. Inoltre, si è ritenuto più cautelativo eseguire tutte le fasi sperimentali in ambiente termicamente controllato, per cui il British Pendulum, la Polishing Machine e i singoli campioni devono essere alloggiati in una camera climatizzata con controllo della temperatura, al fine



17. L'alloggiamento dei provini nella polishing machine



18A e 18B. La correlazione tra pellicola di bitume (18A) e superficie specifica (18B)



19A e 19B. La correlazione tra pellicola di bitume (19A) e numero di cicli (19B)

MIX	SABBIA NATURALE	BASALTO NATURALE 4/8	CALCARE 4/8	CALCARE 8/12	FRESATO	FILLER
Tappeto ANAS Tipo B	45,0%	40,0%			13,0%	2,0%
Tappeto con inerti calcarei	45,0%		33,0%	7,0%	13,0%	2,0%

20. Il proporzionamento degli inerti nei conglomerati bituminosi prodotti

di poter adeguatamente condizionare ogni elemento in tutte le fasi di rilevamento sperimentale. Relativamente alle condizioni di aderenza finale, determinate con misure di attrito radente su provini sottoposti a un ciclo di polishing, è stata valutata l'opportunità di rendere più severo il trattamento di levigatura con esecuzione di più cicli completi ripetuti, ma tale approccio non ha confermato ulteriori riduzioni dell'attrito radente rilevato.

UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL PROTOCOLLO SPERIMENTALE

Si riporta un esempio di applicazione del metodo sperimentale applicato su due conglomerati bituminosi per strato di usura (Figura 20).

Le due miscele sono state realizzate utilizzando la stessa procedura di mescolazione e compattazione in laboratorio. I provini sono stati preparati in accordo alla procedura descritta.

Il tappeto ANAS Tipo B mostra valori di attrito radente sempre maggiori rispetto allo stesso tappeto prodotto con inerti calcarei, evidenziando il contributo della graniglia basaltica in termini di aderenza massima e finale. Inoltre, la perdita di attrito dovuta al polishing degli inerti è maggiore per il tappeto contenente calcare, sottolineando la maggior sensibilità di quest'ultimo all'azione abrasiva degli pneumatici.

I risultati illustrati possono essere considerati in linea con le proprietà degli inerti utilizzati: è ragionevole aspettarsi che l'utilizzo di inerti basaltici conferisca migliori proprietà di attrito in condizioni di aderenza massima e finale.

CONCLUSIONI

La procedura sperimentale proposta, con la necessità di un doveroso processo di validazione statistica, rappresenta un concreto strumento progettuale che può fornire le necessarie indicazioni per un controllo delle caratteristiche funzionali di aderenza delle pavimentazioni già in fase di mix design dei conglomerati bituminosi per strato di usura.

Le informazioni da essa derivate sono rappresentative delle caratteristiche intrinseche delle miscele testate, dunque hanno una valenza di previsione prestazionale nell'ottica del confronto tra diversi materiali. La prestazione rilevabile in opera con misure puntuali o in continuo sarà sicuramente correlata al dato sperimentale proposto a meno delle numerose variabili che influenza-

VALORE RILEVATO	TAPPETO ANAS TIPO B	TAPPETO CON INERTI CALCAREI
PTV medio in condizioni iniziali - PTV _i	63	62
Attrito radente medio su 14 tasselli in condizioni iniziali - AR _i	61	58
Coefficiente di correlazione delle condizioni iniziali - PTV _i /AR _i	1,03	1,07
Attrito radente medio su 14 tasselli in condizioni di aderenza massima - AR _{max}	66	65
Attrito radente medio su 14 tasselli in condizioni finali - AR _{finale}	43	37
Perdita di attrito radente post-polishing	35%	43%
Stima PTV a lungo termine tappeto ANAS Tipo B = AR _{finale} * 1,03	44	
Stima PTV a lungo termine tappeto con inerti calcarei = AR _{finale} * 1,06		40

21. I risultati sperimentali delle miscele investigate

no l'aderenza (condizioni di traffico, sostanze contaminanti, ecc.). Su tali variabili spesso non è possibile attuare alcun processo di ottimizzazione progettuale se non ricercato nella massimizzazione dell'intrinseca prestazione di aderenza, per la quale il metodo sperimentale proposto risulta valido supporto. Si rimanda a pubblicazioni successive la presentazione di alcuni

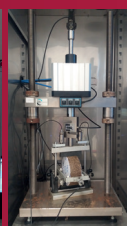
dati sperimentali applicati a varie tipologie di conglomerati bituminosi di usura. ■

⁽¹⁾ *Ingegnere, Direttore Ricerca e Sviluppo della STS Mobile Srl*

⁽²⁾ *Ingegnere, Responsabile Ricerca e Sviluppo della STS Mobile Srl*

Bibliografia

- [1]. J.R. Hosking - "Aggregates for skid-resistant roads", Crowthorne, UK: Transport and Road Research Laboratory, 22 pp, 1976.
- [2]. D.J. Wilson - "The effect of rainfall and contaminants on road pavement skid resistance", n. 515, 2013.
- [3]. S. Leonardi, F. Nicosia - "Analisi critica del fenomeno dell'aderenza in campo stradale e ferroviario", 1996.
- [4]. M. Wasilewska, W. Gardziejczyk, P. Gierasimiuk - "Evaluation of skid resistance using CTM, DFT and SRT-3 devices", Transportation research procedia, 14, 3050-3059, 2016.
- [5]. L. Chu, X. Cui, K. Zhang, T.F. Fwa, S. Han - "Directional skid resistance characteristics of road pavement: Implications for friction measurements by british pendulum tester and dynamic friction tester", Transportation research record, 2673(10), 793-803, 2019.
- [6]. M. Wasilewska, W. Gardziejczyk, P. Gierasimiuk - "Comparison of measurement methods used for evaluation the skid resistance of road pavements in Poland-case study", International Journal of Pavement Engineering, 21(13), 1662-1668, 2020.
- [7]. M. Kane, M.T. Do, J.M. Piau - "On the study of polishing of road surface under traffic load", Journal of transportation engineering, 136(1), 45-51, 2010.
- [8]. Z. Wu, C. Abadie - "Laboratory and field evaluation of asphalt pavement surface friction resistance", Frontiers of Structural and Civil Engineering, 12(3), 372-381, 2018.
- [9]. M.T. Do, Z. Tang, M. Kane, F. de Larrard - "Pavement polishing - Development of a dedicated laboratory test and its correlation with road results", Wear, 263(1-6), 36-42, 2007.
- [10]. Z. Wu, B. King, C. Abadie, Z. Zhang - "Development of design procedure to predict asphalt pavement skid resistance", Transportation research record, 2306(1), 161-170, 2012.
- [11]. P. Kotek, M. Kováč, M. Decký - "The Skid Resistance Evaluation on the Longterm Monitored Road Sections", Civil and Environmental Engineering, 10(2), 66-72, 2014.



Laboratorio prove sui materiali da costruzione autorizzato con Decreto n. 211 del 06.07.15 art. 59 D.P.R. 380/2001, art. 20 L. n. 1086/1971, Circ. Ministeriale 7617/STC Settore A
Laboratorio Geotecnico autorizzato con Decreto n. 7732 del 02.08.12, art. 59 D.P.R. 380/2001, Circ. Ministeriale 7618/STC settore rocce con estensioni