



SIIV Summer School 2011

I principali fattori che influenzano le prestazioni delle miscele riciclate a freddo con emulsione e cemento

Andrea Grilli, PhD

Ricercatore, Docente di Infrastrutture viarie

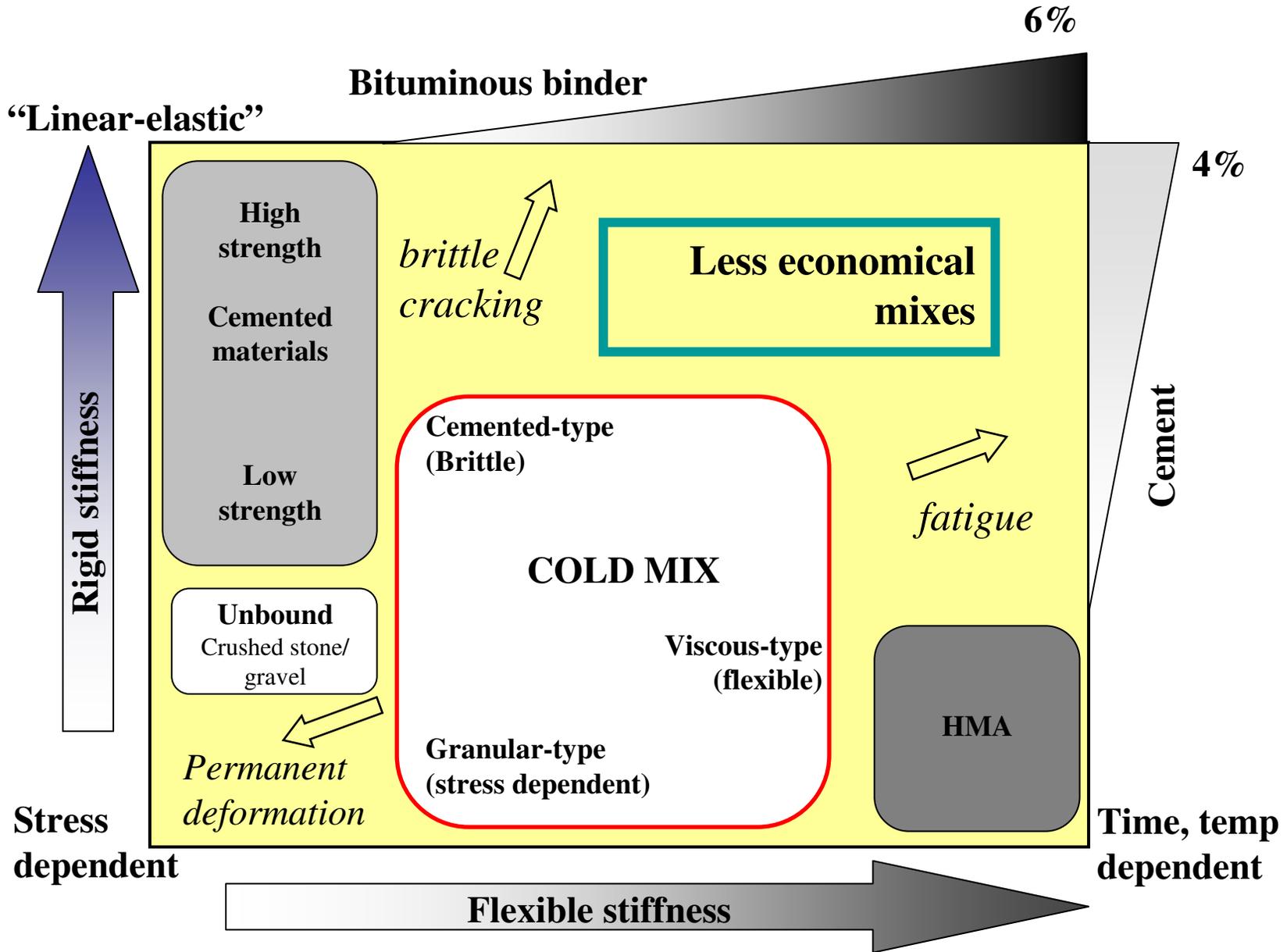
Università degli studi della Repubblica di San Marino



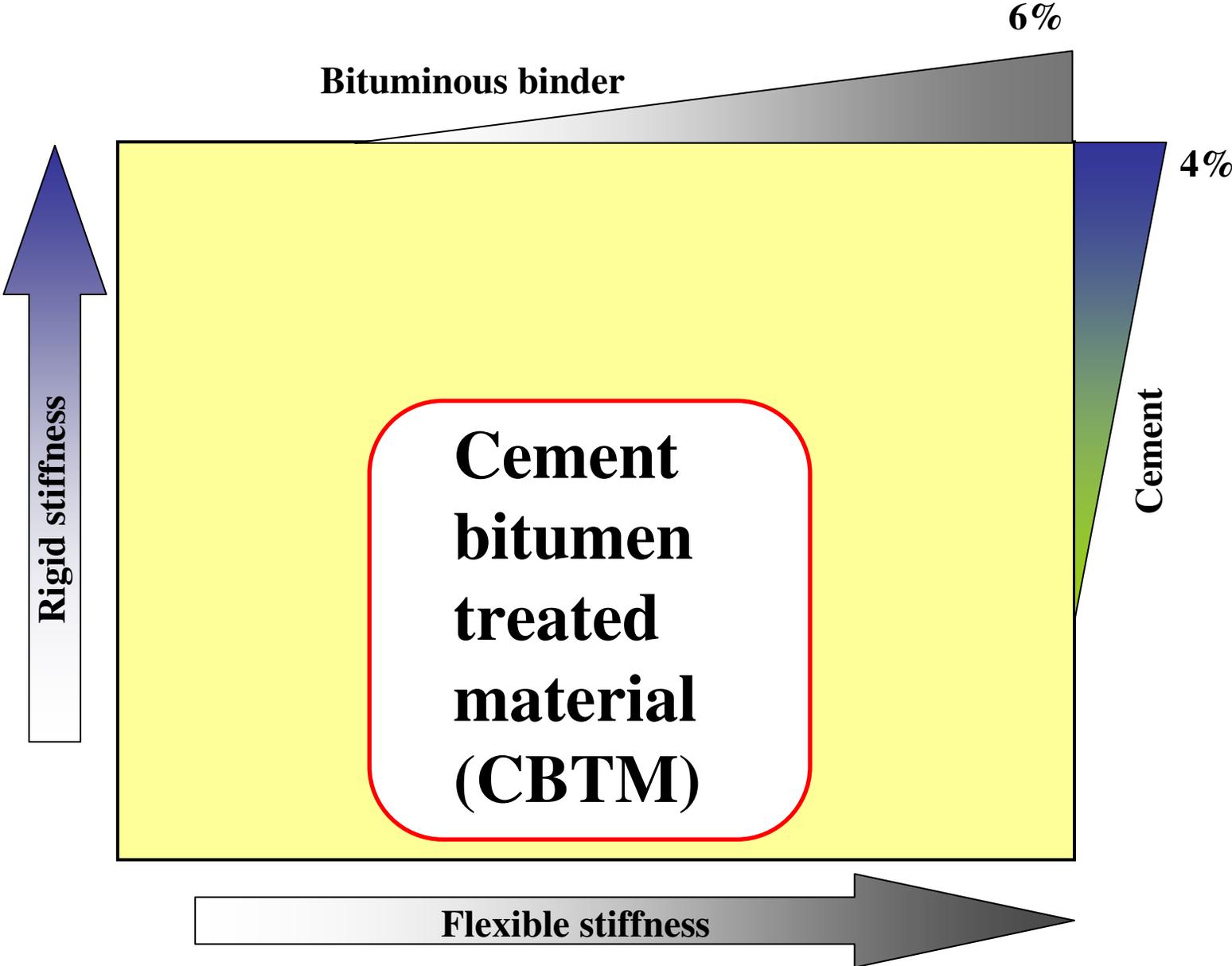
Sommario

- **Introduzione** ai materiali legati con bitume e cemento (CBTM)
- **Gli aggregati riciclati** come materiale da costruzione
- **Considerazioni** generali ed **obiettivi** del gruppo di ricerca
- **Indagine sperimentale**
 - parte 1: Influenza del contenuto di conglomerato bituminoso di recupero (RA) e del cemento sull'addensamento, la rigidità e la resistenza a rottura
 - parte 2: Influenza del contenuto di frazioni fini sulla resistenza a rottura, la rigidità e la resistenza a carichi ciclici
 - parte 3: Influenza della temperatura sul processo di maturazione
 - parte 4: Influenza della temperatura sulla rigidità
- **Sviluppi futuri e Conclusioni**

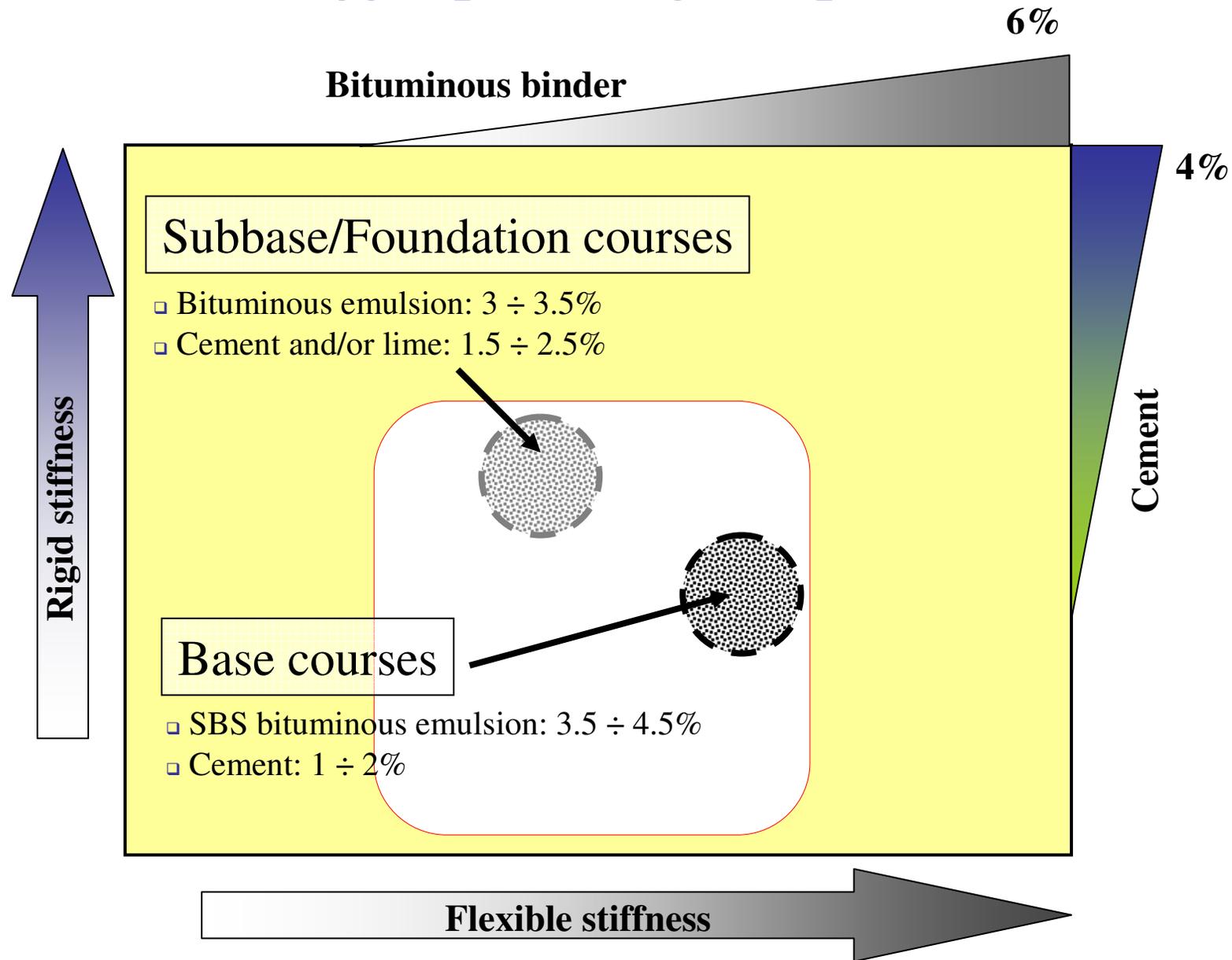
Bitumen stabilised material behaviour



Cement bitumen treated material (CBTM)



Dosaggi tipici di legante per CBTM



Aggregati di riciclo come materiale da costruzione

Definizione di aggregato riciclato:

Aggregato risultante dalla lavorazione di materiale inorganico precedentemente utilizzato nelle costruzioni.

- ❑ EN 13043: Aggregati per miscele bituminose e trattamenti superficiali per strade, aeroporti e altre aree soggette a traffico
- ❑ EN 13242: Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade



Aggregati di riciclo come materiale da costruzione

Definizione di reclaimed asphalt (RA):

RA comprende conglomerato bituminoso recuperato mediante fresatura degli strati di rivestimento stradale, frantumazione delle lastre provenienti da squarci di pavimentazioni asfaltiche, blocchi provenienti da lastre e conglomerato bituminoso proveniente da scarti di produzione e sovrapproduzione.

- Nelle norme di prodotto relative a conglomerati bituminosi, dal EN 13108-1 al EN 13108-7, l'utilizzo di conglomerato bituminoso di recupero è consentito con requisiti correlati all'aggiunta in percentuale.
- EN 13108-8: Specifiche del materiale, Conglomerato bituminoso di recupero. RA può essere utilizzato come materiale costituente per miscele bituminose prodotte in un impianto di miscelazione a caldo, in conformità alle specifiche di dette miscele.

RA deve essere designato come: U RA d/D.

Materie estranee (presenza, contenuto and tipo), legante (tipo, contenuto, caratteristiche), granulometria degli aggregati devono essere documentati e dichiarati.

Considerazioni su CBTM

- il progetto e la costruzione sono spesso basati su esperienze passate e **non sempre considerano tutti i fattori che influenzano il comportamento meccanico** della miscela
- **i materiali costituenti** (contenuto di RA e frazioni fini) **influenzano le prestazioni** della miscela
- durante la maturazione, **la temperatura influenza l'idratazione del cemento, la perdita di umidità e di conseguenza lo sviluppo della rigidità** della miscela
- durante il servizio, **la temperatura influenza la rigidità** della miscela
- conoscenze sulla composizione, sulla maturazione e sulla sensibilità termica sono importanti sia in fase di progetto che di controllo

Obiettivi

Influenza del contenuto di RA e cemento:

- addensamento
- rigidità
- resistenza a trazione indiretta
- resistenza all'azione dell'acqua

Influenza del contenuto di frazioni fini:

- resistenza a trazione indiretta
- rigidità
- resistenza a carichi ciclici

Influenza della temperatura di maturazione:

- sviluppo della rigidità nel tempo

Influenza della temperatura sulla rigidità:

- suscettibilità termica

Indagine sperimentale <1>

Contenuto di RA e cemento / addensamento, rigidezza e resistenza

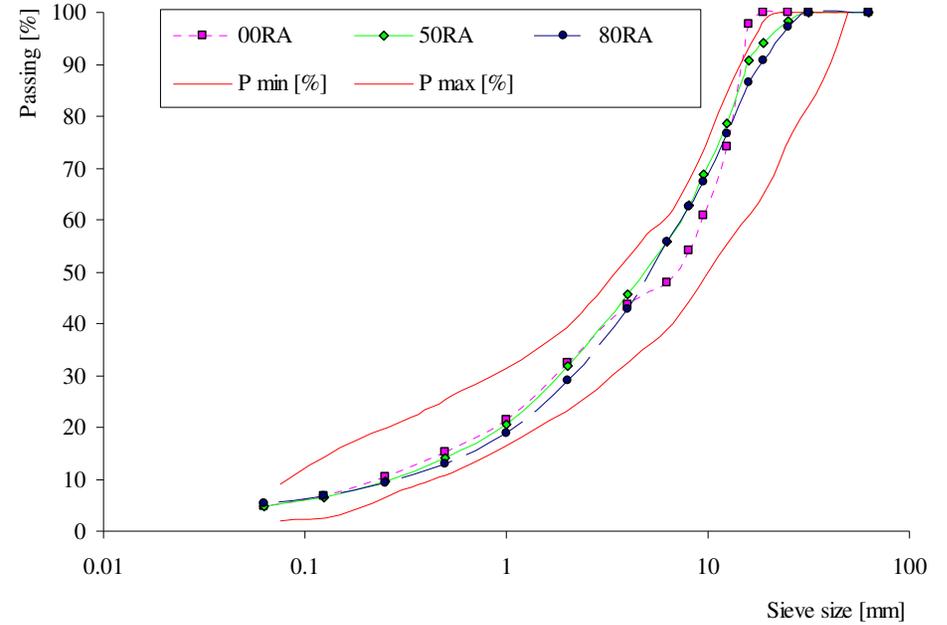
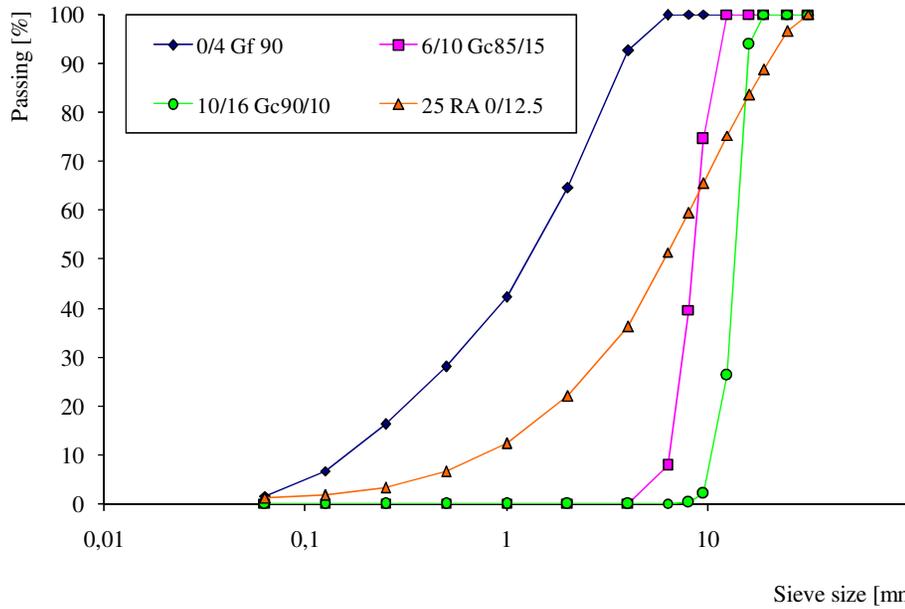
- **Miscele con diverse percentuali di RA e cemento**
 - bitume residuo: 1.8%
 - cemento: 1 e 2%
 - RA: 0, 50 e 80%
- **Compattazione con pressa giratoria (SGC)**
 - $d = 150 \text{ mm}$, energia = 100 giri, $p = 600 \text{ kPa}$, $P_w = 2700 \text{ g}$
- **Maturazione**
 - accelerata: 72 ore a 40°C
 - a lungo termine: 35 giorni a 20°C
- **Condizionamento in acqua**
 - immersione sotto vuoto e 72 ore a 40°C
- **Caratteristiche meccaniche**
 - modulo di rigidezza (ITSM)
 - resistenza a trazione indiretta (ITS)

Materiali

Characteristics of the bituminous emulsion	C 60 B 5 (over stabilized)
Water content (EN 1428)	40%
pH value (EN 12850)	3
Settling tendency @ 7 days	8%
Breaking value (EN 13075-1)	180 g
Mixing stability with cement (EN 12848)	0.2 g
Application temperature	5÷80°C

Characteristics of the extracted bitumen	C 60 B 5 (over stabilized)
Polymer	non-modified
Penetration (EN 1426)	70 dmm
Softening point (EN 1427)	50°C
Fraass breaking point (EN 12593)	-10°C
Elastic recovery @ 25°C (EN 13398)	-

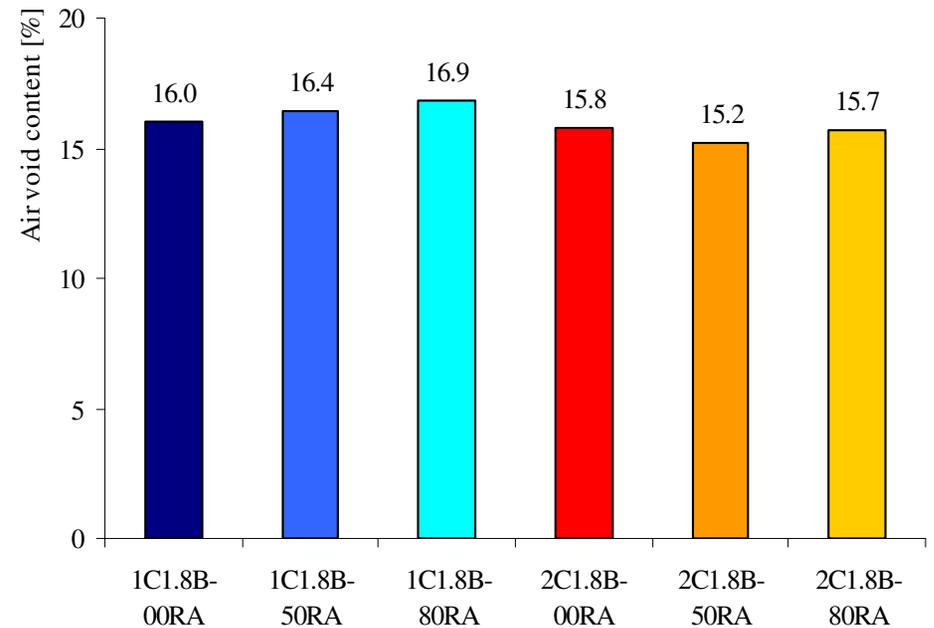
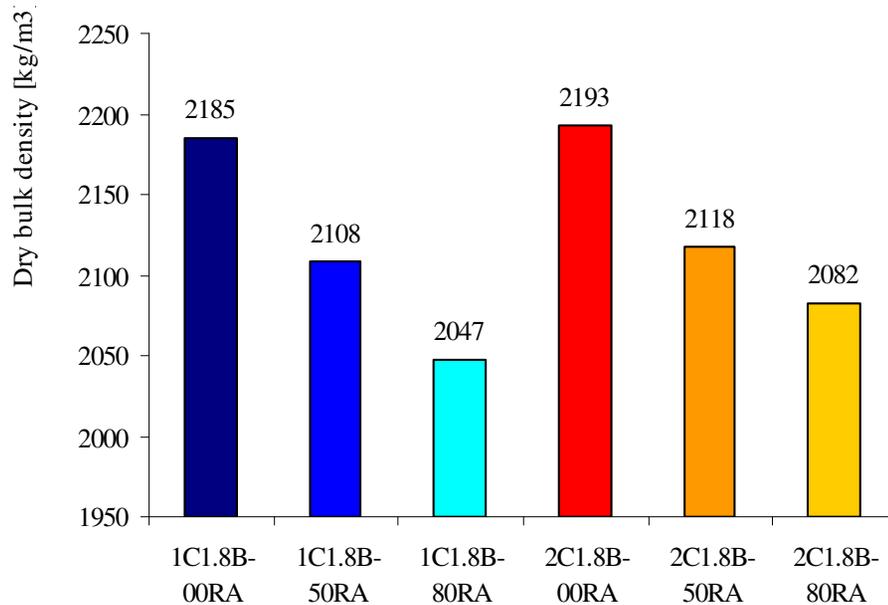
Materiali



Designation	ρ_a [Mg/m ³]	WA ₂₄ [%]
25 RA 0/12.5	2.50	0.80
0/4 G _F 90	2.73	1.83
6/10 G _C 85/15	2.69	1.06
10/16 G _C 90/10	2.69	0.90

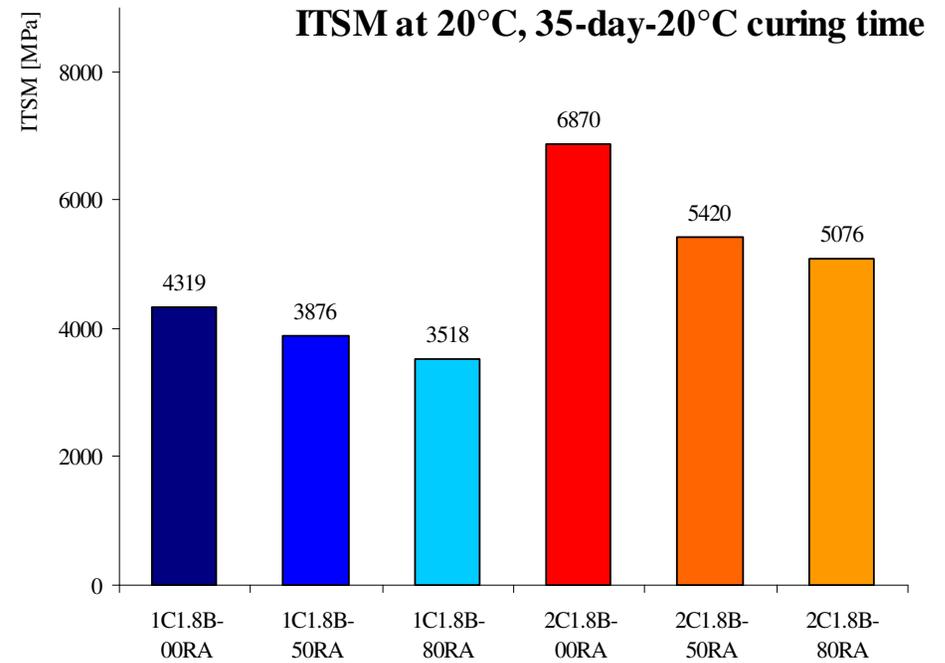
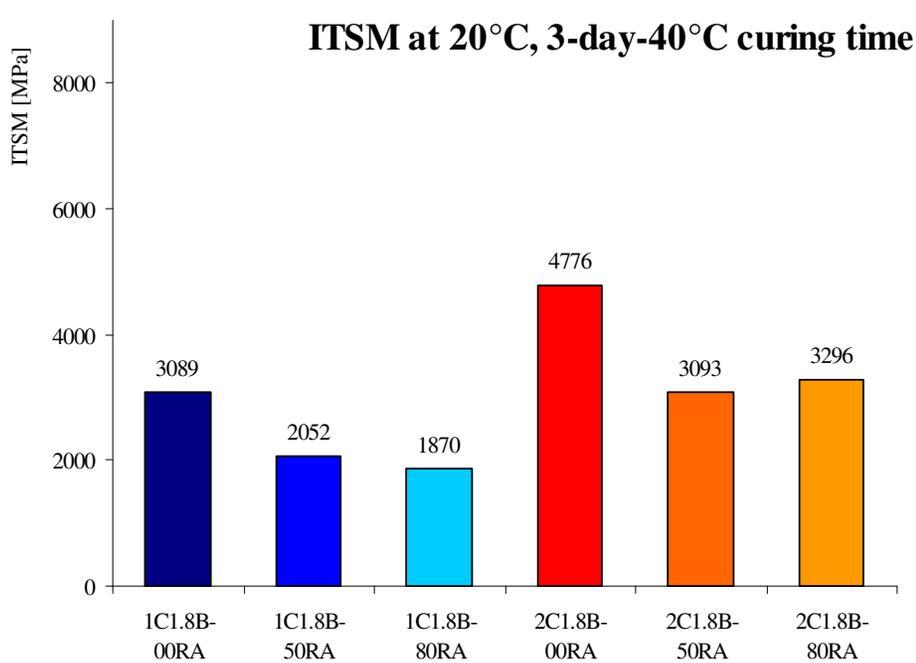
Designation	00RA	50RA	80RA
25 RA 0/12.5	0	50	80
10/16 G _C 90/10	35	12	5
6/10 G _C 85/15	18	8	0
0/4 G _F 90	45	27	10
Filler	2	3	5

Influenza del contenuto di RA sull'addensamento

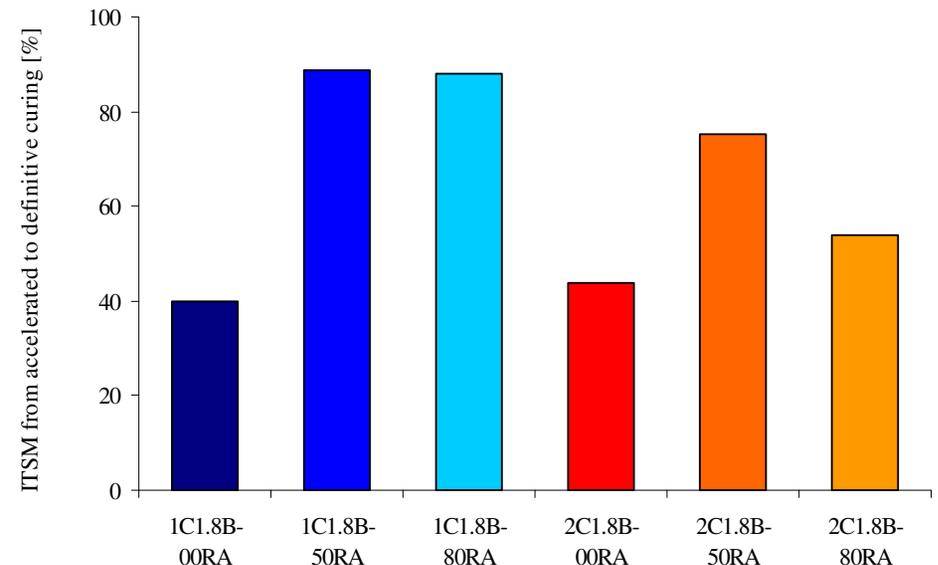


1. La massa volumica decresce con l'incremento del dosaggio di RA
2. la massa volumica cresce con l'incremento del dosaggio di cemento
3. il contenuto di RA non incide significativamente sulla percentuale di vuoti
4. il maggior dosaggio di cemento permette una miscela più chiusa

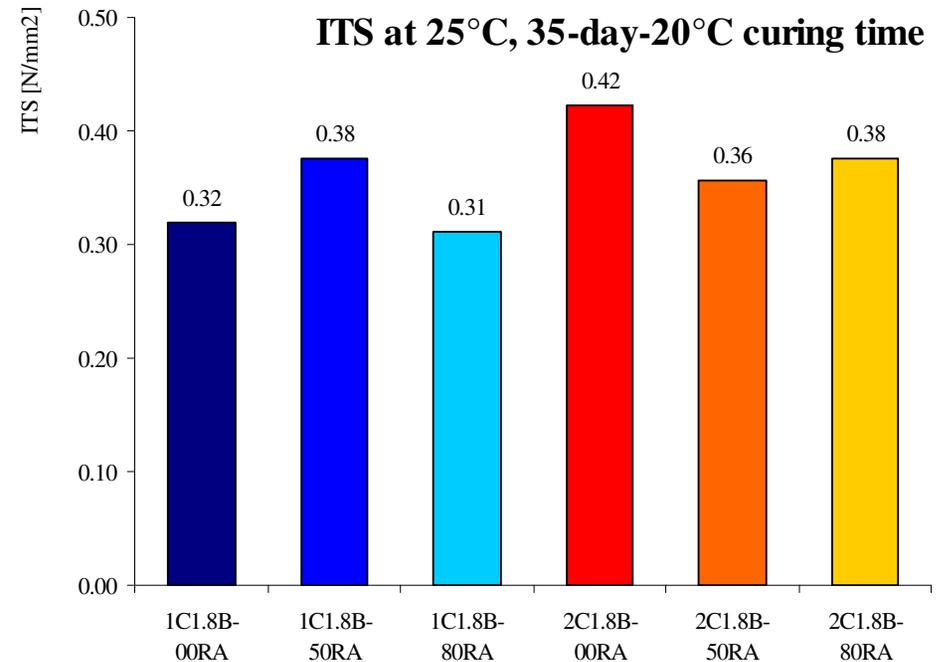
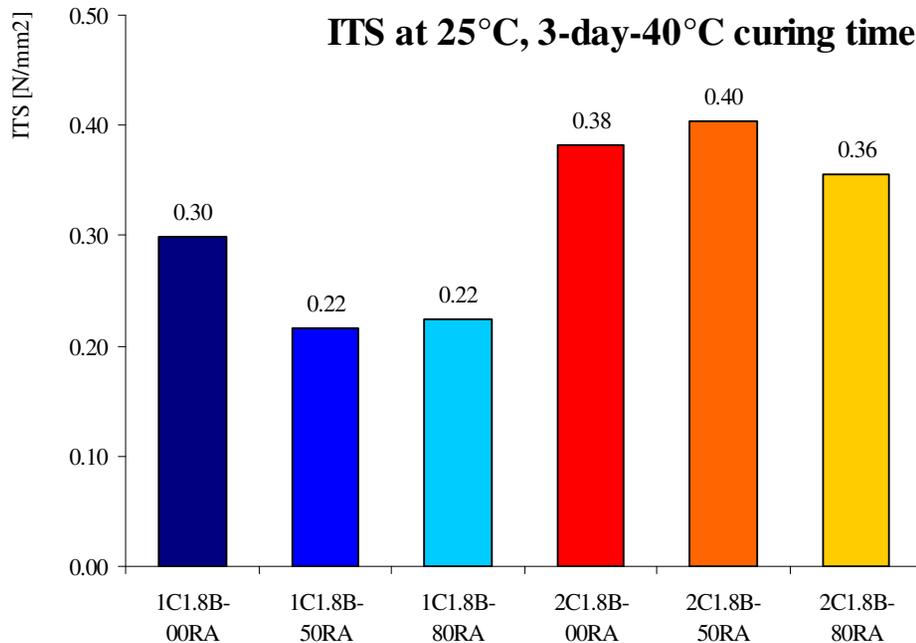
Influenza del contenuto di RA e cemento sulla rigidità



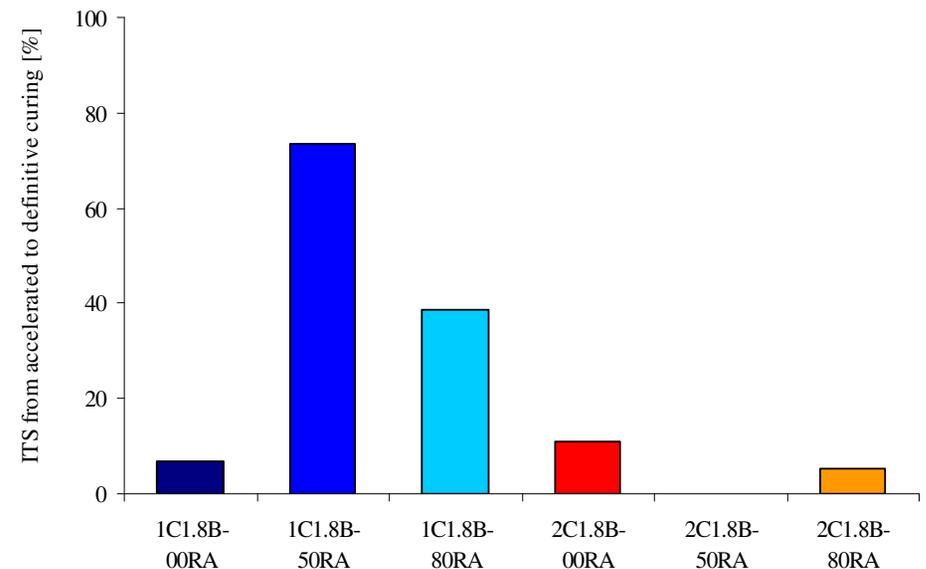
1. L'incremento di cemento comporta incremento di ITSM
2. il contenuto di RA influenza ITSM
3. ITSM (3-day at 40°C) inferiore a ITSM (35-day at 20°C)
4. risultati soddisfacenti possono essere ottenuti anche con elevati contenuti di RA



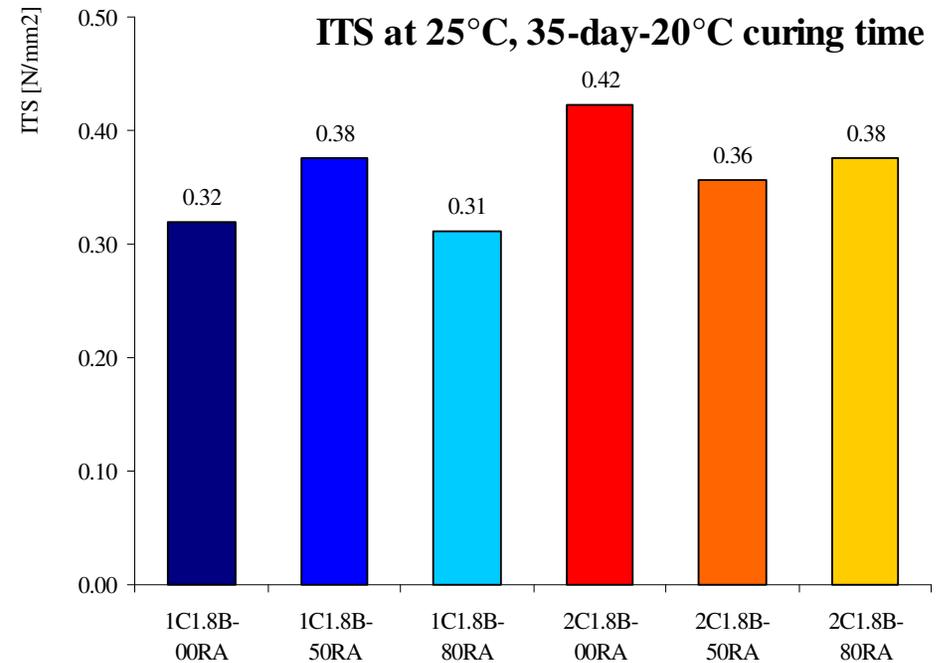
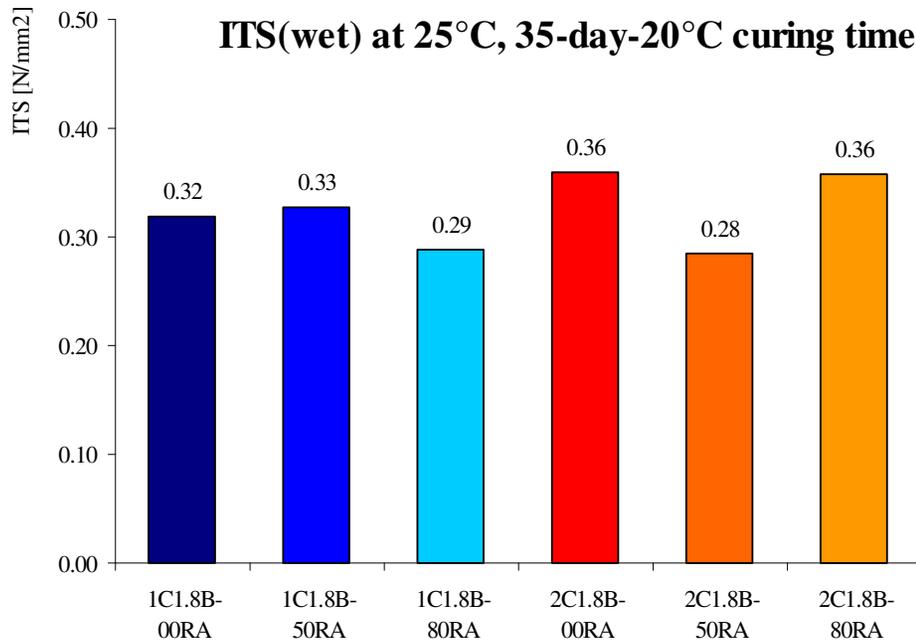
Influenza del contenuto di RA e cemento sulla resistenza



1. L'incremento di cemento comporta un incremento di ITS
2. il contenuto di RA sembra non influenzare i valori ITS
3. ITS (3-day curing time at 40°C) inferiore a ITS (35-day curing time at 20°C)
4. risultati soddisfacenti possono essere ottenuti anche con elevati contenuti di RA

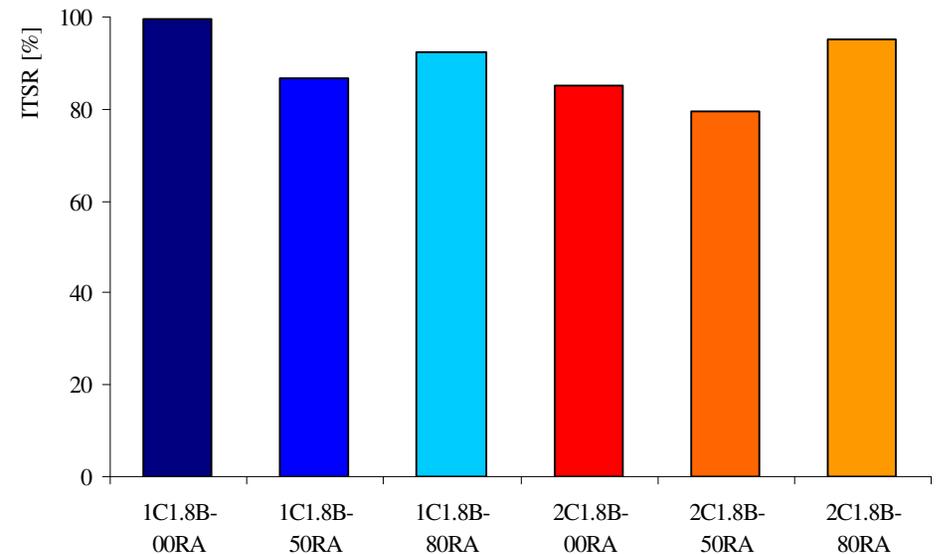


Influenza del RA e cemento sulla sensibilità all'acqua



$$ITSR = 100 \cdot \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

1. $ITSR > 80\%$
2. il contenuto di RA e cemento non sembrano influenzare la sensibilità all'acqua

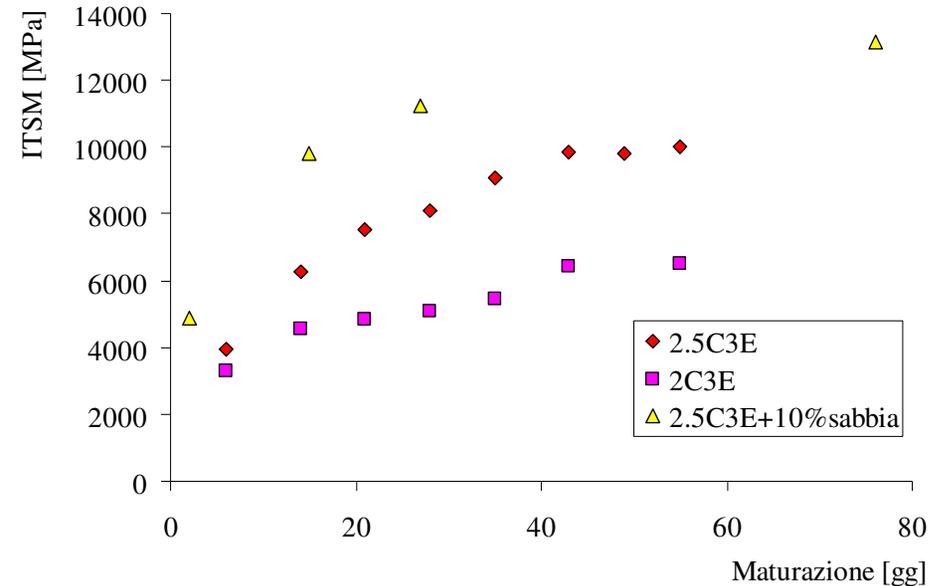
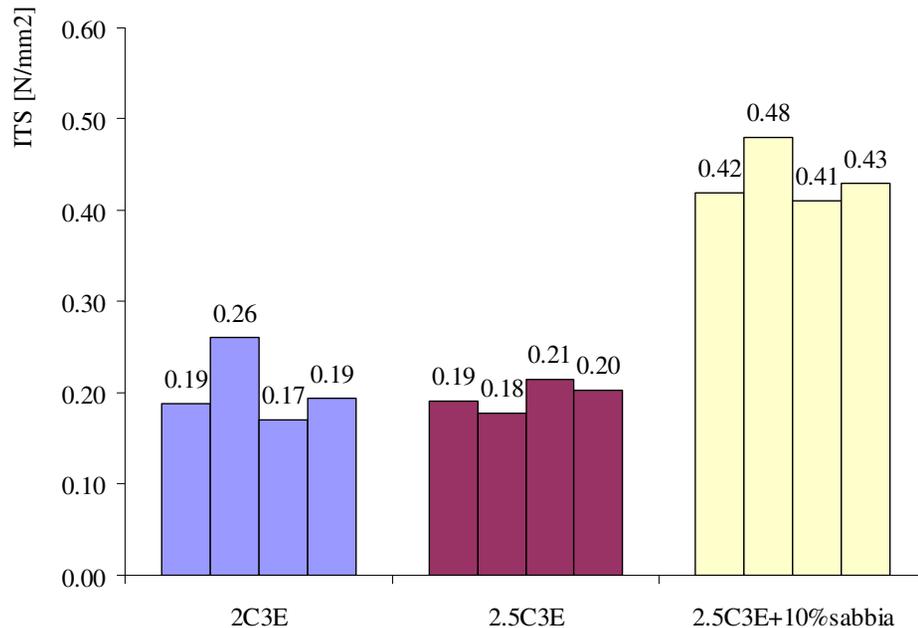


Indagine sperimentale <2/1>

Contenuto di frazioni fini / resistenza, rigidezza e fatica

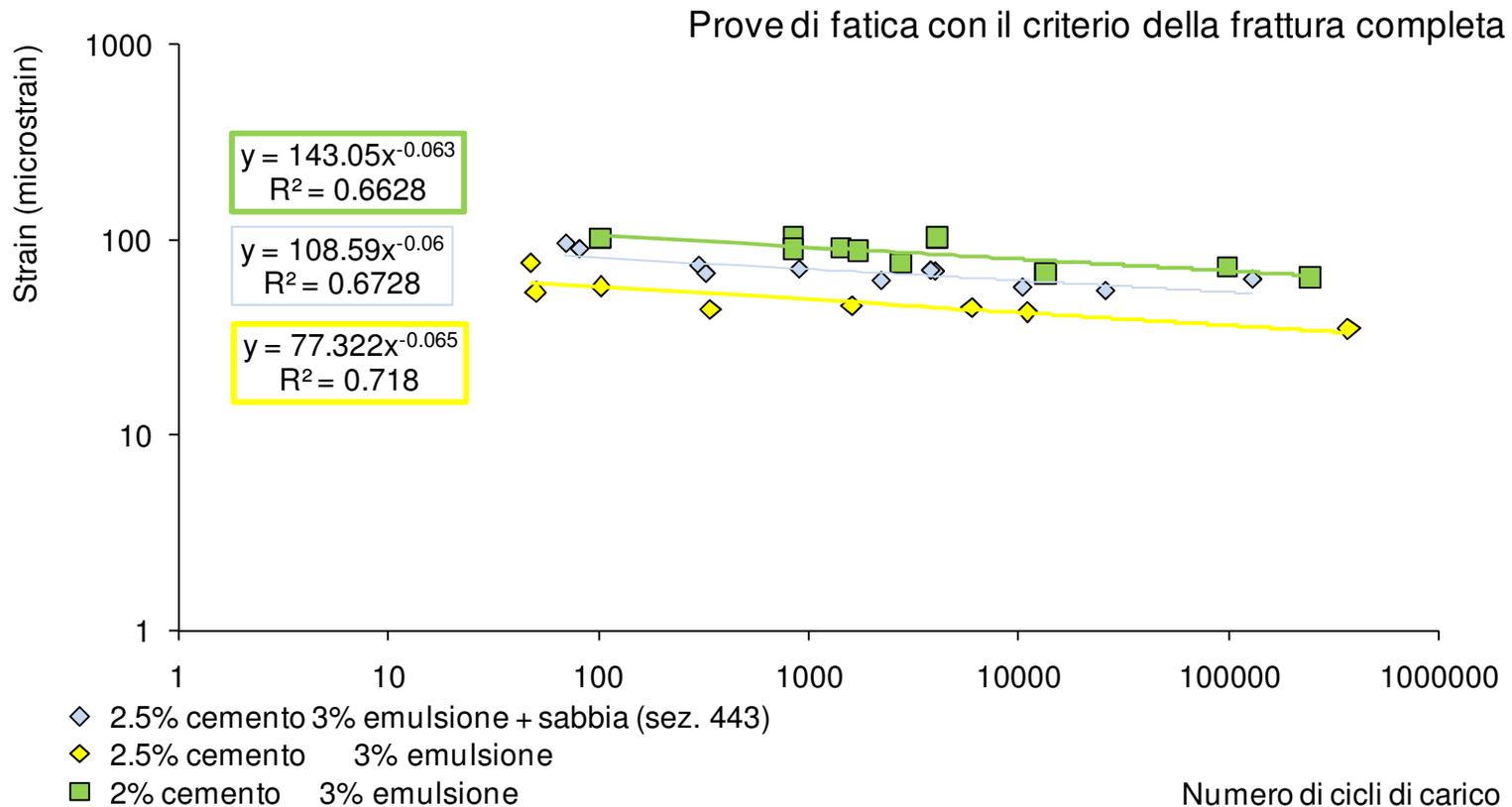
- **Miscele con diverse percentuali di frazione fine**
 - bitume residuo: 1.8%
 - cemento: 2 e 2,5%
 - sabbia di integrazione: 0 e 10% (incremento di 1% di filler)
- **Compattazione con pressa giratoria (SGC)**
 - $d = 150 \text{ mm}$, energia = 180 giri, $p = 600 \text{ kPa}$, $P_w = 4500 \text{ g}$
- **Maturazione**
 - accelerata: 72 ore a 40°C
 - a lungo termine: oltre 55 giorni a 20°C
- **Caratteristiche meccaniche**
 - modulo di rigidezza (ITSM)
 - resistenza a trazione indiretta (ITS)
 - resistenza ai carichi ripetuti (ITFT)

Influenza della frazione fine sulla resistenza e rigidezza



1. L'incremento del dosaggio di cemento non ha fatto rilevare particolari benefici sulla resistenza a trazione indiretta
2. l'incremento di cemento comporta una maggiore rigidezza
3. l'integrazione della sabbia 0/3 ha permesso un notevole l'incremento della resistenza a trazione indiretta e della rigidezza

Influenza dei fini sulla resistenza ai carichi ripetuti



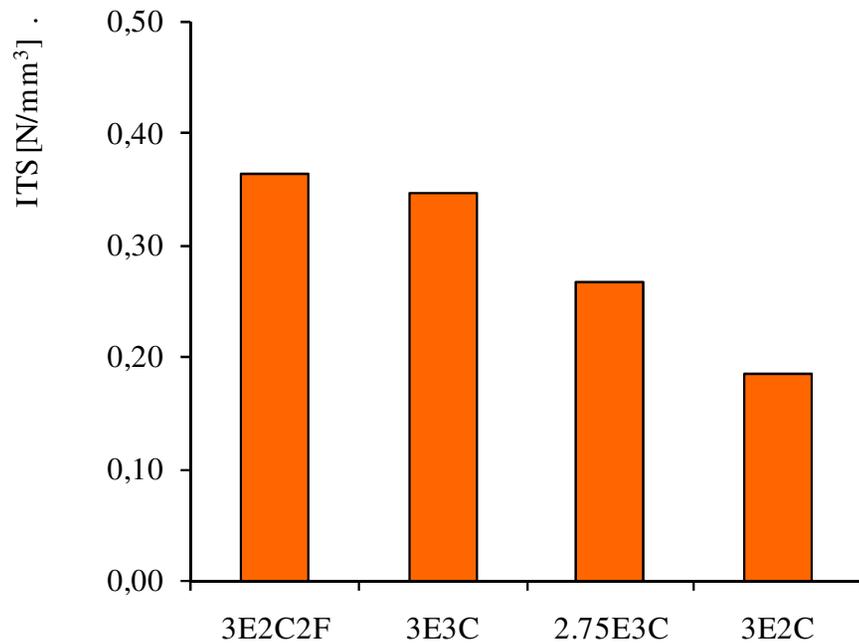
1. La miscela con maggior rapporto bitume/cemento offre una più elevata resistenza ai carichi ciclici
2. l'apporto di frazione fine migliora le prestazioni della miscela sotto carichi ripetuti

Indagine sperimentale <2/2>

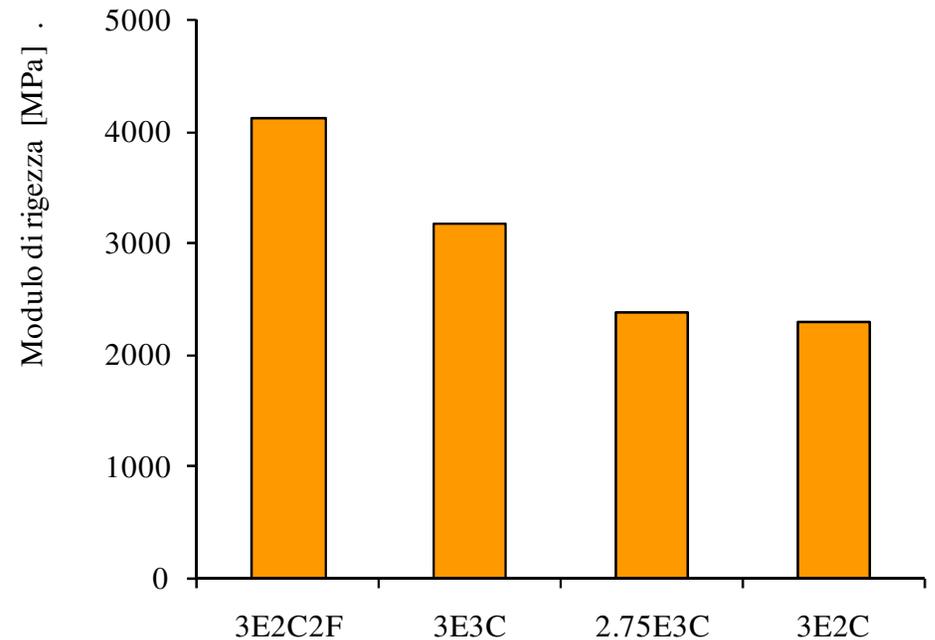
Contenuto di filler / resistenza e rigidezza

- **Miscele con diverse percentuali di frazione fine**
 - bitume residuo: 1.8 e 1.65%
 - cemento: 2 e 3%
 - filler di integrazione: 0 e 2%
- **Compattazione con pressa giratoria (SGC)**
 - $d = 150$ mm, energia = 180 giri, $p = 600$ kPa, $P_w = 2700$ g
- **Maturazione**
 - accelerata: 72 ore a 40°C
- **Caratteristiche meccaniche**
 - modulo di rigidezza (ITSM)
 - resistenza a trazione indiretta (ITS)

Influenza del filler sulla resistenza e rigidezza



Tipo di miscela



Tipo di miscela

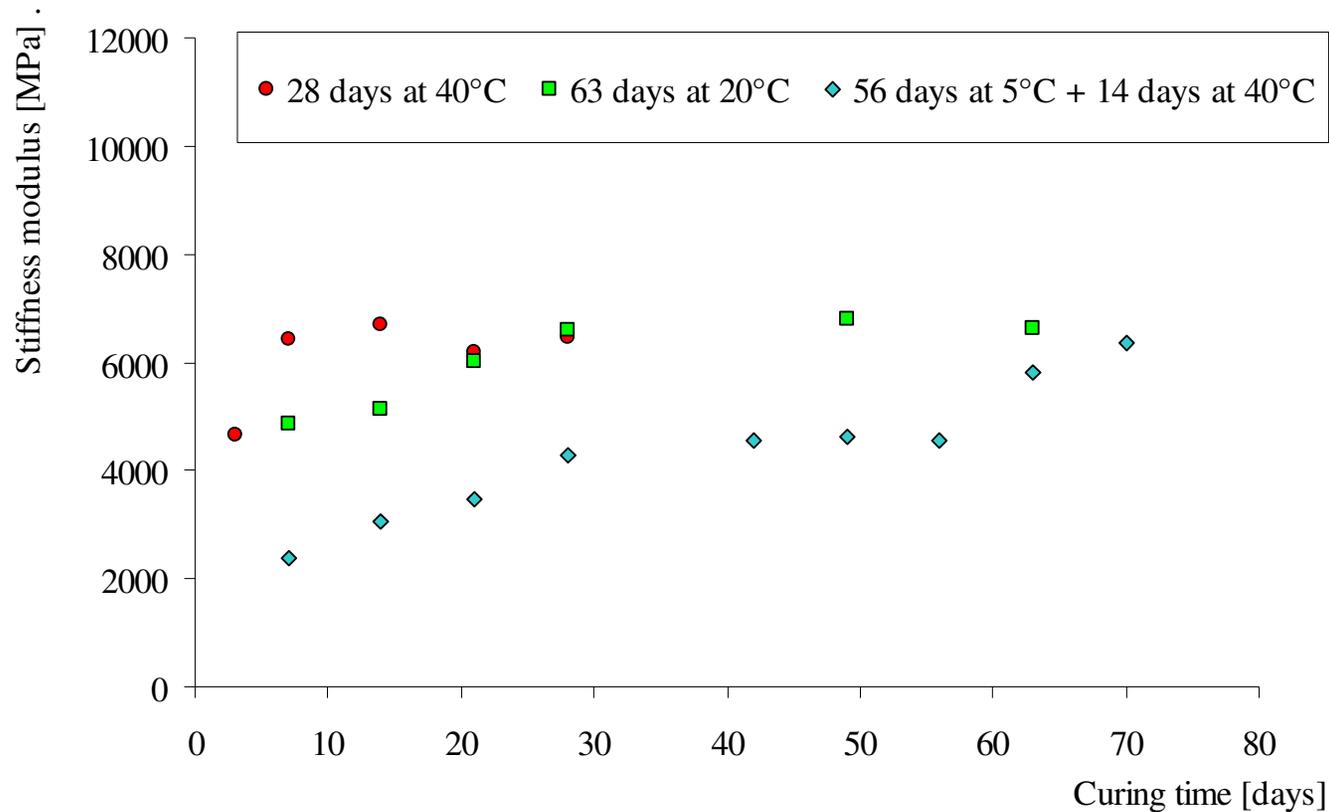
1. L'incremento del dosaggio di cemento ha consentito di raggiungere valori soddisfacenti di resistenza a rottura e rigidezza
2. la correzione granulometrica tramite integrazine di filler naturale permette di ottenere i risultati migliori

Indagine sperimentale <3>

Temperatura / maturazione

- **Miscela selezionata**
 - bitume residuo: 1.8%
 - cemento: 2%
 - RA: 50%
- **Maturazione**
 - stagione calda: 40°C
 - stagione temperata: 20°C
 - stagione fredda: 5°C
- **Caratteristiche meccaniche**
 - ITSM (monitoraggio settimanale)

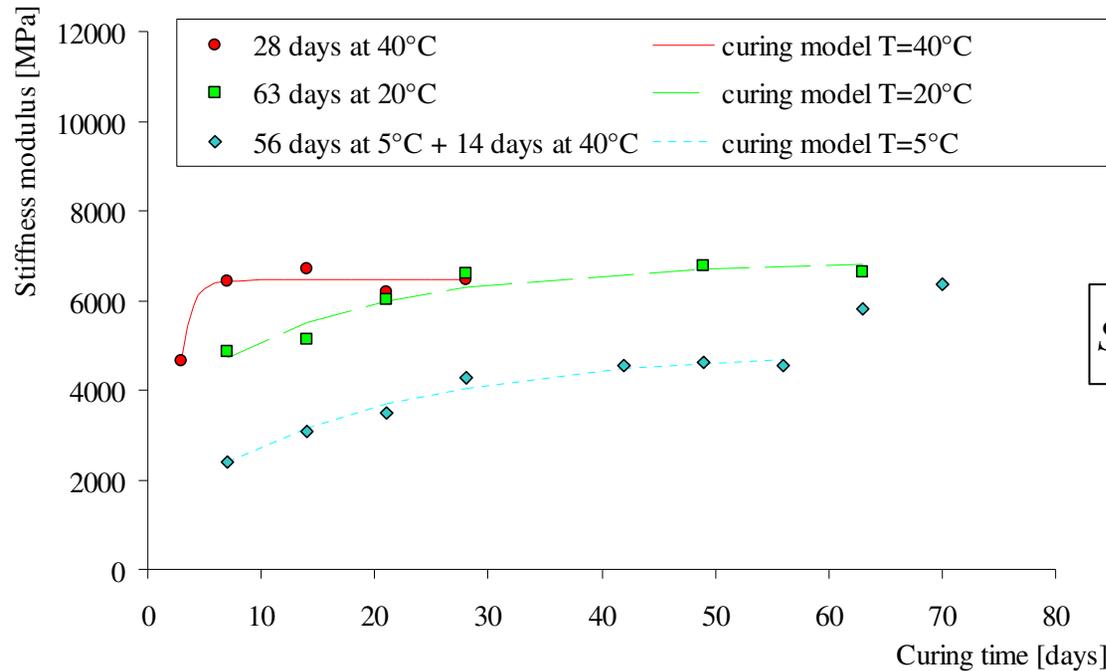
Influenza della temperatura sulla maturazione



1. ITSM cresce con i giorni di maturazione e raggiunge un valore massimo di circa 4500 MPa per la serie “5°C” e di 6500 MPa per le serie “40°C” e “20°C”
2. la maturazione riprende passando da una stagionatura a 5°C ad una a 40°C
3. a fine maturazione si ottengo valori di ITSM simili per tutte le serie

Bocci, Grilli, Cardone, Graziani, Constr. Build. Mater., 2010

Influenza della temperatura sulla maturazione



$$S_{T,t} = S_{T,max} - (S_{T,max} - S_{T,i}) e^{-b \cdot (t-t_i)}$$

CBTM	b
56 days at 5°C	0.052
63 days at 20°C	0.065
28 days at 40°C	1.121

- $S_{T,t}$ is the modulus at a specific curing temperature T and time t
- $S_{T,max}$ is the maximum modulus at curing temperature T
- $S_{T,i}$ is the initial modulus (after 7-day curing time)
- b is a parameter depending on the curing temperature T

4. un'alta temperatura di maturazione implica un rapido incremento di rigidezza e valori massimi elevati di ITSM

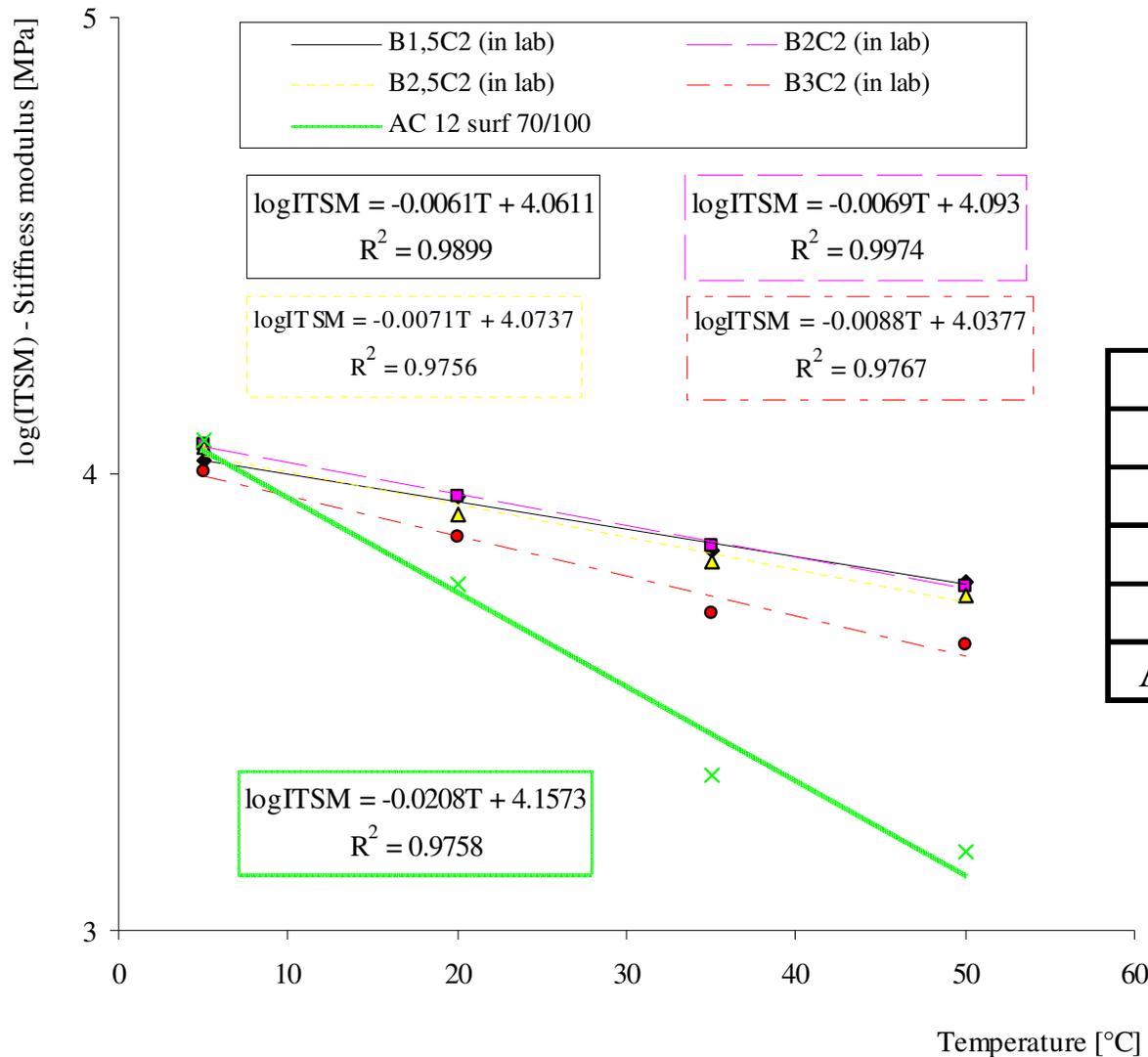
Bocci, Grilli, Cardone, Graziani, Constr. Build. Mater., 2010

Indagine sperimentale <4>

Temperatura / rigidezza

- **Miscele con differenti dosaggi di bitume residuo**
 - bitume residuo: 1.5, 2, 2.5 e 3%
 - cemento: 2%
 - RA: 50%
- **Maturazione**
 - a lungo termine: 35 giorni a 20°C
- **Caratteristiche meccaniche**
 - ITSM a 5, 20, 40, 50°C

Influenza della temperatura sulla rigidità



$$\log S = \alpha \cdot T + b$$

- S is the stiffness modulus at temperature T
- a and b are experimental parameters

CBTM	α
B1,5C2-50RA	-0,061
B2C2-50RA	-0,0069
B2,5C2-50RA	-0,0071
B3C2-50RA	-0,0088
AC 12 surf 70/100	-0,0208

1. I risultati confermano la termo dipendenza di CBTM
2. maggiore il dosaggio di bitume implica maggiore sensibilità termica

Conclusioni

- ❑ **risultati soddisfacenti in termini di ITSM, ITS e sensibilità all'acqua possono essere raggiunti con alti contenuti di RA**
- ❑ **il contenuto di filler e di frazioni fini offrono un importante contributo alla resistenza e rigidità**
- ❑ **la temperatura gioca un ruolo fondamentale nel processo di maturazione del CBTM**
- ❑ **un'alta temperatura di maturazione implica un rapido incremento di rigidità e valori massimi elevati di ITSM**
- ❑ **a basse temperature il processo di maturazione è lento ma le potenziali prestazioni del CBTM non sono penalizzate**
- ❑ **maggiore il dosaggio di bitume, maggiore la sensibilità termica**

Sviluppi futuri

- **proprietà visco-elastiche del CBTM**
- **prestazioni a fatica**
- **monitoraggio delle pavimentazioni realizzate con CBTM tramite campagne di indagine in sito e carotaggi**

Grazie per l'attenzione!