

# Caratteristiche volumetriche e prestazionali di asfalti tiepidi al variare della temperatura

## Warm Mix Asphalt volumetric and performance characteristics at different temperatures

### RIASSUNTO

Negli ultimi decenni, l'attenzione per la tutela ambientale ha assunto un'importanza sempre maggiore in ambito industriale; in particolare, nel settore delle costruzioni stradali, sono state sviluppate nuove tecnologie, come per esempio il Warm Mix Asphalt (WMA). In questo lavoro, realizzato interamente presso l'Università di Coimbra, sono state utilizzate due miscele tiepide additivate con un additivo chimico, e un più recente additivo organico. Le temperature di miscelazione e compattazione influenzano le proprietà volumetriche delle miscele; per questo motivo sono stati realizzati dei provini considerando diversi range delle temperature sopra citate. Nello specifico, sono state testate due miscele tiepide (WMA) e una calda Hot Mix Asphalt (HMA), realizzando 4 provini per ogni set di temperature di compattazione (utilizzando la Marshall e la Pressa Giratoria): 110, 120, 130 °C per le WMA, 110, 120, 160 °C per l'HMA (valori scelti per studiare gli effetti che piccole variazioni di temperatura possono provocare) e 115 °C con una miscelazione avvenuta a 170 °C per entrambe le miscele, così da valutare quale garantisca buone prestazioni nonostante una grande dispersione tra le temperature di miscelazione e compattazione dovuta a distanze notevoli tra l'impianto e il cantiere. Nel complesso sono stati preparati e testati 48 provini con la Marshall e 48 con la Pressa Giratoria; dopo aver valutato le proprietà volumetriche dei mix, sono stati effettuati test di compressione ciclica uniaxiale su provini realizzati con la Pressa Giratoria e test Marshall su gli altri. Dunque è stato possibile considerare i pro e i contro delle tre miscele.

### SUMMARY

*In order to have environmentally and socially friendly road pavements, different technologies have been developed. Some of them are related with the Warm Mix Asphalt (WMA). This work, made entirely in Coimbra (PT), used a Low Temperature Bitumen (LTB) and a new asphalt additive, an organic one, to produce WMA.*

*As the mixing and compaction temperature affect the volumetric properties of the mixtures, different mixing and compaction temperature values were tested and the corresponding results were compared with the ones from a traditional Hot Mix Asphalt (HMA) (tested in parallel). Therefore, three bituminous mixes were tested, two warm (WMA) and one hot (HMA). For each mix and each set of test temperatures (four for every mix), four specimens were prepared by using both the impact compactor and the gyratory compactor. One of the four testing temperatures in the WMA tried to evaluate the situation of longer hauling distances, the others three studied the influence of small variations in the compaction temperature (110, 120 and 130 °C for the WMA and 110, 120 and 160 °C for the HMA). A total of 48 "impact specimens" and 48 "gyratory specimens" were prepared and tested. Considering all specimens, the volumetric parameters were calculated and, with reference to the tests carried out, these were the uniaxial cyclic compression test over the "gyratory specimens" and the Marshall test over the "impact specimens". At last, the results emerged from the volumetric and mechanical characterization of all specimens have been analysed and the pros and cons of both mixtures have been studied.*



## 1. Le miscele tiepide

Rispetto ai tradizionali conglomerati bituminosi (*Hot Mix Asphalt* o *HMA*), le miscele cosiddette “tiepide” (*Warm Mix Asphalt* o *WMA*), garantiscono una riduzione dell’energia utilizzata per la loro produzione e della emissione di fumi, garantendo nello stesso tempo buone prestazioni. L’utilizzo di *WMA* consente anche altri vantaggi, come una migliore lavorabilità in inverno, tempi di chiusura al traffico più brevi (grazie ad una costruzione della pavimentazione più veloce) e la possibilità di considerare maggiori distanze di approvvigionamento.

Come noto, il *WMA* è una miscela che viene prodotta e stesa ad una temperatura di circa 20-40 °C inferiore rispetto a un equivalente *HMA*.

Per realizzare il *WMA*, è possibile utilizzare diverse tecnologie:

### Tecniche di schiumatura

(Processo a base d’acqua)

Questa tecnologia è la più utilizzata negli Stati Uniti e si basa sull’aggiunta di piccole quantità di acqua che possono essere iniettate, nel sito di produzione, direttamente nel bitume caldo o nella camera di miscelazione con gli aggregati. Quando l’acqua è mescolata con bitume caldo, le alte temperature lo fanno evaporare; il vapore, intrappolato, genera la schiuma che aumenta temporaneamente il volume del legante e riduce la viscosità della miscela. Questo effetto migliora notevolmente la capacità di rivestire i grani e la lavorabilità della miscela, ma la sua durata è limitata. Inoltre è necessario fare attenzione alla quantità di acqua aggiunta: deve essere sufficiente per formare l’effetto schiumogeno, ma non deve essere tale da causare problemi di spogliamento dell’aggregato. Anche se il processo alla base di questo metodo è lo stesso, ci sono diversi modi in cui l’acqua può essere aggiunta: il sistema indiretto utilizza la zeolite sintetica per produrre l’effetto schiumogeno, mentre quello diret-

to inietta l’acqua nel legante caldo, utilizzando degli appositi ugelli [1].

### Additivi chimici

In questo caso la riduzione della temperatura dipende dall’uso di agenti emulsionanti, tensioattivi, polimeri e additivi con l’obiettivo di migliorare il rivestimento dei grani, la lavorabilità e la compattazione della miscela. La quantità di additivi da aggiungere al mix, dipende dal tipo di prodotto utilizzato e dalle riduzioni di temperatura che si intende raggiungere. Esistono alcuni additivi che consentono una riduzione della temperatura tra 15 °C e 30°C e altri che consentono una maggiore riduzione (di 50-75 °C) [1].

### Additivi organici (Fig. 1)

In questa categoria rientrano le cere, lunghe catene di idrocarburi con un punto di fusione tra 80 °C e 120 °C; la temperatura alla quale fondono dipende strettamente dalla lunghezza della catena. Quando la temperatura supera il punto di fusione delle cere, di solito c’è una riduzione della viscosità; a seguito del raffreddamento della miscela, questi additivi si solidificano in particelle di dimensioni microscopiche e



Fig. 1 Additivo organico



**Fig. 2** Pezzature degli aggregati

sono omogeneamente distribuiti nel composto, causando un aumento della rigidità del legante.

Il tipo di cera deve essere accuratamente selezionato per evitare possibili inconvenienti: più specificamente, se il punto di fusione della cera è inferiore alla temperatura di servizio della miscela, possono verificarsi complicazioni; infatti, le cere dovrebbero essere resistenti e solide a queste temperature. La scelta della cera giusta riduce quindi la tendenza della miscela a diventare fragile a basse temperature.

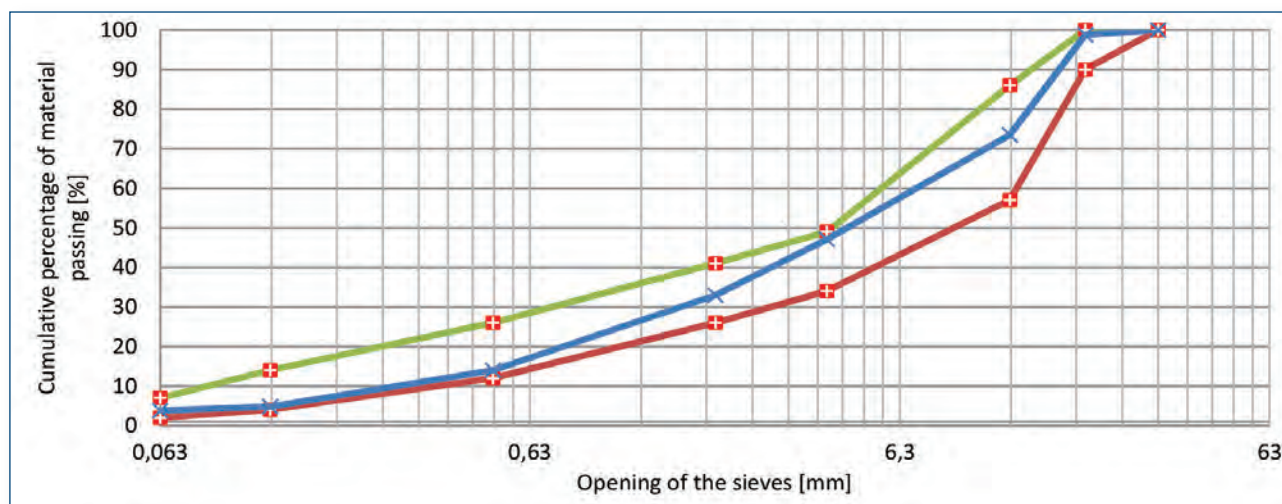
## 2. Scopo della ricerca

L'intera ricerca è stata eseguita presso il laboratorio del dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Coimbra (Portogallo) e ha voluto analizzare le caratteristiche volumetriche e prestazionali di due mi-

scele tiepide a confronto con i tradizionali conglomerati, al variare delle temperature di miscelazione e compattazione. Dunque, per effettuare gli studi di laboratorio, una miscela tiepida è stata realizzata con il 5% di un additivo chimico e l'altra con l'1,5% di un additivo organico molto recente, in commercio dallo scorso anno (le percentuali sono riferite al peso di un singolo provino).

## 3. Materiali e procedure

Per definire la composizione delle tre miscele, sono state scelte 5 diverse pezzature di aggregati di cui si riporta la foto (**Fig. 2**) in funzione delle loro dimensioni, indicando con P x/y il passante alla relativa maglia del setaccio avente dimensioni x/y (in mm). Dunque per tracciare la curva rientrante nel fuso granulometrico indicato dalla norma portoghese »



**Fig. 3** Fuso granulometrico

in riferimento al mix in esame (AC 20 bin/reg/base) e riportata in **Fig. 3**, è stata eseguita la setacciatura dei materiali sopra citati.

Per quanto riguarda il bitume, sono state considerate due diverse tipologie, entrambe aggiunte in quantità pari al 5% del peso totale di un provino:

- › 35/50 Normal Bitumen (HMA);
- › 35/50 Low Temperature Bitumen (WMA), bitume che può essere miscelato e compattato a temperature inferiori rispetto al tradizionale HMA.

Con riferimento alle miscele tiepide, sono stati contemplati due additivi:

- › Chimico (Low Temperature Bitumen intrinsecamente additivato);
- › Organico (Una cera, Fig. 1).

Per ciascuna delle tre miscele e ogni serie di temperature di prova (quattro per ogni mix), sono stati preparati quattro campioni utilizzando sia il pestello Marshall che la Pressa Giratoria, per un totale di 96 provini. Considerando un ampio intervallo di temperatura tra la miscelazione e la compattazione (170 e 115 °C), si è cercato di valutare le prestazioni delle miscele con grandi dispersioni di temperatura; gli

altri tre intervalli sono stati studiati invece per valutare l'influenza di piccole variazioni nella temperatura di compattazione (110, 120 e 130 °C per il WMA e 110, 120 e 160 °C per l'HMA). Allo scopo sono stati eseguiti diversi test:

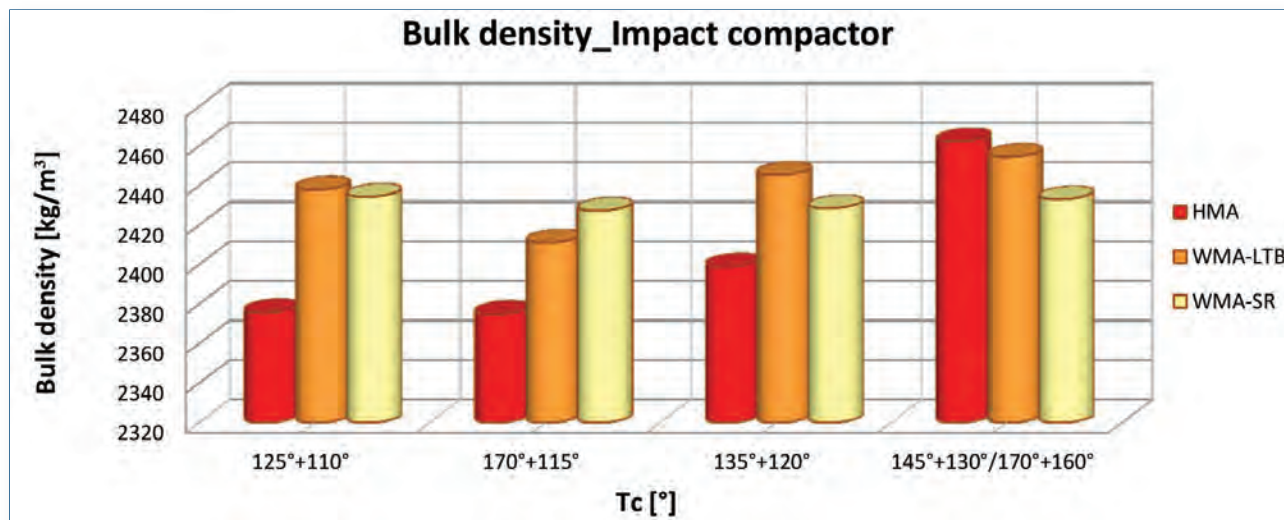
- › Bulk density e Maximum density per tutti i provini;
- › Test Marshall;
- › Compressione ciclica uniassiale.

#### 4. Risultati sperimentali

In questo paragrafo vengono riportati i risultati medi dei test eseguiti su tutti i campioni, considerando la compattazione avvenuta con la Marshall e con la Pressa Giratoria.

In particolare, in ogni grafico, vengono riportate sulle ascisse la temperatura di miscelazione + la temperatura di compattazione al crescere di quest'ultima; nell'ultimo intervallo vi sono 4 temperature, di cui le prime due sono riferite alle miscele tiepide WMA mentre le altre all'HMA.

L'intervallo di temperature 170 °C + 115 °C, è stato considerato per capire se, impiegando una elevata temperatura di miscelazione, fosse possibile trasportare la miscela per lunghe distanze, ottenendo



**Fig. 4** Bulk density dei provini realizzati con la Marshall

così una notevole riduzione della temperatura. Dunque, per quanto riguarda la densità apparente dei provini compattati con la Marshall, secondo la **Fig. 4**, la massima densità è stata ottenuta per la miscela di riferimento, HMA, considerando il più alto intervallo di temperature.

Analizzando i risultati ottenuti per le due miscele tiepide WMA-LTB (realizzata con additivo chimico) e WMA-SR (realizzata con additivo organico), si osserva che non variano molto cambiando la temperatura; ciò indica come la variazione di T non influisce in modo significativo in questo caso.

D'altra parte, la densità apparente dell'HMA varia notevolmente al diminuire della temperatura; il valore più alto si ottiene per la temperatura di compattazione pari a 160 °C e, ciò indica che, questa miscela, per contenere una percentuale di vuoti accettabile e non eccessivamente elevata, deve essere compattata a temperature elevate.

La **Fig. 5** illustra come con la Pressa Giratoria sia possibile ottenere, a tutte le temperature di compattazione, una densità superiore a quella ottenuta dalla compattazione con la Marshall. Inoltre, nel ca-

so in esame, a cambiamenti della temperatura, non sono state registrate grandi variazioni di densità. Il contenuto di vuoti d'aria ( $V_m$ ) presente nelle miscele, è stato calcolato come:

$$V_m = \frac{(\rho_m - \rho_b)}{\rho_m} \times 100 \%$$

dove:

$\rho_m$  è la densità massima della miscela, in kilogrammi per metri cubi ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\rho_b$  è la bulk density dei provini, in kilogrammi per metri cubi ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Pertanto, poiché la densità massima non cambia, la percentuale dei vuoti aumenta con la diminuzione della densità apparente, come si può notare confrontando le **Fig. 6** e la **Fig. 7** con la Fig. 4 e la Fig. 5, rispettivamente.

Confrontando i risultati ottenuti utilizzando i due metodi di compattazione, si evince che con la Pressa Giratoria la percentuale di vuoti diminuisce, solo dell'1% considerando i due WMA ma circa del 3% per l'HMA alle temperature più basse.

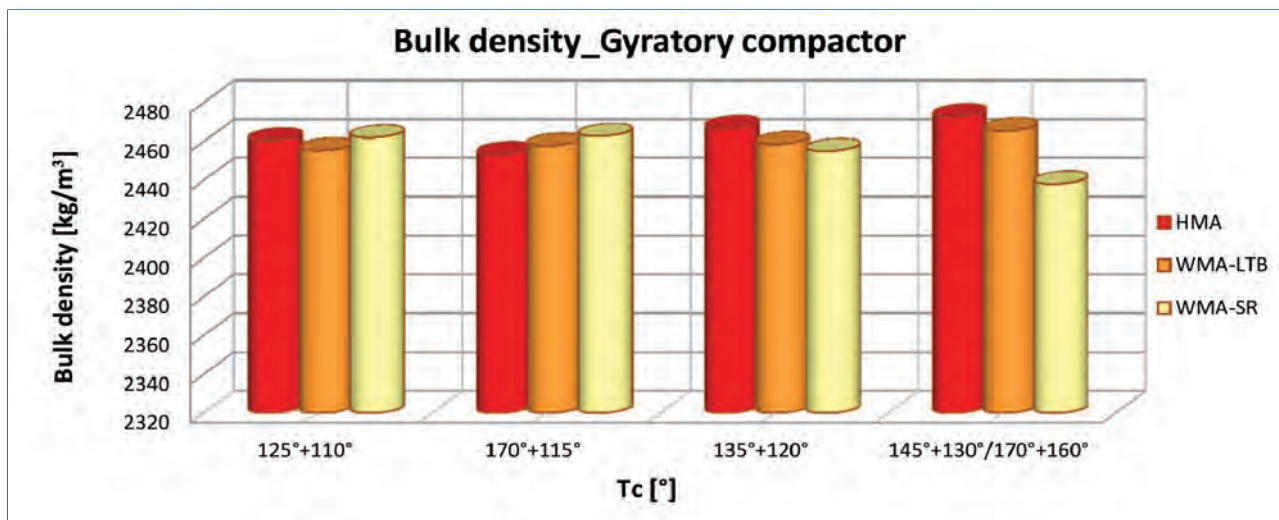


Fig. 5 Bulk density dei provini realizzati con la Pressa Giratoria

Tuttavia, in ogni caso analizzato, la temperatura di compattazione non influisce in modo particolare sui risultati delle WMA, a differenza della miscela HMA. Inoltre, è giusto dire che sono state ottenute circa le percentuali minime indicate da [2] che definisce per il Portogallo i range che devono rispettare tutti i parametri delle miscele; infatti, per il mix studiato, è ri-

chiesta una percentuale di vuoti tra il 3% e il 6%. Le percentuali ottenute intorno al 3%-4% non sono molto elevate perché le miscele sono miscele chiuse. Poiché la percentuale dei vuoti tende a diminuire in relazione al contenuto di bitume presente nel mix, il Vm non molto alto può essere dovuto all'elevato contenuto di bitume considerato in questo lavoro, il 5%.

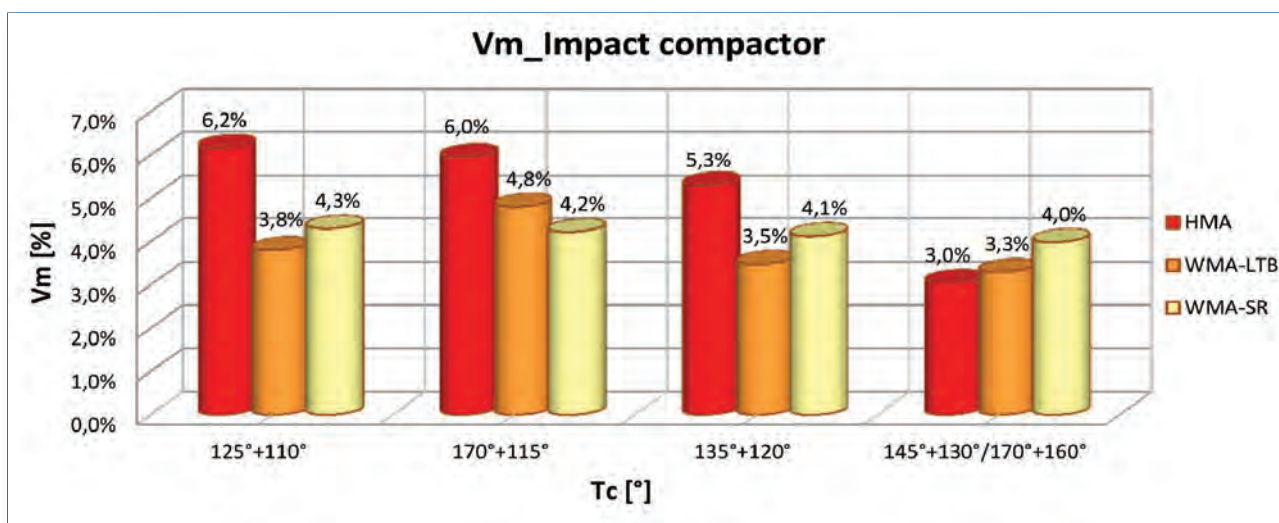
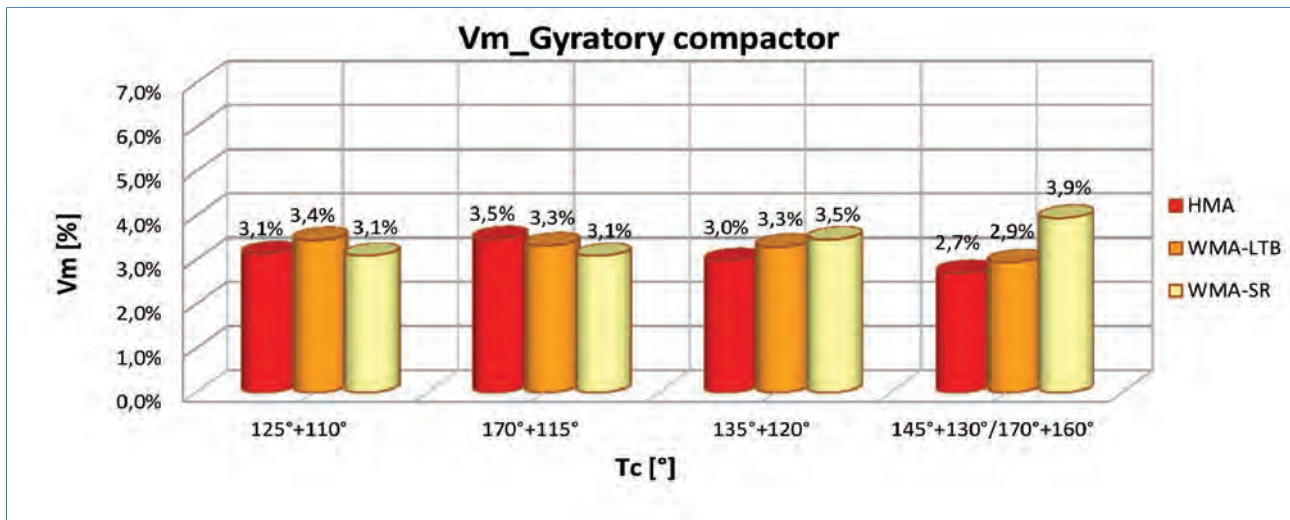


Fig. 6 Contenuto medio di vuoti d'aria per miscela e temperature testate-campioni preparati con Marshall



**Fig. 7** Contenuto medio di vuoti d'aria per miscela e temperature testate-campioni preparati con la Pressa Giratoria

La Fig. 7 mostra come l'HMA ha una percentuale di vuoti pari al 2,70% considerando le temperature più alte, leggermente inferiore al minimo richiesto. Pertanto, per aumentare questo valore, sarebbe stato necessario ridurre la percentuale di bitume.

Dopo aver determinato le caratteristiche volumetriche sopra riportate, ci si è focalizzati sui test da eseguire rispettivamente su provini realizzati con la Marshall e con la Pressa giratoria.

Quanto ai primi, con il "Test Marshall" sono state determinate la stabilità e la rigidità Marshall delle miscele, simulando un indebolimento delle stesse testandole a 60 °C.

In relazione ai valori di stabilità, il range richiesto per le miscele utilizzate in questo lavoro va da 7,5 a 15 kN [2]; pertanto, come indicato dalla **Fig. 8**, i tre mix, per ciascuna temperatura di compattazione considerata, forniscono valori di stabilità accettabili.

La Fig. 8 mostra come l'HMA abbia la massima stabilità di tutti considerando le temperature più elevate mentre a temperature più basse i risultati migliori sono per la miscela tiepida WMA realizzata con l'additivo organico (in giallo).

Tuttavia, sono stati registrati valori di stabilità elevati anche per le altre due miscele.

Per quanto riguarda il WMA con additivo chimico, è stata riscontrata la massima stabilità per una temperatura di compattazione di 120 °C (infatti la temperatura per la compattazione ideale di questa miscela è pari a 120°C).

D'altra parte, considerando la miscela tiepida realizzata con additivo organico, la temperatura di compattazione non ha influenzato i risultati ottenuti. In ogni caso è garantito un alto valore di stabilità (pari a circa 11 kN).

Infine, la WMA-LTB miscelata a circa 170 °C e compattata a seguito di una forte perdita di temperatura (115 °C) ha una buona stabilità, inferiore di 1,2 kN rispetto al risultato ottenuto alla temperatura ottimale di compattazione di 120 °C. Per quanto riguarda il WMA-SR, invece, i valori differiscono leggermente.

La rigidità Marshall è stata calcolata come rapporto tra stabilità e scorrimento.

Dalla **Fig. 9** è possibile notare come la miscela HMA abbia la maggiore rigidità Marshall. A basse tem- ➤

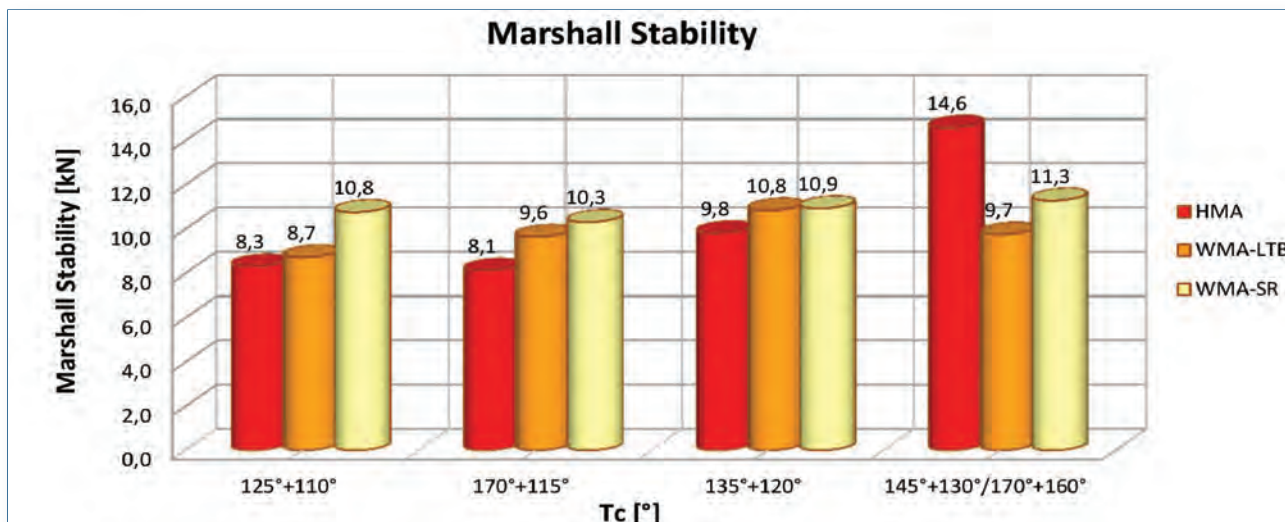


Fig. 8 Stabilità Marshall-Provini Marshall

perature il WMA-SR mostra risultati simili o superiori a quelli dell’HMA mentre i valori riferiti al WMA-LTB sono leggermente più bassi.

Considerando i test eseguiti su provini realizzati utilizzando la Pressa Giratoria, nonostante le aspettative per le quali è facile pensare che le WMA esibiscano simili prestazioni rispetto alla miscela di rife-

ramento HMA, per quanto riguarda le deformazioni permanenti, l’HMA mostra valori significativamente inferiori anche a basse temperature.

Inoltre, è evidente che, per questo test, la temperatura di compattazione ha influenzato i risultati: la Fig. 10 rivela infatti come le deformazioni permanenti aumentano al diminuire della temperatura di compatt-

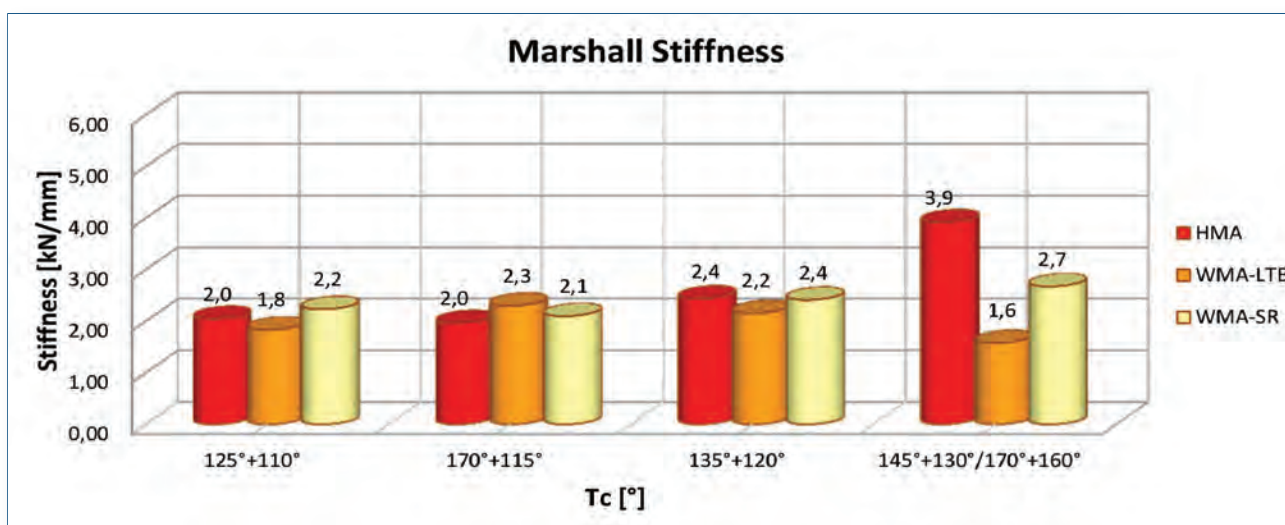
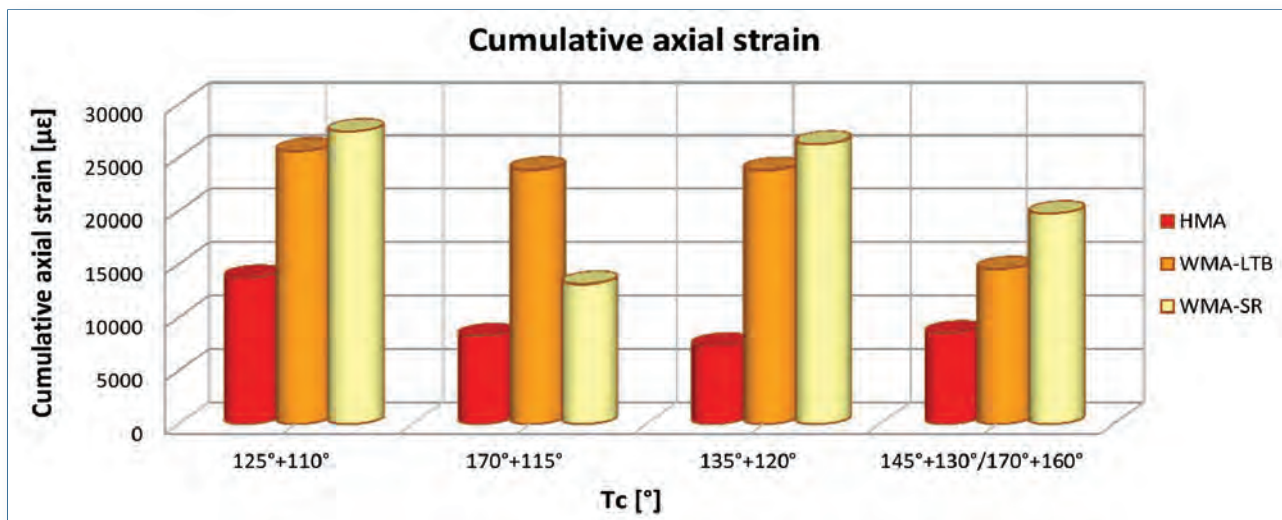


Fig. 9 Rigidezza Marshall-Provini Marshall





**Fig. 10** Deformazioni permanenti-Provini Pressa Giratoria

tazione. Pertanto, è come se, a lungo termine, le miscele compresse a basse temperature non restituiscano prestazioni eccellenti rispetto a quella di riferimento.

Probabilmente ciò dipende dalla natura del legante utilizzato in quanto quello delle miscele additivate è meno soggetto all'invecchiamento a causa delle temperature più basse a cui è riscaldato e di una maggiore sensibilità all'umidità, dunque sembra essere più sensibile di un bitume tradizionale e pertanto la sovrastruttura potrebbe subire deformazioni permanenti premature [3].

Tuttavia, il parametro più significativo del test non è la deformazione massima raggiunta, ma è la velocità con cui tali deformazioni si accumulano: più questo valore è elevato, maggiore è il rischio che la miscela subisca rapidamente deformazioni permanenti. La **Fig. 11** mostra i valori medi della velocità sopra citata.

Il valore del creep rate conferma che la miscela con meno deformazioni e velocità di accumulo delle stesse, è quella tradizionale (HMA).

Tuttavia, nonostante quello che mostra la Figura 8,

la miscela realizzata con additivo organico presenta un minore accumulo di deformazioni nel tempo rispetto all'altra WMA.

## 5. Conclusioni

I risultati delle analisi delle miscele WMA, confrontate con quelle svolte considerando l'HMA, hanno permesso di trarre alcune considerazioni.

Come è stato osservato nei test di laboratorio, entrambe le WMA hanno un'alta fluidità e lavorabilità anche a temperature alle quali normalmente il bitume è particolarmente viscoso e, di conseguenza, le miscele bituminose sono molto difficili da miscelare e poi compattare.

Pertanto ne consegue che è possibile utilizzare tali miscele tiepide nelle stagioni più fredde o in zone con climi rigidi, senza avere ripercussioni sulla reologia delle stesse.

Inoltre, i risultati ottenuti per la stabilità Marshall dimostrano una risposta leggermente migliore della miscela WMA realizzata con l'additivo organico rispetto all'altra realizzata con additivo chimico; entrambe però hanno mostrato un comportamento »

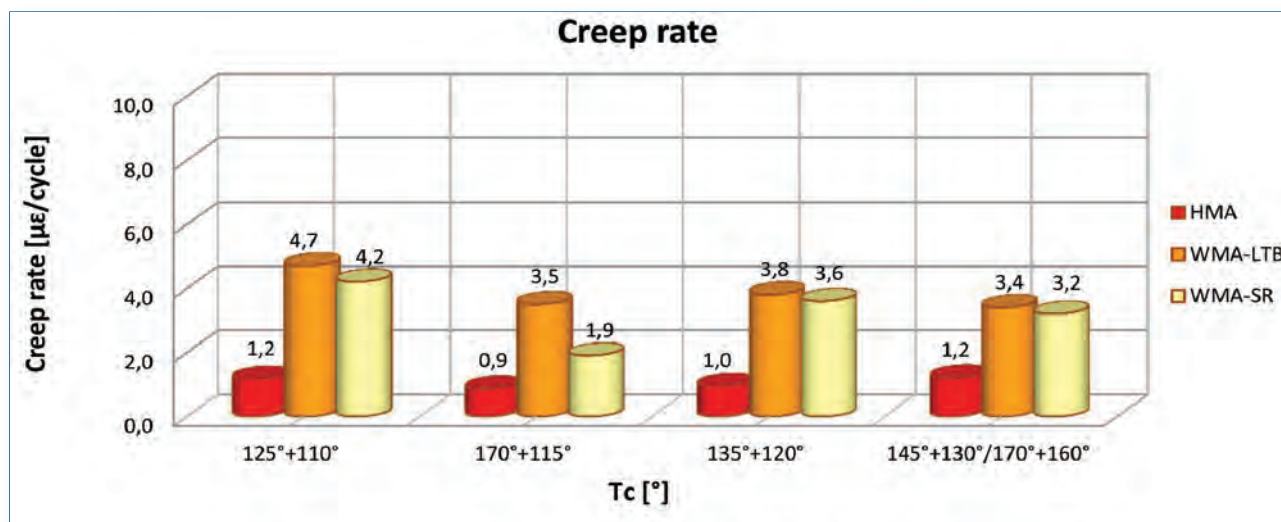


Fig. 11 Velocità di accumulo delle deformazioni permanenti-Provini Pressa Giratoria

preferibile, rispetto alla HMA, per basse temperature di miscelazione e compattazione.

Tuttavia, i risultati dei test che hanno avuto come scopo lo studio dell'accumulo di deformazioni permanenti e la velocità con cui queste si accumulano nel tempo (test di creep dinamico), hanno lasciato qualche dubbio circa l'efficacia a lungo termine delle miscele tiepide; infatti, a basse temperature, le deformazioni accumulate a 60 °C nel caso delle due WMA sono il doppio della deformazione dell'HMA e, alle due temperature di compattazione più elevate, la differenza tra i risultati è ancora più evidente. Poiché l'unica differenza tra i materiali consiste nel bitume a basse temperature o nell'aggiunta dell'additivo, si può pensare che in questi ultimi due casi, sebbene vi siano numerosi vantaggi, si ottengono effetti negativi per quanto riguarda la resistenza alla deformazione permanente, in particolare ad alte temperature di esercizio.

Tuttavia, anche a questo proposito, la WMA con additivo organico ha mostrato un comportamento migliore rispetto alla miscela realizzata con additivo chimico: quindi, per grandi distanze tra l'impianto e

il cantiere (caso testato con 170 °C di miscelazione e 115 °C di compattazione), la prima miscela menzionata garantisce risultati migliori rispetto all'altra. Per ridurre la deformazione permanente è possibile considerare l'applicazione di griglie in vetroresina a metà profondità dei campioni di asfalto: aumentano la loro resistenza alla deformazione permanente rispetto a quella dei campioni non rinforzati [4].

Senza alcun dubbio, nel corso degli anni, il campo di test eseguiti sarà implementato e servirà come validazione dei risultati ottenuti in laboratorio e, nel tempo, fornirà risultati più accurati e veritieri riguardo il comportamento di questi materiali innovativi; ad esempio, le deformazioni permanenti potrebbero essere valutate considerando le effettive condizioni del traffico.

Quindi, in conclusione, è importante sottolineare come le variazioni di temperatura non influenzano molto le prestazioni delle miscele tiepide WMA, mentre la miscela HMA è particolarmente sensibile a queste modifiche.

La grande differenza emersa tra le tre miscele riguarda la lavorabilità; come precedentemente de-

scritto, infatti, la miscela HMA ha mostrato una minore lavorabilità. Inoltre, ciò richiede più energia di compattazione rispetto alle altre due, il che si traduce in un maggiore consumo e una maggiore emissione di fumi.

D'altra parte però, è evidente che a lungo termine la miscela HMA ha un comportamento migliore rispetto alle altre due, anche se compattata a basse temperature.

Dunque, l'utilizzo delle miscele tiepide WMA si traduce, principalmente, in un beneficio riguardante il risparmio energetico e la tutela dell'ambiente.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Rubio, M. C., Martínez, G., Baena, L., & Moreno, F. (2012). Warm mix asphalt: an overview. *Journal of Cleaner Production*, 24, 76-84.
- [2] IP, 2014. Caderno de Encargos Tipo Obra. 14.03 - Pavimentação - Características dos materiais. Lisboa - Portugal: Estradas de Portugal, S.A. (2012)
- [3] Casarin, M. "Analisi sperimentale di conglomerati bituminosi tiepidi prodotti con additivi chimici". Tesi di Laurea Università di Padova (2014).
- [4] Mounes, Sina Mirzapour, et al. "Evaluation of permanent deformation of geogrid reinforced asphalt concrete using dynamic creep test". *Geotextiles and Geomembranes* 44.1 (2016): 109-116.

