



## ***Relazione tecnica sui conglomerati***

### ***Asphalt Rubber confezionati con il bitume Rubbit®***

**Rubbit<sup>1</sup> (Asphalt Rubber)** è un **bitume modificato** con una percentuale minima sul peso totale di 15 % di **polverino di gomma di pneumatico riciclata** incorporata tramite **processo wet**, che ha reagito durante un periodo di tempo sufficientemente lungo da permettere il “gonfiamento” della gomma. (**Normativa ASTM D6114**)

Il processo wet è l'unico disciplinato con propri standard e metodi di prova e non deve essere confuso con il metodo dry, in cui il polverino di gomma viene introdotto direttamente nel mescolatore facendo la funzione di un inerte e non ha il tempo necessario per interagire con il bitume e permettere una copertura omogenea degli aggregati, ottenendo risultati prestazionali nettamente inferiori, documentati da numerosissimi studi internazionali.

Il conglomerato **Asphalt Rubber** confezionato con bitume modificato con polverino di gomma di pneumatico riciclata, da più di 30 anni viene utilizzato con un grande successo sia negli Stati Uniti, in Arizona, California, Texas e Florida, sia in Sud Africa, Canada e Cina, oltre che in paesi europei quali Spagna, Portogallo, Germania ed Austria.

Ad oggi, le prestazioni generali sul campo per tutti i tipi di utilizzo di **Asphalt Rubber** sono state ottime. Questo materiale dalle caratteristiche uniche, è particolarmente adatto per ridurre tutti i fenomeni di fessurazione di riflesso, fessurazione a fatica e fessurazione termica, con l'ottenimento di superfici praticamente prive di fenomeni di ormaimento (*rutting*), con un'ottima aderenza (*skid resistance*), ridotta necessità di manutenzione, una eccellente regolarità e ridotti livelli di emissioni sonore.

L'utilizzo di conglomerati **Asphalt Rubber** ha consentito di registrare significative attenuazioni del rumore da rotolamento del traffico veicolare, con una riduzione fino a **9 dB** rispetto ad una pavimentazione rigida e fino a **5 dB** rispetto al migliore conglomerato drenante fonoassorbente, anche in ambiti urbani di circolazione.

---

<sup>1</sup> **Rubbit** è l'asphalt rubber italiano; è il bitume modificato con polverino di gomma attraverso il processo wet prodotto da Asphalt Rubber Italia S.R.L. secondo la normativa ASTM D6114 (standard specification for asphalt rubber binder). Di seguito verrà indistintamente menzionato il termine Rubbit e bitume/legante Asphalt Rubber volto ad indicare il medesimo materiale.

## Proprietà del Conglomerato Bituminoso

I conglomerati **Asphalt Rubber ( Open Graded e Gap Graded )** hanno dimostrato una maggiore resistenza a fatica, dovuta all'elevata percentuale di bitume incorporata al loro interno , ed una maggiore resistenza all'ormaiamento, attribuita alla viscosità più elevata del legante. Sono conglomerati caratterizzati da una permeabilità superiore, che consente di ridurre i fenomeni di *splash and spray* e di *acquaplaning* in caso di superficie bagnata.

Dal punto di vista chimico-fisico, il polverino di pneumatico miscelato con un bitume naturale di base è in grado di assorbire e fissare la frazione maltenica propria dei costituenti volatili aromatici del bitume. Proprio la fissazione dei malteni permette di ottenere un significativo aumento della resistenza all'invecchiamento delle miscele bituminose, dal momento che questo costituente del bitume in genere è destinato a perdersi nel tempo per fenomeni di ossidazione e per l'azione dei raggi UV.

Le proprietà del legante **Rubbit® e dei conglomerati Asphalt Rubber** sono riportate nelle successive tabelle.

**Proprietà fisiche medie del legante **Rubbit®****

Proprietà	Metodo di Prova	Risultato Medio
Penetrazione @25°C [dmm]	ASTM D 5	25
Temperatura di Rammolimento [°C]	ASTM D 36	80
Resilienza @25°C [%]	ASTM D 3407	50
Viscosità Brookfield @175°C,20rpm [cP]	AASHTO TP 48	2500

Tenendo conto che sono le caratteristiche del legante a determinare, in linea di massima, la resistenza dei conglomerati alle deformazioni permanenti, si può concludere che è l'elevata viscosità che il legante **Asphalt Rubber** presenta a 175 °C che permette di ottenere un conglomerato molto poco deformabile.

L'elevata resistenza alla deformazione permanente dei conglomerati **Asphalt Rubber**, è infatti una delle proprietà che li distingue dagli altri tipi di conglomerati.

È inoltre l' elevata resistenza a fatica che fornisce, indirettamente, una elevata resistenza alla propagazione delle fessure.

**Caratteristiche dei conglomerati **Asphalt Rubber****

Proprietà	Metodo di Prova	<b>Gap Graded</b>	<b>Open Graded</b>
Bitume AR sul peso totale [%]	ASTM D 6307	7,5:8,5	8,5:9,5
Prova Marshall (1)	ASTM 1559		
Numero di colpi		75	50
VMA, min		19	25
Porosità [%] (2)	ASTM D 2726	4÷6,5	9÷15
Resistenza Conservata min [%]	ASTM D 1075	80	85
Cantabro umido, perdita max [%]	NLT 362		15
Velocità deform. V105-120 [mm/min]	NLT 174	1,5	3

### Moduli di Deformabilità dei conglomerati *Asphalt Rubber*

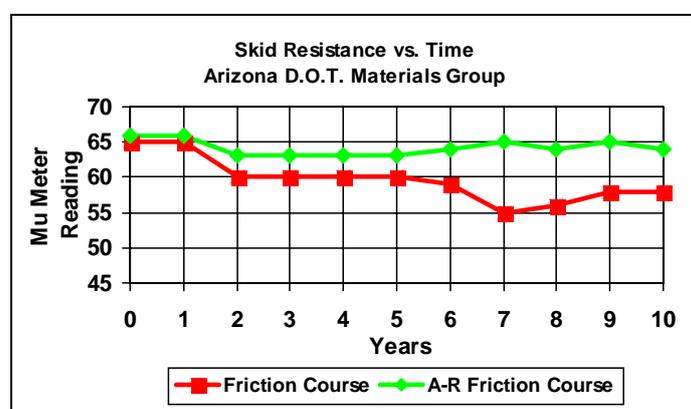
Proprietà	Metodo di Prova	Gap	Open
Modulo di Deformabilità (@20°C, 10 Hz) [Mpa]	AASHTO TP48-94	4000	2000

Per quanto riguarda le caratteristiche funzionali, i conglomerati confezionati con bitume modificato con polverino di gomma riciclata presentano i seguenti valori di profondità media di tessitura superficiale.

### Profondità media di tessitura superficiale nei conglomerati *Asphalt Rubber*

Proprietà	Gap	Open
Profondità di Tessitura Superficiale min [mm]	0,9	1,1

L'Arizona Department of Transportation (ADOT) ha utilizzato conglomerati bituminosi *Asphalt Rubber* in strati di usura a partire dagli anni '80. La maggior parte di queste superfici continuano a presentare eccellenti valori di attrito, tessitura e regolarità, espressi da un coefficiente di frizione chiamato *Mu Meter*. Come si può vedere nel grafico sottostante, nelle pavimentazioni in *Asphalt Rubber*, partendo da un valore funzionale uguale a una pavimentazione "convenzionale", i valori di frizione *Mu Meter*, restano pressoché costanti, mentre in una pavimentazione convenzionale peggiorano già dopo un anno dalla costruzione.



Le prove adesione prevalentemente condotte nei Paesi della penisola iberica con il *Cantabro Test* (NLT 362), evidenziano una ottima resistenza all'azione dell'acqua (<15%) che consentono l'estensione dell'*Asphalt Rubber* a conglomerati particolarmente porosi e sollecitati in corrispondenza del contatto legante/aggregato.

L'elevata percentuale di gomma inglobata nel processo wet ha permesso di ottenere conglomerati bituminosi drenanti particolarmente resistenti all'ormaiamento, con valori di velocità di deformazione di  $12 \cdot 10^{-3}$  mm/min nelle aree di temperature più elevate e per le classi di traffico più severo (T100) secondo la normativa spagnola (PG-3 OC5/2001).

## Riduzione dello Spessore

Le elevate performance dei conglomerati Asphalt Rubber, confermate da 40 anni di sperimentazioni e applicazioni pratiche, hanno portato alla redazione di un manuale per la riduzione dello spessore di strati in conglomerati Asphalt Rubber da parte del *California Department of Transportation* (Caltrans), secondo il quale sono consentite riduzioni sino al 50% dello spessore di un strato in **Asphalt Rubber**, rispetto ad un conglomerato convenzionale. Questo manuale è stato validato da prove condotte in Sud Africa e presso la U.C. Berkeley, oltre che da numerose applicazioni negli Stati Uniti e in Europa.

### **La Metodologia Caltrans per la Riduzione dello Spessore**

Dal 1980 al 1992 il Caltrans (California Department of Transportation) ha condotto diverse ricerche comparando le prestazioni in situ di diversi conglomerati convenzionali con conglomerati **Asphalt Rubber**. È stato determinato, tramite queste valutazioni, che l'**Asphalt Rubber** può ridurre significativamente lo spessore di uno strato di pavimentazione garantendo maggior vita in servizio rispetto ad un conglomerato convenzionale con spessore più elevato.

Nelle sezioni costruite dal Caltrans prima del 1983, gli strati in **Asphalt Rubber** erano realizzati con lo stesso spessore di un conglomerato convenzionale. Dopo le prime valutazioni prestazionali di queste sezioni si è optato, nel 1987, per ridurre lo spessore degli strati in **Asphalt Rubber**. La strategia del Caltrans è quindi cambiata, stabilendo che gli interventi di riabilitazione con **Asphalt Rubber** dovevano includere soluzioni con spessore inferiori relativamente alle soluzioni convenzionali.

Nelle applicazioni successive, si è arrivati a realizzare strati di riabilitazione in conglomerato **Asphalt Rubber** di spessore **sino al 50%** inferiore rispetto ai materiali convenzionali. Da quel momento e sino al 1992 in California sono stati realizzati ben 750 progetti di questo tipo, che hanno dimostrato ottimi risultati, convincendo il Caltrans a presentare, proprio nel 1992, un documento alla *Federal Highway Administration* (FHWA) contenente una proposta per stabilire a livello normativo la riduzione dello spessore degli strati in conglomerato **Asphalt Rubber** impiegati come strategia di riabilitazione. Questo manuale, basato su prove di laboratorio e 20 anni di esperienze, raccomandava per i conglomerati in **Asphalt Rubber** una riduzione dello spessore, rispetto a un conglomerato convenzionale, fino a 50%.

Il Caltrans ha sviluppato il suo manuale in forma di tabella semplice da utilizzare. Per determinare lo spessore di uno strato in conglomerato Asphalt Rubber; prima si determina lo spessore di un strato in conglomerato normale, dopo di che si utilizza la tabella per convertire lo spessore.

### **Direttive per la progettazione di pavimentazioni flessibili**

Le direttive stabilite dal Caltrans per la progettazione di pavimentazioni flessibili si basano su prove di deflessione non distruttive eseguite su pavimentazioni esistenti (FWH). La deflessione massima misurata sotto carico è usata per determinare i requisiti dello spessore di uno strato per una vita utile di progetto di 10 anni. Questa procedura utilizza il criterio della deflessione massima per ottenere lo spessore richiesto dal Caltrans (Test 356).

Lo spessore richiesto è selezionato per rispondere sia ad una esigenza strutturale che al criterio della riflessione della fessurazione. I requisiti strutturali sono basati su deflessioni contenute entro un certo livello ammissibile.

Quando la pavimentazione in servizio presenta fessure ma le deflessioni misurate rientrano nei limiti consentiti dalla norma, prevalgono i criteri della riflessione della fessurazione. In generale, la riflessione della fessurazione può essere progettata assumendo che lo spessore necessario sia il 50% di quello che sarebbe necessario per ottenere la richiesta resistenza strutturale.

Il Caltrans, come anticipato, ha raccomandato una riduzione dello spessore circa del 50%, utilizzando **Asphalt Rubber**, rispetto a quello richiesto da un conglomerato convenzionale. Dal 1992, il Caltrans ha utilizzato questa guida in tutte le riabilitazioni progettate prevedendo l'impiego di **Asphalt Rubber**.

La procedura consiste inizialmente nel determinare lo spessore necessario in funzione della risposta e portanza strutturale di un conglomerato convenzionale, basandosi sulle deflessioni misurate tramite FWH e sulla struttura della sezione. Dopo di che viene determinato lo spessore necessario per evitare il fenomeno della riflessione della fessurazione. Il maggiore tra questi spessori determinato per un conglomerato convenzionale viene tradotto in uno spessore per conglomerati in **Asphalt Rubber**. Se questo spessore è inferiore a 30 mm non è necessario costruire un strato in conglomerato bituminoso e c'è la possibilità di applicare un trattamento superficiale utilizzando il legante **Asphalt Rubber**.

### ***Ipotesi assunte***

- La fessurazione negli strati è causata da una combinazione di carichi di traffico e movimenti della base della pavimentazione;
- I conglomerati in **Asphalt Rubber** possono sopportare maggiori deflessioni misurate con FWH senza fessurazione e presentano una maggior resistenza alla riflessione della fessurazione. Questo può essere ricondotto al fatto che i conglomerati **Asphalt Rubber** hanno una percentuale significativamente maggiore di bitume rispetto ai tradizionali;
- Il grado di rigidità fornito da un specifico spessore di **Asphalt Rubber** è minore dell'aumento di rigidità fornito da un conglomerato convenzionale dello stesso spessore.

### ***Tabelle di Equivalenza***

La Tabella 1 è utilizzata per le equivalenze strutturali, mentre la Tabella 2 riguarda il ritardo del fenomeno di riflessione della fessurazione.

In entrambi ci sono due colonne per i conglomerati in Asphalt Rubber, la prima si riferisce a un conglomerato **Asphalt Rubber Gap Graded**, la seconda alla combinazione di un conglomerato **Asphalt Rubber Gap Graded** con una SAMI in bitume **Asphalt Rubber**. L'introduzione di questa SAMI è equivalente a 45 mm di spessore di un conglomerato normale.

### Equivalenze Strutturali<sup>1</sup>

Conglomerato Convenzionale (cm)	<i>Asphalt Rubber Gap Graded</i> (cm)	<i>Asphalt Rubber Gap Graded</i> più SAMI (cm)
4,5	3,0	-
6,0	3,0	-
7,5	4,5	3,0
9,0	4,5	3,0
10,5	6,0	4,5
12,0	6,0	4,5
13,5	4,5 <sup>2</sup>	6,0
15,0	4,5 <sup>3</sup>	6,0
16,5	6,0 <sup>2</sup>	4,5 <sup>2</sup>
18,0	6,0 <sup>3</sup>	4,5 <sup>3</sup>

### Equivalenze per il Ritardo della Riflessione della Fessurazione

Conglomerato Convenzionale (cm)	<i>Asphalt Rubber Gap Grade</i> (cm)	<i>Asphalt Rubber Gap Grade</i> più SAMI (cm)
4,5	3,0	-
6,0	3,0	-
7,5	4,5	-
9,0	4,5	-
10	5,0	3,0

Note:

1. La massima equivalenza non sperimentale per ARHM-GG è 2:1.
2. Posizionare prima 4 cm di un strato in conglomerato convenzionale.
3. Posizionare prima 6 cm di un strato in conglomerato convenzionale.

### Valutazione del manuale

Nel 1993 il Caltrans ha portato avanti una ricerca per valutare le raccomandazioni del suo manuale. Per questa ricerca ha avuto la collaborazione della *University of California, Berkeley* (UCB), dal *Dynatest Consulting* e dal *Council for Scientific and Industrial Research* (CSIR). Il lavoro ha coinvolto l'uso del *Heavy Vehicle Simulator* (HVS) della Repubblica del Sud Africa.

I risultati di tale studio hanno permesso all'allora ingegnere dirigente del Caltrans, Richard Land, di concludere che l' **Asphalt Rubber** è più duraturo, resistente alla fessurazione e alle escursioni termiche, presentando la doppia vita utile con metà dello spessore.

In questo studio inoltre, lo strato in **Asphalt Rubber**, presenta una riduzione di 2/3 dello spessore, quindi questi risultati non solo validano il manuale del Caltrans ma indicano che questo può essere conservativo.

Ulteriori studi dell'Università della California, Berkeley (1994) e dei laboratori dell'Università dell'Alaska, Fairbanks (1995), hanno supportato queste conclusioni. L'esperienza in Arizona ha dimostrato che, utilizzando **Asphalt Rubber** nella riabilitazione, si riesce a ridurre lo spessore da 1/3 a 1/2 rispetto ad un conglomerato tradizionale, con costi di manutenzione sostanzialmente inferiori.

## LONG PERFORMANCE

La *Federal Highway Administration's Turner Fairbank Research Center* di Washington D.C., ha testato differenti tipi di pavimentazioni dal 2001, attraverso un'apparecchiatura chiamata "ALF". La macchina percorre ripetutamente una sezione della pavimentazione con un pneumatico di carico predefinito.

La pavimentazione con **Asphalt Rubber** ha resistito ad oltre 300000 passaggi senza fessurarsi, il che rappresenta un risultato di molto superiore anche rispetto ai più sofisticati bitumi modificati oggi disponibili sul mercato.

Nel 1993, come già citato nella valutazione del manuale, il *California Department of Transportation* (CALTRAN) e il *South African Council for Scientific and Industrial Research* (CSIR) hanno condotto prove con un *Heavy Vehicle Simulator* (HVS).

Tale apparecchiatura, piuttosto simile all'ALF, sposta rapidamente un pneumatico caricato con un peso predeterminato sino a raggiungere la fessurazione o rottura meccanica.

Sono state testate tre tipi di pavimentazione: 8 cm di bitume modificato con SBS, 2,5 cm di **Asphalt Rubber** e 4 cm sempre di **Asphalt Rubber**. Dopo un determinato numero di passaggi, le fessure furono misurate e contate. Inizialmente i passaggi con l'HVS furono effettuati a temperatura ambiente (25°C) e con il carico standard previsto dalla U.S. Highway (40 KN).

Al termine di 175000 passaggi il conglomerato tradizionale, al contrario dell'AR, presentava già fessure. A tal punto fu aumentato il carico sino al doppio (80 KN) e si proseguì con la prova. Dopo ulteriori 25000 passaggi, la pavimentazione convenzionale presentava uno stato di completa rottura. La sezione di 2,5 cm di **Asphalt Rubber**, invece, ha resistito sino ai 37000 passaggi.

Per testare la sezione da 4 cm di **Asphalt Rubber**, lo stesso fu sottoposto a temperature negative (-5°C): con il doppio del carico, dopo 75000 passaggi (oltre ai 175000 con carico standard) il provino non aveva ancora raggiunto la metà della fessurazione.

I risultati come citato in precedenza di concludere che l' **Asphalt Rubber** è **più duraturo, resistente** alla fessurazione e alle escursioni termiche, presentando **doppia** vita utile con **metà** dello spessore.

## Sicurezza

Ci sono diversi studi che riferiscono l'aspetto della maggior sicurezza delle pavimentazioni in Asphalt Rubber ([www.rubberpavements.com](http://www.rubberpavements.com)). La maggior adesione del pneumatico sulla gomma incorporata nelle pavimentazioni realizzate con **Asphalt Rubber** comporta una maggiore tenuta di strada, una riduzione degli spazi di frenata nell'ordine del 15% ed una conseguente maggior sicurezza per gli utenti. Tali vantaggi sono stati misurati: a San Antonio Texas sulla IH35 da Luglio 2001 a Giugno 2002 si sono verificati 89 incidenti, 39 dei quali con pioggia; da Novembre 2002 a Ottobre 2003 dopo il trattamento con **Asphalt Rubber** se ne sono verificati "solo" 48 (- 48,5%) di cui 19 con pioggia (- 51%).

## Rumorosità

L'uso di conglomerati **Asphalt Rubber** confezionati col bitume **Rubbit®** ha consentito di registrare significative attenuazioni del rumore da rotolamento del traffico veicolare, con una riduzione fino a 9 dB del livello sonoro in ambiti urbani di circolazione. (fino a **5 dB in meno, rispetto ai migliori drenanti fonoassorbenti**, corrispondente all'assorbimento del **80% dell'energia sonora**);

Per ovviare al problema della eccessiva rumorosità nelle vicinanze delle principali arterie stradali, si spendono ingenti somme di denaro in barriere sonore per limitare il rumore, piuttosto che risolvere il



## Vantaggi dell'Asphalt Rubber

I principali vantaggi di questo legante sono, in sintesi, costituiti da:

- ✓ Performance e durabilità **superiori**
- ✓ **Maggior resistenza** all'invecchiamento e all'ossidazione dovuta ad una maggior ricopertura degli inerti
- ✓ **Maggior resistenza** all'ormaiamento grazie all'incremento della viscosità e del punto di rammollimento
- ✓ **Maggiore resistenza** a fatica e alla fessurazione nel conglomerato, a causa del maggior contenuto percentuale di legante presente
- ✓ Possibilità di applicare **spessori inferiori** di conglomerato, che comportano anche minori tempi di costruzione legati alla minor quantità di materiale
- ✓ **Efficacia** dei trattamenti di riabilitazione con AR, che si pongono come valida alternativa alla ricostruzione
- ✓ **Vantaggio economico** dovuto alla riduzione degli spessori, ad una maggior durabilità e alla minor manutenzione
- ✓ **Diminuzione del rumore** (equivalente all' **80% di traffico in meno**)
- ✓ **Riduzione** della distanza di frenata fino al **15%**, anche in condizioni climatiche avverse
- ✓ **Maggior sicurezza** legata alla maggior aderenza pneumatico-asfalto, alla riduzione dei fenomeni di splash and spray e acquaplaning e all'aumento della visibilità notturna, dovuta alla colorazione scura persistente nel tempo che crea contrasto fra pavimentazione e segnaletica orizzontale
- ✓ **Miglioramenti** di aderenza, tessitura e regolarità superficiale (IRI)
- ✓ **Riutilizzo** di ingenti quantità di pneumatici fuori uso preservando nel contempo le risorse naturali
- ✓ **Aumento** della ritenzione degli aggregati dovuto alla diminuzione dello spessore.



## Asphalt Rubber Italia

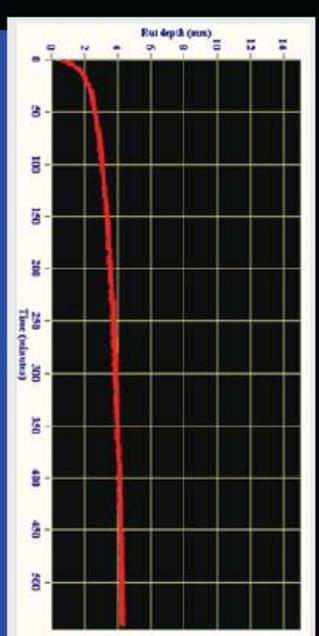
### Primo studio italiano sperimentale realizzato dal Politecnico delle Marche su conglomerato **Asphalt Rubber Gap Graded**

Lo studio è stato realizzato per evidenziare le diverse prestazioni tra conglomerati tradizionali, conglomerati con bitume modificato Hard, SMA e **Asphalt Rubber Gap Graded**

Da tale studio si evince come Asphalt Rubber gap graded sia notevolmente superiore agli altri materiali in termini di resistenza a fatica modulo di rigidezza e resistenza all'ormaiamento.

## Analisi Risultati Sperimentali: **Ormaiamento**

- **Wheel Tracker (T= 60 °C)**

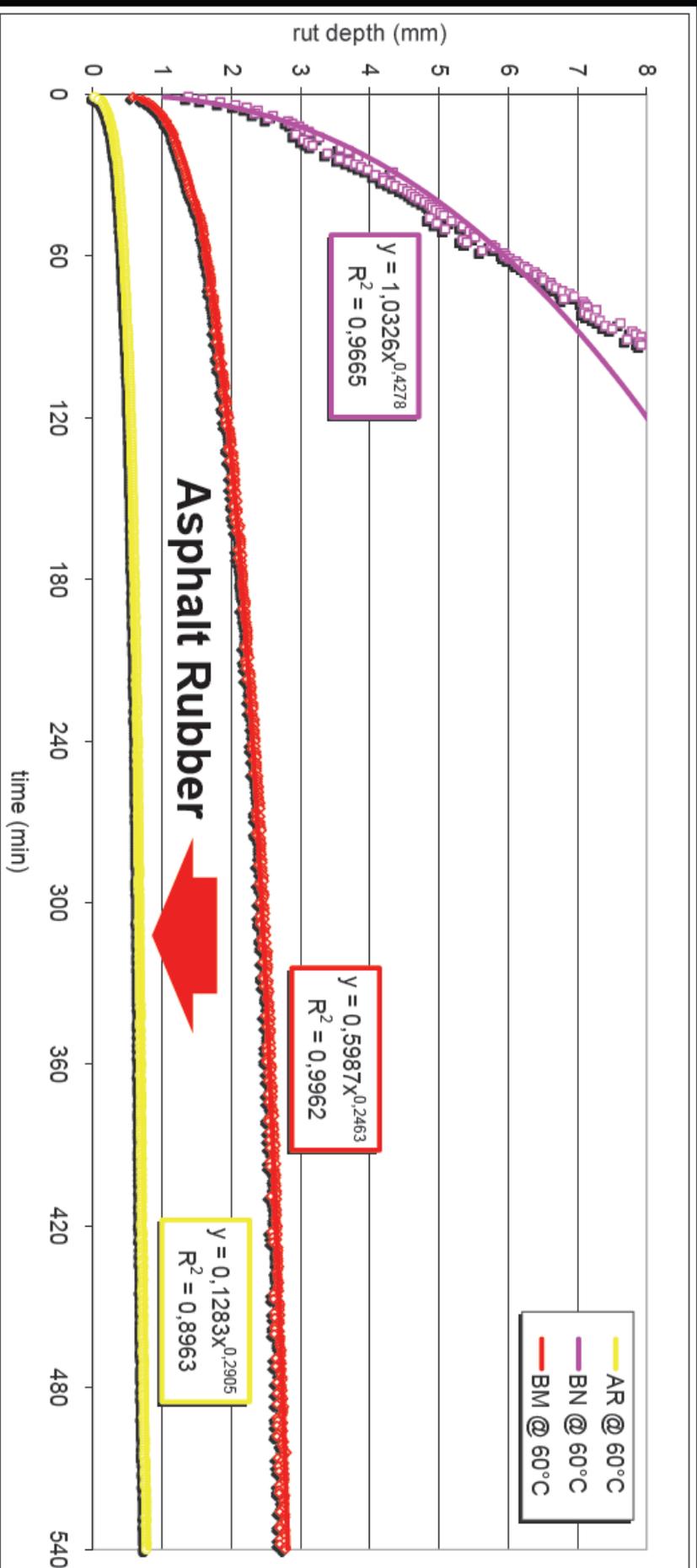


Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscela tipo asphalt rubber



## Analisi Risultati Sperimentali: Ormaiamento

**T = 60 °C**



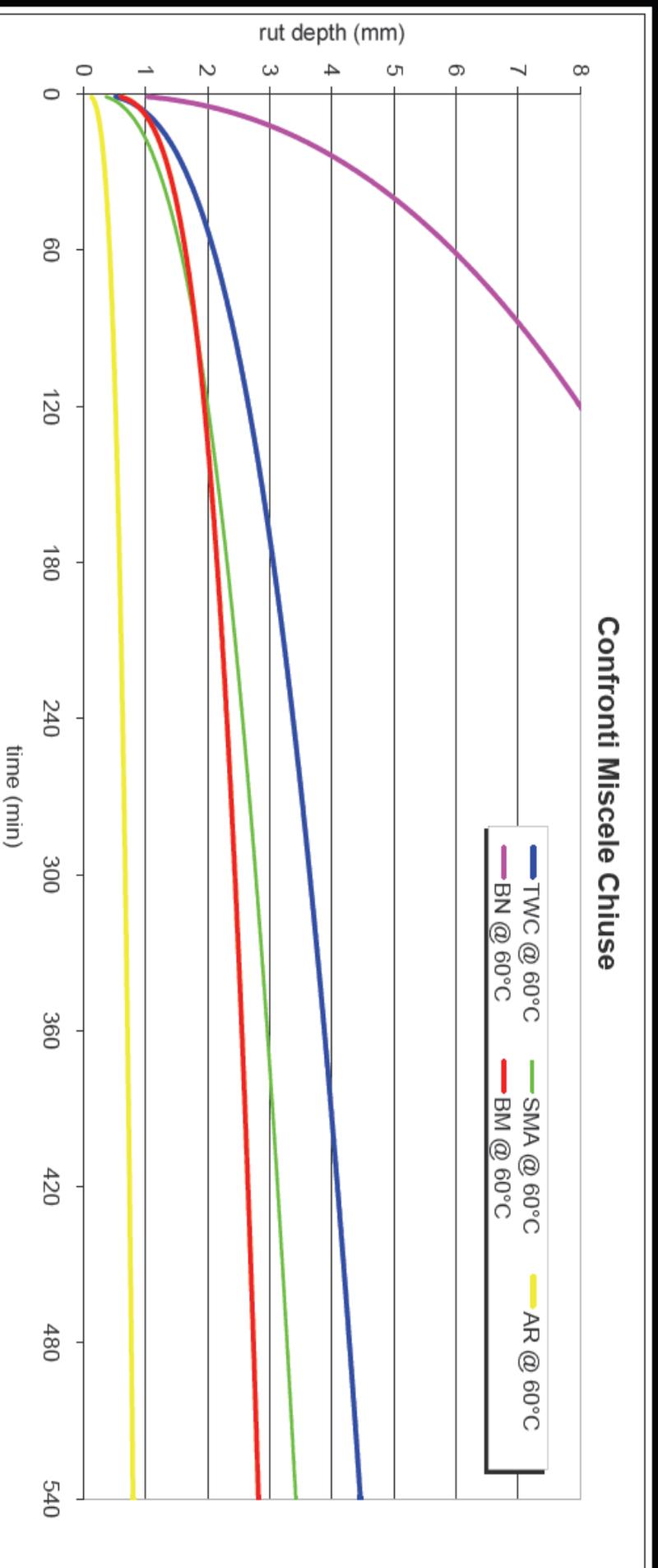
■ Prestazioni marcatamente superiori anche alla miscela con modificato Hard

Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscela tipo asphalt rubber



## Analisi Risultati Sperimentali: Ormaiamento

**T = 60 °C**



- Ulteriori conferme dal confronto con altre miscele chiuse

Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscela tipo asphalt rubber



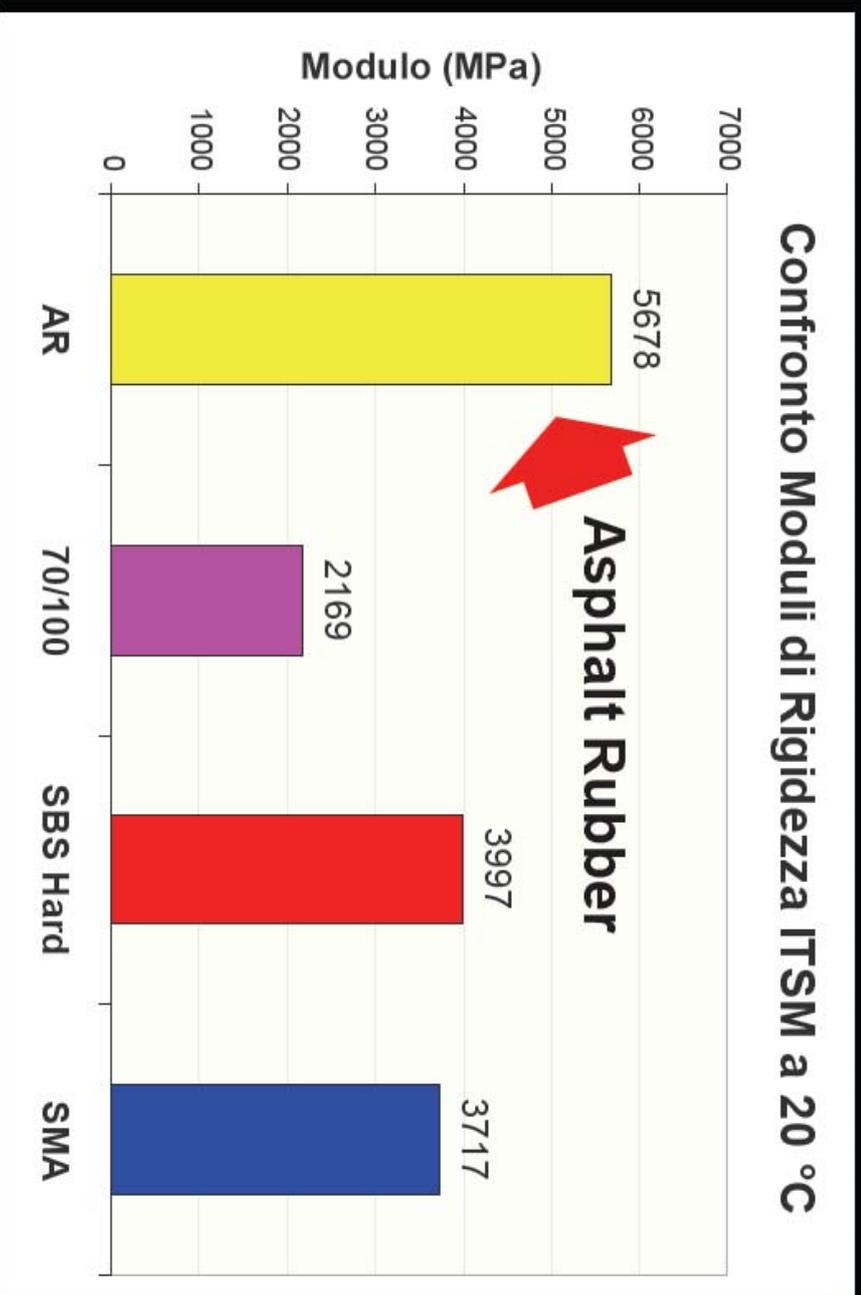
## Analisi Risultati Sperimentali: **Modulo di Rigidezza**

- **NAT: Indirect Tensile Stiffness Modulus ITSM (T= 20°C)**



Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscela tipo asphalt rubber

## Analisi Risultati Sperimentali: Modulo di Rigidezza



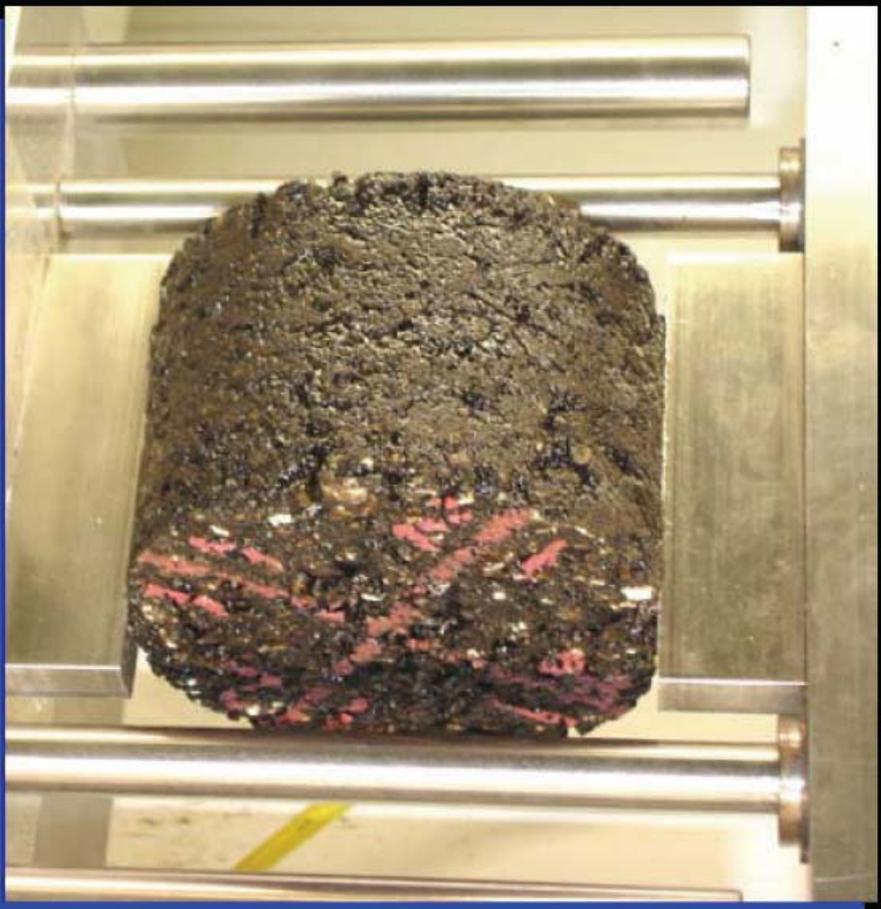
- Prestazioni Superiori alle miscele con bitume modificato

Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscele tipo asphalt rubber

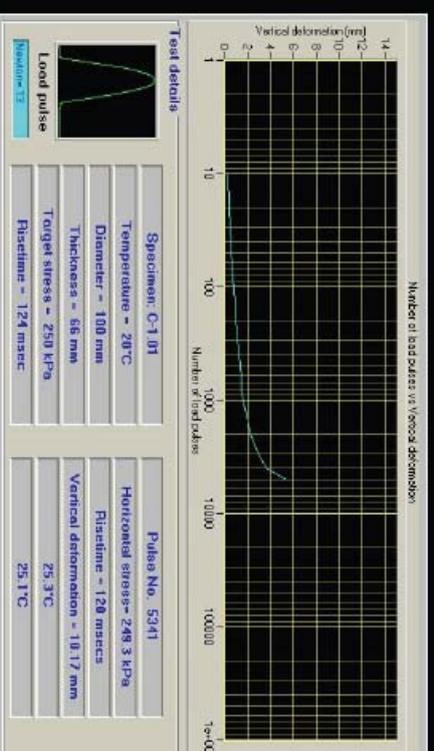


## Analisi Risultati Sperimentali: Resistenza a Fatica

### ■ NAT: Indirect Tensile Fatigue Test (T= 20°C)



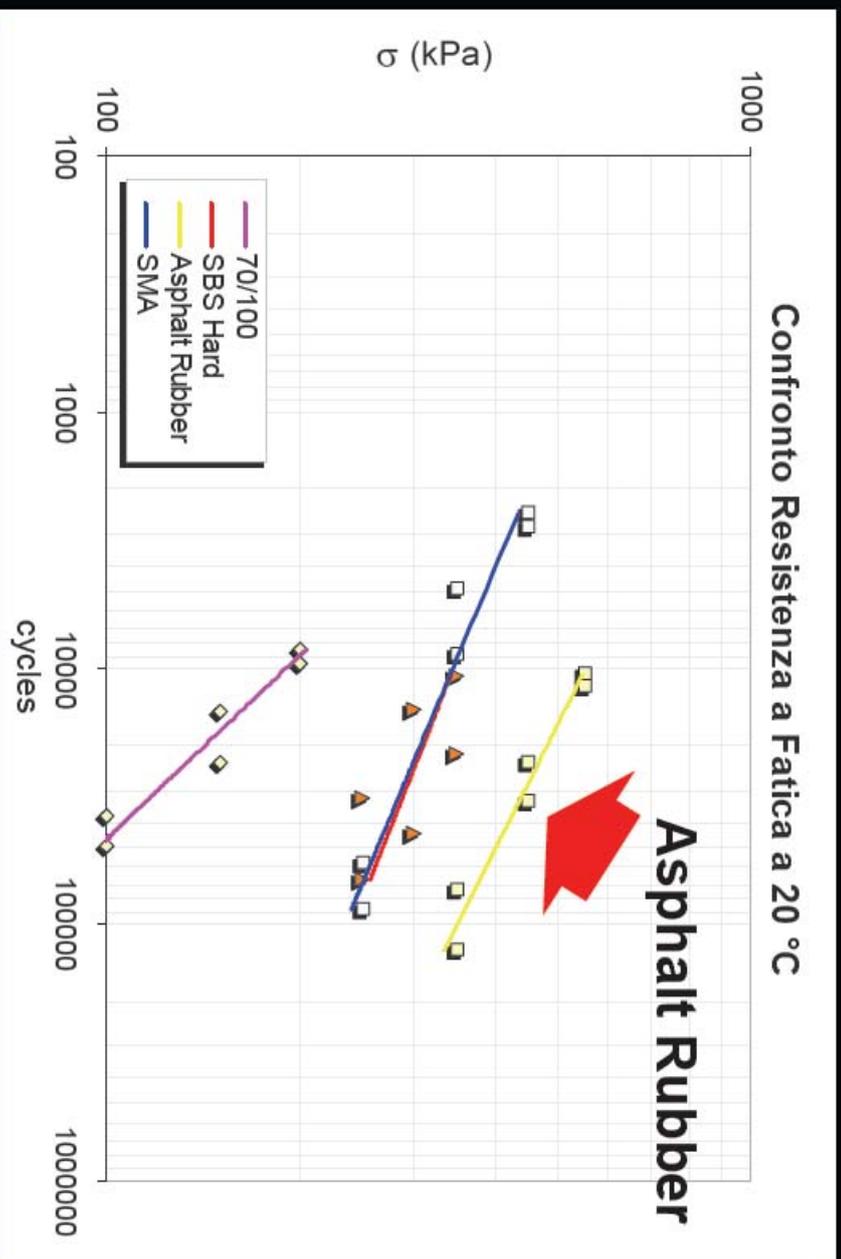
Standard di prova	norme CEN	Bsi
geometria	cilindrica	cilindrica
altezza	30-75 mm	30-80 mm
	80 mm	100 mm
	100 mm	150 mm
	120 mm	200 mm
	150 mm	
	200 mm	
rise-time	(124 ± 4) ms	(124 ± 4) ms
Tempo di ripetizione impulso	1,5 s	1,5 s
Fattore area di carico	0,55+0,65	0,55+0,65
Temperatura di prova	(20 ± 0,5)°C	(20 ± 0,5)°C
Coefficiente di Poisson	0,35	0,35
Tempo di condizionamento massimo	4 giorni	4 giorni



Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscela tipo asphalt rubber



## Analisi Risultati Sperimentali: Resistenza a Fatica



- Spiccate proprietà anche in termini di resistenza a fatica

Approccio reologico per la verifica sperimentale delle prestazioni di miscela tipo asphalt rubber