

CARATTERISTICHE DI ADERENZA NEI CONGLOMERATI BITUMINOSI

LA CORRELAZIONE TRA PRESCRIZIONI E PRESTAZIONI

L'approccio prestazionale delle più recenti e aggiornate Norme tecniche di appalto impone un inquadramento ingegneristico in tutte le fasi dell'attività manutentiva delle pavimentazioni stradali, a partire dalle fasi di progettazione delle miscele in conglomerato bituminoso per passare alle attività di produzione e posa in opera; le conoscenze tecniche per la gestione degli indicatori prestazionali diventano di primaria rilevanza in tutte le fasi che caratterizzano l'esecuzione di un'opera manutentiva.

Le Imprese esecutrici sono chiamate dunque ad affrontare un'evoluzione culturale al fine di garantire, in primis, il rispetto degli impegni contrattuali con i Gestori della rete stradale e, in secondo luogo, la limitazione dei rischi finanziari legati all'applicazione di decurtazioni sul prezzo d'appalto nel caso di insufficienza prestazionale dell'opera realizzata.

Viste le difficoltà tecniche affrontate da parte di alcune Imprese esecutrici nella gestione dei più recenti Accordi Quadro per la manutenzione delle pavimentazioni della rete stradale ANAS

SpA, legate per lo più al raggiungimento delle prestazioni di aderenza, lo staff Ricerca e Sviluppo del laboratorio STS Mobile ha voluto raggruppare le numerose richieste di consulto tecnico sul tema, ritenendo opportuno fornire i necessari strumenti scientifici desunti da attività sperimentali di laboratorio.

L'iniziativa intrapresa ha riscosso particolare interesse tra gli operatori del settore impegnati

quotidianamente nella manutenzione ordinaria e straordinaria della rete stradale italiana: 37 operatori dislocati nell'intero territorio italiano hanno sostenuto l'attività sperimentale condotta nei laboratori STS (Figura 1).

Sul tema specifico, si sono voluti approfondire i seguenti aspetti:

1. chiarimenti e indicazioni progettuali in prospettiva prestazionale di aderenza;
2. analisi sulla metodologia di rilievo per approfondire le contraddizioni tra conformità prescrittiva e non conformità prestazionale.

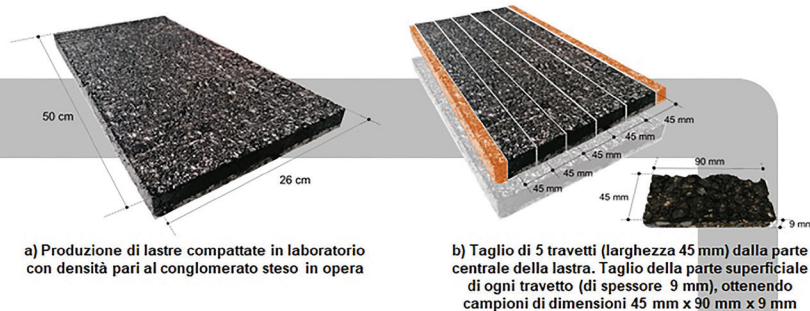
È risultato quindi fondamentale condurre dapprima un'analisi della correlazione tra prestazione e composizione della miscela individuata in fase di progetto, tenendo in dovuto conto le condizioni al contorno di esercizio e le metodologie di misurazione/controllo dell'aderenza in opera, la quale rappresenterà un valido supporto per l'Esecutore, per il Progettista e per il Gestore della rete stradale.

È altresì doveroso sottolineare come l'evoluzione nel tempo dell'aderenza e il raggiungimento del suo valore massimo siano fenomeni influenzati da una moltitudine di condizioni di esercizio (preponderanti il clima, la tipologia e i volumi di traffico), oltre che dalle caratteristiche compositive del conglomerato bituminoso. Queste ultime rappresentano l'unico controllo progettuale nelle mani dell'esecutore, una volta appurata la pertinenza delle indicazioni prescrittive delle Norme Tecniche con le prestazioni richieste.

Lo studio ha dunque il duplice obiettivo di determinare la plausibile correlazione tra massima aderenza della pavimentazione e caratteristiche compositive prescrittive, oltre a determinare l'effetto di diverse condizioni al contorno (volumi di traffico, temperature di esercizio, ecc.) sui tempi di maturazione della massima aderenza. L'analisi sperimentale di previsione a lungo termine dell'aderenza è stata condotta su conglomerati bituminosi variamente composti nell'ottica di una completa panoramica delle prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche ANAS SpA per usura fuso A e fuso B.

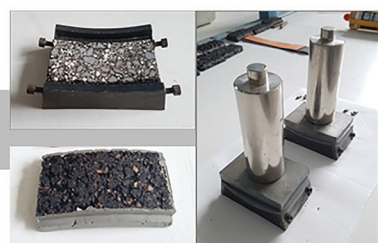


1. La presenza di Imprese esecutrici a supporto dello sviluppo del tema sperimentale

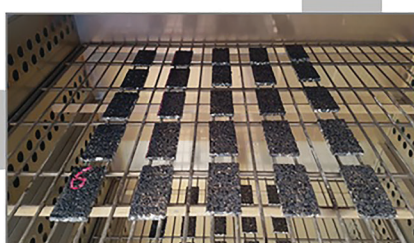


a) Produzione di lastre compattate in laboratorio con densità pari al conglomerato steso in opera

b) Taglio di 5 travetti (larghezza 45 mm) dalla parte centrale della lastra. Taglio della parte superficiale di ogni travetto (di spessore 9 mm), ottenendo campioni di dimensioni 45 mm x 90 mm x 9 mm



d) Curvatura manuale dei campioni tiepidi ed applicazione di resina per realizzare campioni conformi alle configurazioni di prova Skid Tester e Polishing machine



c) Riscaldamento dei campioni a 50 °C per circa 30 minuti in forno ventilato

2. La procedura sintetica della produzione di campioni di prova

IL PROGRAMMA SPERIMENTALE

La sperimentazione è stata condotta su conglomerati bituminosi variamente composti al fine di rappresentare una completa panoramica delle prescrizioni contenute nelle Norme Tecniche ANAS SpA per tappeti di usura chiusi fuso A e fuso B in termini di:

- assortimento granulometrico;
- tenore dei vuoti residui;
- tipologia e dosaggio di legante bituminoso.

Le relative caratteristiche prestazionali di aderenza sono state determinate adottando il protocollo standardizzato di laboratorio dettagliatamente descritto nel n° 152 Marzo/Aprile 2022 di "Strade & Autostrade" a pag. 30.

In Figura 2 si riporta in maniera sintetica la procedura di realizzazione dei campioni di prova ottenuti da lastre compattate in laboratorio.

In seguito alla realizzazione dei tasselli, la valutazione dell'evoluzione dell'aderenza è avvenuta tramite Skid Tester su un totale di 14 tasselli, in tre differenti configurazioni:

1. condizioni iniziali: sono rappresentative del conglomerato bituminoso appena posato;
2. condizioni di aderenza massima: ottenute tramite lo spogliamento manuale degli inerti superficiali della pellicola di bitume che li ricopre. Tale passo viene eseguito con una combinazione di azioni chimica e fisica;

SPERIMENTAZIONI PRESTAZIONALI

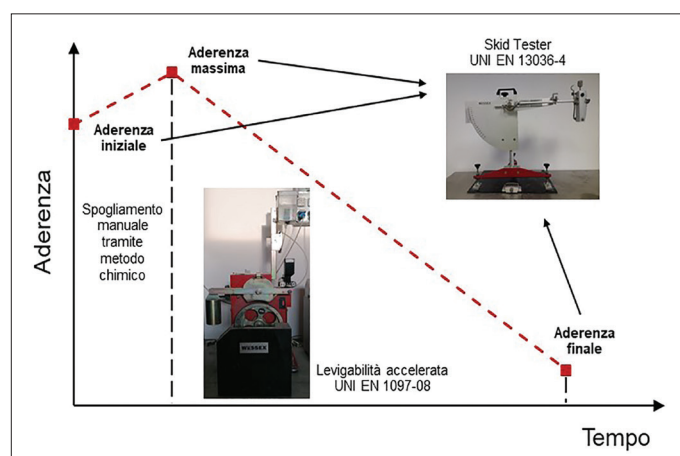
3. condizioni finali: ottenute a seguito di un'azione di levigatura accelerata (polishing) attraverso apposita apparecchiatura (EN 1097-08).

Un quadro sinottico della procedura, così come dei parametri ottenuti da ciascuno step operativo, viene fornito nelle Figure 3 e 4.

Oltre alle determinazioni di aderenza iniziale, massima e finale, sono state valutate anche le condizioni di esercizio in termini di passaggi veicolari e temperatura al fine di determinare l'influenza di queste condizioni al contorno sui tempi di maturazione della massima aderenza.

In particolare, sono stati eseguiti processi ciclici di polishing su campioni di

conglomerato bituminoso a partire dalle condizioni iniziali tali da raggiungere valori di aderenza corrispondente alla massima ottenibile, dando così evidenza degli effetti del volume di traffico (espresso in cicli di levigatura) sui tempi di maturazione della massima prestazione; tale procedura è stata eseguita rispettivamente a 15 °C e 30 °C, rilevandone l'effetto della temperatura media di esercizio.



4. Lo schema riassuntivo del protocollo sperimentale proposto

PROCEDURA		PARAMETRI OTTENUTI		
1.	Produzione in laboratorio di lastre di conglomerato bituminoso			
2.	Produzione di campioni di prova di conglomerato bituminoso secondo le EN 1097-08 ed EN 13036-04 (almeno 14 campioni per conglomerato bituminoso)			
3.	Determinazione dell'aderenza iniziale (EN 13036-04) - media di 14 campioni	PTV _i	AR _i	PTV _i /AR _i
4.	Rimozione della pellicola di bitume superficiale tramite azione chimica-meccanica			
5.	Determinazione dell'aderenza massima (EN 13036-04) - media di 14 campioni		AR _{max}	
6.	Azione di polishing accelerato (EN 1097-08)			
7.	Determinazione dell'aderenza finale (EN 13036-04) - media di 14 campioni	Stima PTV _{finale}	AR _{finale}	ΔAR

3. La procedura sperimentale per la determinazione dell'aderenza a lungo termine

APERTURA SETACCI (mm)	FUSO A (%)					FUSO B (%)				
	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5	MIX1	MIX2	MIX3	MIX4	MIX5
12,5	90	100	95	100	90	100	100	100	100	100
8	70	88	79	88	70	90	100	95	100	90
4	40	58	49	49	49	44	64	54	54	54
2	25	38	32	25	38	28	42	35	28	42
0,5	10	20	15	10	20	12	24	18	12	24
0,25	8	16	12	8	16	8	18	13	8	18
0,063	6	10	8	6	10	6	10	8	6	10

5. I passanti di progetto delle curve granulometriche

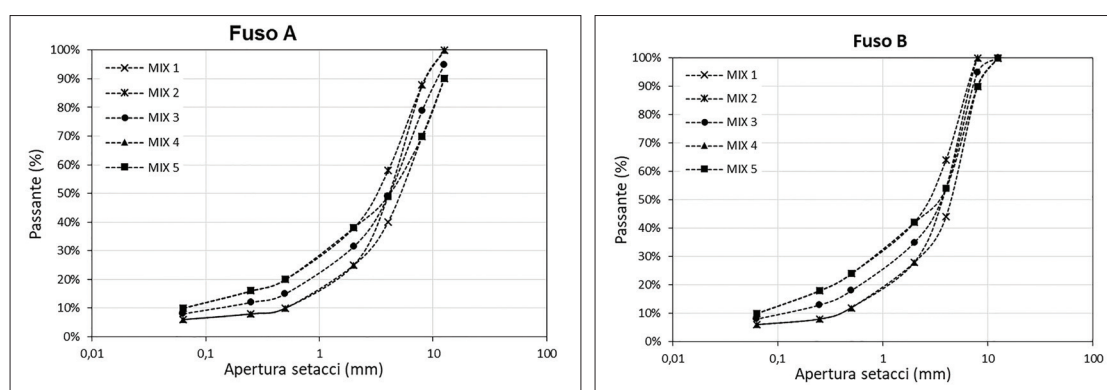
Tutte le fasi di laboratorio sono state eseguite in ambiente termicamente controllato, per cui lo Skid Tester, la polishing machine e i singoli campioni sono stati collocati in una camera climatizzata con controllo della temperatura al fine di poter adeguatamente condizionare ogni elemento in tutte le fasi di rilevamento sperimentale, dall'azione di polishing a 15 °C e 30 °C alle misurazioni di aderenza a 20 °C.

Le miscele

Al fine di analizzare la variabilità delle caratteristiche prestazionali di aderenza in funzione delle possibili distribuzioni dimensionali della miscela, nel rispetto delle prescrizioni granulometriche, sono state impostate e studiate cinque diverse composizioni all'interno di ciascun fuso di riferimento, A e B (Figure 5, 6A e 6B): una curva corrispondente al limite inferiore del fuso, una curva corrispondente al limite superiore del fuso, una curva corrispondente al centro fuso, una curva corrispondente al limite inferiore del fuso nella parte fine e al limite superiore del fuso nella parte grossa, una curva corrispondente al limite superiore del fuso nella parte fine e al limite inferiore del fuso nella parte grossa.

Le dieci curve granulometriche sono state composte in laboratorio con il controllo della singola frazione granulometrica (0/0,25, 0,25/0,5, 0,5/2, ecc.), ricostruendo il singolo dosaggio per ciascun setaccio al fine di ottenere esattamente la miscela ricercata. Il conglomerato bituminoso riferito a ciascuna curva di riferimento è stato prodotto con bitume tradizionale e con bitume modificato di tipo Hard.

Il materiale utilizzato per la frazione 0/4 è stato composto esclusivamente da sabbia calcarea, mentre la frazione 4/12,5 è stata composta esclusivamente da graniglia basaltica, entrambe con caratteristiche conformi ai requisiti previsti da Norme Tecniche ANAS SpA.



6A e 6B. Le curve granulometriche di progetto

Ogni assortimento granulometrico è stato utilizzato per confezionare miscele a due contenuti di vuoti conformi ai requisiti prescritti dalle Norme Tecniche ANAS SpA, ovvero 4% e 6%. Tali valori rientrano nell'intervallo imposto dal succitato Capitolato per un numero di rotazioni di pressa giratoria pari a N2 per tappeti di usura (120 rotazioni per bitume tal quale e 140 rotazioni per tappeti di usura con bitume modificato hard). L'elenco delle miscele da sottoporre a studio racchiude 40 tipologie di conglomerato bituminoso, rappresentative delle variabili compositive previste. In alcuni casi, il contenuto di bitume necessario all'ottenimento dei vuoti desiderati è ricaduto al di fuori dei limiti prescritti dalle Norme Tecniche ANAS SpA, portando a dover quindi scartare le relative miscele dall'analisi di laboratorio. Le 26 tipologie di conglomerato bituminoso analizzate, con il relativo contenuto di bitume riferito al peso degli aggregati, sono riportate in Figura 7.

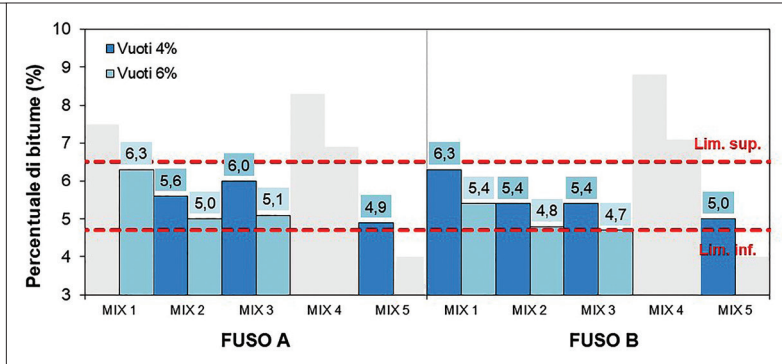
I RISULTATI SPERIMENTALI

L'aderenza iniziale

I risultati ottenuti in condizioni di aderenza iniziale ARi sono raccolti nelle Figure 8A, 8B e 8C.

Dall'analisi dei dati rilevati emerge quanto segue:

- le miscele prodotte con assortimento granulometrico relativo al fuso A mostrano valori medi di aderenza iniziale maggiori rispetto alle miscele relative al fuso B: le miscele fuso A contengono mediamente una maggior percentuale di aggregati di dimensione superiore a 4 mm che concorrono ad aumentare il contributo attritivo legato alla forma di aggregati grossi.



7. I valori di progetto del contenuto di bitume e miscele escluse dallo studio

In particolare, il passante a 4 mm passa da un minimo di 40% ad un massimo di 58% per le miscele fuso A, da un minimo di 44% a un massimo di 64% per le miscele fuso B;

- il valore di aderenza iniziale, a parità di fuso granulometrico, aumenta al ridursi della % di aggregati passanti a 4 mm;
- il valore di aderenza iniziale dipende dal contenuto di bitume: all'aumentare della % di bitume si è registrato un incremento dell'aderenza iniziale;
- il valore di aderenza iniziale non dipende dal tipo di bitume: poiché le misure di aderenza iniziale vengono eseguite a 20 °C, i due tipi di bitume non esprimono sostanziali differenze, legate alla propria consistenza, sulle caratteristiche attritive/coesive sviluppate con lo slider del pendolo;
- il valore di aderenza iniziale non dipende dal tenore di vuoti: una differenza ridotta di percentuale di vuoti all'interno della miscela non è apprezzabile in termini di macrotestitura superficiale.

I rilevamenti in condizioni iniziali vengono eseguiti sia sulla lastra confezionata, determinando una media di 14 misurazioni uniformemente distribuite sulla superficie (Pendulum Test Value - PTVi), sia su una serie di 14 provini a forma ricurva in condizioni iniziali (Attrito Radente - ARi), riportando i due valori medi. In questo modo è possibile determinare il rapporto PTVi/ARi, ovvero un coefficiente di correlazione delle condizioni iniziali.

Tale rapporto è risultato essere per l'intero spettro di miscele analizzate pari ad un valore medio di 1,03, con un coefficiente di variazione (CV) pari al 3%. È dunque possibile affermare che il valore di PTV è di poco superiore al valore di attrito radente e la sua bassa variabilità permette di escludere l'influenza delle variabili prescrittive considerate. Di conseguenza, è ragionevole adottare tale coefficiente anche in condizioni finali.

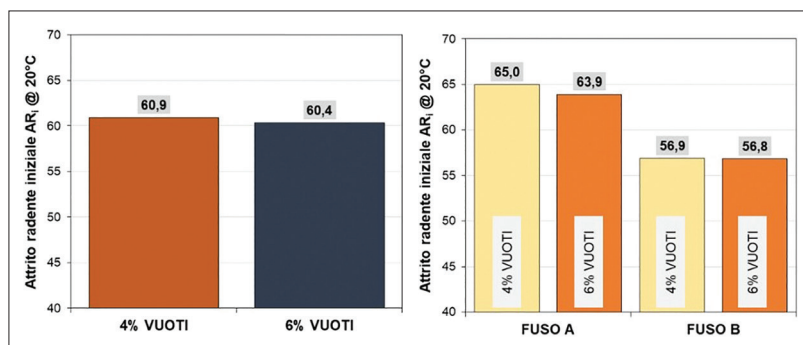
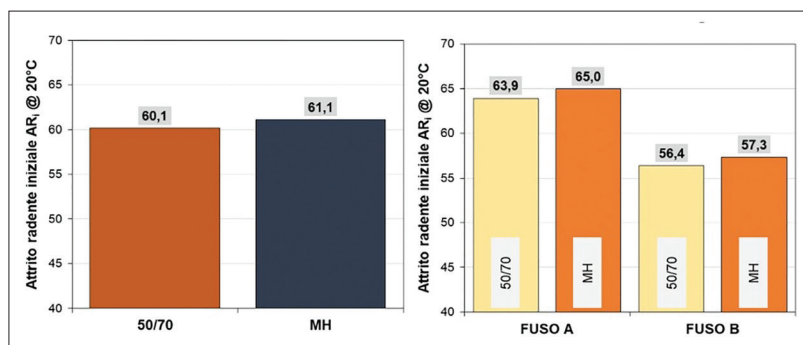
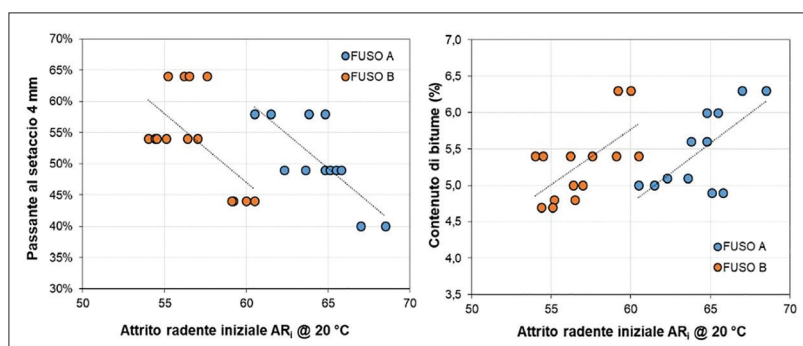
L'aderenza massima

Sulla base dei risultati ottenuti sui rilevamenti di aderenza iniziale, si può desumere che il valore di aderenza massimo AR_{max} non dipenda dal contenuto e dal tipo di bitume: avendo spogliato la superficie degli aggregati per determinare l'aderenza massima, il ruolo del bitume presente nella miscela non può essere influente sulla determinazione del parametro in oggetto.

Di conseguenza, l'analisi sulle misurazioni di aderenza massima a 20 °C è stata svolta considerando una sola tipologia di bitume.

Dall'analisi dei dati rilevati (Figure 9A e 9B) emerge quanto segue:

- le miscele prodotte con assortimento granulometrico relativo al fuso A mostrano valori medi di aderenza massima maggiori rispetto alle miscele relative al fuso B: le miscele fuso A contengono una maggior percentuale di aggregati basaltici (dimensione superiore a 4 mm) che concorrono ad aumentare le prestazioni di aderenza della miscela visto il contributo attritivo legato alla loro forma e tessitura;
- il valore di aderenza massima, a parità di fuso granulometrico, aumenta al ridursi della percentuale di aggregati passanti a 4 mm, ovvero aumenta all'aumentare della percentuale di aggregati basaltici in miscela;
- la capacità attritiva massima non dipende dal tenore di vuoti: una differenza ridotta di percentuale di vuoti all'interno della miscela non è apprezzabile in termini di macro e microtestitura.



8A, 8B e 8C. Le analisi dei fattori di influenza dell'attrito radente iniziale

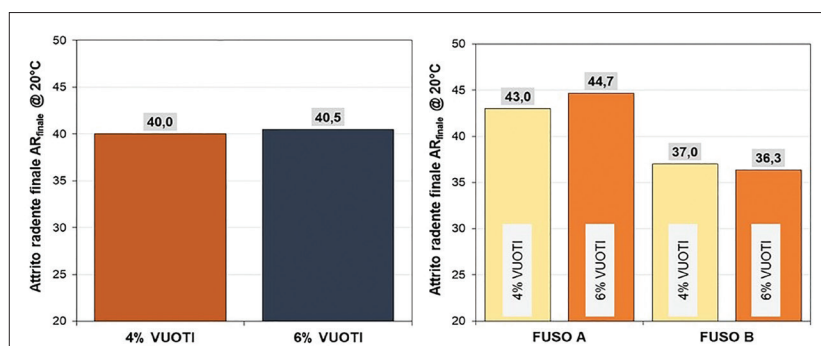
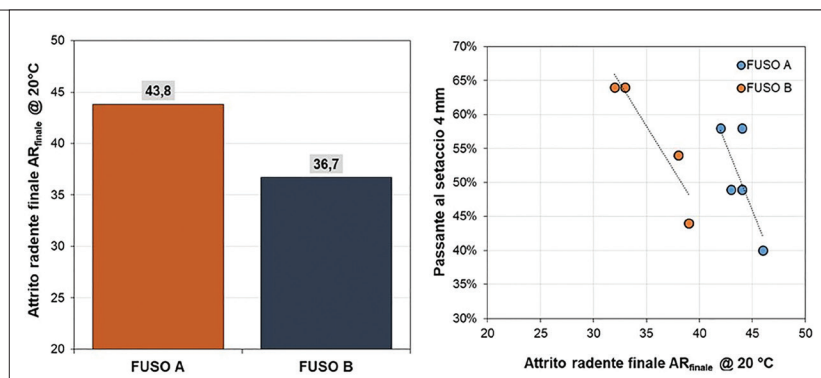
L'aderenza finale

Il valore di aderenza finale AR_{finale} non dipende dal contenuto e dal tipo di bitume: avendo spogliato la superficie degli aggregati per determinare l'aderenza massima e avendo sottoposto la stessa ad azione di polishing, il ruolo del bitume presente nella miscela non può essere influente sulla determinazione del parametro in oggetto.

Di conseguenza, l'analisi sulle misurazioni di aderenza finale a 20 °C è stata svolta considerando una sola tipologia di bitume.

Dall'analisi dei dati rilevati (Figure 10A e 10B) emerge quanto segue:

- le miscele prodotte con assortimento granulometrico relativo al fuso A mostrano valori medi di aderenza finale maggiori rispetto alle miscele relative al fuso B: le miscele fuso A contengono una maggior percentuale di aggregati basaltici (dimensione superiore a 4 mm) che concorrono ad aumentare le prestazioni di aderenza della miscela visto il contributo attritivo legato alla loro più elevata resistenza alla levigatura (PSV);
- il valore di aderenza finale, a parità di fuso granulometrico, aumenta al ridursi della percentuale di aggregati passanti a 4 mm, ovvero aumenta all'aumentare della percentuale di aggregati basaltici in miscela;
- la capacità attritiva finale non dipende dal tenore di vuoti: una differenza ridotta di percentuale di vuoti all'interno della miscela non influenza l'aderenza a seguito della levigatura degli aggregati;



10A e 10B. L'analisi dei fattori di influenza dell'attrito radente finale

- la perdita di aderenza, ovvero la differenza tra il valore di attrito massimo e il valore di attrito finale espressa in percentuale del valore massimo, è stata analizzata solamente in relazione al tipo di fuso (Figura 11). Il dato relativo alle miscele fuso B è più elevato, seppur caratterizzato da una variabilità più alta. In generale si può asserire che, all'interno dei limiti prescrittivi contenuti nel CSA NT ANAS per tappeti di usura, si verifica una perdita media del 38% rispetto al valore di attrito massimo.

È possibile inoltre stimare il valore di PTV_{finale} ottenuto dal prodotto tra AR_{finale} e il coefficiente di correlazione PTV/AR_i determinato in condizioni iniziali. In questo modo si può risalire ad un valore affidabile che rappresenti le prestazioni di aderenza della pavimentazione stesa nel lungo periodo.

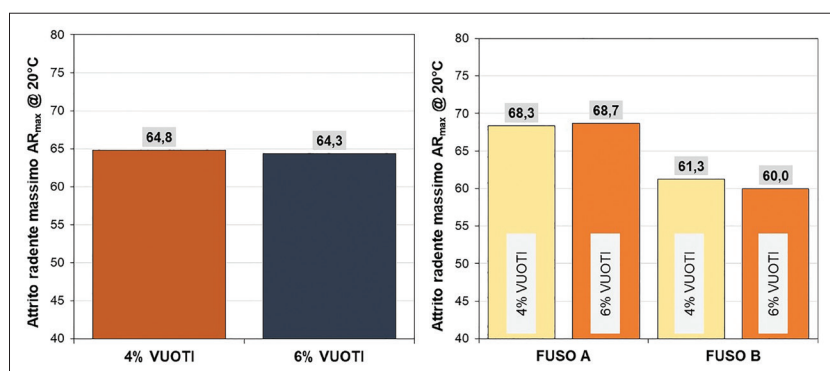
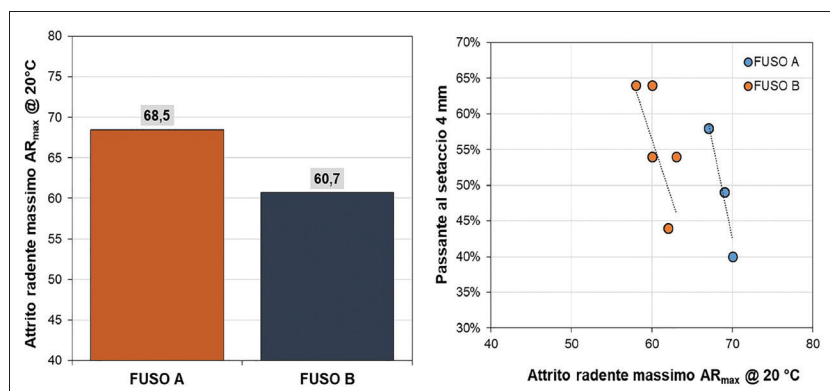
L'influenza delle condizioni di esercizio sulla maturazione della massima aderenza

I valori di attrito radente massimo AR_{max} presentati nelle Figure 9A e 9B sono stati presi come obiettivo da raggiungere tramite cicli di levigatura con polishing machine.

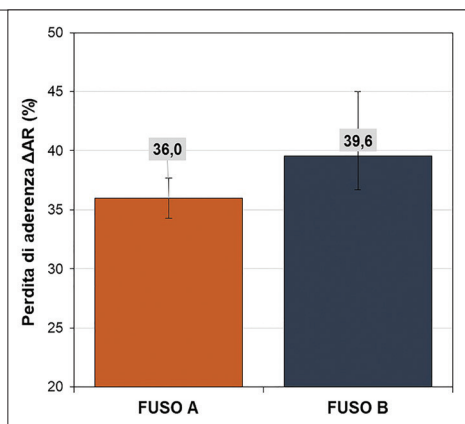
Ciascuna miscela, partendo dalle condizioni iniziali, è stata sottoposta ad un certo numero di cicli di levigatura, eseguita rispettivamente a 15 °C e 30 °C, fino al raggiungimento del valore di aderenza massima, all'interno di una tolleranza pari al $\pm 3\%$. Tale numero rappresenta l'influenza del volume di traffico e della temperatura di esercizio sui tempi di maturazione della massima aderenza di un conglomerato bituminoso in opera. Ciascun ciclo ha avuto durata di un'ora, divisa in:

1. 30 minuti di levigatura con sabbia fine;
2. 30 minuti di levigatura con sabbia grossa.

Dall'analisi dei dati rilevati emerge quanto segue:

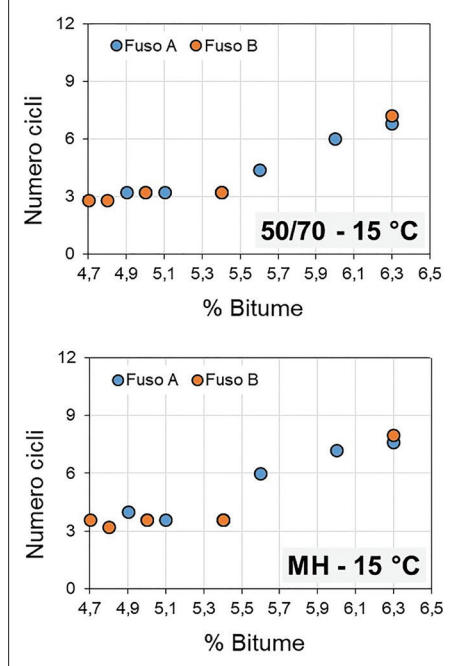


9A e 9B. L'analisi dei fattori di influenza dell'attrito radente massimo

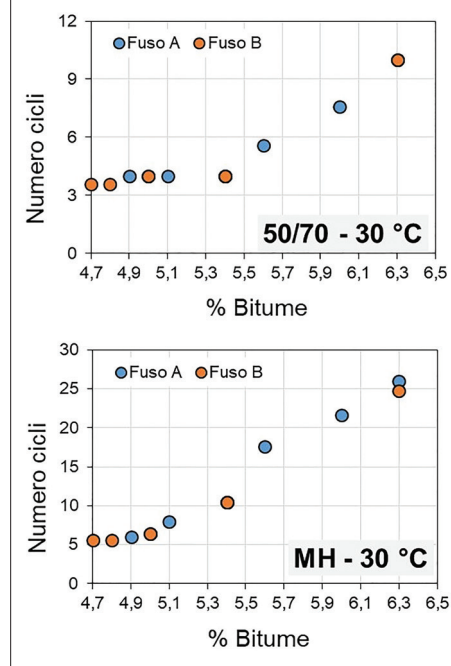


11. L'influenza del tipo di fuso sulla perdita di aderenza

- l'assortimento granulometrico non influenza il numero di cicli necessari al raggiungimento dell'aderenza massima (Figure 12A e 12B). Non sono state rilevate sostanziali differenze tra i fusi granulometrici di riferimento variando il tipo e il dosaggio di bitume oltre che le temperature di esercizio. Dunque si procederà con l'analisi del resto dei risultati facendo riferimento ai dati ottenuti con il fuso A;
- il numero di cicli necessari al raggiungimento dell'aderenza massima aumenta all'aumentare del contenuto di bitume: questo è riconducibile all'effetto dell'aumento di spessore della pellicola di bitume. In funzione del contenuto di bitume della miscela, della sua densità e in relazione alla superficie

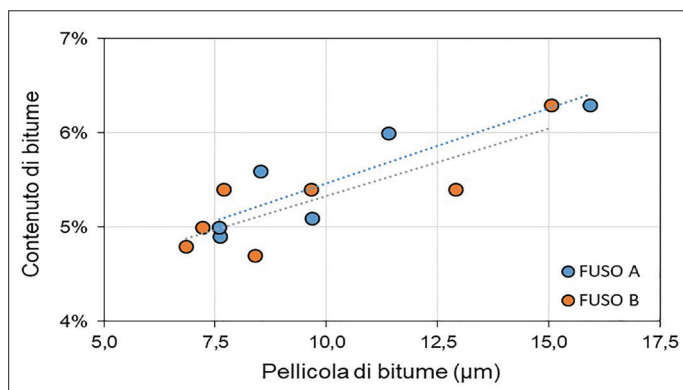


12A e 12B. La differenza tra fuso A e fuso B alle varie condizioni di prova



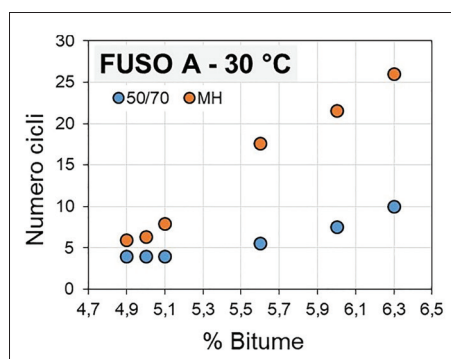
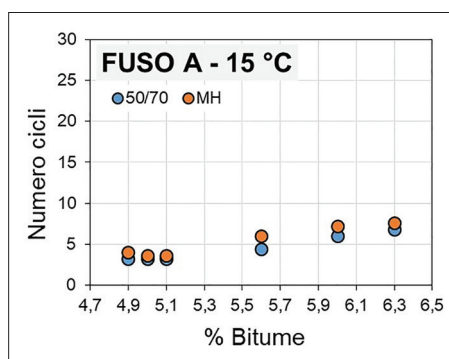
È dunque possibile aspettarsi che il numero di cicli necessari a raggiungere l'aderenza massima aumenti in funzione del contenuto di bitume, cioè dell'aumento dello spessore della pellicola di bitume che ricopre l'aggregato. In particolare si sottolinea un significativo aumento del numero di cicli all'incirca oltre il 5,5% di bitume per quanto riguarda il tradizionale, oltre il 5,1% di bitume per quanto riguarda il modificato: la tendenza risulta tanto più marcata quanto più alta è la temperatura di esercizio (Figura 14A e 14B). A parità di condizioni al contorno il bitume modificato determina un maggior numero di cicli necessari al raggiungimento dell'aderenza massima: la maggiore resistenza allo spogliamento conferita dai bitumi modificati ne determina la risultanza sperimentale rilevata. Al contrario, il bitume tradizionale conferisce minori tempi di maturazione dell'aderenza massima;

- all'aumentare della temperatura di esercizio aumentano i tempi di maturazione della massima aderenza. L'effetto della temperatura sull'aumento dei tempi di maturazione è più marcato sul bitume modificato, mentre il bitume tradizionale subisce in maniera minore l'incremento di temperatura, mostrando un aumento dei tempi di maturazione meno evidente (Figura 15A e 15B).

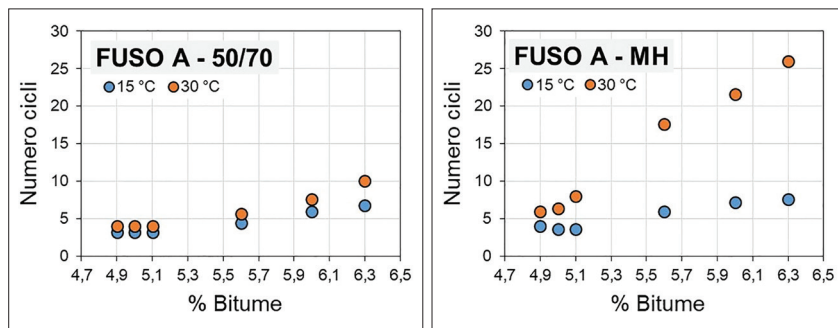


13. La correlazione tra pellicola di bitume e contenuto di bitume

specificata totale dell'assortimento granulometrico, lo spessore della pellicola di bitume che ricopre l'aggregato può essere calcolato empiricamente tramite l'assunzione di coefficienti di superficie per ciascuna frazione granulometrica. In Figura 13 viene mostrata la correlazione tra il contenuto di bitume e lo spessore della pellicola di bitume per le miscele in oggetto, di carattere lineare e non influenzato significativamente dalle differenze di fuso.



14A e 14B. La differenza tra bitume tal quale e modificato alle due temperature di esercizio



15A e 15B. La differenza tra le temperature di esercizio per i due bitumi utilizzati

CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

I dati sperimentali ottenuti rappresentano un utile spunto per un'analisi mirata alla definizione di chiarimenti e indicazioni progettuali funzionali alla massimizzazione prestazionale di aderenza, alla verifica sulla corrispondenza delle prescrizioni rispetto alle prestazioni richieste e in ultimo all'analisi sulla metodologia di rilievo della prestazione in sito.

Chiarimenti e indicazioni progettuali

È emerso che le miscele relative al fuso A sono caratterizzate da migliori caratteristiche prestazionali di aderenza, sia nel breve che nel lungo termine, rispetto alle miscele relative al fuso B. Tale risultato non è da attribuire esclusivamente alla tipologia di fuso adottata, quanto al contenuto percentuale di aggregato passante al setaccio 4 mm. Infatti, minimizzando tale valore si tenderà a valorizzare le proprietà attrittive dell'aggregato grosso, migliorando globalmente le prestazioni del tappeto di usura.

Relativamente ai tempi di maturazione della massima aderenza, si è rilevata la forte dipendenza dal tipo e dosaggio di bitume oltre che dalle temperature di esercizio: l'incremento della percentuale di bitume comporta un aumento dei tempi necessari alla maturazione della massima prestazione, tanto più evidente quanto più alte sono le temperature. Tale tendenza risulta più marcata con l'utilizzo di bitume modificato. Dunque, per massimizzare le prestazioni di aderenza e ridurre i tempi di maturazione della massima prestazione sarà necessario adottare i seguenti accorgimenti nel rispetto dei requisiti volumetrici e meccanici delle miscele:

- utilizzare aggregati lapidei grossi con elevato valore di levigabilità, con bassi coefficienti di forma e appiattimento, con il 100% di superfici frantumate;
- adottare assortimenti granulometrici con limitato passante al setaccio da 4 mm il più prossimo possibile al limite inferiore del fuso di riferimento;
- utilizzare il più basso dosaggio possibile di bitume nel rispetto dei parametri volumetrici e meccanici.

L'analisi sulla metodologia di rilievo della prestazione in sito

Per tappeti di usura fuso A e fuso B, le misure di aderenza (CAT), nell'ambito del controllo di accettabilità dell'opera, vengono effettuate in un periodo di tempo compreso tra il 15° e il 180° giorno dall'apertura al traffico.

I risultati contenuti nel presente studio hanno evidenziato che il tempo necessario a raggiungere il massimo valore di aderenza, seppure nei limiti di conformità prescrittiva, dipende fortemente dal contenuto di bitume, dalla tipologia di bitume e dalle temperature di esercizio (variazioni dei tempi di maturazione dell'aderenza massima al variare della temperatura di esercizio, del tipo e del dosaggio di bitume fino a dieci volte).

Per una analisi critica del fenomeno sperimentale determinato si è ricorso al database ANAS 2020 sul Traffico Giornaliero Medio Annuo (TGMA): dalla rete di sensori del sistema Panama viene calcolato il TGMA sulla base dei dati raccolti dalle singole postazioni.

I dati di TGMA pubblicati sono valori bidirezionali, calcolati con riferimento a sezioni di conteggio.

Nel presente studio sono state prese come statisticamente affidabili le stazioni con un numero di giornate valide superiori a 300 (giornate in cui sono caricati a sistema i dati per almeno il 98% dei 288 intervalli da 5 minuti previsti in una giornata).

Considerando che la polishing machine utilizzata per i cicli di levigatura è stata operata a 320 giri/min., un ciclo di un'ora equivale a circa 19.200 giri.

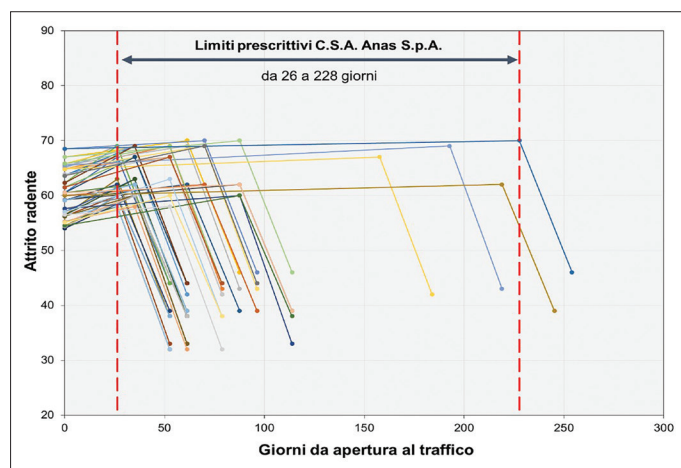
Moltiplicando questa costante per il numero di cicli rilevato per ciascun conglomerato, è possibile risalire al numero totale di passaggi della gomma di prova affinché il materiale raggiunga la sua aderenza massima.

Dividendo successivamente il valore ottenuto per il TGMA, è possibile avere un'indicazione del numero di giorni corrispondente a quel numero di passaggi.

Nel caso in esame non è stata fatta distinzione tra veicoli pesanti e leggeri ed il numero medio rilevato su tutta la rete nazionale ha restituito il valore di 8.769 veicoli/giorno.

Questo valore deve essere poi diviso per due, per tener conto di un solo senso di marcia, e ancora per due, per tener conto del doppio asse dei veicoli: si ottiene così il numero di 2.192 passaggi/giorno.

In definitiva, si ottiene una media di 58 giorni, anche se i valori oscillano tra 26 e 228 giorni (tali numeri tenderanno a variare in funzione del traffico reale rispetto al TGMA e della reale potenza abrasiva



16. I tempi di maturazione dell'aderenza massima

esercitata dal traffico a sua volta dipendente dalla tipologia di traffico e dalle condizioni di umidità delle superfici) (Figura 16).

Tali valutazioni non hanno l'ambizione di avere una valenza assoluta ma devono rappresentare l'idea di quanto il tempo necessario a raggiungere la massima aderenza possa essere variabile nell'ambito della conformità compositiva prescritta dalle Norme Tecniche. In generale, qualsiasi metodologia di rilievo delle prestazioni di aderenza in sito, compresa la misurazione del CAT, si ritiene che rischi di non essere rappresentativa della massima prestazione associata allo specifico conglomerato bituminoso, alla luce della concreta difficoltà di stimare esattamente i tempi necessari alla maturazione della massima aderenza, a meno di rilievi multipli differiti nel tempo che consentano di identificare l'esatto collocamento della prestazione rilevata rispetto alla sua fisiologica evoluzione.

CONCLUSIONI

La sperimentazione ha fornito valide indicazioni progettuali per ottenere una ottimizzazione delle prestazioni massime e una mitigazione dei fenomeni di decadimento per una maggior durabilità dell'aderenza nei tappeti di usura delle pavimentazioni stradali. Miscele in conglomerato bituminoso composte con un elevato contenuto di aggregati grossi (dimensione superiore a 4 mm), dall'elevata resistenza alla levigabilità, poliedrici, con superfici totalmente frantumate e spiccatamente micro-rugosi forniscono le migliori e durature prestazioni di aderenza.

L'ottimizzazione del dosaggio di bitume, in funzione del raggiungimento degli standard meccanici e volumetrici richiesti per

la miscela, influenza la durata del periodo di esercizio necessario al raggiungimento della massima prestazione (spogliamento degli aggregati). In particolare, i tempi di evoluzione delle prestazioni aumentano all'aumentare del dosaggio di bitume in maniera tanto più sensibile quanto più è alta la temperatura media di esercizio: anche la scelta della più giusta consistenza del bitume alle alte temperature interviene nel controllo di detto fenomeno poiché eventuali refluenti di legante in superficie comporterebbero un sensibile rallentamento dei fenomeni di spogliamento, oltre a una riduzione dell'aderenza iniziale.

Alla luce dei dati rilevati potrebbe essere opportuna una rivalutazione degli standard prescrittivi delle Norme Tecniche in chiave prestazionale di aderenza, coadiuvata da campi prova che potranno validare quanto riportato nel presente studio.

La sperimentazione ha inoltre fornito un'analisi sulle modalità di misurazione e verifica delle prestazioni di aderenza in sito (CAT), evidenziando come non vi sia assoluta certezza che la misura rilevata in sito corrisponda alla massima intrinsecamente correlata al conglomerato bituminoso indagato.

Dunque si suggerisce, a fronte di non conformità prestazionali, di eseguire misurazioni ripetute necessarie all'individuazione dello stato prestazionale all'interno del fisiologico andamento dell'aderenza in funzione del tempo di esercizio dall'apertura al traffico.

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

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

“La qualità non è un atto ma un'abitudine.”



STS Mobile S.r.l. Servizio Tecnologico Sperimentale

Sede Legale e amministrativa Via G. Conti, 10 • 60131 Ancona (AN) Italy
Tel: +39 071 2865194 • stsmobile@pec.stsmobile.it • www.stsmobile.it

