



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

ASPHALT-WORKSHOP **CAM STRADE/STRAßENBAU**

Provincia Autonoma di Bolzano – Ordine Ingegneri Bolzano

Tecnologie per la realizzazione dei conglomerati bituminosi tiepidi



Prof.ssa Gilda Ferrotti

Università Politecnica delle Marche (Ancona)

DICEA

DIPARTIMENTO INGEGNERIA
CIVILE EDILE ARCHITETTURA
18 | 22 23 | 27 ECCELLENZA

Bolzano, 5 dicembre 2024



UNIVPM – Facoltà di Ingegneria



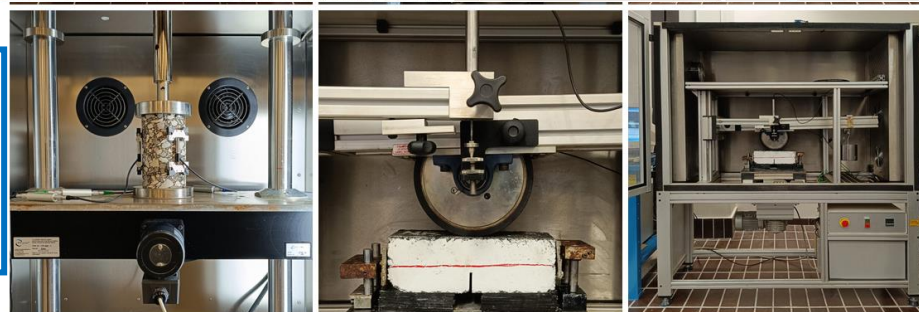
Laboratorio Strade UNIVPM

Leganti bituminosi

Miscele bituminose



Centro Nazionale Mobilità Sostenibile MOST



Sommario

- ❑ Tecnologie per la produzione dei conglomerati bituminosi tiepidi
- ❑ Caratterizzazione della fase legante
- ❑ Vantaggi legati all'impiego dei conglomerati bituminosi tiepidi
- ❑ CAM strade



Tecnologie per la produzione dei conglomerati bituminosi tiepidi

Conglomerati bituminosi tiepidi

I conglomerati bituminosi tiepidi (Warm Mix Asphalt, WMA) possono essere prodotti, applicati e compattati a temperature inferiori di 20-40 °C rispetto ai conglomerati bituminosi caldi (Hot Mix Asphalt, HMA).



WARM MIX ASPHALT, Fitts G.L., ppt presentation from Asphalt Institute, Garden Ridge (Texas)

Temperature di miscelazione e compattazione

A caldo

**Temperatura aggregati
~ 170-180 °C**

+

**bitumen @
160-180 °C**

**Miscelazione
~ 160-170 °C**

**Compattazione
~ 150-160 °C**

Tiepidi

**Temperatura aggregati
~ 130-140 °C**

+

**bitumen @
160-180 °C**

+

**ADDITIVO
WMA**

**Miscelazione
~ 120-130 °C**

**Compattazione
~ 110-120 °C**

Additivi per conglomerati bituminosi tiepidi

Processi di schiumatura



«Water-based»



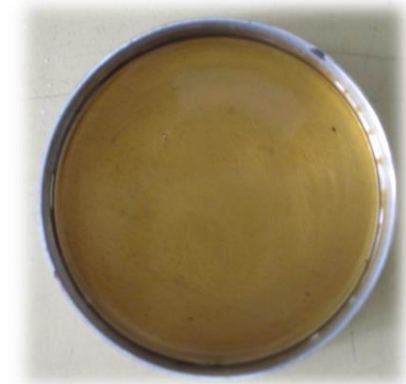
«Water-containing»
Es. zeoliti sintetiche

Additivo organico



Cere

Additivo chimico



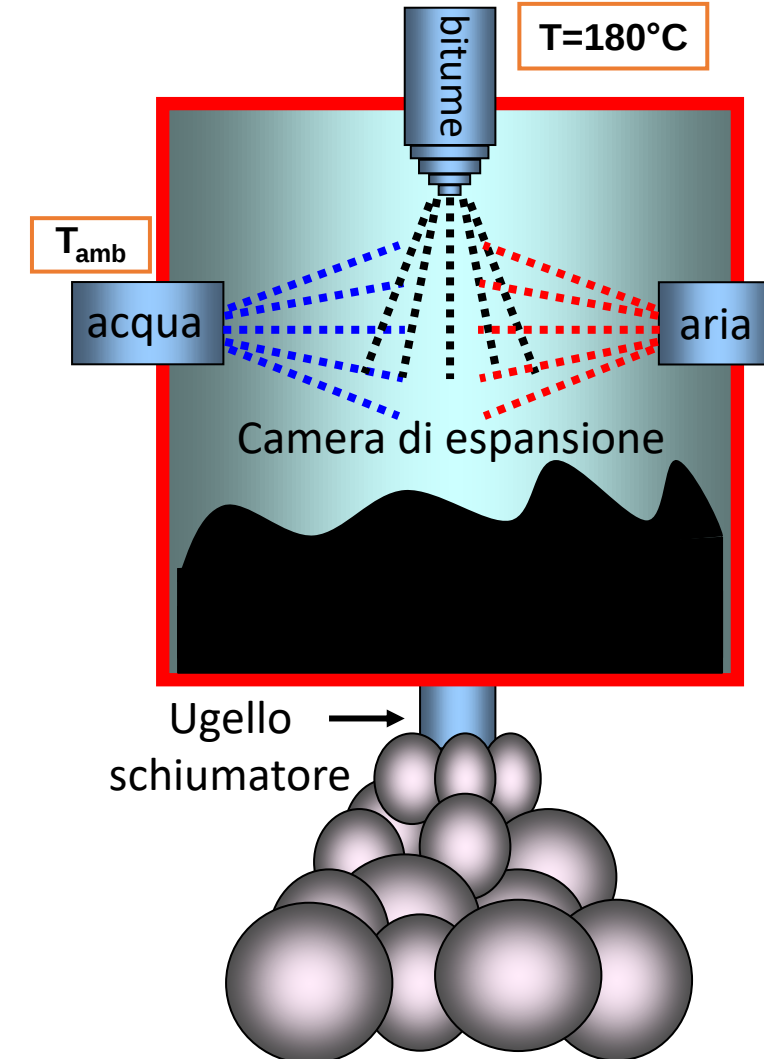
Additivi solidi

Additivi liquidi

Processi di schiumatura «water based»

Schiumatura tramite contatto diretto fra **bitume caldo**, **acqua fredda** e **aria in pressione**. Per il processo di micro-schiumatura è necessaria una ridotta quantità d'acqua, in genere compresa tra 1% e 4% rispetto al peso del bitume.

L'acqua tende a evaporare e a generare bolle che fanno incrementare il volume e diminuire la viscosità del legante. La schiuma si dissolve in genere in meno di un minuto

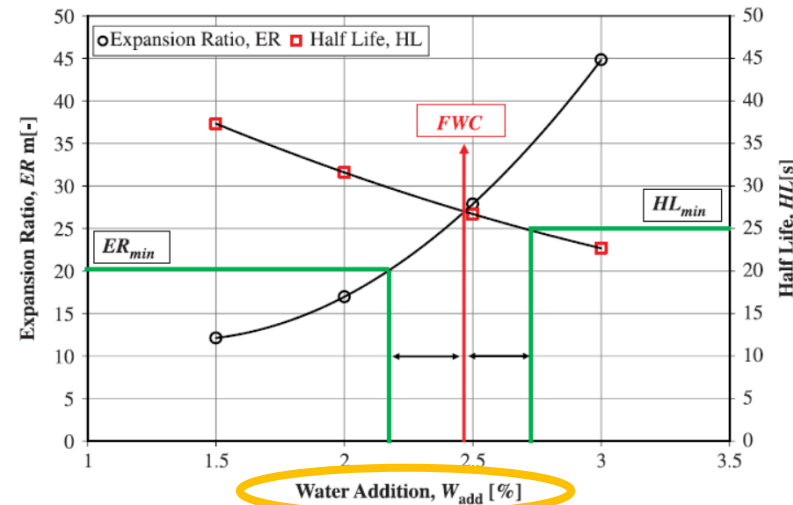


Processi di schiumatura «water based»

Rapporto di espansione (Expansion ratio, ER) = il rapporto tra il volume massimo di bitume schiumato e il volume iniziale di bitume;

Tempo di dimezzamento (Half Life, HL) = tempo necessario alla schiuma per arrivare a metà del suo volume massimo

In impianto



Godenzoni, C., Graziani, A., Perraton, D., 2017. Complex modulus characterisation of cold-recycled mixtures with foamed bitumen and different contents of reclaimed asphalt. Road Mater. Pavement Des. 18 (1), 130–150.

- ❑ Bitumi particolarmente studiati per garantire alte prestazioni schiumogene → i **bitumi a bassa viscosità** (maggiore penetrazione) danno, in genere, prestazioni migliori anche in termini di stabilità della schiuma
- ❑ I **bitumi modificati non** sono **adatti** alla schiumatura

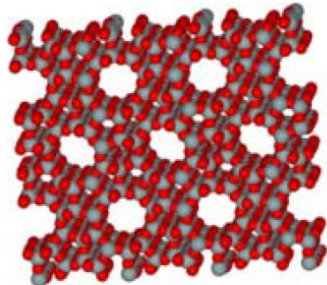
Additivi solidi (agenti schiumogeni, cere)

Processi di schiumatura «water containing»

Le zeoliti sintetiche sono particelle che contengono circa il 20% di acqua “intrappolata” nei vuoti presenti all’interno della loro struttura molecolare.

A contatto con il bitume caldo, l’umidità presente nelle zeoliti viene rilasciata sotto forma di vapore generando la micro-schiumatura del bitume.

Il fenomeno di micro-schiumatura e il conseguente abbassamento di viscosità del bitume **dura circa 6-7 ore**



Additivi organici

Gli additivi organici sono rappresentati dalle **cere**.

Quando la temperatura supera il punto di fusione della cera ($\approx 80-100^{\circ}\text{C}$), la miscela diviene altamente lavorabile permettendo la produzione del conglomerato bituminoso a temperature ridotte.

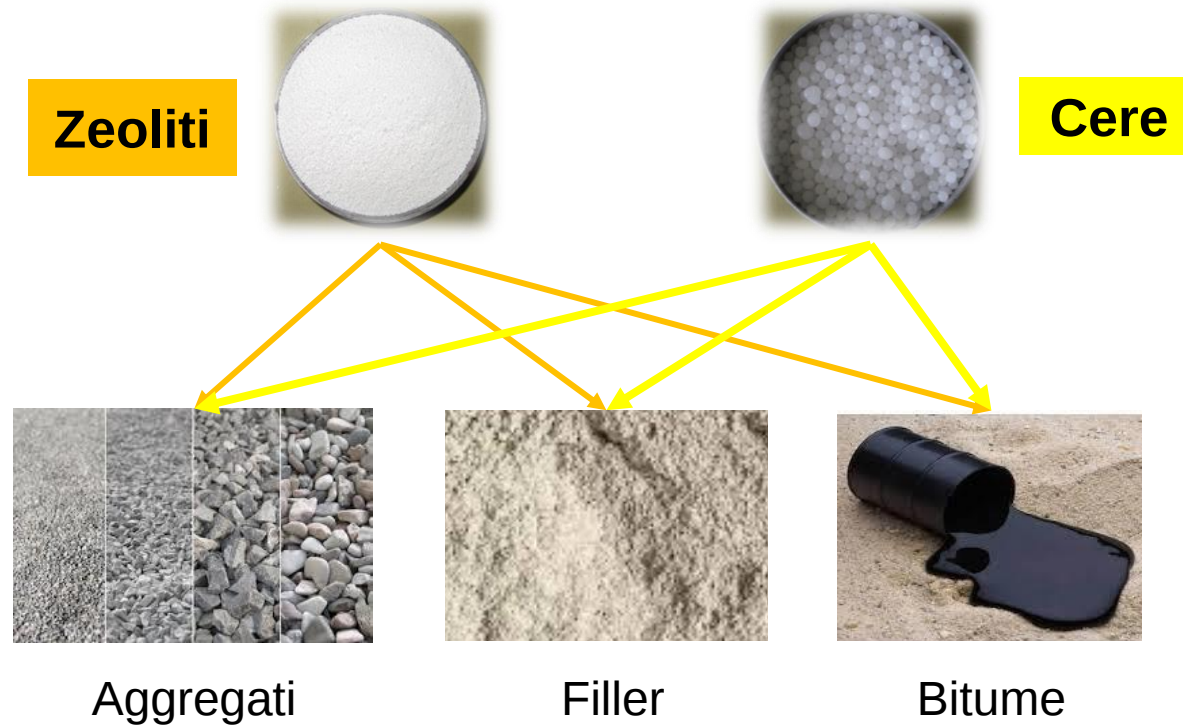
Quando la miscela raffredda, le cere solidificano sotto forma di particelle microscopiche uniformemente distribuite



SCELTA ADDITIVO: temperatura di fusione della cera superiore alle temperature di esercizio per evitare complicazioni!!

Additivi solidi (agenti schiumogeni, cere)

In impianto

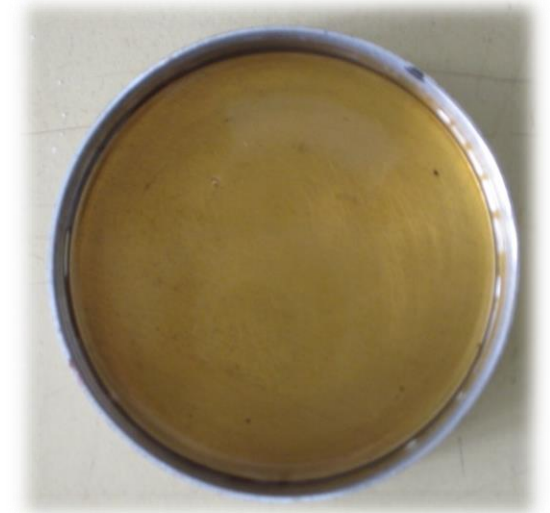


Additivi chimici (liquidi)

Sono costituiti da una miscela di agenti emulsionanti, tensioattivi, polimeri e additivi per aumentare l'adesione e la lavorabilità della miscela.

Agiscono come tensioattivi all'interfaccia microscopica aggregato-bitume, riducendo le forze di attrito

Ingrassia L.P., Lu X., Canestrari F., Ferrotti G., Tribological characterization of bituminous binders with Warm Mix Asphalt additives. *Construction and Building Materials* 172 (2018) 309–318



Gli agenti chimici migliorano la lavorabilità e la compattazione del conglomerato e migliorano il rivestimento del legante sugli aggregati, anche a temperature ridotte.

Additivi chimici (liquidi)

In impianto

A. Nella cisterna del **bitume**



B. In fase di **miscelazione**

Gli additivi chimici vengono aggiunti **al bitume**
oppure **in fase di miscelazione** del conglomerato

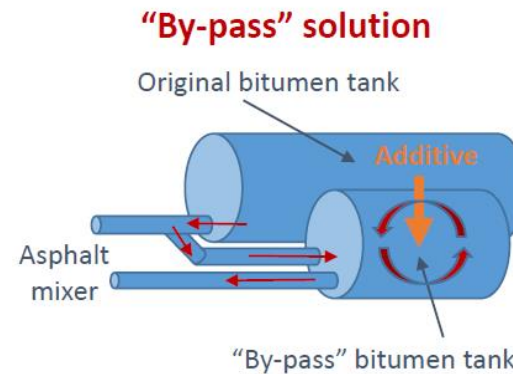
Additivi chimici (liquidi)

In impianto A. Nella cisterna del bitume

A.1 Bitumi che contengono già l'additivo



A.2 Introduzione di un by-pass



- ❑ Il bitume caldo viene trasferito nella cisterna di "by-pass"
- ❑ Successivamente, nella stessa cisterna viene introdotto l'additivo
- ❑ Viene attivato il processo di ricircolo
- ❑ Il bitume con l'additivo viene inviato al mescolatore del conglomerato bituminoso

"Mezclas Bituminosas Sostenibles" research project – LabIC, University of Granada



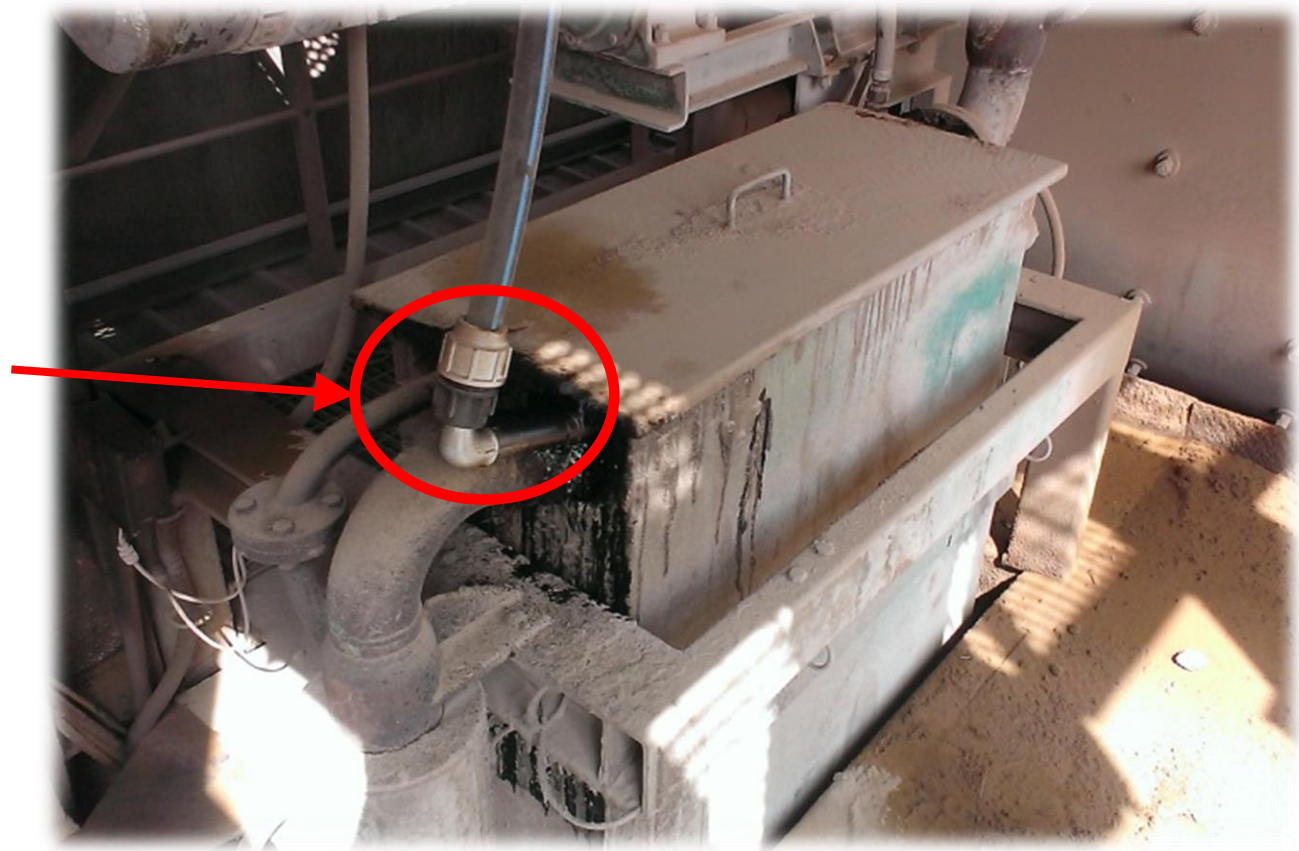
Additivi chimici (liquidi)

In impianto

B. In fase di miscelazione

Conduittura per
l'aggiunta dell'additivo

Non sono necessarie modifiche
sostanziali all'impianto



Mix design di miscele bituminose tiepide

I metodi di **mix design tradizionali** possono essere impiegati per la progettazione di **miscele tiepide**

1. **GRANULOMETRIA**: le curve granulometriche rimangono invariate
2. **ADDITIVI**:
 - se si utilizzano additivi organici e chimici, non vanno aggiunti ulteriori additivi
 - se si utilizzano zeoliti sintetiche, potrebbe essere necessaria l'aggiunta di tensioattivi
3. **TEMPERATURE DI PRODUZIONE**: le temperature variano a seconda del tipo di tecnologia utilizzata. I range di temperature devono garantire una completa copertura degli aggregati e una buona lavorabilità per un sufficiente lasso di tempo
4. **SCELTA DEL BITUME**: non ci sono indicazioni particolari in tal senso
5. **CONTENUTO DI BITUME**: secondo le indicazioni del NCAT (National Center for Asphalt Technologies), il contenuto di legante ottimale può essere determinato con i metodi standard utilizzati per gli HMA

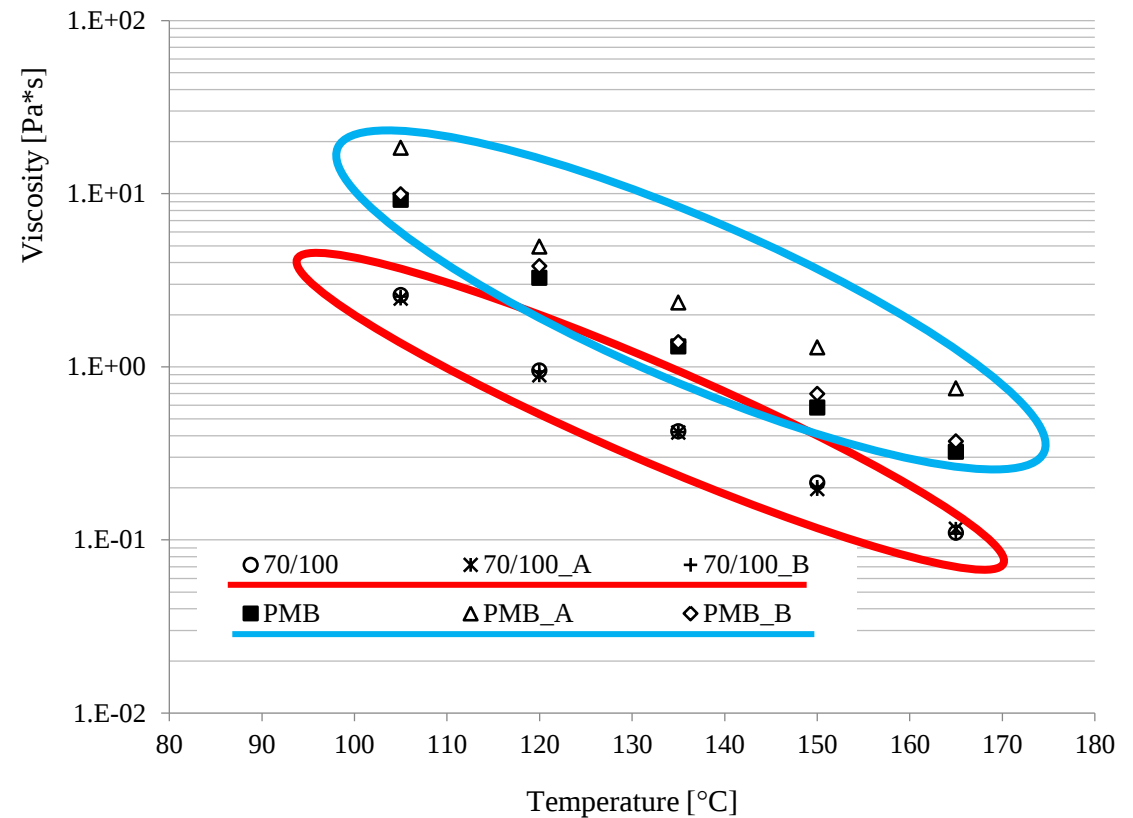


Caratterizzazione della fase legante

Caratterizzazione della fase legante

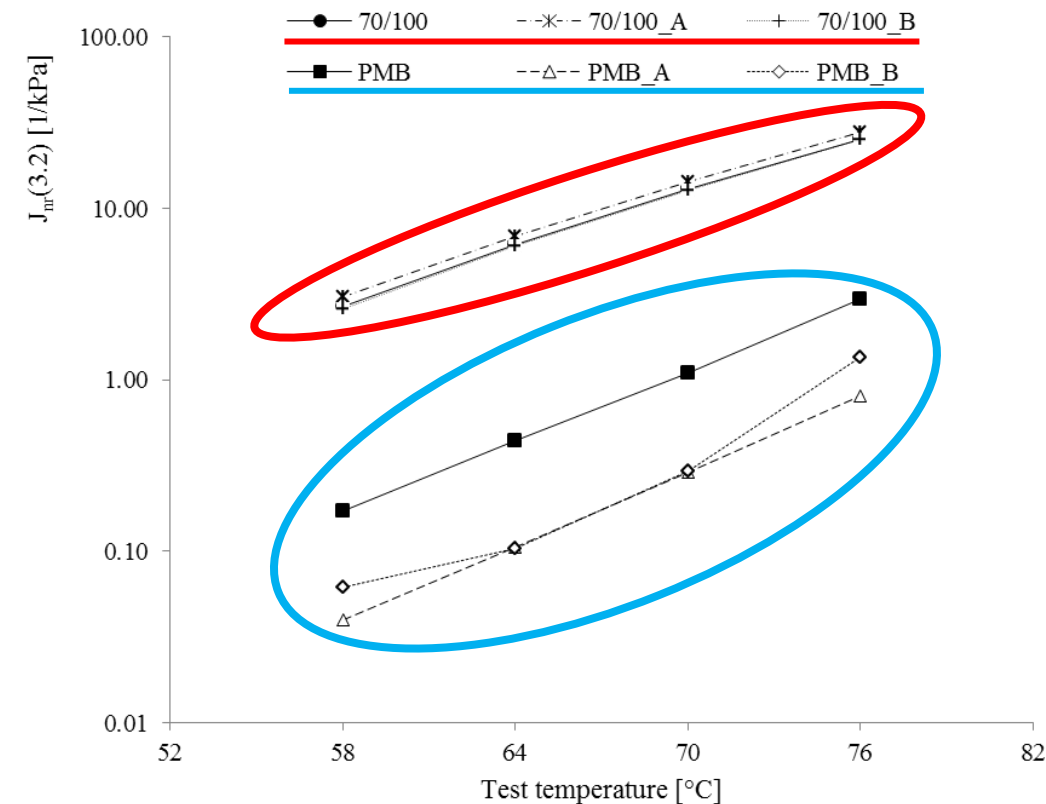
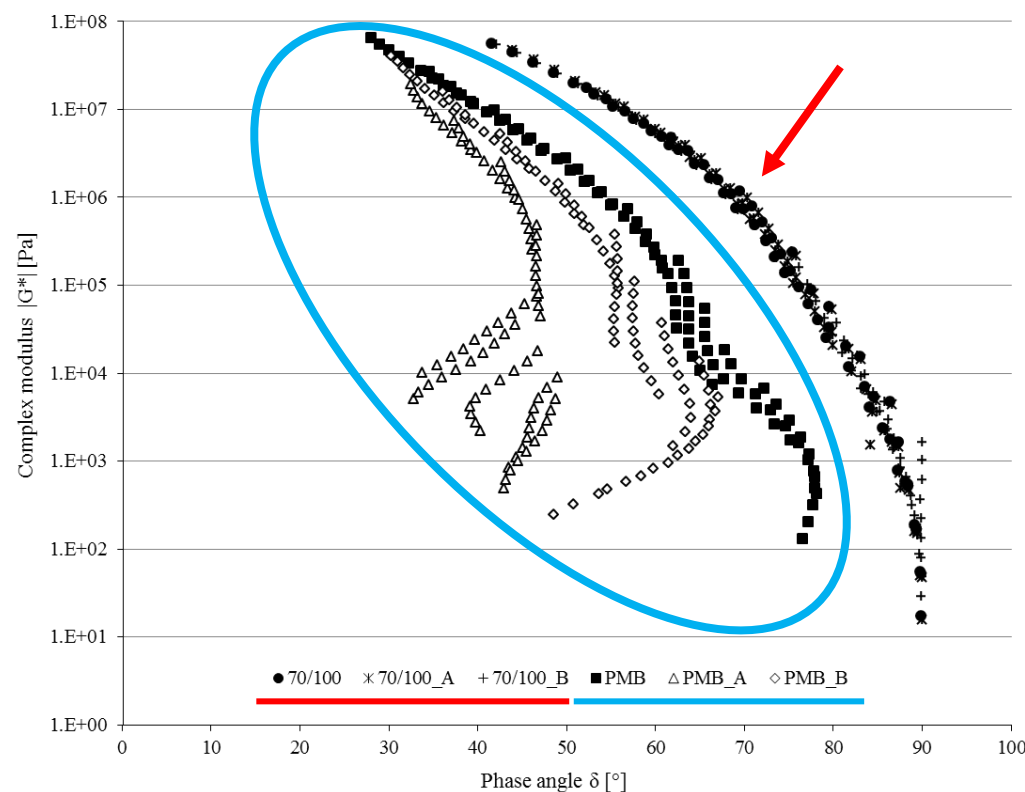
A and B = chemical additives

Binder code	Penetration @ 25 °C (0.1 mm)	R&B (°C)
70/100	81	45.8
70/100_A	73	46.2
70/100_B	67	47.0
PMB	33	75.0
PMB_A	32	75.8
PMB_B	33	72.2



Caratterizzazione della fase legante

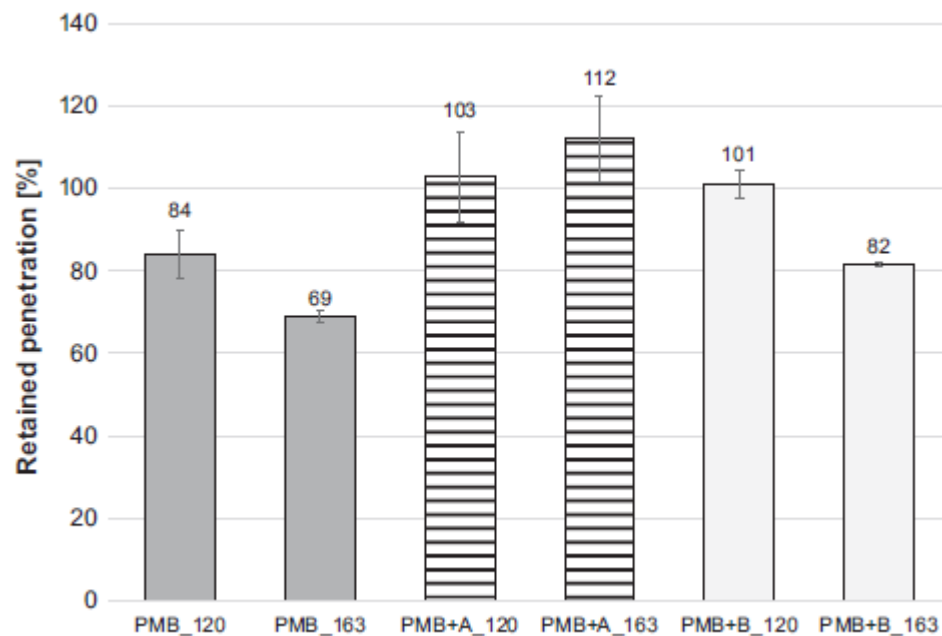
A and B = chemical additives



Ferrotti G., Ragni D., Lu X., Canestrari F. Effect of warm mix asphalt chemical additives on the mechanical performance of asphalt binders. *Materials and Structures* (2017) 50:226

Caratterizzazione della fase legante

A and B = chemical additives



$$RP [\%] = \frac{P_{AGED}}{P_{UN-AGED}} \times 100$$

Indice di
invecchiamento

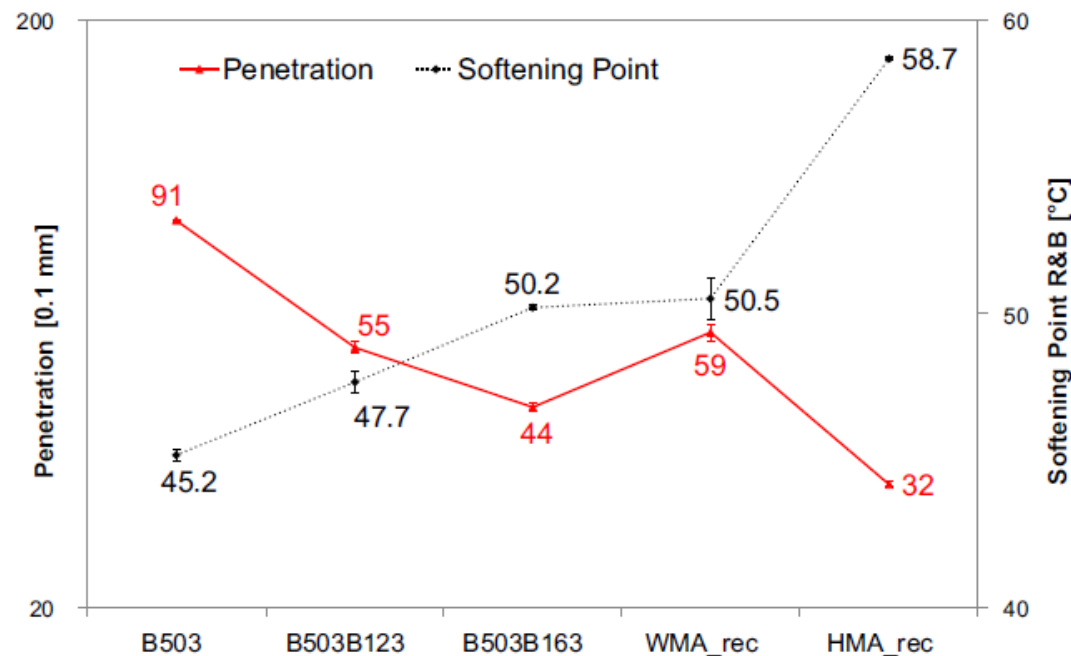
$$AI = \frac{X_{AGED}}{X_{UN-AGED}}$$

- viscosità
- tendenza all'ormaiamento
- modulo complesso
- parametri chimici

Tutti gli indici di invecchiamento studiati hanno mostrato che il legante modificato con polimeri e **contenente additivi chimici** ha una **minore tendenza all'invecchiamento** rispetto allo stesso legante in cui non sono stati impiegati additivi chimici

Caratterizzazione della fase legante

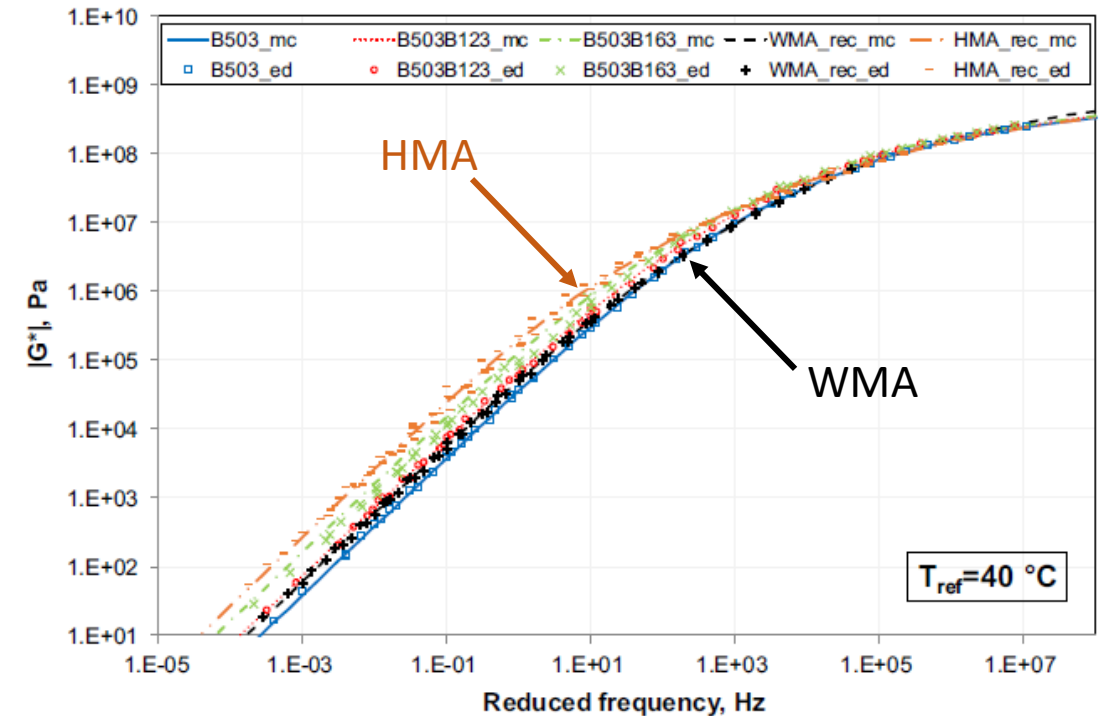
Leganti estratti da conglomerati bituminosi confezionati in laboratorio



↓
70/100

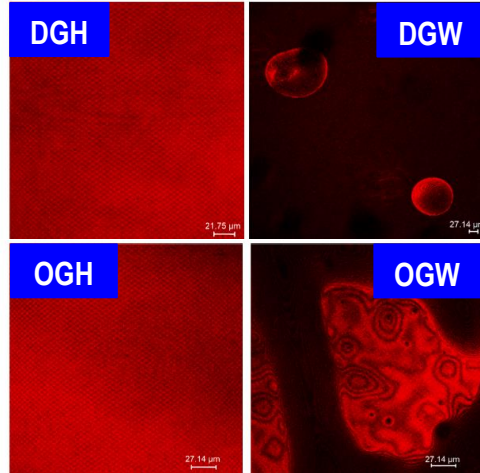
WMA (110°C); HMA (170 °C)

RILEM TC CMB TG3 →
Interlaboratory tests (2018)

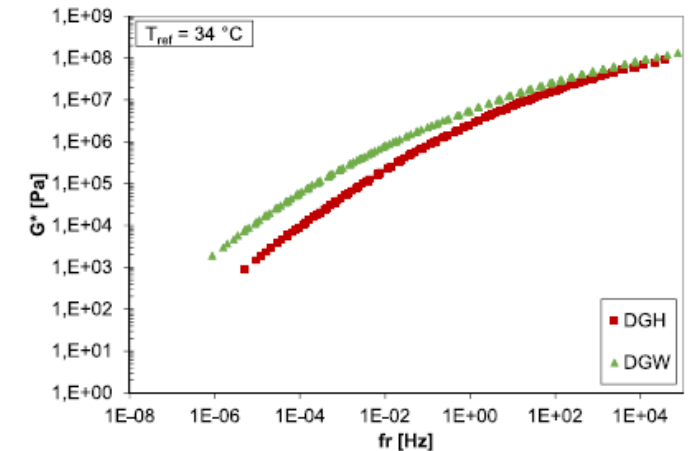
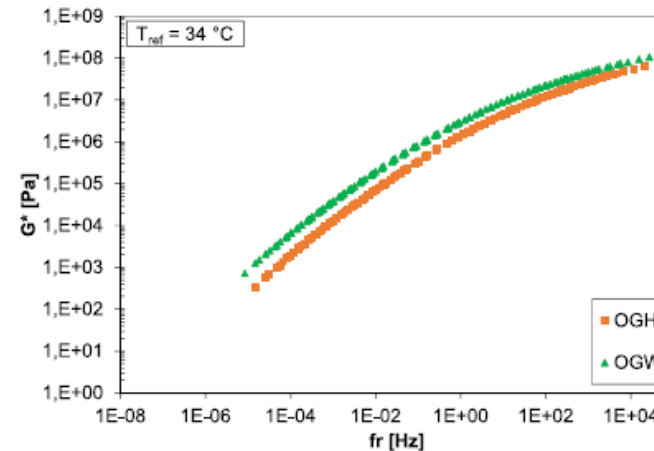


Caratterizzazione della fase legante

Leganti estratti da conglomerati bituminosi in opera



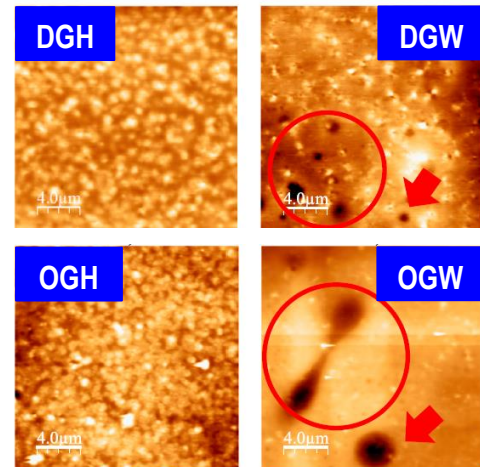
Confocal Laser
Scanning
Microscopy



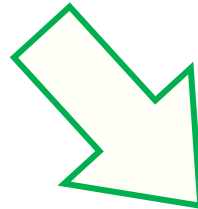
I bitumi da conglomerati bituminosi tiepidi hanno rigidezza maggiore di quelli estratti da conglomerati caldi, sia a basse che a medie frequenze



Minore degradazione subita dai polimeri SBS nei tiepidi



Atomic Force
Microscopy





Vantaggi legati all'impiego dei conglomerati bituminosi tiepidi

Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto

- Fasi** {
1. Asciugatura/riscaldamento degli **aggregati**
 2. Riscaldamento del bitume modificato **PmB** ($T = 170\text{ °C}$)
 3. **Miscelazione** (tiepido: **30 sec** @130 °C; a caldo: **26 sec** @170 °C)

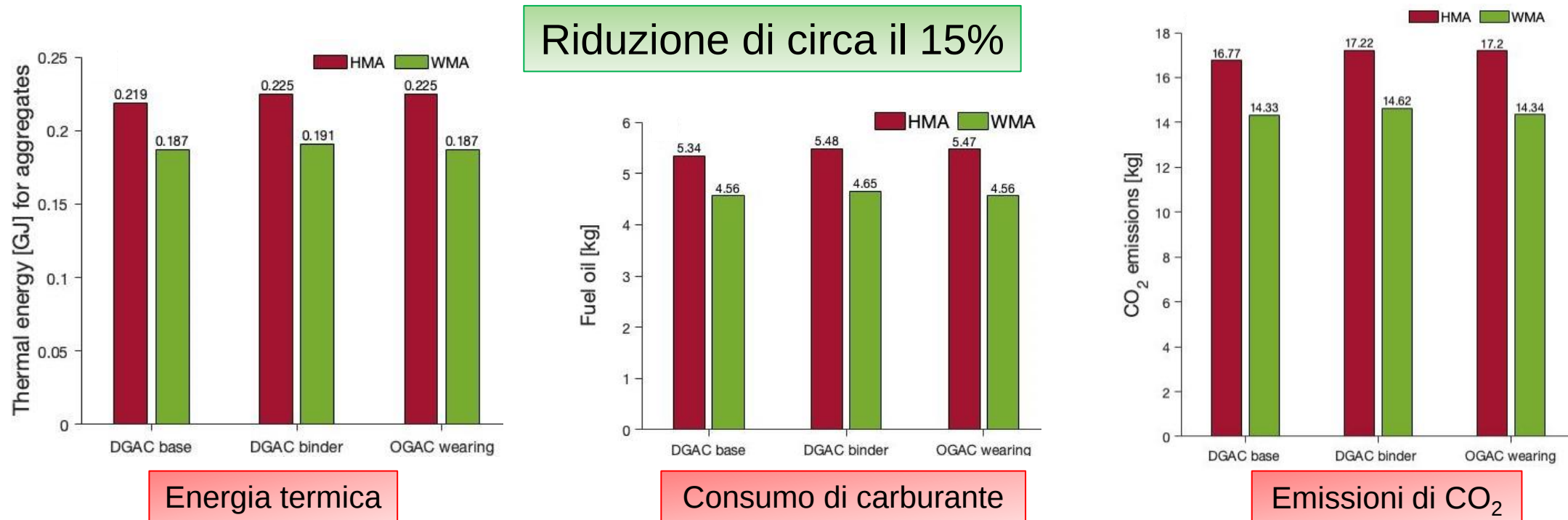
1. Asciugatura/riscaldamento degli **aggregati**

Tipo di miscela	Temperatura di riscaldamento degli aggregati [°C]			
	dicembre-febbraio ($T_m=6,6\text{ °C}$)		giugno-agosto ($T_m=24,3\text{ °C}$)	
	a caldo	tiepido	a caldo	tiepido
DGAC_base (30% RA)	240	200	220	180
DGAC_binder (25% RA)	230	190	210	170
OGAC_usura (15% RA)	200	160	190	150

Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto

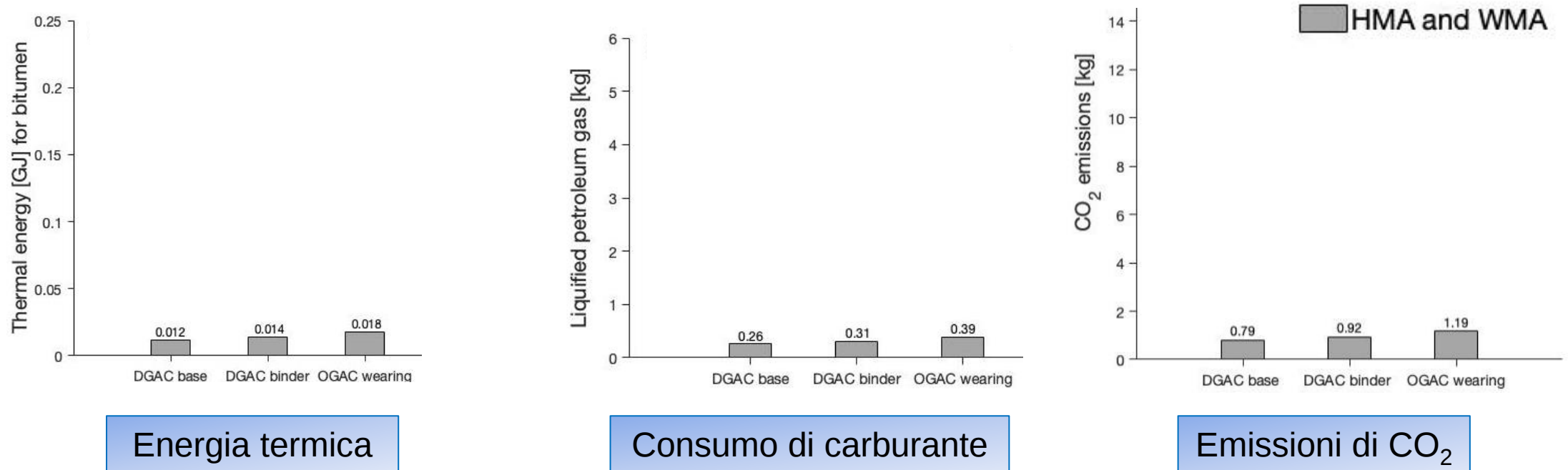
1. Asciugatura/riscaldamento degli **aggregati**



Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- ❑ Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto

2. Riscaldamento del bitume **PmB** ($T = 170\text{ °C}$)

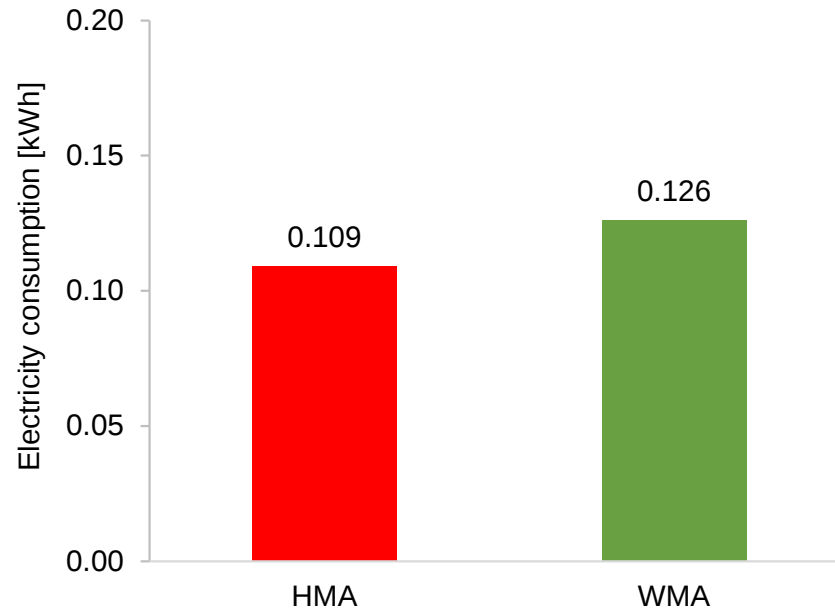


Non influisce nel confronto tra conglomerato bituminoso a caldo e tiepido

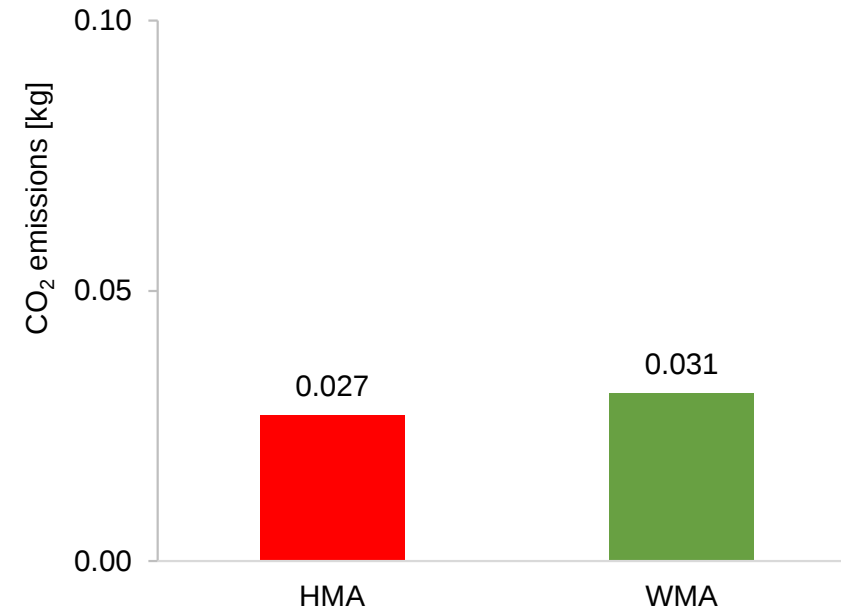
Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto

3. Miscelazione (tiepido: **30 sec** @130 °C; a caldo: **26 sec** @170 °C)



Consumo di elettricità



Emissioni di CO₂

Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto

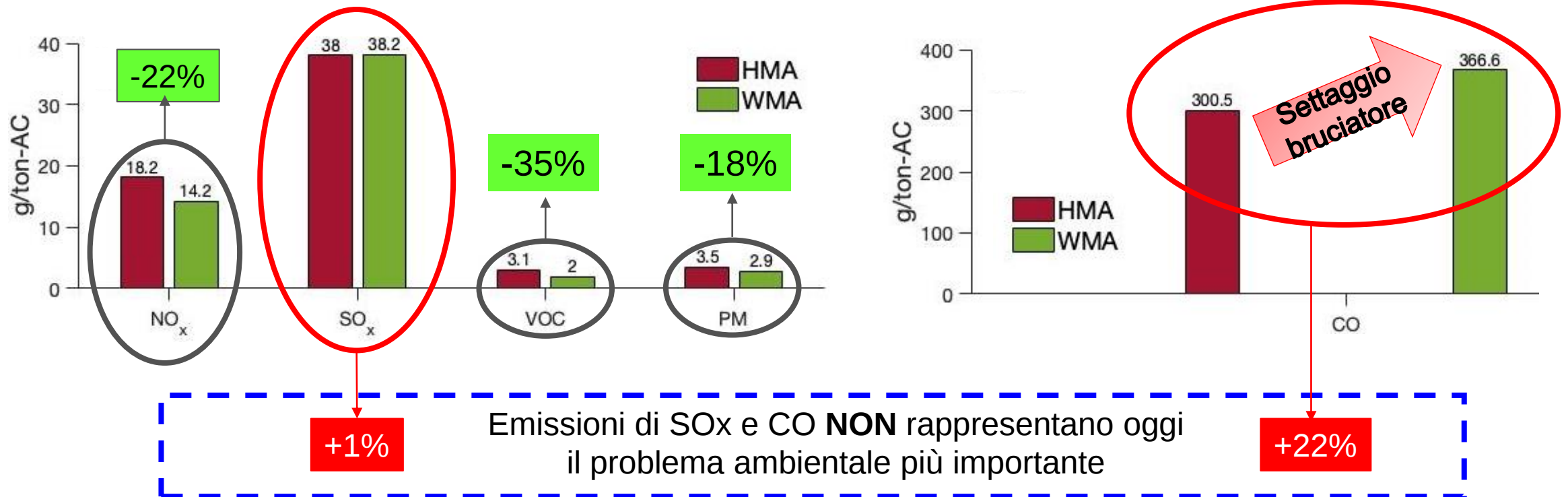
Emissioni totali di CO₂ per tonnellata

Fase di produzione	Emissioni di CO ₂ [kg/ton]								
	DGAC_base			DGAC_binder			OGAC_wearing		
	WMA	HMA	Δ	WMA	HMA	Δ	WMA	HMA	Δ
Riscaldamento aggregati	14.33	16.77	-2.45	14.62	17.22	-2.61	14.34	17.20	-2.86
Riscaldamento bitume	0.79	0.79	—	0.92	0.92	—	1.19	1.19	—
Miscelazione	0.031	0.027	0.004	0.031	0.027	0.004	0.031	0.027	0.004
Totale	15.15	17.59	-2.44	15.57	18.17	-2.60	15.56	18.42	-2.86
			-14%			-14%			-16%

Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

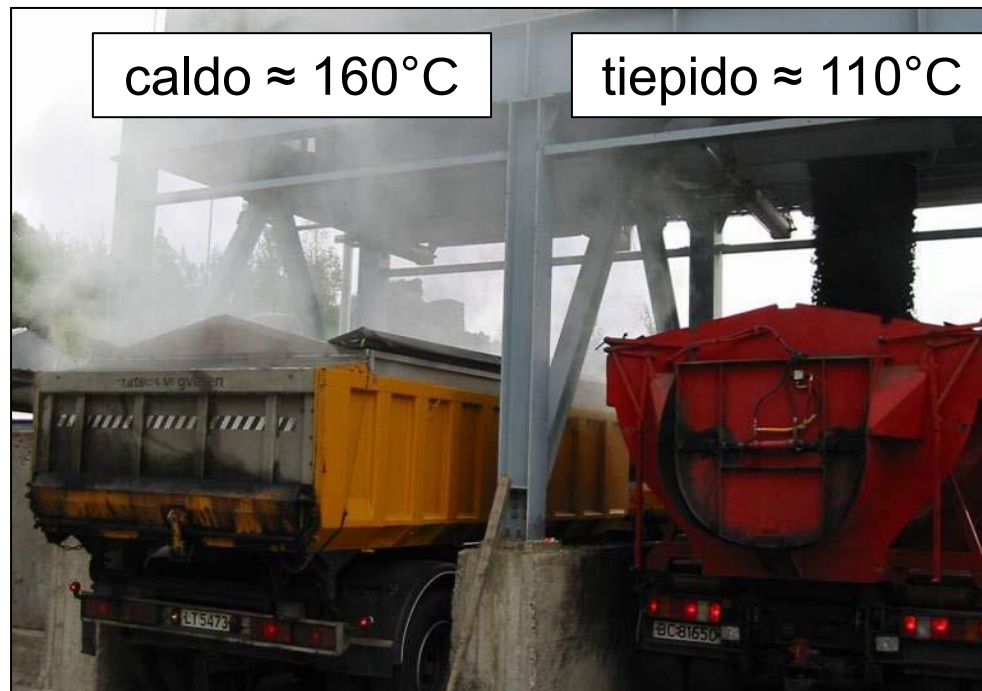
- Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto

Emissioni inquinanti atmosferici al **camino del tamburo di essiccazione** nel riscaldamento degli aggregati



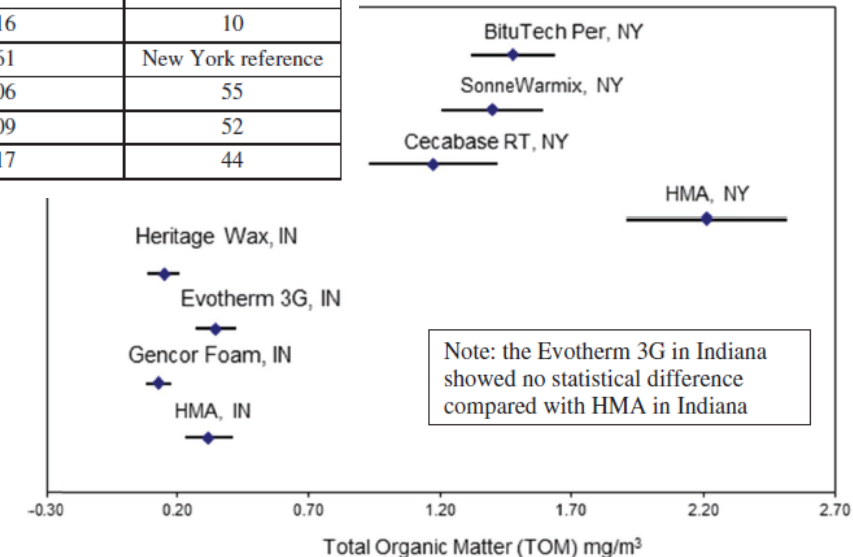
Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- ❑ Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto
- ❑ Miglioramento delle condizioni di lavoro (riduzione dei gas nocivi)



WARM MIX ASPHALT, Fitts G.L., ppt presentation
from Asphalt Institute, Garden Ridge (Texas)

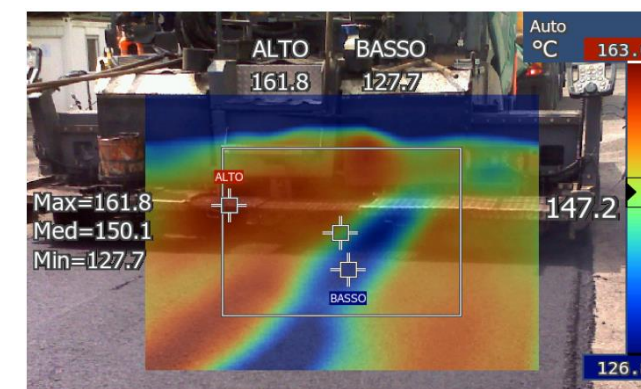
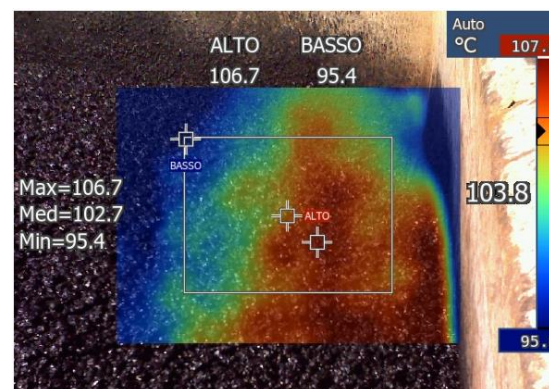
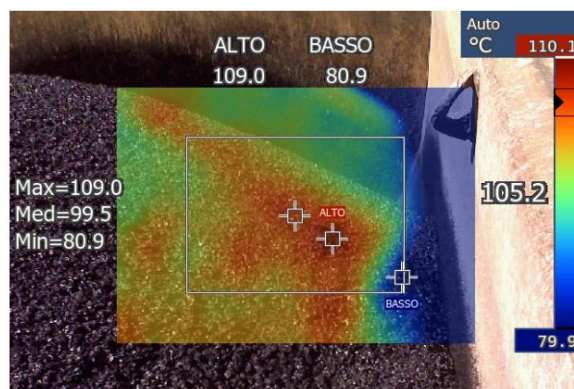
	Mix Temperature Behind Screed (°C)	Difference (°C)
HMA, Indiana	126	Indiana reference
Gencor Foam	114	12
Evotherm 3G	111	15
Heritage Wax	116	10
HMA, New York	161	New York reference
Cecabase RT	106	55
SonneWarmix	109	52
BituTech PER	117	44



National Cooperative Highway Research Program-NCHRP, REPORT
779. *Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies*, 2014

Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- ❑ Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto
- ❑ Miglioramento delle condizioni di lavoro (riduzione dei gas nocivi)
- ❑ Riduzione dei tempi di riapertura al traffico
- ❑ Aumento delle distanze di trasporto raggiungibili
- ❑ Aumento delle finestre di lavoro (possibilità di stendere anche di notte e di inverno)



Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- ❑ Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto
- ❑ Miglioramento delle condizioni di lavoro (riduzione dei gas nocivi)
- ❑ Riduzione dei tempi di riapertura al traffico
- ❑ Aumento delle distanze di trasporto raggiungibili
- ❑ Aumento delle finestre di lavoro (possibilità di stendere anche di notte e di inverno)
- ❑ Buona compatibilità con il granulato di conglomerato bituminoso

Compatibilità con granulato di conglomerato bituminoso (GCB)

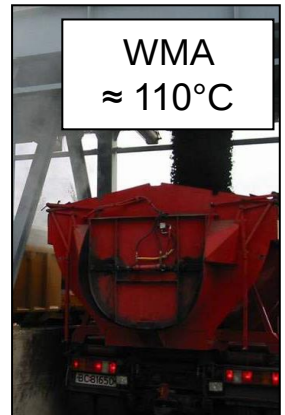
Reclaimed Asphalt (RA)

Riciclaggio del RA

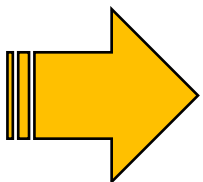
+

Tecnologia WMA

Riciclaggio tiepido

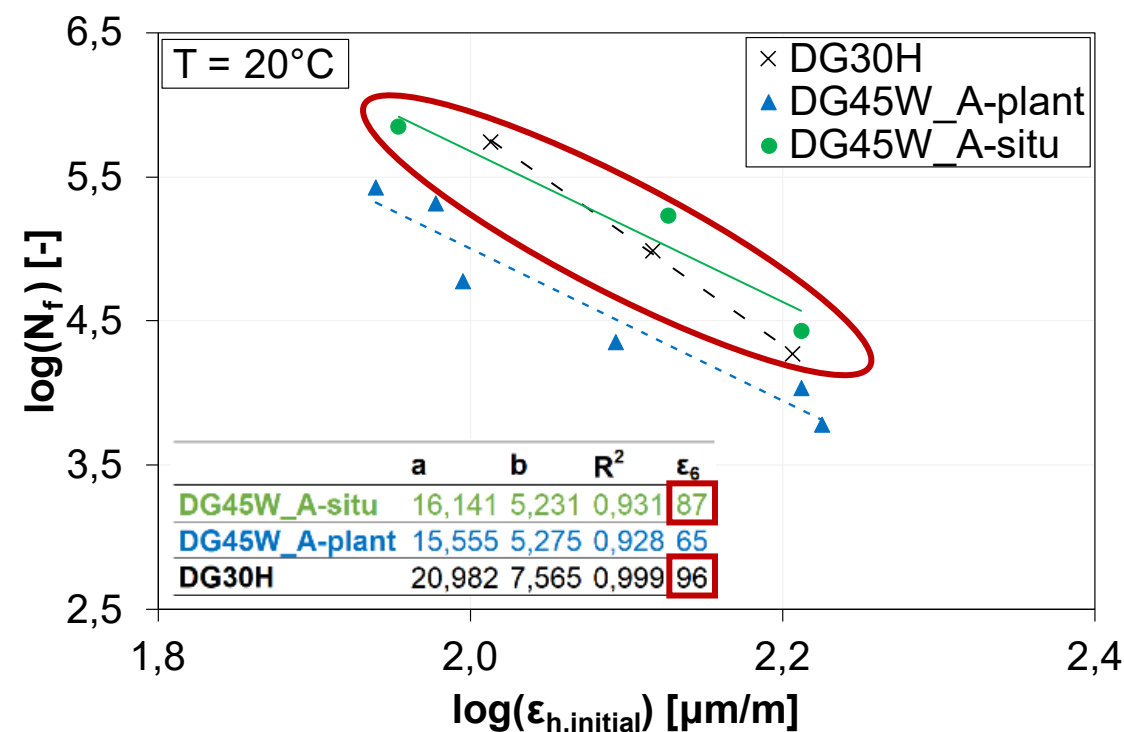
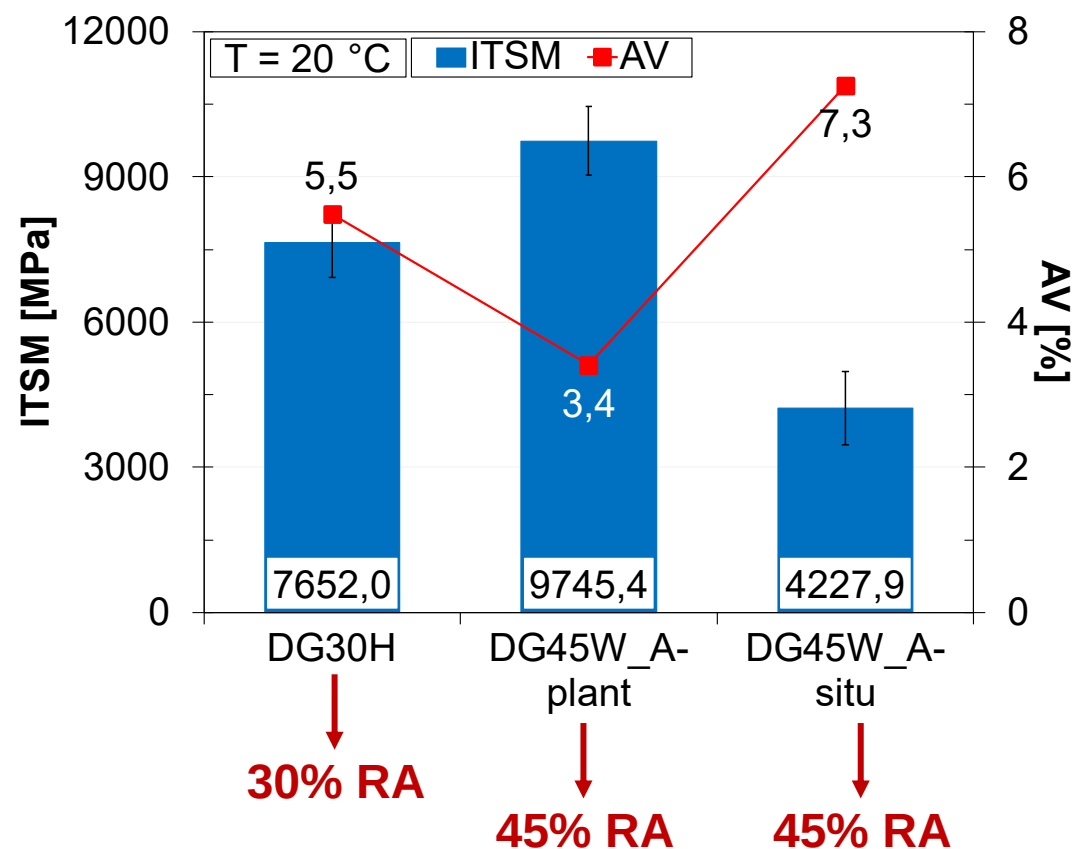


Nei conglomerati bituminosi a caldo, il massimo quantitativo di RA che si può includere in una miscela è fortemente legato alle temperature di lavorazione che si devono raggiungere



L'uso di **TECNOLOGIE WMA** permette di ridurre notevolmente le temperature di miscelazione e compattazione, dando così la possibilità di valutare l'impiego di **PIÙ ALTE PERCENTUALI** di fresato

Impiego di elevate percentuali di RA

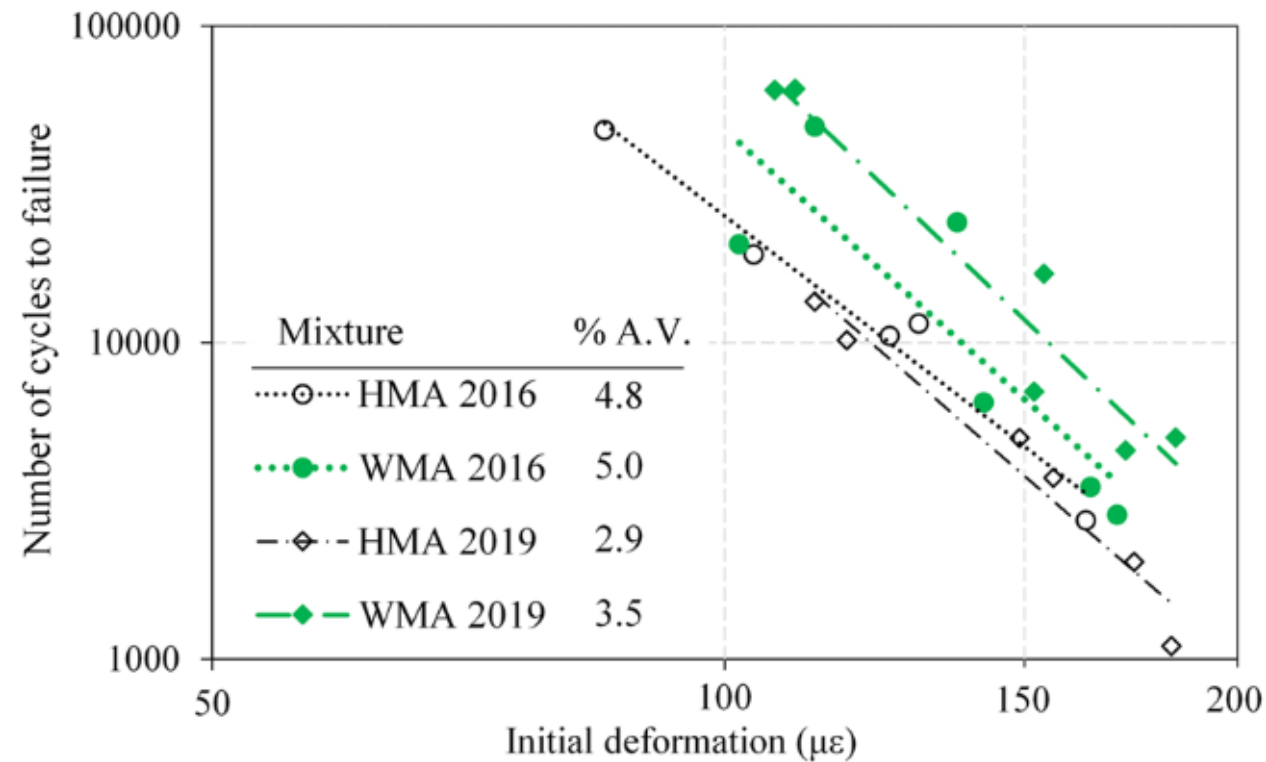


Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- ❑ Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto
- ❑ Miglioramento delle condizioni di lavoro (riduzione dei gas nocivi)
- ❑ Riduzione dei tempi di riapertura al traffico
- ❑ Aumento delle distanze di trasporto raggiungibili
- ❑ Aumento delle finestre di lavoro (possibilità di stendere anche di notte e di inverno)
- ❑ Buona compatibilità con il granulato di conglomerato bituminoso
- ❑ Buone prestazioni a lungo termine

Prestazioni a lungo termine di c.b. tiepidi

Conglomerato bituminoso per strato di binder con 25% RA



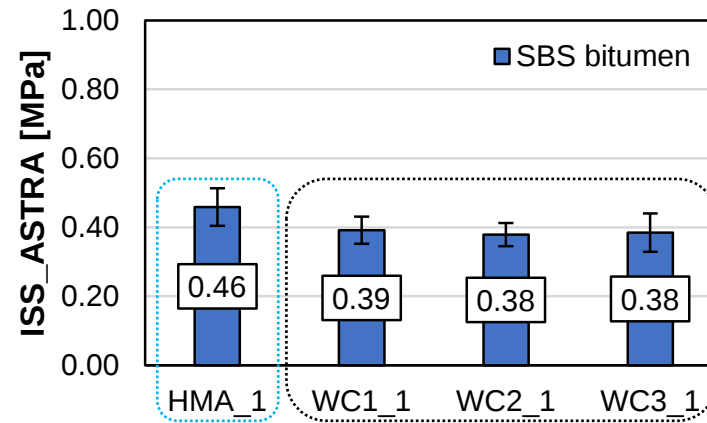
		ε ₆
2016	HMA	41
	WMA	53
2019	HMA	45
	WMA	63

Vantaggi legati all'impiego dei tiepidi

- ❑ Riduzione delle emissioni e del consumo energetico all'impianto
- ❑ Miglioramento delle condizioni di lavoro (riduzione dei gas nocivi)
- ❑ Riduzione dei tempi di riapertura al traffico
- ❑ Aumento delle distanze di trasporto raggiungibili
- ❑ Aumento delle finestre di lavoro (possibilità di stendere anche di notte e di inverno)
- ❑ Buona compatibilità con il granulato di conglomerato bituminoso
- ❑ Buone prestazioni a lungo termine
- ❑ **Buone prestazioni dell'interfaccia**

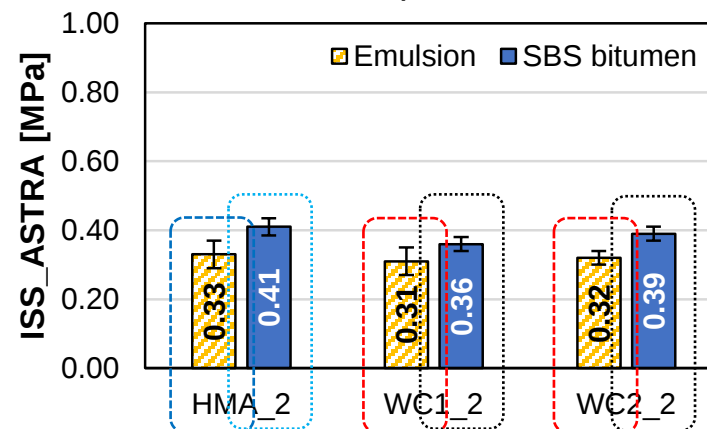
Prestazioni a taglio dell'interfaccia

Field trial 2 (2016), OGFC-binder

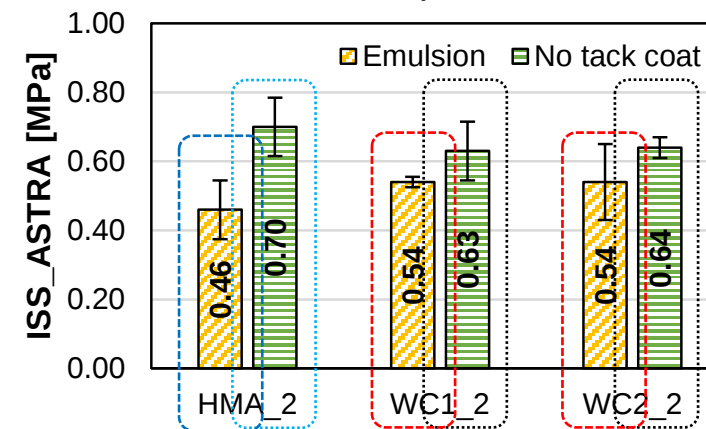


La ridotta temperatura di stesa delle miscele tiepide non penalizza la resistenza a taglio all'interfaccia.

Field trial 1, OGFC-binder



Field trial 1, binder-base





CAM strade

Normativa europea

La norma europea **EN 13108-1** prevede l'impiego dei conglomerati tiepidi

§ 4.2.2 Scelta del legante

....

Quando un additivo è utilizzato per abbassare la temperatura di produzione del conglomerato bituminoso prodotto a caldo e pertanto modifica proprietà pertinenti del legante a temperature rappresentative delle condizioni climatiche del luogo di impiego, **deve essere fornita evidenza che mostri quale influenza ha l'additivo sulla prestazione della miscela**



NORMA EUROPEA	Miscela bituminosa Specifiche del materiale Parte 1: Conglomerato bituminoso prodotto a caldo	UNI EN 13108-1
------------------	---	----------------

§ 5.4 Temperatura

I requisiti di **temperatura massima** sono destinati a proteggere l'integrità della miscela. La temperatura massima si applica in qualsiasi punto dell'impianto e **deve essere dichiarata**

Quando si utilizza legante....., **la temperatura massima non deve essere maggiore dei limiti indicati** nel prospetto

La **temperatura minima** della miscela al momento della consegna **deve essere dichiarata**

CAM strade

SERIE GENERALE

Spediz. abb. post. - art. 1, comma 1
Legge 27-02-2004, n. 46 - Filiale di Roma

Anno 165 - Numero 197

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

PARTE PRIMA

Roma - Venerdì, 23 agosto 2024

SI PUBBLICA TUTTI I
GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA, 70 - 00186 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DELLO STATO
PIAZZA G. VERDI, 1 - 00198 ROMA

MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

DECRETO 5 agosto 2024.

Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento del servizio di progettazione ed esecuzione dei lavori di costruzione, manutenzione e adeguamento delle infrastrutture stradali (CAM Strade).

Art. 3.

Entrata in vigore

1. Il presente decreto entra in vigore dopo centoventi giorni dalla pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Roma, 5 agosto 2024

23-8-2024

GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA

Serie generale - n. 197

ALLEGATO I

Piano d'azione per la sostenibilità
ambientale dei consumi nel settore della
Pubblica amministrazione

CRITERI AMBIENTALI MINIMI PER L'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI
PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI COSTRUZIONE, MANUTENZIONE
E ADEGUAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

CAM strade (DM 05/08/2024 n. 197)

2.2 SPECIFICHE TECNICHE PER L’AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE DI INFRASTRUTTURE STRADALI

2.2.1 Sostenibilità ambientale dell’opera

Criterio

Il progetto di nuova costruzione di strade, di adeguamento e ampliamento e di manutenzione straordinaria delle strade esistenti, prevede sistemi atti a ridurre l’inquinamento dell’aria, delle acque superficiali e di falda e del suolo dovuto al traffico.

2.2.2 Efficienza funzionale e durata della pavimentazione

Criterio

Il progetto di pavimentazioni di nuove strade ed il progetto di risanamento profondo di pavimentazioni esistenti deve avere come obiettivo una vita utile di venti anni, cioè la

.....

.....

2.2.4 Emissione acustica delle pavimentazioni

Criterio

Il progetto prevede che, nel caso di realizzazione di nuove strade, manutenzione straordinaria o adeguamento, si utilizzino miscele per strati di usura aventi prestazioni acustiche tali da contenere il rumore da rotolamento immesso nell’ambiente circostante, a condizione che non si verifichi una riduzione delle prestazioni, comprese l’aderenza.

.....

.....

CAM strade (DM 05/08/2024 n. 197)

2.2.3 Temperatura di posa degli strati in conglomerato bituminoso

Indicazioni alla stazione appaltante

Tale criterio non si applica alle pavimentazioni chiare, ai conglomerati bituminosi prodotti con bitumi modificati con elevato tenore di polimeri e alle miscele con leganti bituminosi epossidici.

Criterio

Per le strade urbane e per le tratte di strade extraurbane poste a distanze inferiori ai 1000 m dai centri abitati, delimitati così come previsto dall'articolo 5 del decreto del Presidente della Repubblica 16 dicembre 1992 n.495, "Regolamento di esecuzione e attuazione del Codice della strada", il progetto prevede una temperatura massima di posa delle miscele bituminose di 120°C (tecnologia dei conglomerati tiepidi).

Nei seguenti casi, invece, la temperatura massima di posa è di 140°C:

- a) strati della pavimentazione per i quali siano richiesti particolari prestazioni acustiche sulla base del criterio obbligatorio "2.2.4 Emissione acustica delle pavimentazioni" e del criterio premiante "3.2.8 Emissione acustica delle pavimentazioni";
- b) strati della pavimentazione per i quali è previsto l'utilizzo di conglomerati bituminosi preparati con bitumi modificati oppure di conglomerati bituminosi additivati con *compound* polimerici.

Oltre i 1000 metri dai centri abitati è consentita una temperatura di posa massima di 150°C per conglomerati bituminosi con bitume normale, e di 165°C per conglomerati bituminosi prodotti con bitumi modificati ad alta viscosità, di cui alla lettera b).

Il capitolato speciale d'appalto descrive le caratteristiche dei materiali da utilizzare, le specifiche tecniche per la corretta posa dei conglomerati bituminosi in conformità al presente criterio e

CAM strade (DM 05/08/2024 n. 197)

EN 13108-1

3 CRITERI PER L'AFFIDAMENTO DEI LAVORI DI COSTRUZIONE, MANUTENZIONE E ADEGUAMENTO DI INFRASTRUTTURE STRADALI

3.1.3 Temperatura di miscelazione del conglomerato bituminoso

Criterio

La massima temperatura di miscelazione all'impianto di produzione del conglomerato bituminoso con bitume tal quale è inferiore di 20°C rispetto a quella massima imposta dalle normative della serie UNI EN 13108 in base al grado del bitume utilizzato.

Nel caso di uso di conglomerato bituminoso con bitumi duri secondo la norma UNI EN 13305, o bitumi modificati secondo la norma UNI EN 14023 o conglomerati bituminosi additivati con *compound* polimerici e, in generale, ad alta viscosità, la temperatura di miscelazione deve essere inferiore o uguale a 175°C.

La temperatura effettiva di miscelazione è scelta sulla base delle temperature esterne, delle caratteristiche dei materiali componenti e loro modalità di stoccaggio, della distanza del cantiere dall'impianto, in modo da avere la corretta temperatura di posa come specificato al criterio "2.2.3 Temperatura di posa degli strati in conglomerato bituminoso".

prospetto 30

Temperatura massima della miscela

Grado di legante	Temperatura massima °C
10/20, 15/25, 20/30	200
30/45	195
35/50, 40/60	190
50/70, 70/100	180
100/150	170
160/220	165
250/330,	160
330/430	155

160 °C

CAM strade (DM 05/08/2024 n. 197)

Riassumendo

Impiego di bitume
non modificato

Impiego di bitume
modificato e similari

Strade urbane e distanti meno di 1000 m dai centri abitati

MISCELAZIONE → $T_{\max} \leq 160 \text{ °C}$

POSA → $T_{\max} \leq 120 \text{ °C}$

MISCELAZIONE → $T_{\max} \leq 175 \text{ °C}$

POSA → $T_{\max} \leq 140 \text{ °C}$

Strade distanti più di 1000 m dai centri abitati

MISCELAZIONE → $T_{\max} \leq 160 \text{ °C}$

POSA → $T_{\max} \leq 150 \text{ °C}$

MISCELAZIONE → $T_{\max} \leq 175 \text{ °C}$

POSA → $T_{\max} \leq 165 \text{ °C}$



Grazie per l'attenzione

Prof.ssa Gilda Ferrotti

Università Politecnica delle Marche (Ancona)

g.ferrotti@univpm.it

071 2204507