

Prestazioni di asfalti tiepidi

Performance of Warm Mix Asphalt



RIASSUNTO

Il presente articolo tratta di miscele bituminose alternative, più precisamente di un asfalto tiepido WMA (Warm Mix Asphalt) prodotto a bassa temperatura, steso e compattato a temperature più basse rispetto al tradizionale HMA (Hot Mix Asphalt). Lo scopo di questo studio è quello di valutare le prestazioni del WMA rispetto al tradizionale HMA, al fine di trarre il massimo vantaggio dai benefici ecologici ed economici. Per raggiungere questo obiettivo sono stati condotti prove sia tradizionali che prestazionali, quali: test di sensibilità all'acqua, test di rigidità, test di fatica e test sulle deformazioni permanenti. Tutte le prove sono state condotte su campioni invecchiati e non invecchiati, per valutare le prestazioni della miscela immediatamente dopo la compattazione e dopo 7-10 anni di servizio.

SUMMARY

This work deals with alternative bituminous mixtures, more precisely a Warm Mix Asphalt (WMA) made with a low-temperature bitumen, produced and compacted at lower temperatures compared to traditional Hot Mix Asphalt (HMA), to allow a reduction of cost and emission into the atmosphere. The aim of the study was the evaluation of the performance of the WMA compared to the traditional HMA, in order to take full advantage from its ecological and economic benefits. To achieve this goal, fundamental and performance-related tests were conducted such as: Water sensitivity test, Stiffness test, Fatigue test and Wheel Tracking test. All the tests were carried out on aged and un-aged specimens, to evaluate the performance of the mixture immediately after the compaction and some years after the paving.

1. Benefici del Warm Mix Asphalt

I conglomerati tradizionali hanno una temperatura di produzione che varia mediamente tra i 150 °C ed i 160 °C, ma che in alcuni casi può raggiungere anche i 180 °C; con determinati accorgimenti impiantistici è possibile produrre conglomerati ad una temperatura più bassa, compresa tra i 110 °C ed i 140 °C, raggiungendo le medesime caratteristiche prestazionali richieste dai capitolati, ma introducendo notevoli benefici ambientali ed economici. L'abbassamento delle temperature di produzione e di posa in opera consente di risparmiare energia (minori consumi del bruciatore stimabili dal 20% al 40%) e conseguentemente di ridurre il volume dei fumi e delle emissioni di CO₂; è infatti dimostrato che un innalzamento della temperatura di 10 °C fa raddoppiare il volume dei fumi prodotti. Elevate temperature nel bruciatore sono necessarie per

l'evaporazione dell'umidità presente nell'aggregato e per favorire la presa tra aggregato e bitume.

Dal grafico seguente (Fig. 1) si può notare che fino al raggiungimento dei 100 °C si ha un forte consumo di energia dovuto al calore di vaporizzazione necessario per essiccare gli inerti (tale consumo è strettamente legato all'umidità contenuta negli aggregati).

Con gli aggregati essiccati, incrementando la temperatura, si incrementa solo il consumo di combustibile per cui, se si riesce a ridurre la temperatura degli aggregati da 160 °C a 120 °C, il decremento di 40 °C produce un risparmio di oltre un kg di combustibile per tonnellata di conglomerato prodotto.

Non si tratta solo di benefici nella gestione economica dell'impianto, ma l'intera comunità ne trae vantaggio in termini di un significativo minor impatto ambientale.

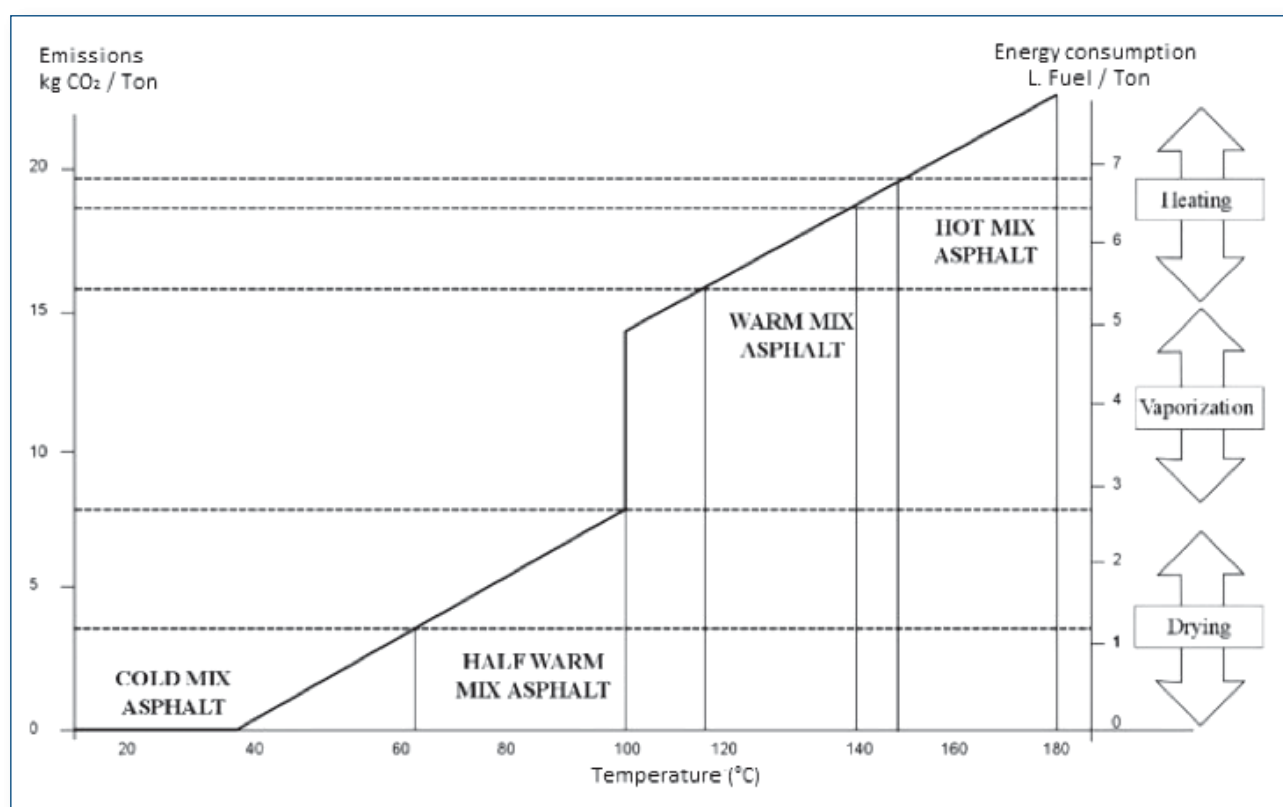


Fig. 1 Consumo di energia ed emissioni di CO₂ durante la produzione del conglomerato



Fig. 2 Confronto visivo tra produzione e stesa di conglomerato caldo e tiepido.

Un altro effetto benefico del Warm Mix Asphalt è il miglioramento delle condizioni di lavoro nell’impianto di produzione e nella posa in opera per la diminuzione dei fumi e per la riduzione dei possibili rischi alle alte temperature. Come mostrano le immagini di **Fig. 2**, le condizioni di lavoro degli operatori, sia all’impianto che alla stesa, sono molto migliorate grazie ad una quasi completa eliminazione delle emissioni diffuse, accompagnata da una forte e drastica riduzione della odorsità del conglomerato. Lavorando a temperature minori vengono notevolmente migliorate le condizioni di lavoro degli operai sulla vibrofinitrice e si riducono i disagi dei cittadini quando si interviene in aree antropizzate. I cantieri, inoltre, hanno durata ridotta e le strade vengono riaperte al traffico in tempi più brevi rispetto ai cantieri dove si pone in opera il conglomerato tradizionale a cal-

do, evitando congestioni stradali e conseguenti disagi per i cittadini. Un ulteriore vantaggio è l’allungamento del periodo ottimale per la stesa del conglomerato, poiché si riesce a lavorare il prodotto anche nei periodi freddi dell’anno e in condizioni spesso proibitive per il conglomerato a caldo tradizionale, caratteristica fondamentale per le lavorazioni nei paesi del nord. Un altro aspetto fondamentale è la possibilità di utilizzare fino al 50% di fresato, valorizzando quindi il “rifiuto”, riducendo in questo modo l’approvvigionamento di materiali vergini di cava.

2. Come si produce il Warm Mix Asphalt

Esistono diverse tecniche per ottenere un conglomerato tiepido, la differenza rispetto al conglomerato a caldo tradizionale risiede solo nel bitume utilizzato.

Si possono dividere 3 diverse tecnologie:

- › uso di additivi organici;
- › uso di additivi chimici;
- › uso di tecniche di schiumatura.

In questo particolare caso di interesse, è stato utilizzato un bitume contenente additivi chimici, detti “tensoattivi”, i quali non agiscono sulla viscosità del bitume, ma lavorano all’interfaccia tra bitume e aggregato, favorendone la reciproca attrazione anche a temperature più basse.

3. Procedure di invecchiamento dell’asfalto

La procedura di invecchiamento è uno dei modi più importanti e dinamici per caratterizzare l’asfalto. L’invecchiamento consente di prevedere la vita di una pavimentazione flessibile riferendosi alle caratteristiche adesive dei leganti con gli aggregati. Con l’avanzare dell’età, i componenti della miscela di asfalto si ossidano ed avviene il processo di volatilizzazione degli oli, il che rende le miscele d’asfalto più rigide, aumentando la viscosità del legante. Poiché la tecnologia dell’asfalto tiepido è relativamente nuova, non esistono vecchie pavimentazioni per studiare il comportamento di invecchiamento del WMA, quindi l’invecchiamento forzato in laboratorio diventa di fondamentale importanza.

Esistono due tipi di invecchiamento:

- › Invecchiamento a breve termine: l’asfalto viene invecchiato per simulare gli effetti dovuti alla miscelazione e alla produzione del conglomerato in impianto e gli effetti dovuti alla posa in opera.
- › Invecchiamento a lungo termine: l’asfalto viene sottoposto ad invecchiamento per simulare gli effetti che la miscela compattata subirà durante 7-10 anni di servizio.

Nel corso degli anni sono state sviluppate diverse tecniche per sottoporre i provini di asfalto ad un determinato tipo di invecchiamento.

Alcune tecniche prediligono l’alternanza di cicli in forno a

temperature elevate, seguiti da cicli di immersione in acqua fredda, altre tecniche prediligono il mero inserimento del provino in forno per diversi periodi di tempo.

In questo caso specifico i provini sono stati sottoposti ad un invecchiamento a lungo termine, seguendo la procedura AASHTO R30-02 (2015), che prevede l’inserimento dei provini per 120 ore (5 giorni) ad una temperatura costante di 85 °C.

4. Prove condotte in laboratorio

In laboratorio sono state studiate due diverse miscele di asfalto, una rappresentante il tradizionale HMA, l’altra rappresentante l’innovativo WMA, entrambe rappresentati un asfalto di tipo AC20/BASE/BIN/SURF.

Le due miscele sono caratterizzate dalla medesima curva granulometrica, e dallo stesso contenuto di bitume (5% in massa).

La differenza tra le due miscele risiede nel tipo di legante usato: per l’HMA è stato utilizzato un bitume normale di classe 35/50, mentre invece per il WMA è stato utilizzato un “low temperature bitumen” di classe 35/50, che si differenzia dal primo per la presenza di additivi chimici tensoattivi.

Un’altra differenza tra le due miscele consiste nelle temperature di produzione:

	AGGREGATI	BITUME	COMPATTAZIONE
HMA	180 °C	160 °C	160 °C
WMA	140 °C	120 °C	120 °C

Per una progettazione che sia collegata a ciò che di solito accade nella pavimentazione, è necessario introdurre alcuni test prestazionali, cioè test che consentono di ottenere parametri realmente rappresentativi delle prestazioni della pavimentazione. Per valutare le prestazioni dei due mix e confrontarle, sono stati preparati vari provini e sono stati sottoposti a diverse prove:

- › Sensibilità all’acqua – EN 12697-12;
- › Deformazione permanente – EN 12697-22;
- › Rigidezza – EN 12697-26;
- › Resistenza a fatica – EN 12697-24.

Ogni test è caratterizzato da provini di dimensioni e forma differenti, ma sono stati utilizzati per i test solo i provini aventi la stessa percentuale di vuoti.

Tutti i test sono stati condotti su provini sottoposti e non alla procedura di invecchiamento, per vedere le differenze tra le due miscele sia nella fase immediatamente successiva alla posa in opera, sia dopo 7-10 anni.

5. Sensibilità all'acqua

Questo test è stato effettuato per valutare l'effetto della saturazione e del condizionamento dell'acqua sulla resistenza a trazione indiretta. Per determinare la sensibilità all'acqua, sono stati preparati 32 provini Marshall, compattati con 75 colpi, seguendo gli standard della normativa europea EN 12697-30. Successivamente i provini sono stati suddivisi in due gruppi, uno dei due gruppi è stato sottoposto alla procedura di invecchiamento e l'altro no. Ognuno dei due gruppi è stato anche diviso in HMA e WMA, quindi sono stati ottenuti 4 sottogruppi diversi, ciascuno composto da 8 provini.

Per ogni sottogruppo sono stati previsti due tipi di condizionamento:

- › quattro provini asciutti e conservati a temperatura costante di 25 °C;
- › altri quattro provini sono stati immersi in acqua ad una temperatura di 40 °C per un periodo di tempo compreso tra le 68 e le 72 ore.

Dopo il condizionamento, la resistenza a trazione indiretta (ITS) di ciascuno dei due sottoinsiemi è stata determinata in conformità con EN 12697-23, alla temperatura di prova specificata (25 °C).

La prova consiste nel valutare la resistenza a trazione indiretta dei provini immersi in acqua e di quelli asciutti, e di conseguenza si trova il valore di ITSr (Indirect Tensile Strength Ratio).

Questi risultati, esposti nella **Fig. 3**, evidenziano come i valori ITSr per i provini non invecchiati siano molto vicini sia per HMA che per WMA. Come previsto, i provini in-

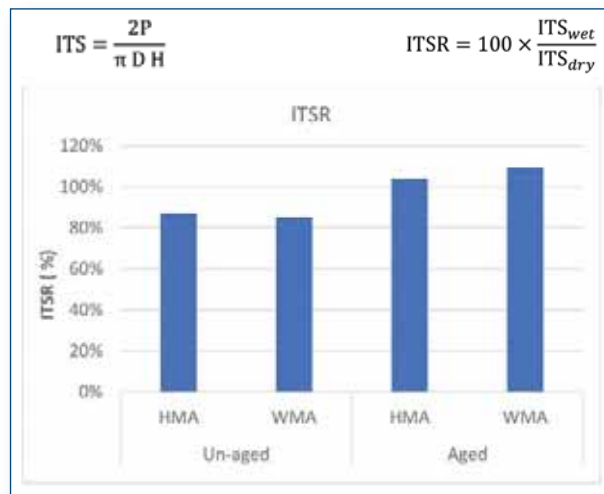


Fig. 3 Risultati della prova di trazione indiretta

vecchiati hanno valori ITSr più elevati rispetto ai campioni non invecchiati, a causa dell'indurimento del bitume, e in questo caso il valore di WMA è persino superiore a quello dell'HMA, accentuando l'irrigidimento.

Pertanto, possiamo dire che le prestazioni WMA in termini di sensibilità all'acqua sono paragonabili alle prestazioni dell'HMA tradizionale.

6. Deformazioni permanenti

Le deformazioni permanenti sono state valutate attraverso la prova WTT (Wheel Tracking Test), che consiste nel passaggio di un ruotino con pressione di gonfiaggio e carico applicato standard, su un tassello di asfalto di dimensioni (300x370x60 mm) ad una temperatura costante di 60 °C, facendo riferimento alla normativa EN 12697-22 (**Fig. 4**).

Il tassello di asfalto è stato preparato attraverso un rullo compattatore con ruote di acciaio, standardizzato secondo la normativa europea EN 12697-33.

La procedura scelta è "Compattazione per ottenere un contenuto di vuoti o un grado di compattazione specifici"; questa consiste in una compattazione di energia costante, finché il rullo di acciaio non appoggia sullo stampo, in modo



Fig. 4 La prova WTT

che la compattazione si fermi quando viene raggiunta l'altezza desiderata della lastra, e quindi i provini avranno densità molto simile per la attendibilità del test.

Le deformazioni permanenti vengono rilevate dopo aver fatto scorrere per 10000 cicli il ruotino gommato sul tassello alla temperatura costante di 60 °C.

Viene misurato l'abbassamento del solco formato che, se

supera i 20 mm, non è accettabile.

I grafici mostrano i risultati ottenuti sui diversi tasselli (**Fig. 5**); la denominazione "N" indica i provini prodotti con il conglomerato tradizionale, la denominazione "W" indica il conglomerato tiepido.

La prima sostanziale differenza è tra le due miscele: la miscela di HMA presenta deformazioni permanenti minori rispetto alla miscela di WMA. Questo può essere dovuto all'uso del "low temperature bitumen", che è un po' più soffice del bitume tradizionale, infatti presenta valori di penetrazione a 25 °C leggermente inferiori. La differenza di comportamento tra le due miscele è anche giustificata dal fatto che il WMA presenta un numero di vuoti maggiore, dovuto all'uso di temperature di compattazione più basse.

Un altro risultato immediato che si può notare è l'irrigidimento del bitume dopo la procedura di invecchiamento. I risultati in termini di deformazioni permanenti di entrambe le miscele per i provini invecchiati sono inferiori rispetto ai provini rappresentanti l'asfalto subito dopo la stesa, poiché, quando l'asfalto è invecchiato si irrigidisce a causa dell'incremento del legame tra bitume e aggregati.

Questo incremento di rigidità può sembrare avere un effetto positivo sulle miscele, ma come vedremo in seguito, maggiore rigidità non implica necessariamente maggior durabilità.

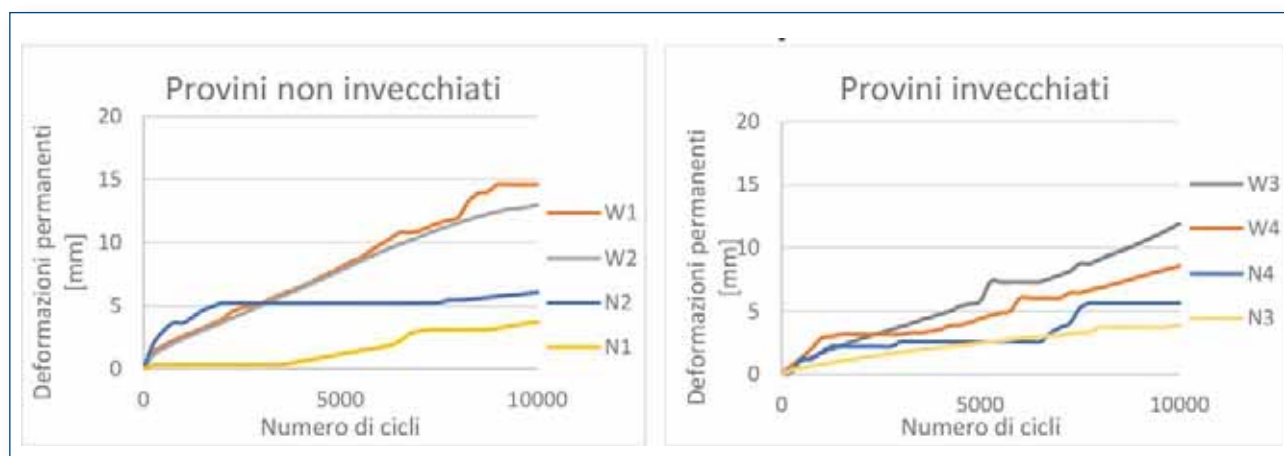


Fig. 5 Risultati delle prove WTT

7. Rigidezza

Per i test di rigidezza e di resistenza a fatica (Fig. 6), sono stati ricavati dei travetti di asfalto (420x60x60 mm), mediante il taglio di un grande tassello, ottenuto sempre attraverso una compattazione con il “roller compactor”. Del grande tassello di asfalto sono stati esclusi i bordi per andare a considerare solo la parte centrale, caratterizzata dalla stessa densità.

La rigidezza delle miscele è stata ricavata seguendo le procedure della EN 12697-26, mediante la prova di flessione a 4 punti, condotta “a controllo di deformazione”. Le deformazioni sono state mantenute sotto il livello di 50 µm per evitare che si danneggiassero i provini, i quali saranno poi sottoposti alle prove di fatica.

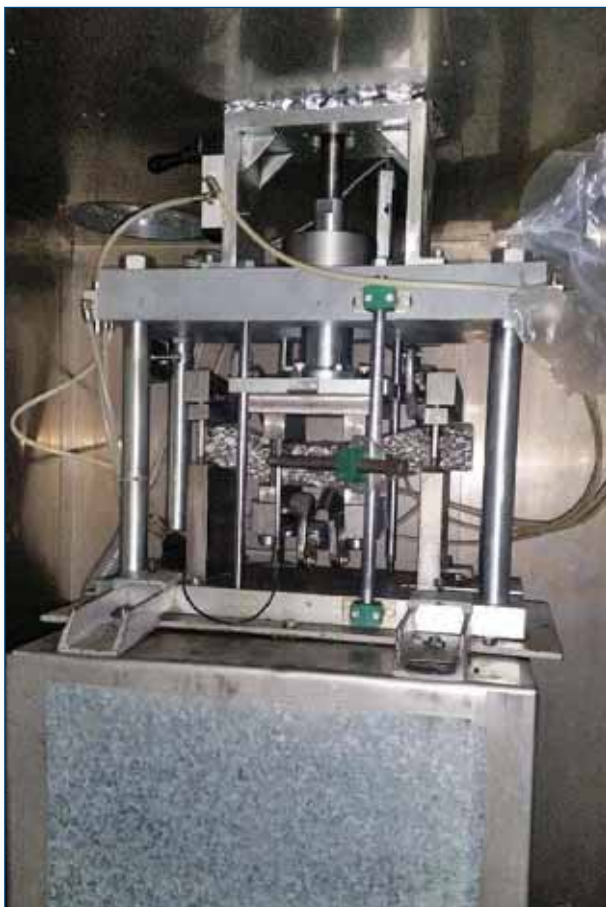


Fig. 6 Prove di rigidezza e resistenza a fatica

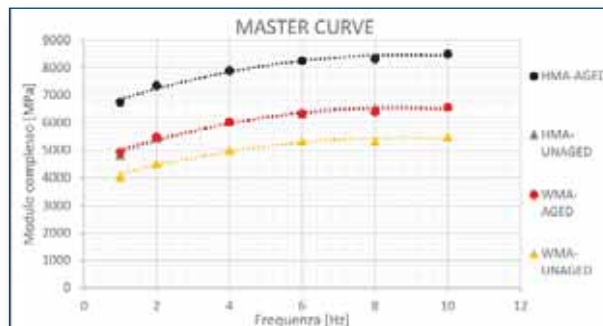


Fig. 7 Mastercurve delle miscele studiate

Nel grafico di Fig. 7, sono illustrate le Master Curve relative alle quattro miscele.

Come si evince dal grafico, i moduli complessi delle miscele invecchiate sono superiori rispetto alle miscele non sottoposte alla procedura di invecchiamento.

Questo comportamento è sempre giustificato dal fatto che col passare del tempo il bitume si indurisce e cresce il legame tra esso e l'aggregato. Ma una maggiore rigidezza non implica necessariamente un migliore asfalto, anzi ciò dimostra che con l'avanzare degli anni il conglomerato perde la sua componente elastica. Per quanto riguarda le due miscele, abbiamo valori di HMA che sono maggiori rispetto all'innovativo WMA. Come detto in precedenza, una maggiore rigidezza può essere un rischio per l'asfalto di essere soggetto a rottura fragile.

8. Resistenza a fatica

Il concetto di fatica si basa sul fatto che la maggior parte dei materiali subisce un graduale deterioramento sotto carichi ripetuti che sono molto più piccoli della resistenza ultima del materiale. La definizione di fatica per i conglomerati bituminosi è il fenomeno della frattura sotto sollecitazioni ripetute o fluttuanti con un valore massimo generalmente inferiore alla resistenza a trazione del materiale.

Al fine di elaborare strategie ottimali per la manutenzione e la riabilitazione, è essenziale formulare una previsione accurata della vita della pavimentazione e di conseguenza le sue esigenze di manutenzione. Uno dei metodi di previ- »

sione della vita sulla pavimentazione si basa sulla capacità della pavimentazione di sostenere la fatica. Se fosse possibile avere una previsione che rappresenti da vicino ciò che succede nel materiale, arriveremo alle giuste decisioni per la manutenzione della pavimentazione, risparmiando denaro e assicurando la sicurezza per gli utenti. Le pavimentazioni stradali sono soggette ad un carico ciclico e sono composte ad una successione di impulsi variabili sia temporalmente che di intensità, in relazione alla velocità, al peso e alla struttura dei mezzi in transito. In laboratorio, questa variabilità non viene generalmente considerata, i carichi ripetuti nella maggior parte delle prove di fatica sono tutti della stessa entità.

La prova di fatica viene eseguita sottoponendo un travetto di asfalto (420x60x60 mm) ad un carico sinusoidale a deformazioni imposte: 300, 200, 100 µm.

Il carico viene ripetuto fino al raggiungimento del 50% della resistenza dei provini e viene quindi definito il numero di cicli che portano a fatica i singoli provini (Fig. 8).

A deformazioni imposte maggiori, seguiranno logicamente cicli minori che portano a fatica il materiale, e attraverso questi dati è possibile costruire le curve di fatica espresse nei grafici seguenti.

Dalla figura 8 è chiaro che la procedura di invecchiamento riduce il numero di cicli di affaticamento: lo si può notare dal fatto che le curve “aged” sono posizionate più a

sinistra rispetto alle “not aged”.

Per questo motivo, è possibile affermare che la procedura di invecchiamento riduce la durabilità delle miscele di asfalto, indipendentemente dal fatto che sia HMA o WMA, come previsto.

Quindi l'irrigidimento visto in precedenza provocato dalle procedure di invecchiamento, non è positivo, ma fa perdere la componente elastica al conglomerato, il quale arriverà prima a fatica.

Nei grafici di Fig. 9 sono rappresentate le curve di fatica delle due miscele di asfalto, per confrontare la durabilità dell'HMA e del WMA, sia per le travi invecchiate che per quelle non invecchiate.

Il risultato mostra una tendenza simile delle curve. Il valore dei cicli di fatica tra le due miscele sono vicini, anche se il conglomerato tradizionale sembra essere leggermente più duraturo.

9. Conclusioni

Allo stato attuale c'è una sensibilità maggiore nei confronti delle questioni ambientali ed è impossibile ignorare la necessità di creare un materiale più sostenibile e meno inquinante, qualsiasi sia il settore. Il lavoro condotto in laboratorio va in questa direzione e vuole sensibilizzare la ricerca di metodi di produzione di conglomerati bituminosi che siano più favorevoli per l'ambiente, ma allo stesso

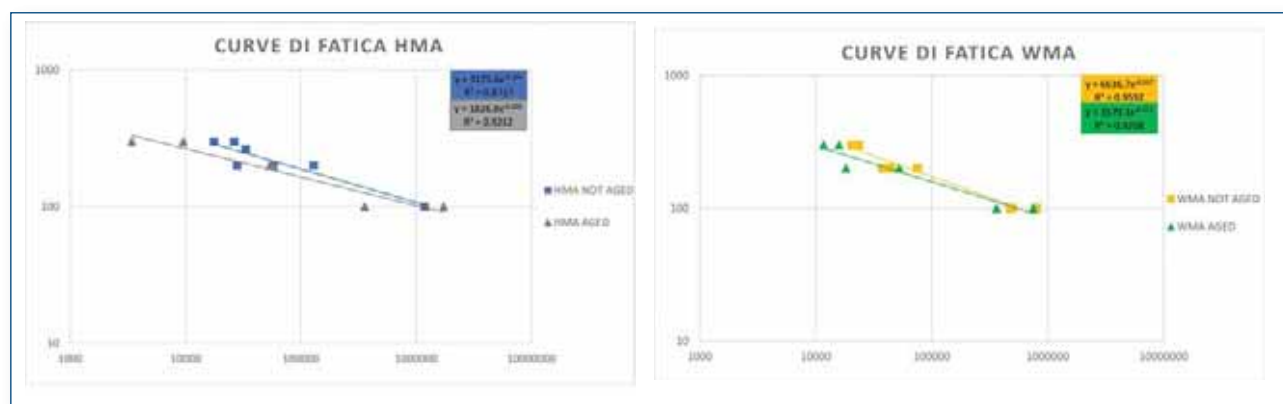


Fig. 8 Curve a fatica per il conglomerato tradizionale e quello tiepido (WMA)

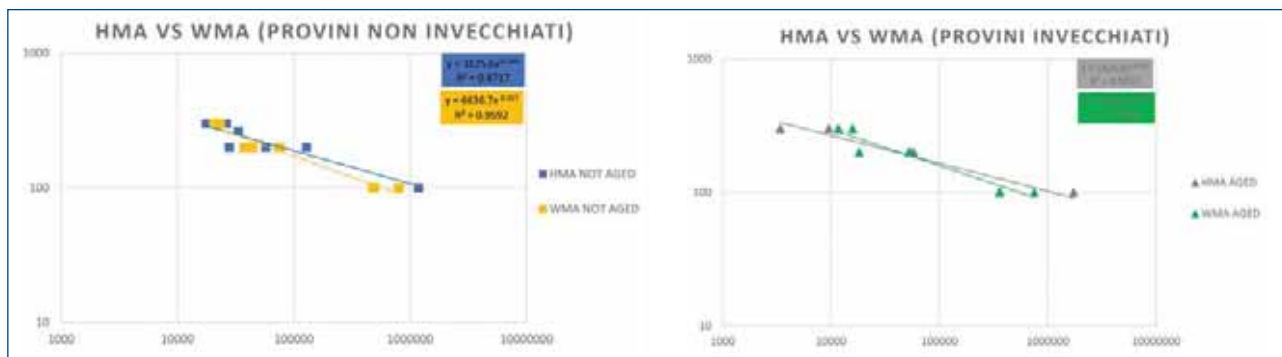


Fig. 9 Confronto delle curve a fatica per provini invecchiati e non

tempo vantaggiosi in termini economici. Oltre ai vantaggi economici ed ecologici già menzionati, è stato svolto il lavoro di laboratorio per verificare se le prestazioni del Warm Mix Asphalt (WMA) potessero competere con quelle dell'Hot Mix tradizionale a caldo (HMA), non andando ad annullare quindi tutti i vantaggi derivanti dall'uso della WMA. Gli obiettivi proposti sono stati raggiunti:

- › Per quanto riguarda la sensibilità all'acqua, sono stati trovati buoni valori di prestazione del WMA. I provini non invecchiati hanno lo stesso ITSR dei provini HMA, i provini invecchiati WMA presentano valori ITSR più alti rispetto agli esemplari realizzati con HMA tradizionale. I valori di entrambi i mix sono comunque superiori all'85%, rispettando così le direttive dei capitolati.
- › La resistenza alle deformazioni permanenti (Wheel Tracking Test) dei tasselli di WMA è leggermente peggiore rispetto ai provini di HMA. Le lastre invecchiate WMA mostrano una deformazione permanente inferiore a quelle non sottoposte ad invecchiamento, a causa dell'indurimento del bitume. Tuttavia, i valori delle lastre WMA non sono negativi (profondità del solco lasciato dalla ruota inferiore a 15 mm) al termine dei 10.000 cicli. Il limite imposto dalla normativa europea e dalla maggior parte dei capitolati è 20 mm, ma con entrambe le miscele si è abbondantemente sotto quel limite.
- › Per quanto riguarda il test di rigidità, le travi WMA hanno valori di rigidità paragonabili a quelli di HMA, ma con valori di modulo complesso leggermente inferiori rispetto

alla miscela tradizionale, sia nei provini invecchiati che in quelli non invecchiati. I valori dei moduli complessi espressi in Mpa sono comunque superiori alle richieste dei capitolati e sono ottimi per la messa in opera sia come strato di base che come strato di collegamento o di usura.

- › Dalla prova di flessione a 4 punti, sono state definite le leggi sulla fatica. Tutte le curve hanno tendenze simili. I provini HMA hanno una durabilità leggermente superiore rispetto ai travetti WMA, ma i risultati per il conglomerato tiepido sono accettabili. Le miscele invecchiate hanno una durata inferiore rispetto a quelle non invecchiate, come visto in precedenza, a causa dell'irrigidimento del conglomerato.

In generale, per tutti i test, la procedura di invecchiamento rende l'asfalto più rigido, perché il bitume e gli aggregati aumentano il loro legame e diminuisce la percentuale di vuoti nella miscela. Con l'invecchiamento si verifica un evidente aumento della rigidità, ma è un irrigidimento che rende l'asfalto soggetto a rottura fragile.

Per concludere, la miscela WMA ha prestazioni leggermente inferiori rispetto all'HMA. Nonostante questo, le prestazioni del conglomerato tiepido devono essere tenute in considerazione poiché presentano valori accettabili e superiori ai limiti imposti da normative e capitolati. Il WMA potrebbe essere utilizzato per strade non soggette ad alto traffico, dove non sono richiesti valori di rigidità troppo alti, andando così a salvaguardare l'ambiente e ad ottenere tutti i benefici conseguenti al suo utilizzo.