



Materiali Riciclati: i Pneumatici Fuori Uso
**CARATTERIZZAZIONE MECCANICA E FUNZIONALE DI
CONGLOMERATI BITUMINOSI ASPHALT RUBBER**



Dott. Ing. Emiliano Pasquini

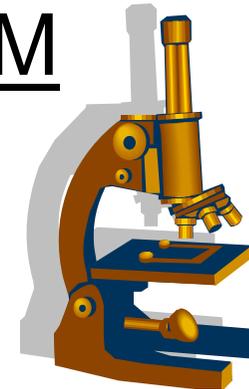
Università Politecnica delle Marche

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura

e.pasquini@univpm.it

■ Sommario

- Pneumatici Fuori Uso – Risvolti Ambientali
- Asphalt Rubber: descrizione e produzione
- Potenzialità di leganti e miscele Asphalt Rubber
- Evidenze Sperimentali UNIVPM

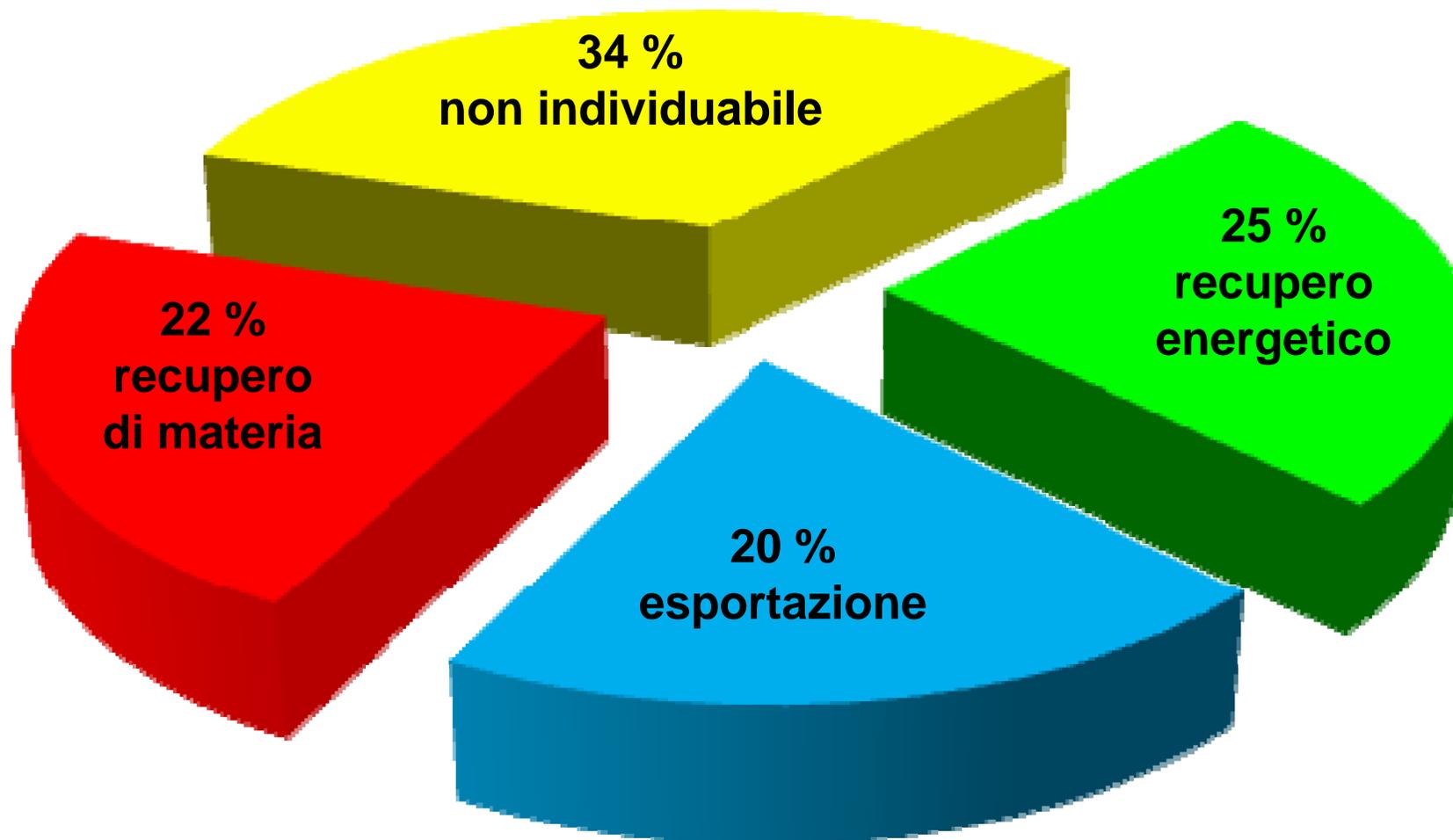


■ Pneumatici fuori uso

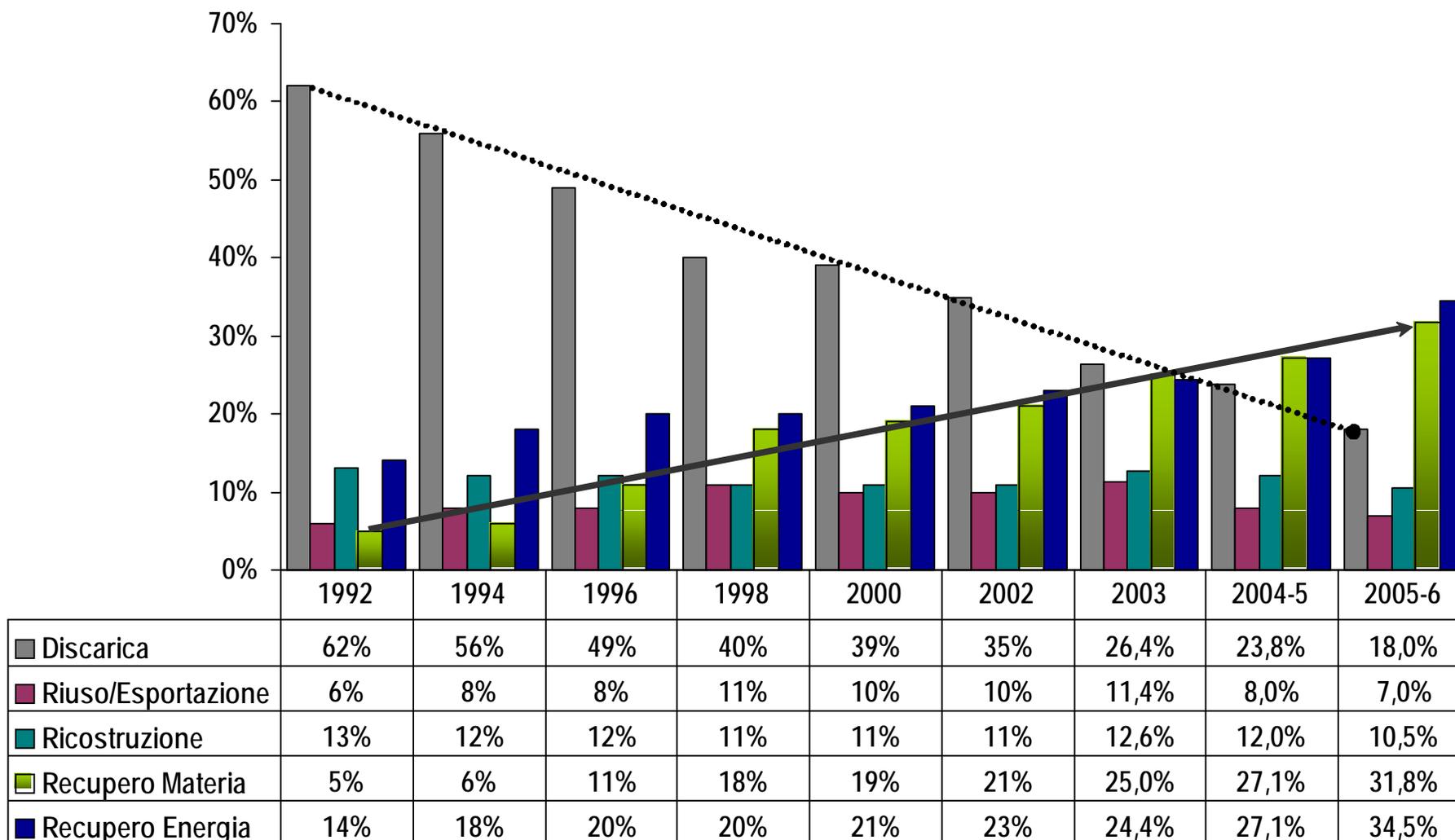
La produzione annua di PFU in Italia è di circa
65 milioni di pneumatici equivalenti a **410.000 tonnellate**



■ PFU in Italia: destinazione finale



■ PFU in Europa: destinazione finale





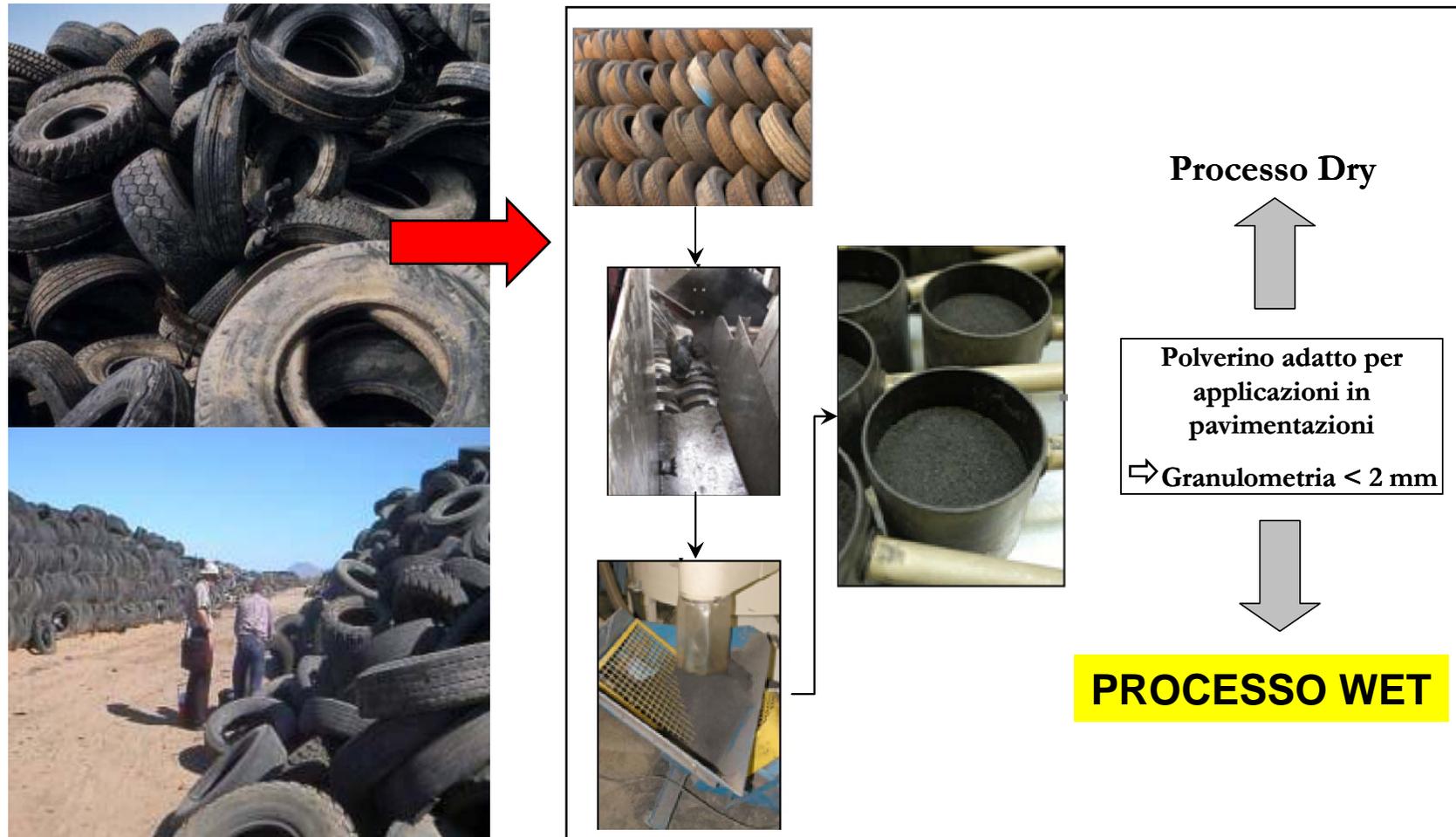
■ Produzione: **che cosa è l'Asphalt Rubber?**

Def. ASPHALT RUBBER (norma ASTM D6114)

*“È un bitume **modificato** con una percentuale di polverino di gomma di pneumatico riciclata **non inferiore al 15%** sul peso totale del legante, incorporata tramite **processo wet**, che abbia reagito durante un periodo di tempo sufficientemente lungo da permettere il rigonfiamento della gomma”*

■ Produzione: *che cosa è l'Asphalt Rubber?*

Riciclaggio del polverino di gomma proveniente da PFU



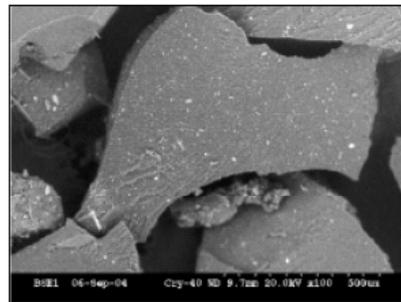
■ Produzione: **che cosa è l'Asphalt Rubber?**

ASPHALT RUBBER – PROCESSO WET (norma ASTM D6114)

Bitume

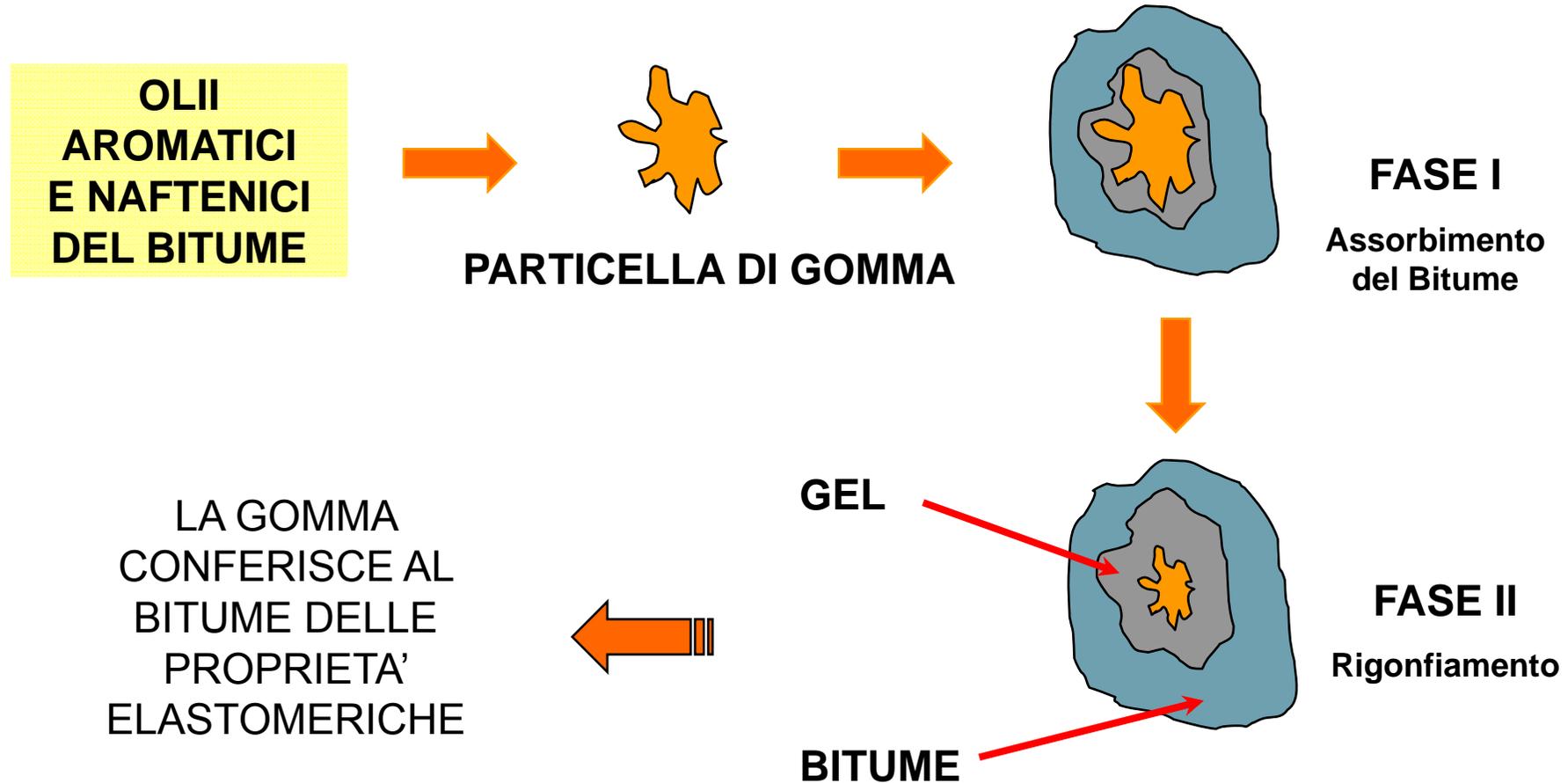
**Polverino di Gomma da
Pneumatici Fuori Uso (PFU)**

- Temperatura di miscelazione:
> 177°C
- Tempo di reazione:
45÷60 minuti
- Dosaggio polverino gomma:
18÷22% sul peso del legante



■ **Produzione: che cosa è l'Asphalt Rubber?**

ASPHALT RUBBER – PROCESSO WET (> 177 °C per 45')



■ Produzione: **Caratteristiche Impianto Legante AR**



■ Produzione: **Caratteristiche Impianto Legante AR**



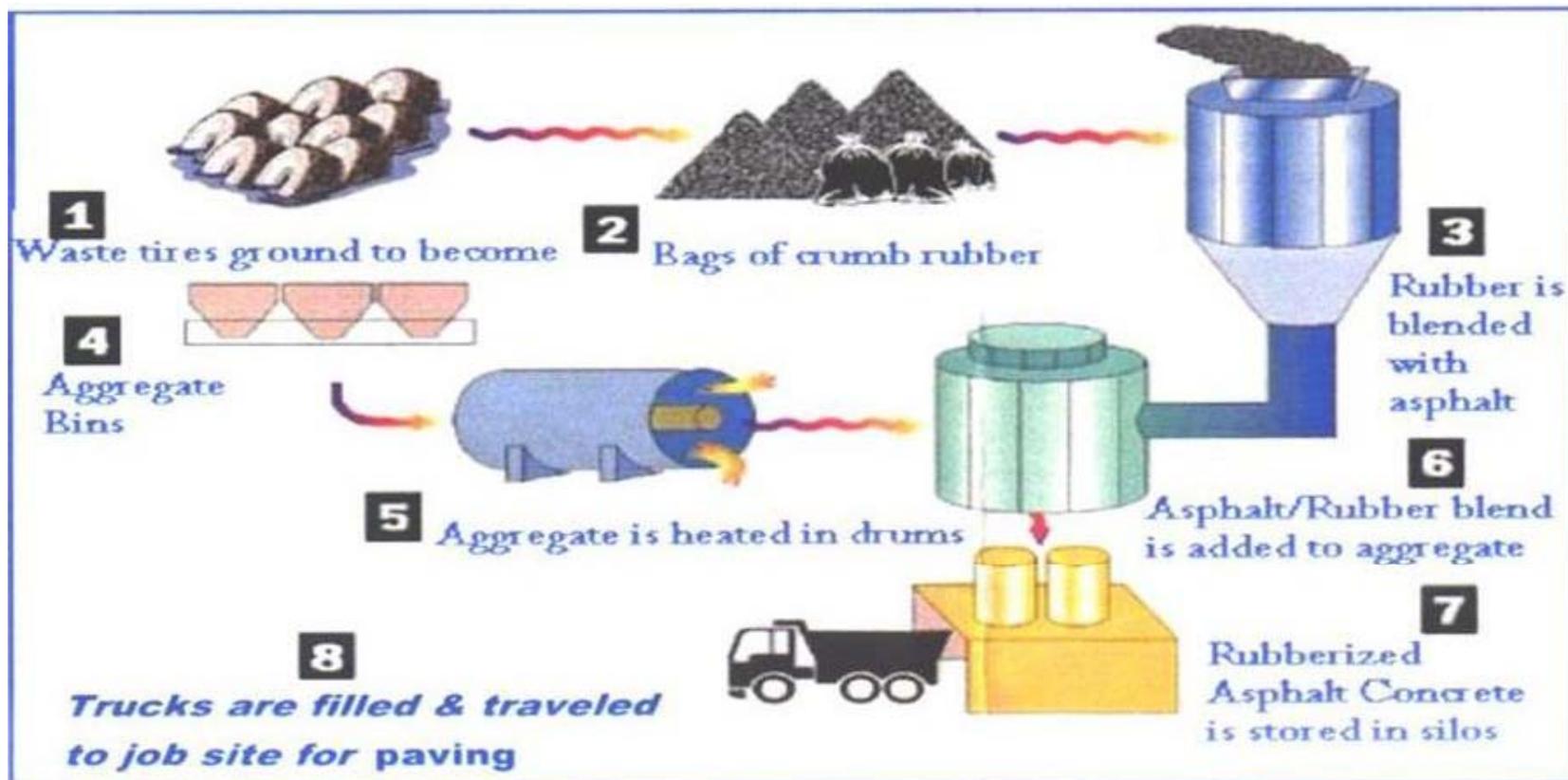
■ Produzione: **Caratteristiche Impianto Legante AR**



slide 12

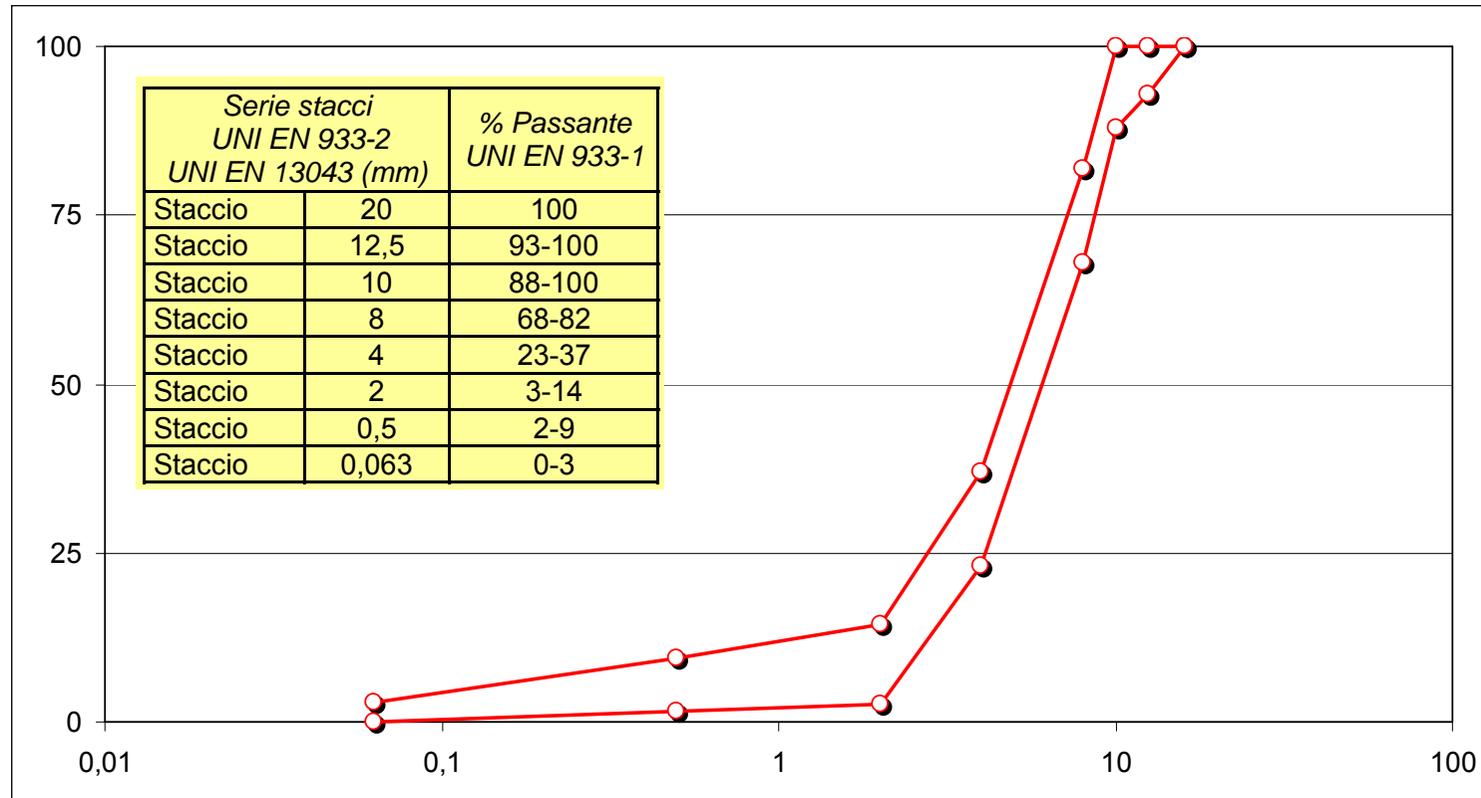
■ Produzione: **Confezionamento di Miscele AR**

Fornitura **ANALOGA** a quella di un qualunque legante bituminoso;
AR pompato nell'impianto e mescolato con l'aggregato;
Procedura di confezionamento delle miscele NORMALE.



■ Prestazioni: **Tipologie di miscele AR**

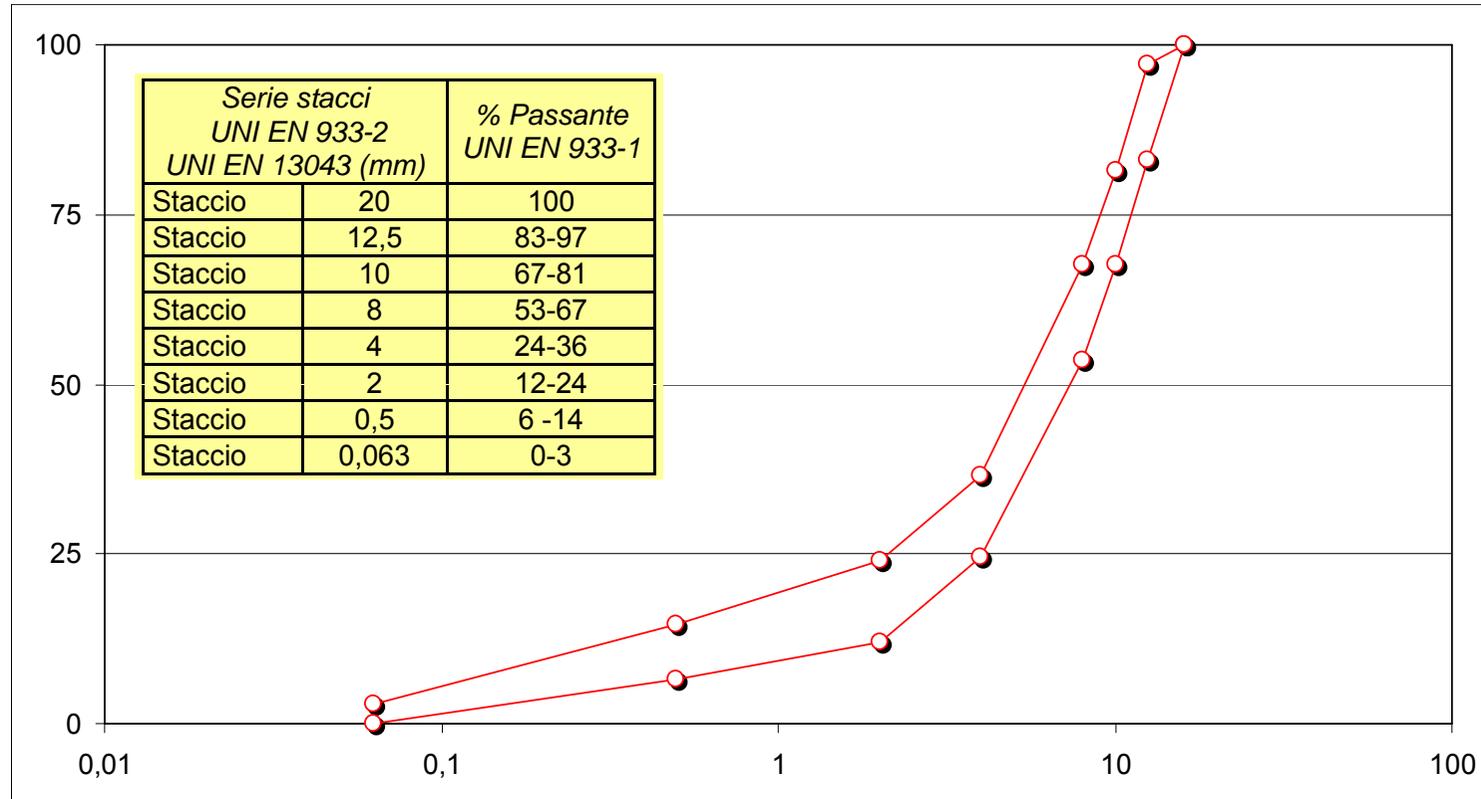
Miscela AR-OPEN GRADED



- % vuoti Marshall (50+50 colpi) ■ 12÷18%
- % legante AR sul peso aggregati ■ 8,5÷9,5%

■ Prestazioni: **Tipologie di miscele AR**

Miscela AR-GAP GRADED



- % vuoti Marshall (50+50 colpi)
- % legante AR sul peso aggregati
- 5÷8%
- 7,5÷8,5%

■ Prestazioni: **Tipologie di miscele AR**

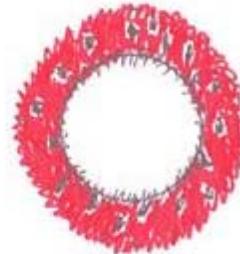
Spessore del Film di Ricoprimento di Bitume AR

**Dense Graded
HMA
9 Micron**



5 % Bitume

**Gap Graded
Asphalt Rubber
18 Micron**



**7.5 % Asphalt
Rubber**

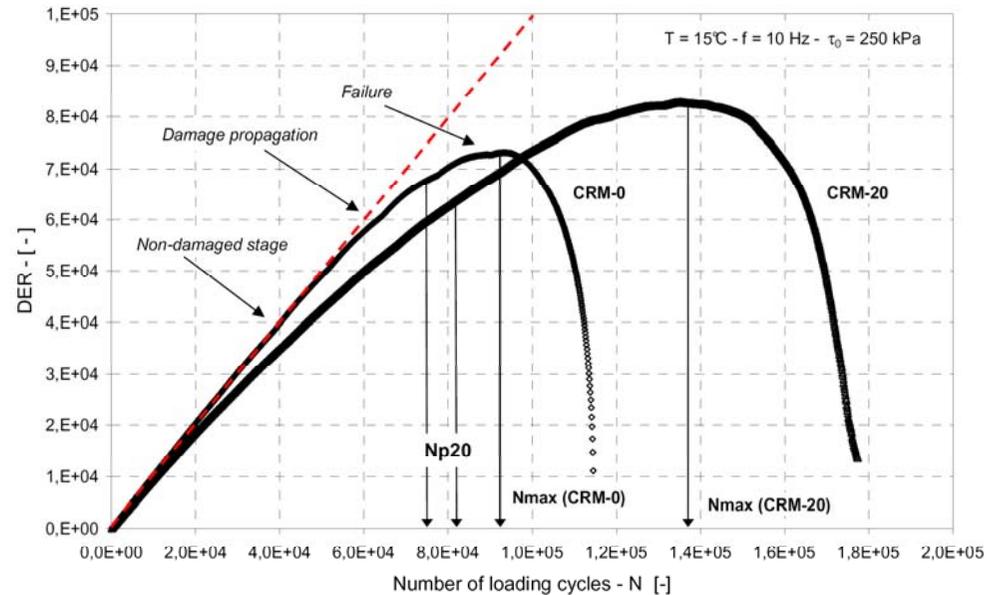
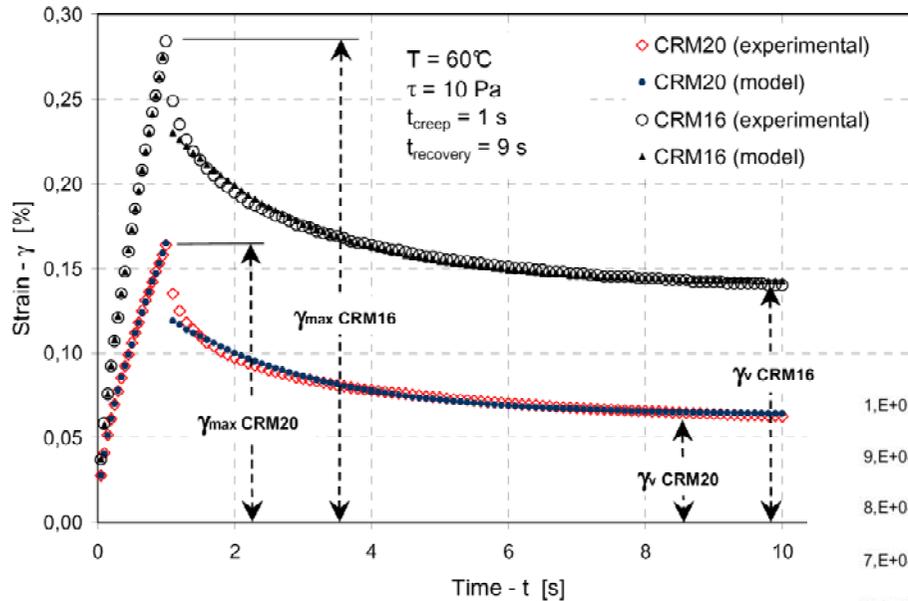
**Open Graded
Asphalt Rubber
36 Micron**



**9.0 % Asphalt
Rubber**

■ Prestazioni: **Potenzialità di leganti AR**

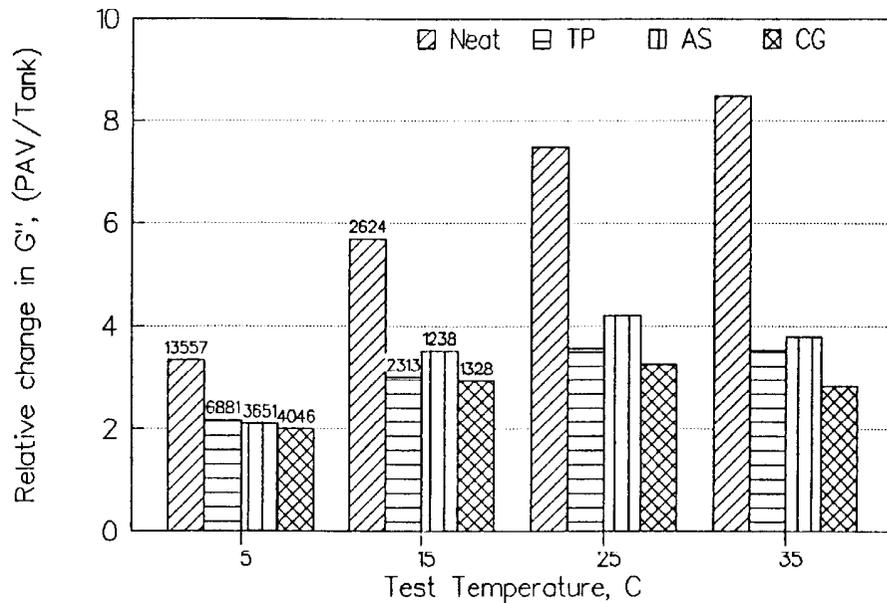
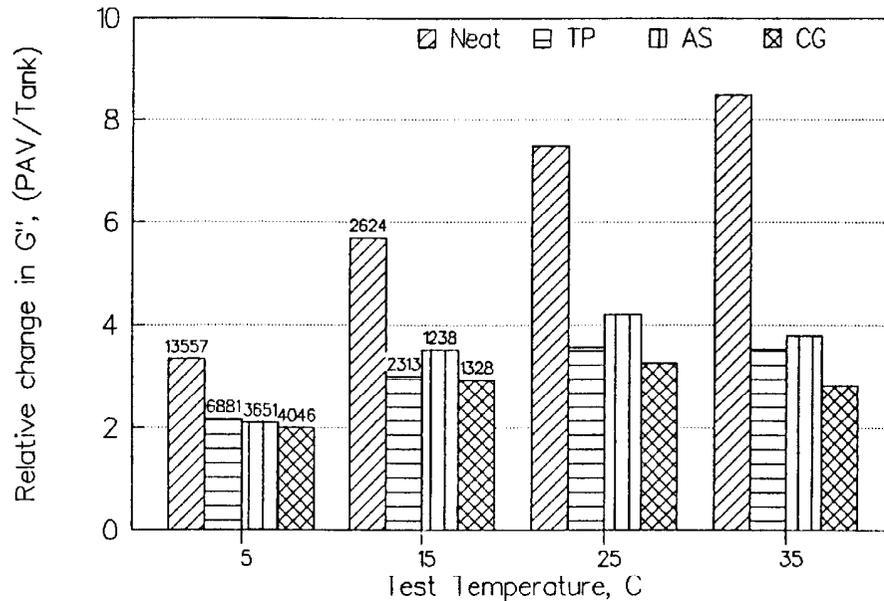
Resistenza alle Deformazioni Permanenti e Resistenza a Fatica



(Giuliani, Merusi – 2010)

■ Prestazioni: **Potenzialità di leganti AR**

Resistenza all'Invecchiamento



(Bahia, Davies – 1994)



■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

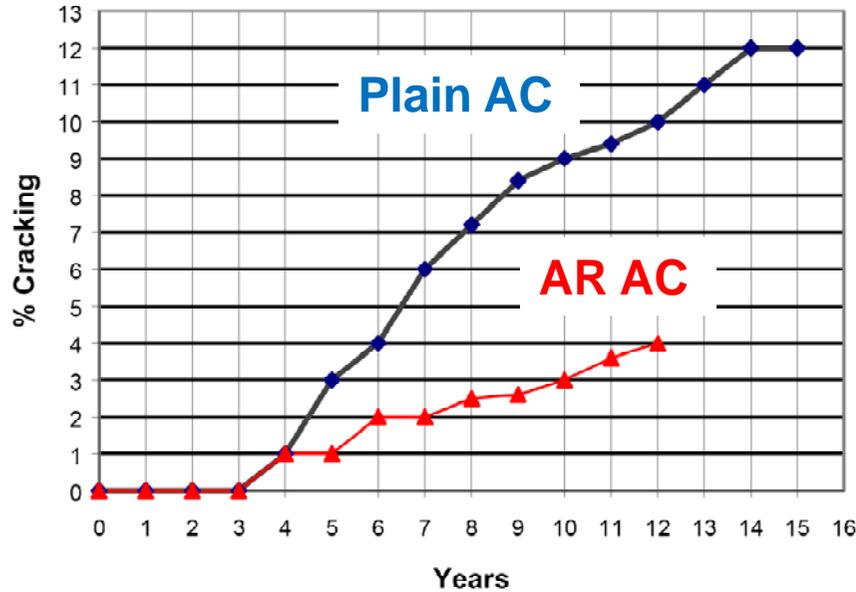
ASPHALT RUBBER (METODO WET): RISULTATI DI ESPERIENZE INTERNAZIONALI ULTRADECENNALI

- ✓ Riduzione della Propagazione di Fessure di Riflessione
- ✓ Migliore Comportamento a Fatica
- ✓ Buone Prestazioni ad Alte e Basse Temperature
- ✓ Maggiore Durabilità
- ✓ Fonoassorbimento/Bassa Emissione del Rumore
- ✓ Aderenza/Sicurezza

Vastissima bibliografia internazionale (articoli scientifici, rapporti di ricerca, note tecniche, ...)

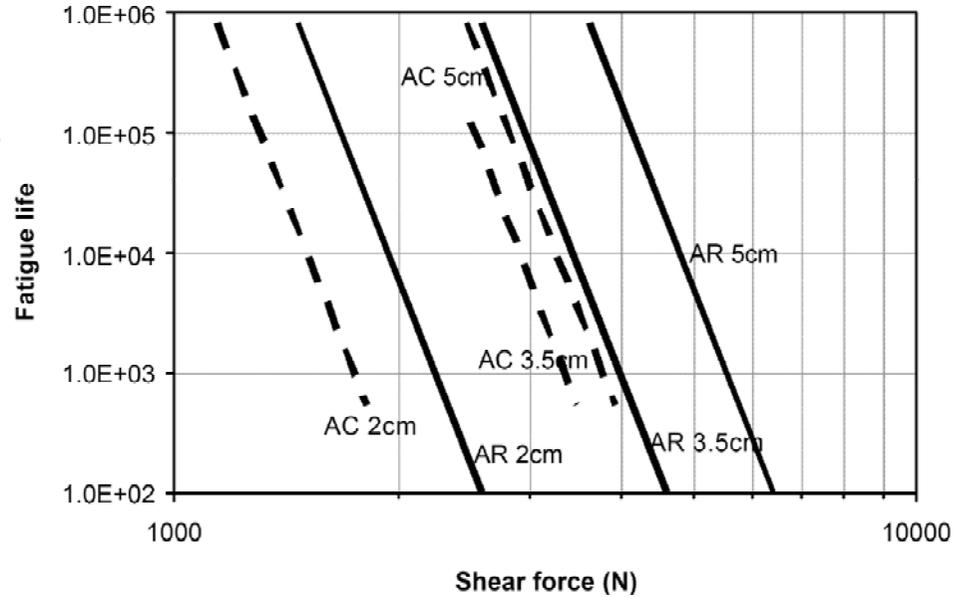
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Fessurazione di Riflessione



(Way – 2000)

(Pais et al. – 2000)



■ Prestazioni: **Potenzialità di miscela AR**

Fessurazione di Riflessione

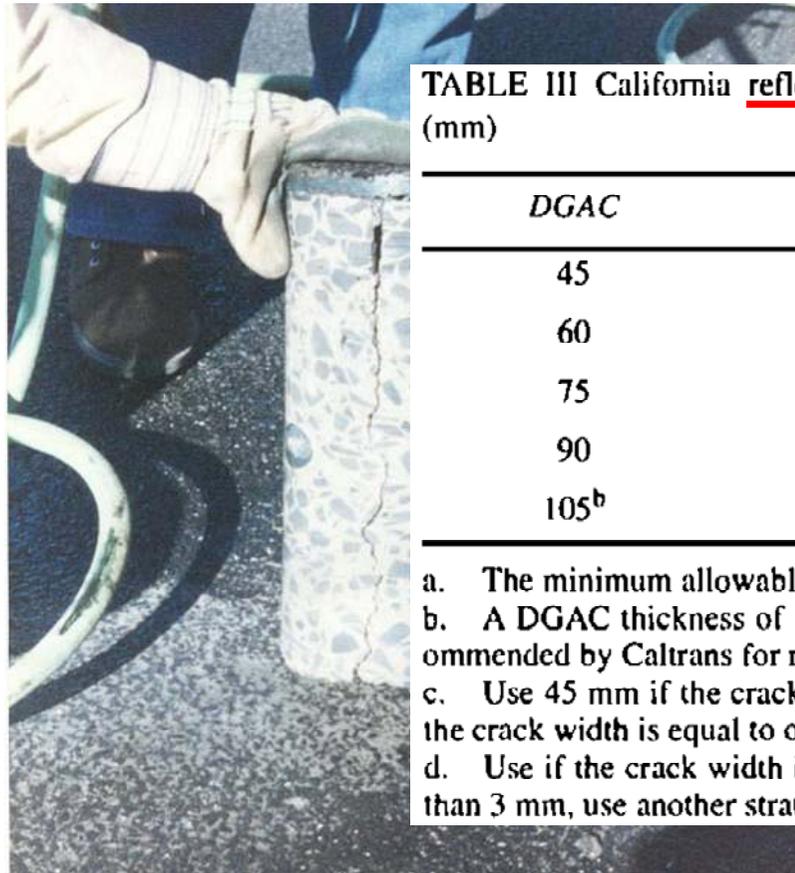
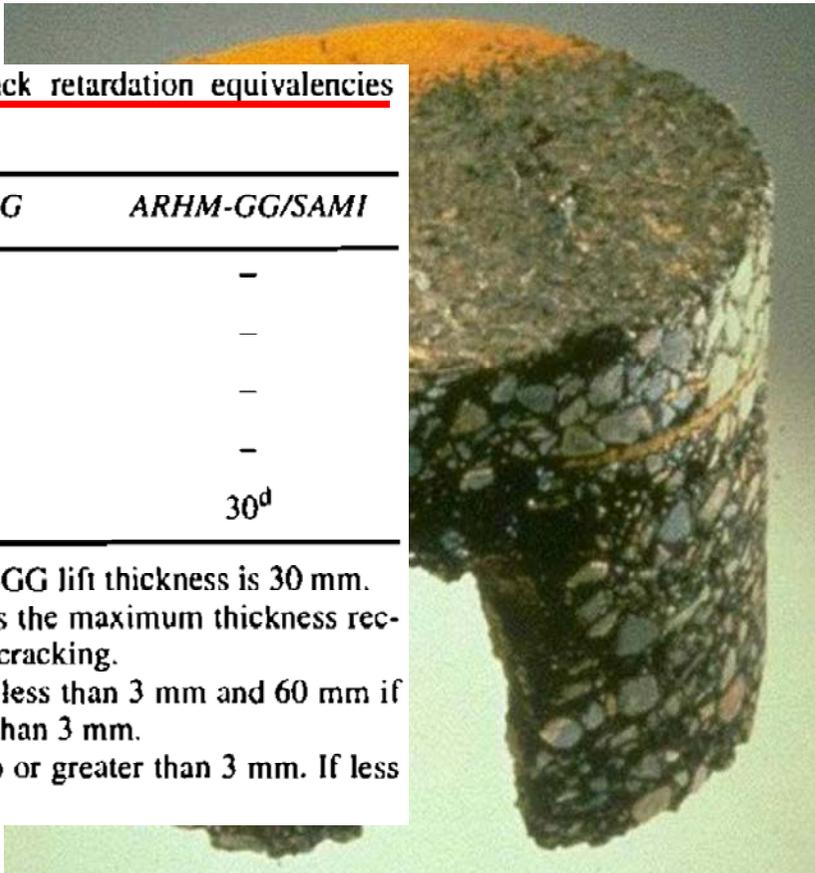


TABLE III California reflective crack retardation equivalencies (mm)

<i>DGAC</i>	<i>ARHM-GG</i>	<i>ARHM-GG/SAMI</i>
45	30 ^a	–
60	30	–
75	45	–
90	45	–
105 ^b	45 ^c	30 ^d

a. The minimum allowable ARHM-GG lift thickness is 30 mm.
 b. A DGAC thickness of 105 mm is the maximum thickness recommended by Caltrans for reflection cracking.
 c. Use 45 mm if the crack width is less than 3 mm and 60 mm if the crack width is equal to or greater than 3 mm.
 d. Use if the crack width is equal to or greater than 3 mm. If less than 3 mm, use another strategy.



(CALTRANS – 1992/3)

■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori

California

TABLE II California structural equivalencies (mm)

DGAC	ARHM-GG ^a	ARHM-GG/SAMI
45	30 ^b	-
60	30	-
75	45	30
90	45	30
105	60	45
120	60	45
135	45 ^c	60
150	45 ^d	60
165	60 ^c	45
180	60 ^d	45

- ✓ Basato su pr
- ✓ Fino al 50% (
- convenziona
- ✓ Approvato da
- ✓ Verificato da

CALTRANS)

ize (750 progetti)
un conglomerato



- a. The maximum allowable non-experimental equivalency for ARHM-GG is 2:1.
- b. The minimum allowable ARHM-GG lift thickness is 30 mm.
- c. Place 45 mm of new DGAC first.
- d. Place 60 mm of new DGAC first.

■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori
ESPERIENZE INTERNAZIONALI – (Potgieter et al., 1999)



75 mm c.b. tradiz.



38 mm c.b. AR



25 mm c.b. AR

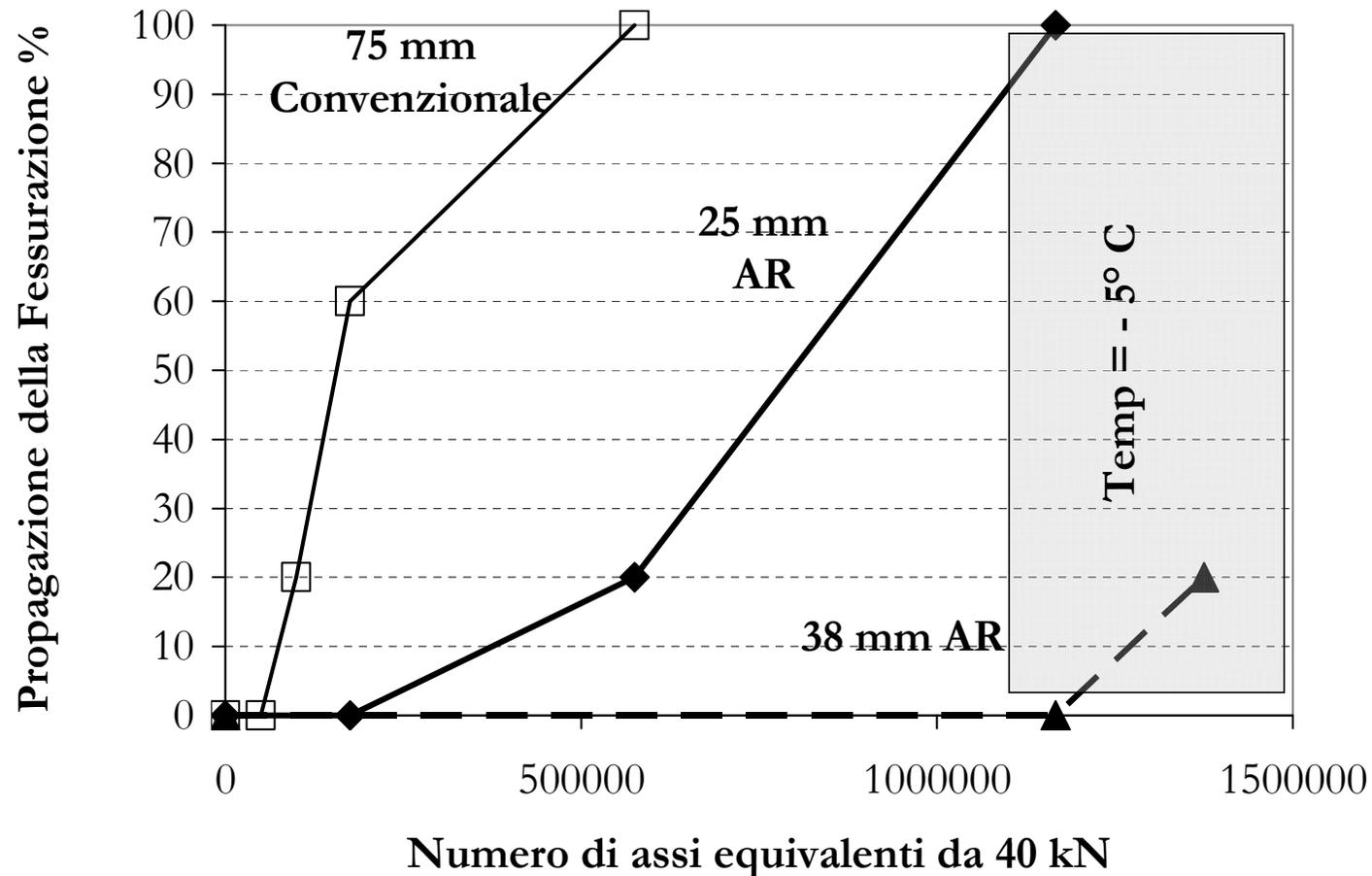
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori ESPERIENZE INTERNAZIONALI – (Potgieter et al., 1999)

Ripetizioni	Carico	Superficie rigida (75mm)	ARHM-GG (38mm)	ARHM-GG (25mm)
da 0 a 100000	40 kN	Fessurazione fine a 100000	-	-
da 100000 a 175000	40 kN	Fessurazione a blocchi a 175000	-	-
Aumento del carico a 80 kN				
da 175000 a 200000	80 kN	Completamente fessurata	-	Fessurazione fine
da 200000 a 237000	80 kN	Prova interrotta	-	Completamente fessurata
Riduzione della temperatura della pavimentazione a -5°C				
da 237000 a 250000	80 kN	Prova interrotta	Metà sezione	Prova interrotta

■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori ESPERIENZE INTERNAZIONALI – (Potgieter et al., 1999)



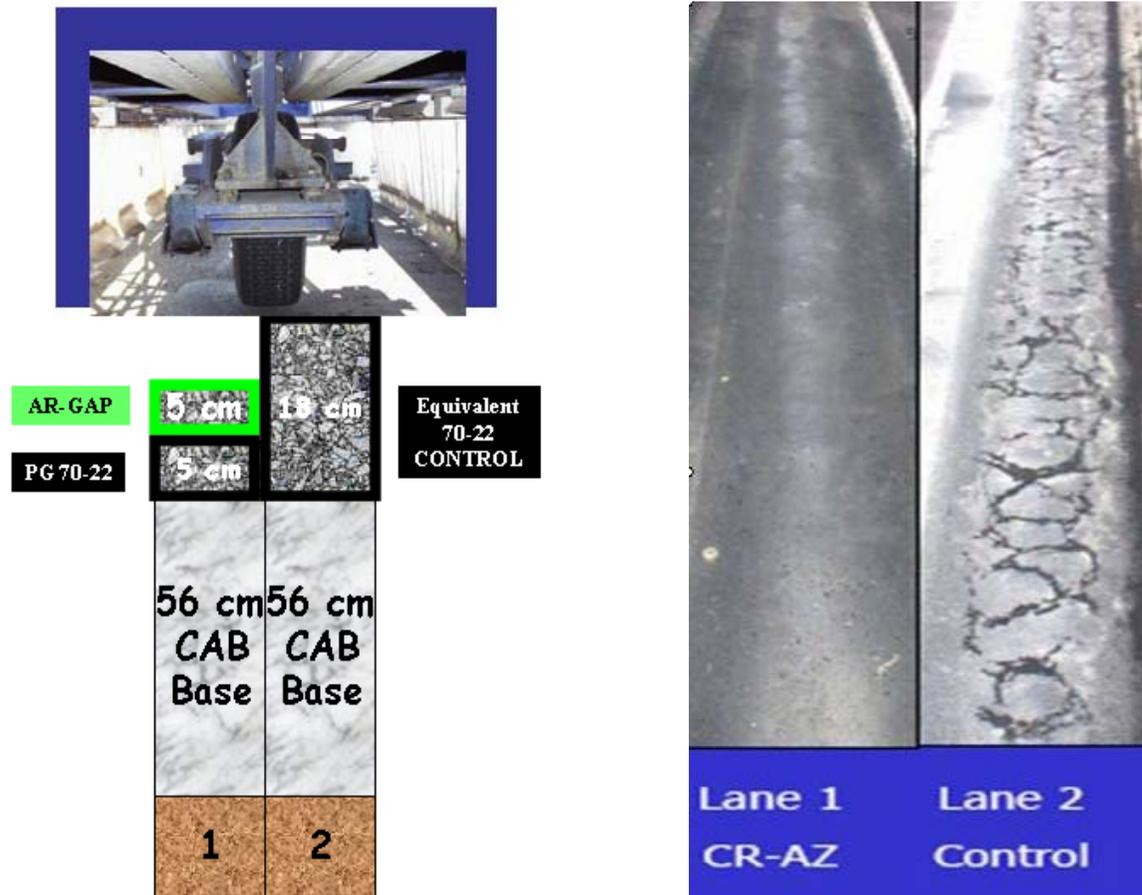
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori
ESPERIENZE INTERNAZIONALI – (Rubber Pavement Association, 2005)



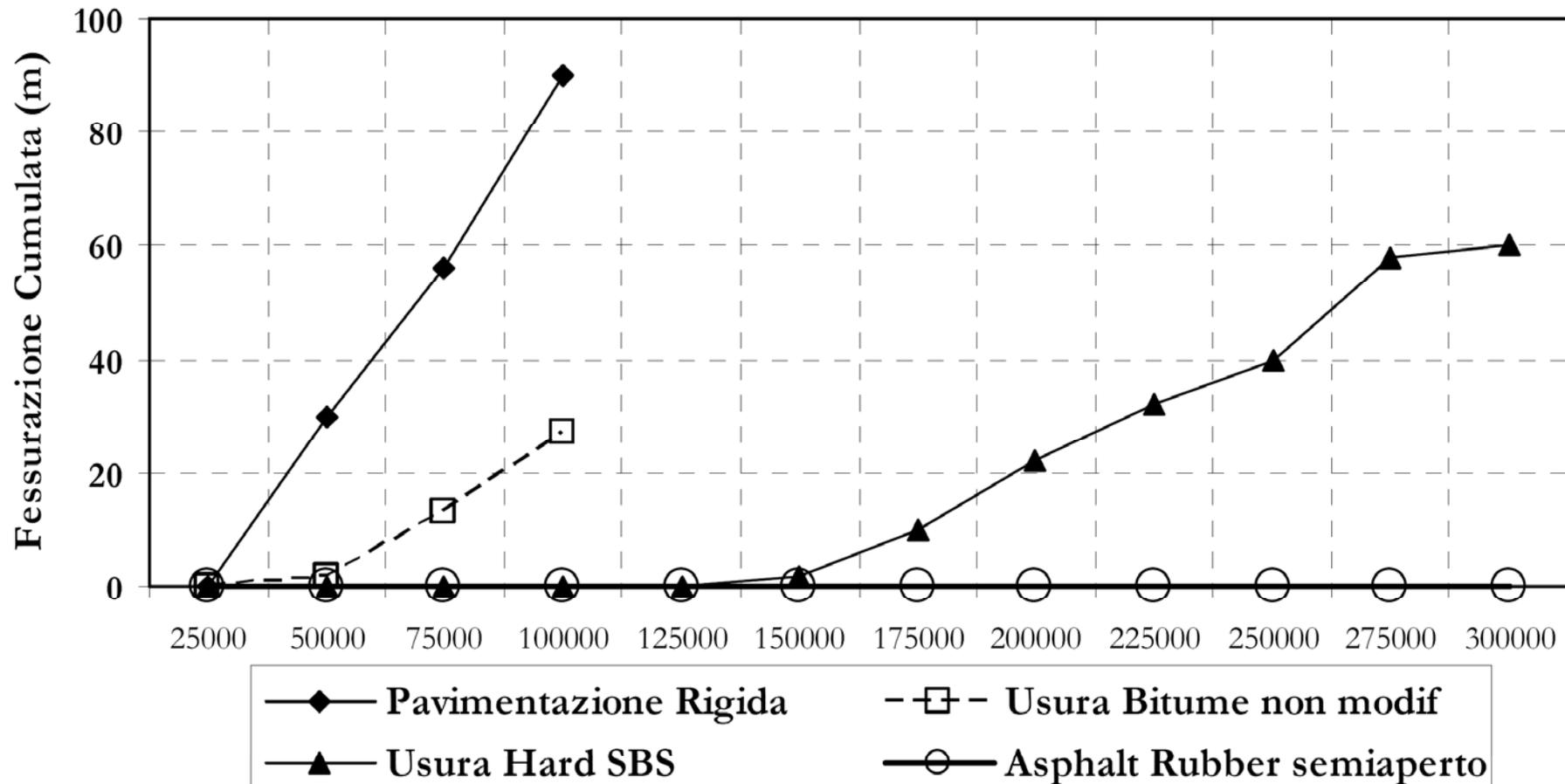
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori
ESPERIENZE INTERNAZIONALI – (Rubber Pavement Association, 2005)



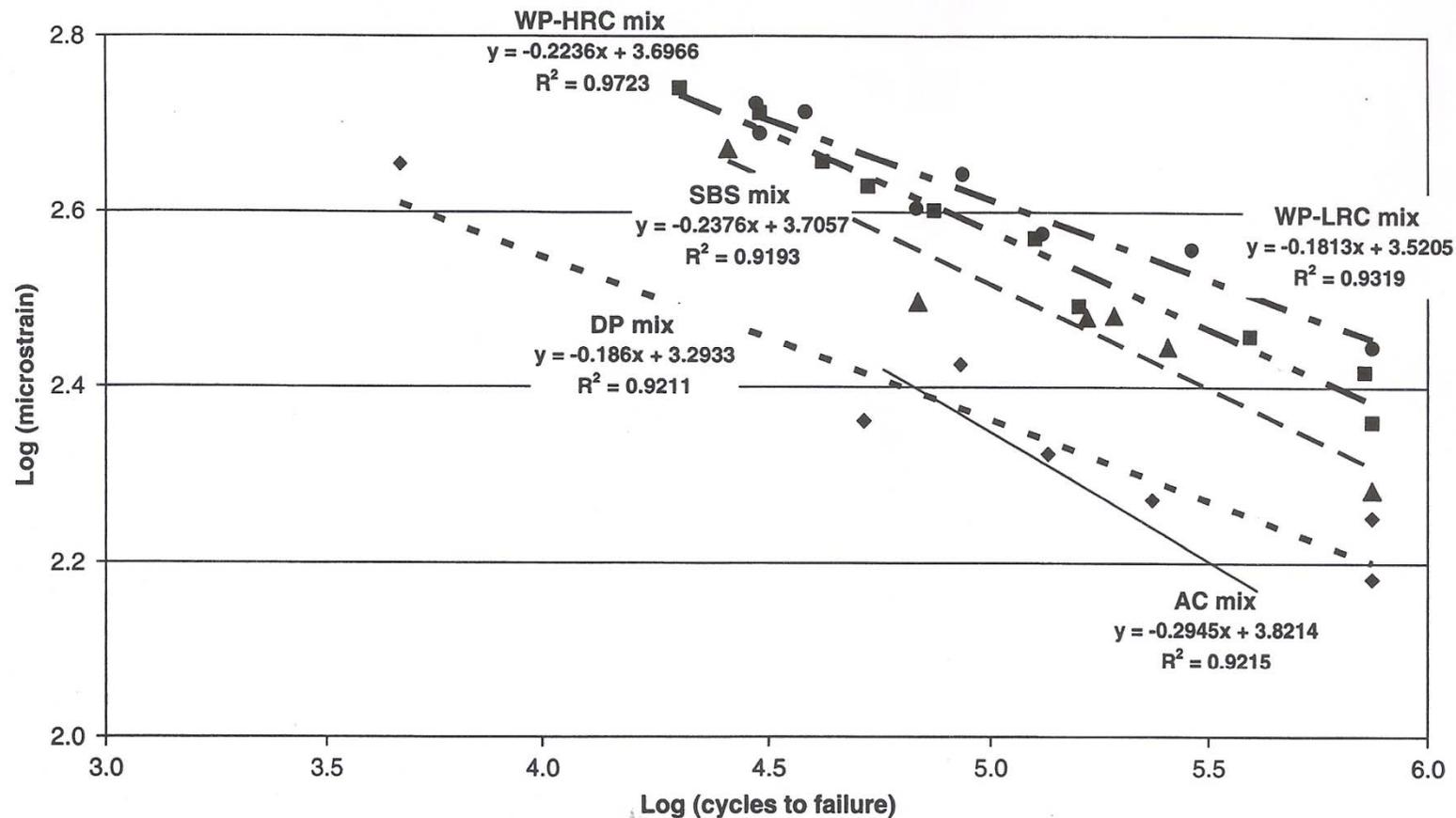
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Comportamento a Fatica - Riduzione Spessori
ESPERIENZE INTERNAZIONALI – (Rubber Pavement Association, 2005)



■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

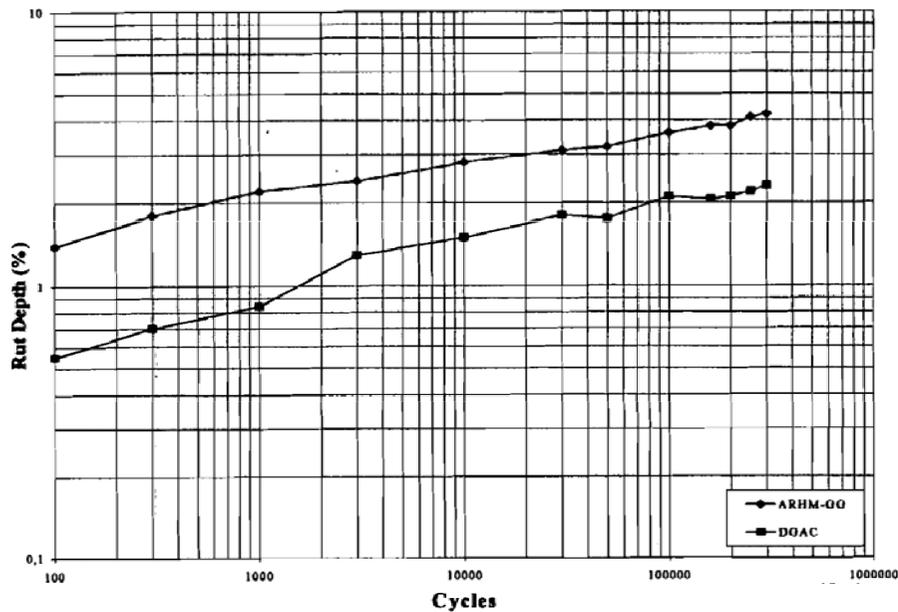
Resistenza a Fatica



(Gallego et al. – 2007)

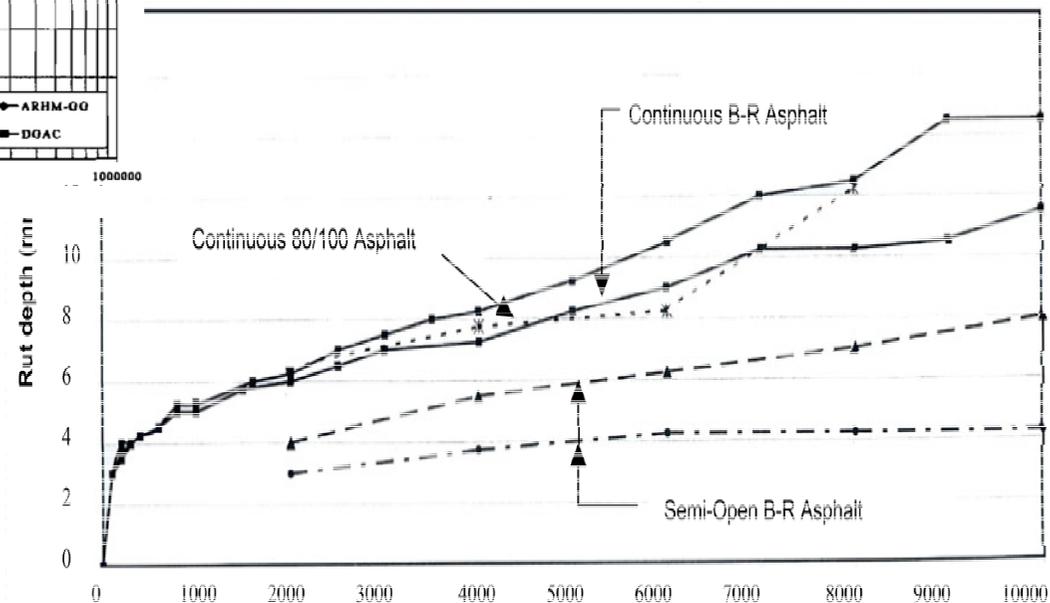
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Resistenza alle Deformazioni Permanenti



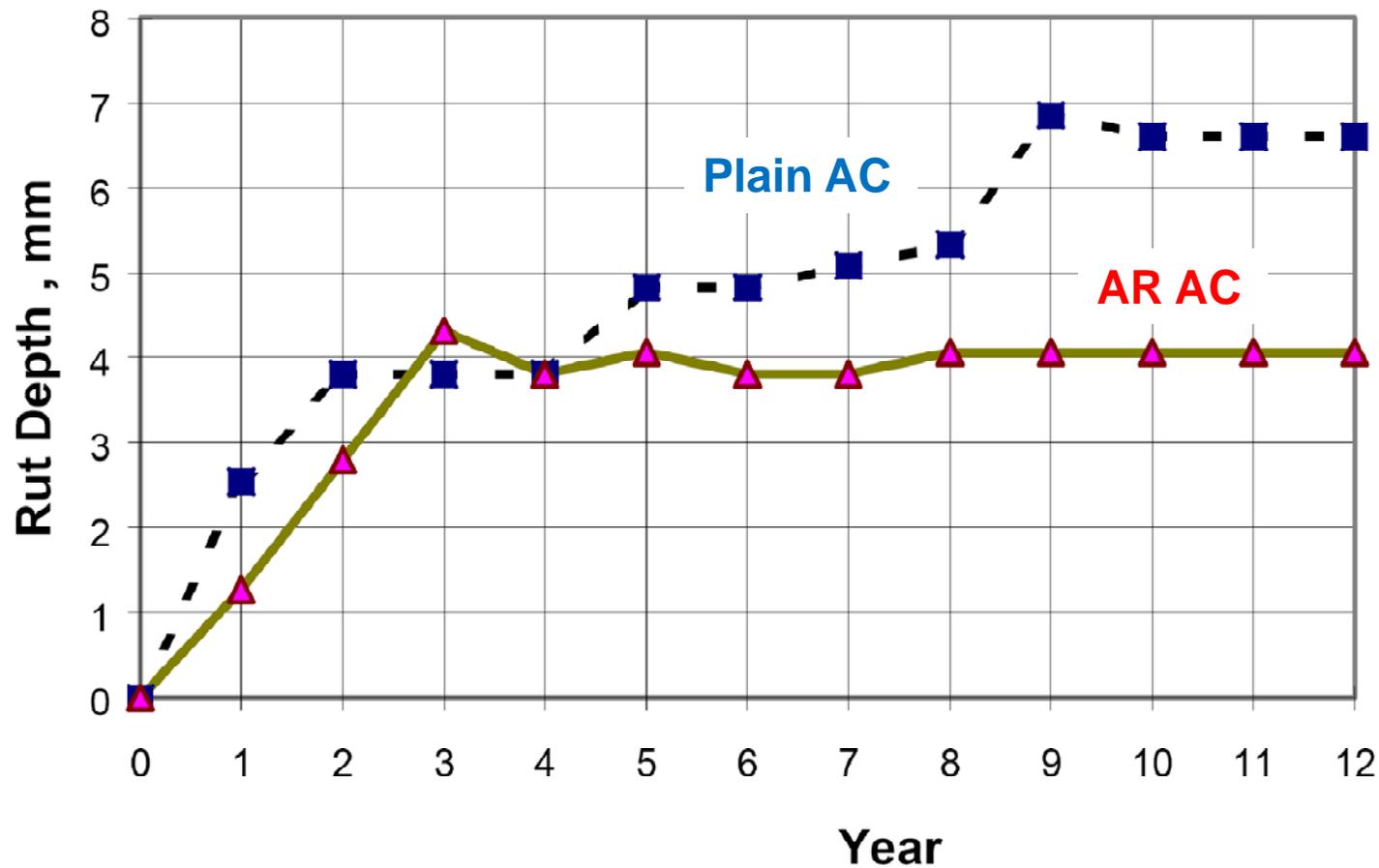
(Shatnawi – 2001)

(Pais et al. – 2000)



■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Resistenza alle Deformazioni Permanenti

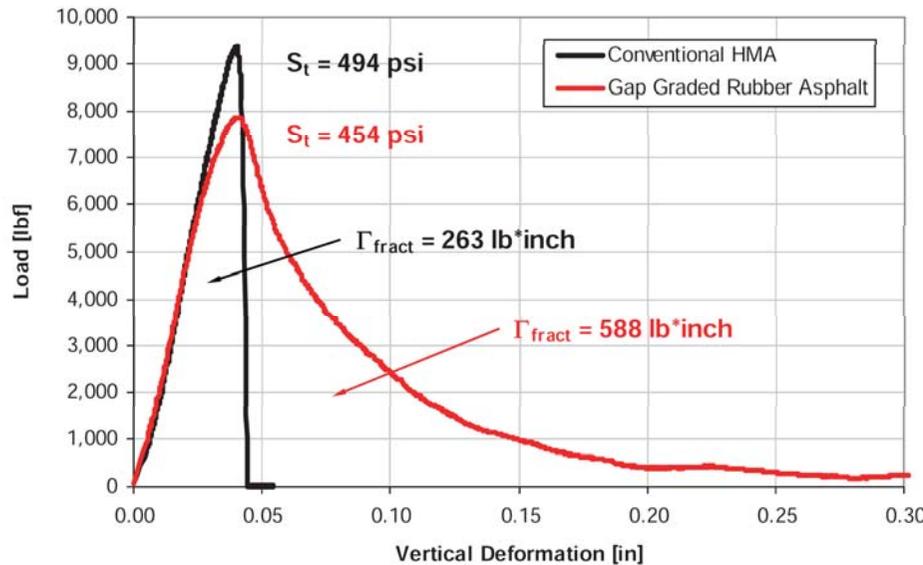


(Way – 2000)

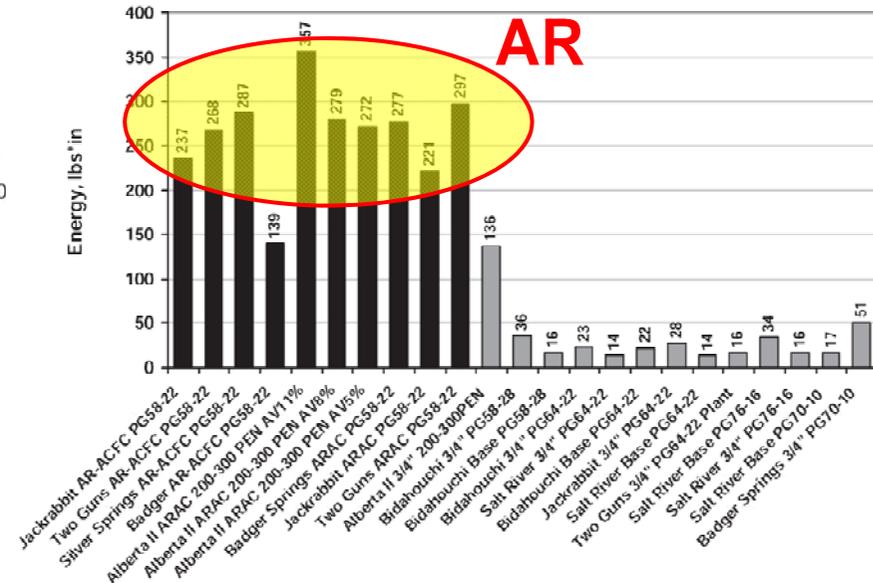
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Resistenza alla Fessurazione Termica

Total Fracture Energy @ -10°C
Conventional vs Rubber Asphalt Mixture



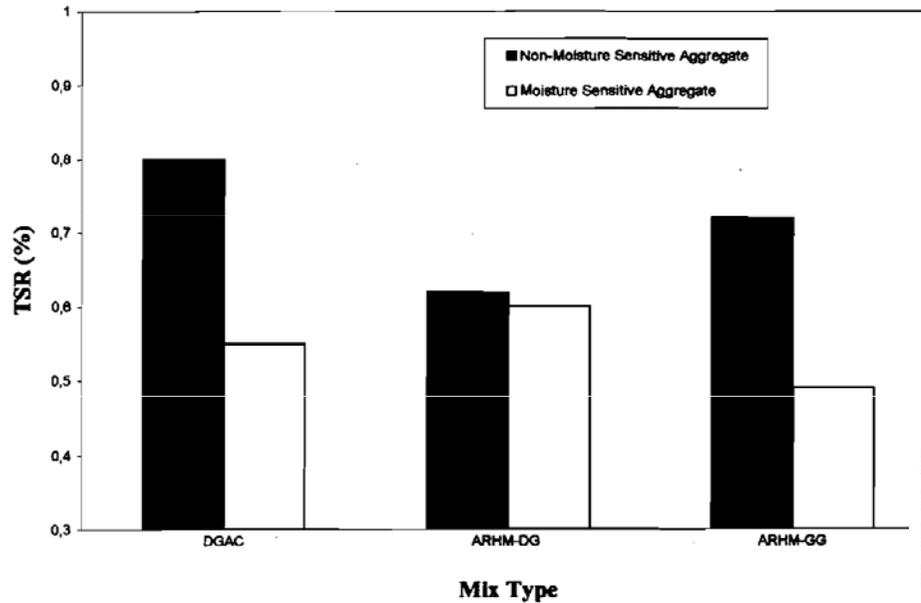
Comparison of Post-Peak Fracture Energy at -15°C



(Zborowski, Kaloush – 2009)

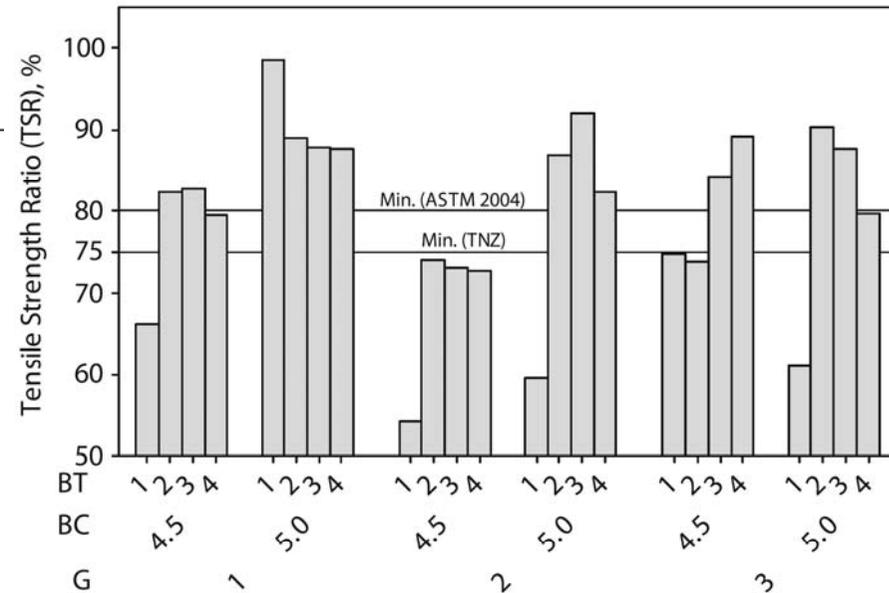
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Suscettività all'Acqua



(Shatnawi – 2001)

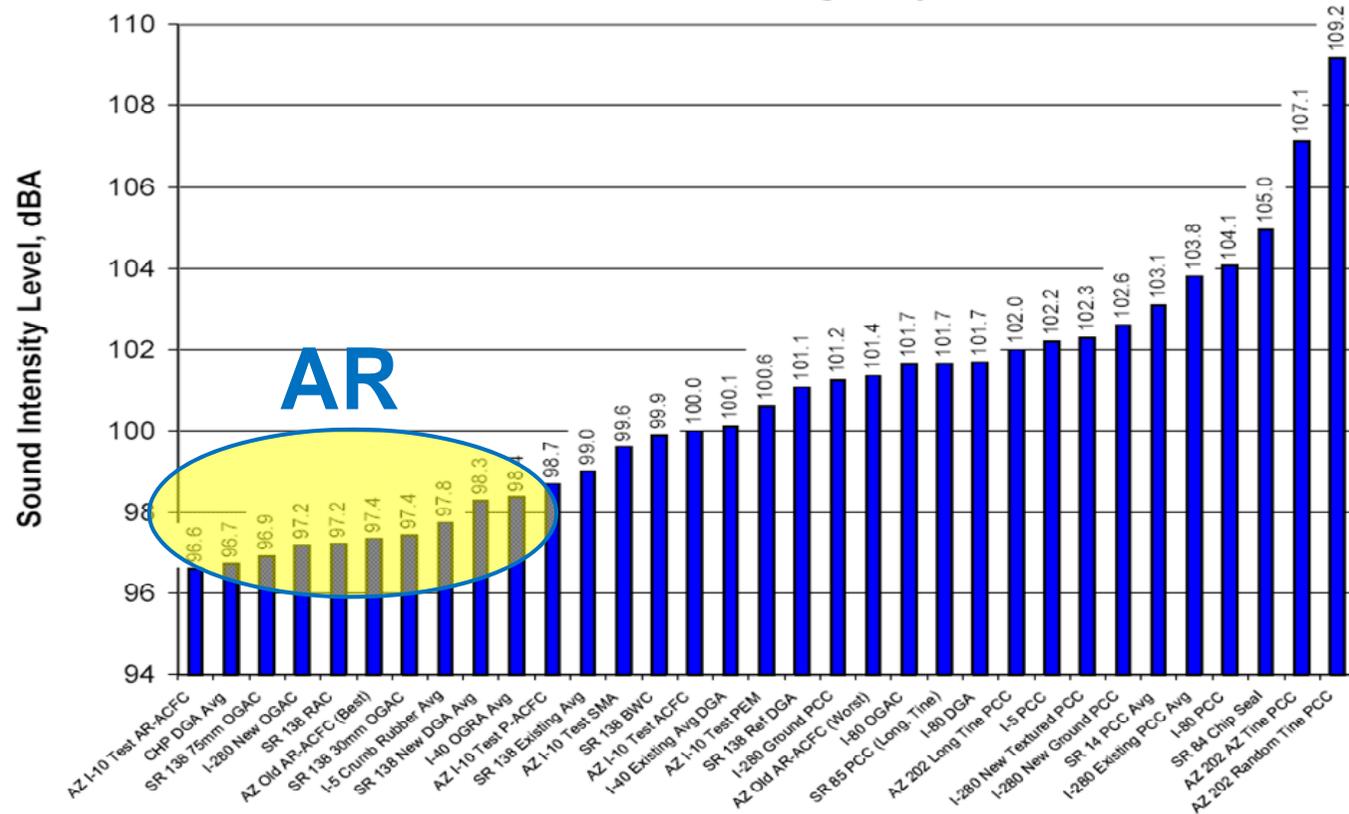
(Suresha et al. – 2009)



■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Prestazioni Acustiche

Tire/Pavement Noise Sound Intensity
California & Arizona Highways



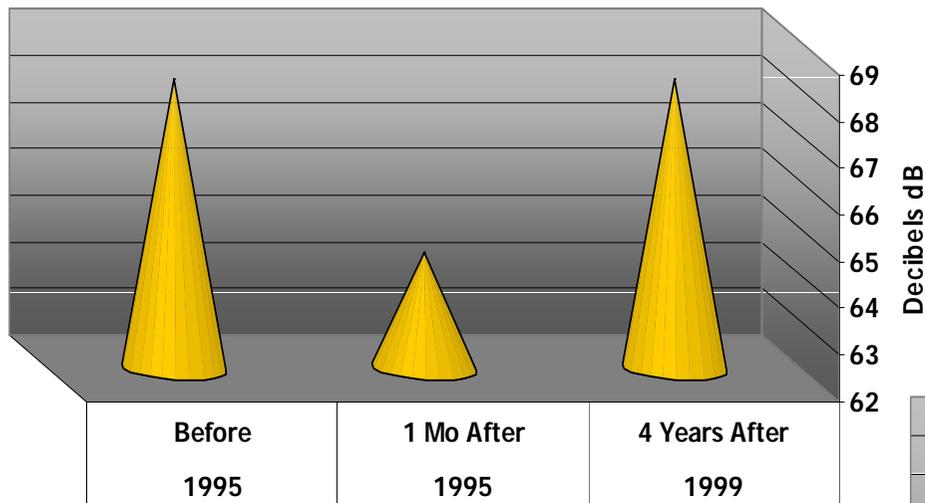
(Antunes et al. – 2006)



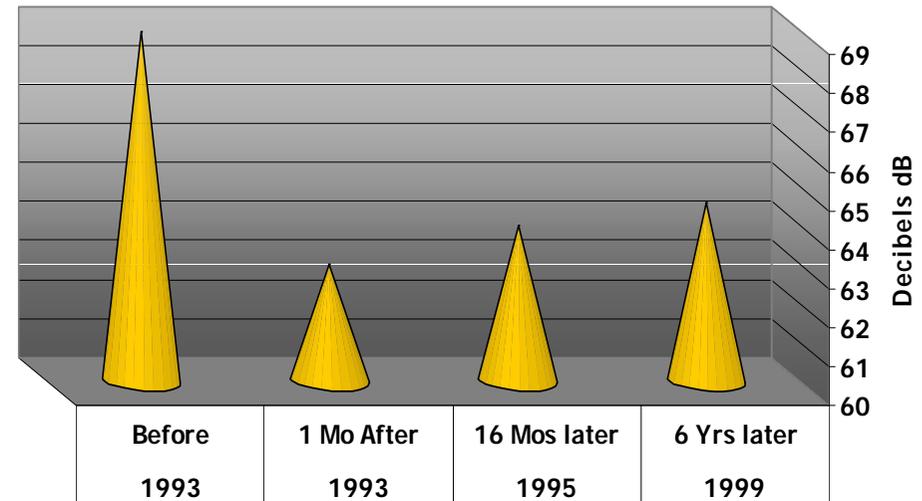
■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Prestazioni Acustiche

Noise Reduction After Repaving with DGAC
Sacramento Co. PW



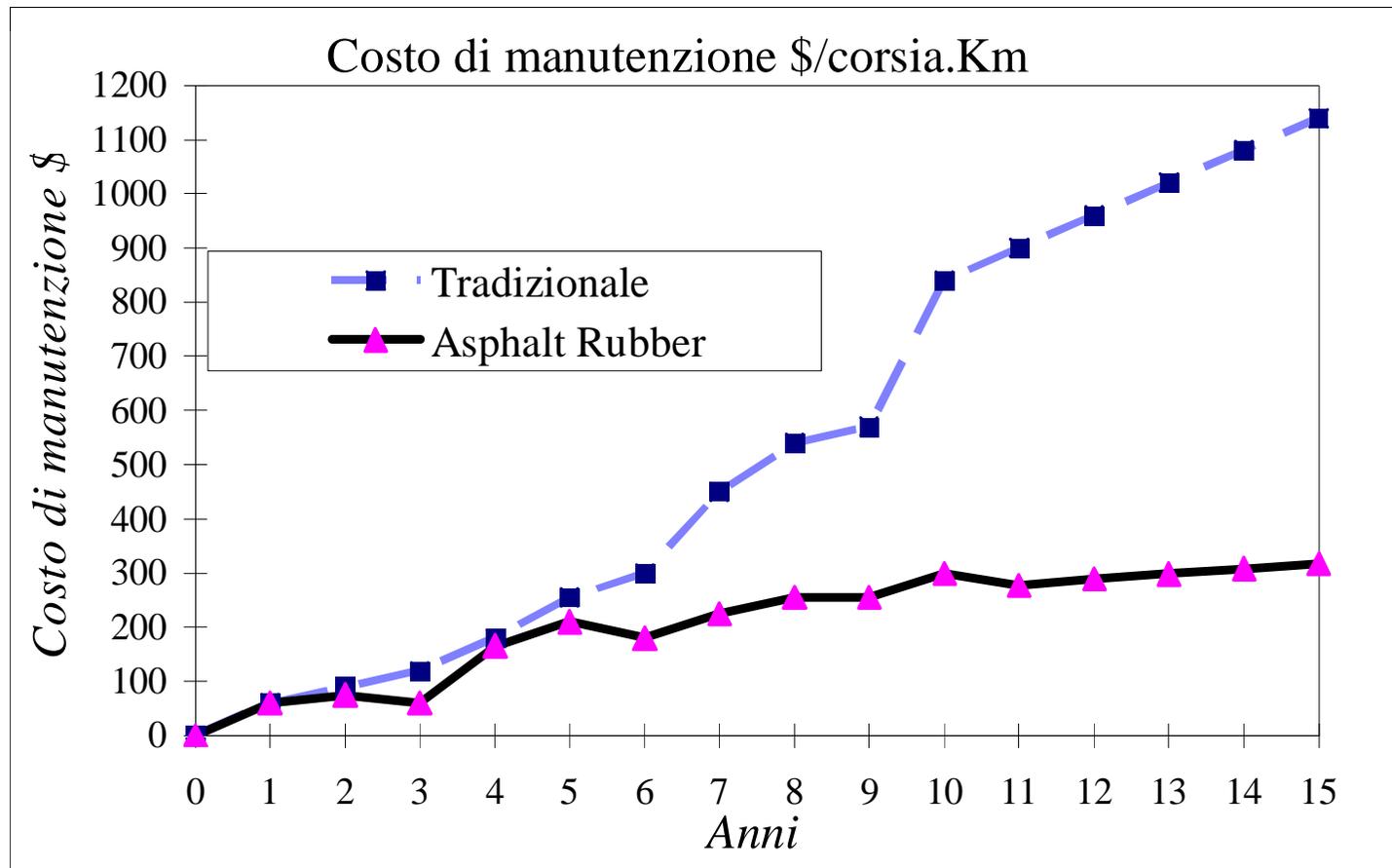
Noise Reduction After Repaving with A-R
Sacramento Co. PW



(Sacramento County – 1999)

■ Prestazioni: **Potenzialità di miscele AR**

Sostenibilità Economica

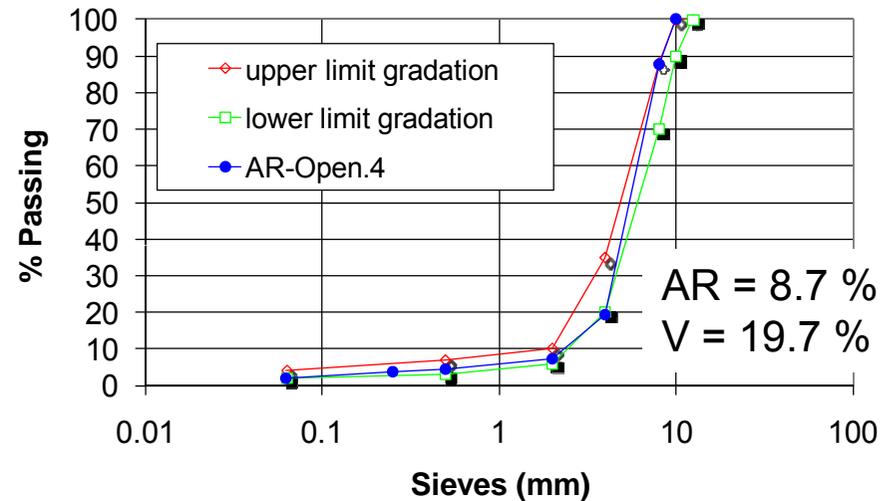
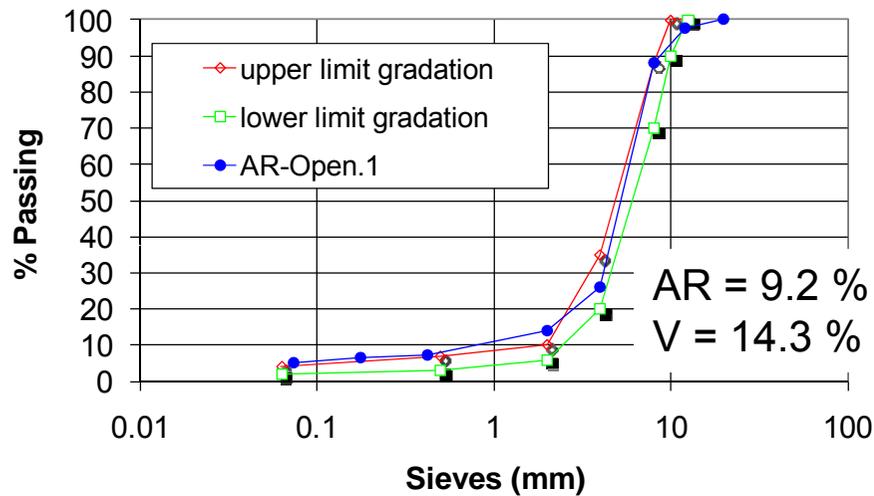
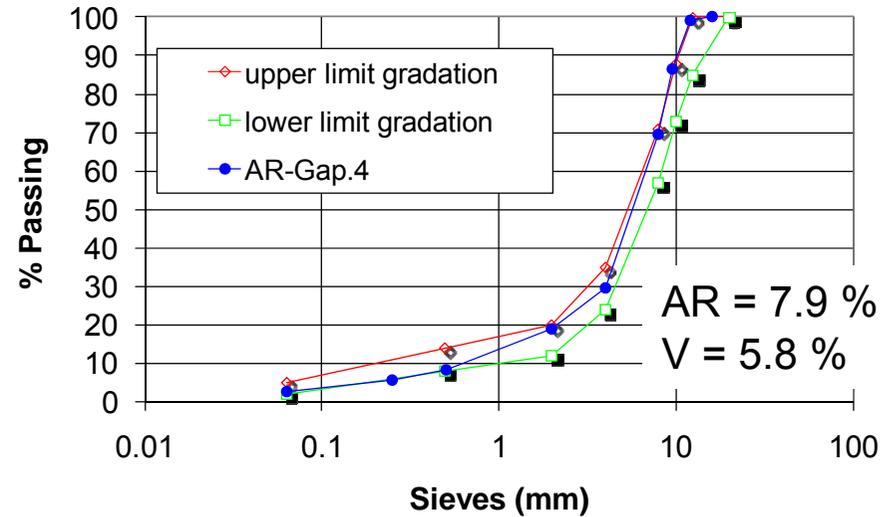
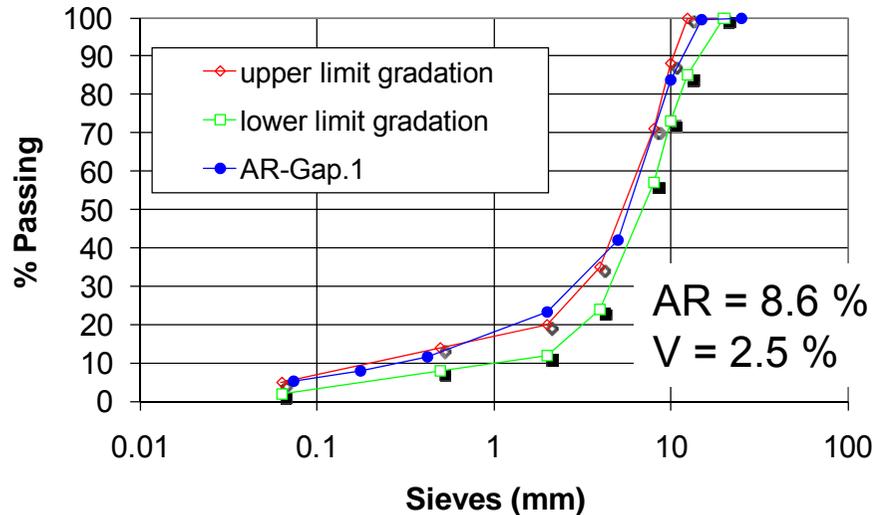


(Way – 2000)



Sperimentazione UNIVPM: Proprietà Meccaniche

Materiali



■ Sperimentazione UNIVPM: **Proprietà Meccaniche**

Programma Sperimentale

Indirect Tensile Stiffness Modulus (T= 20°C)



Indirect Tensile Fatigue Test (T= 20°C)

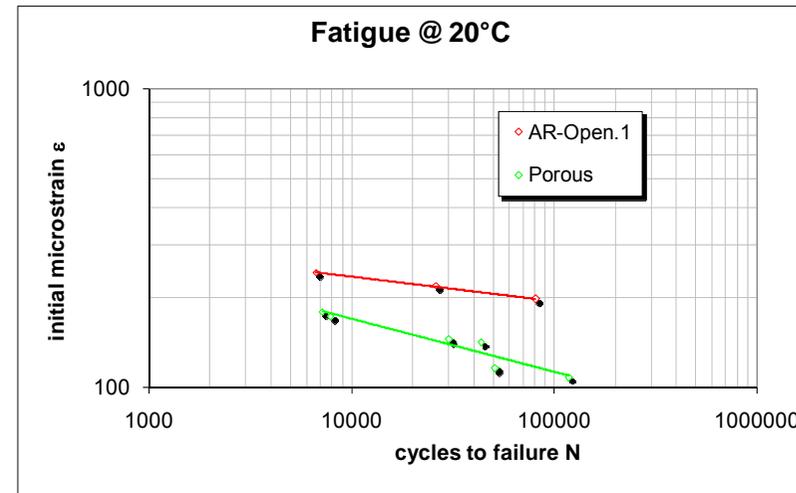
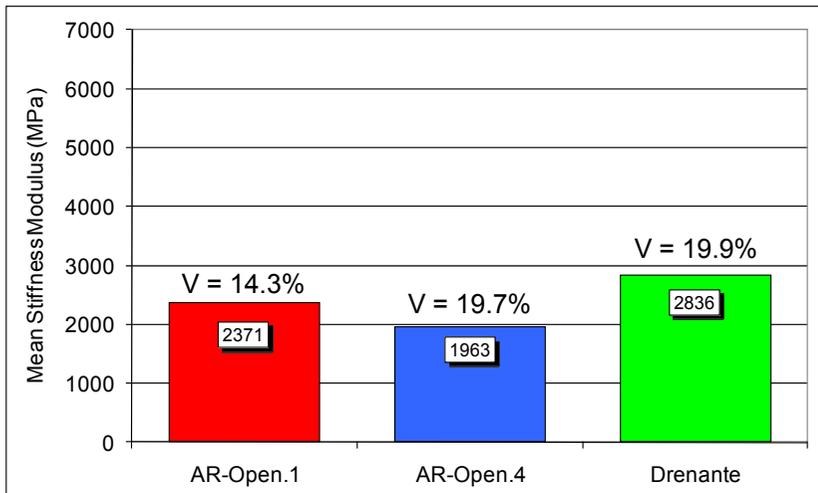
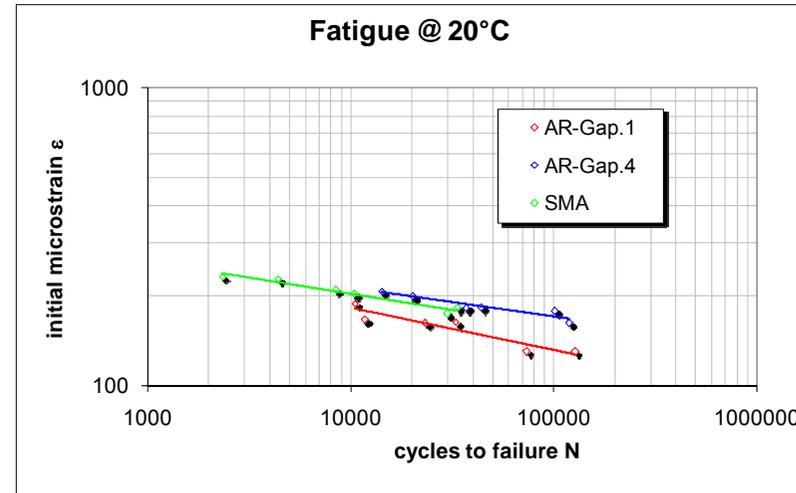
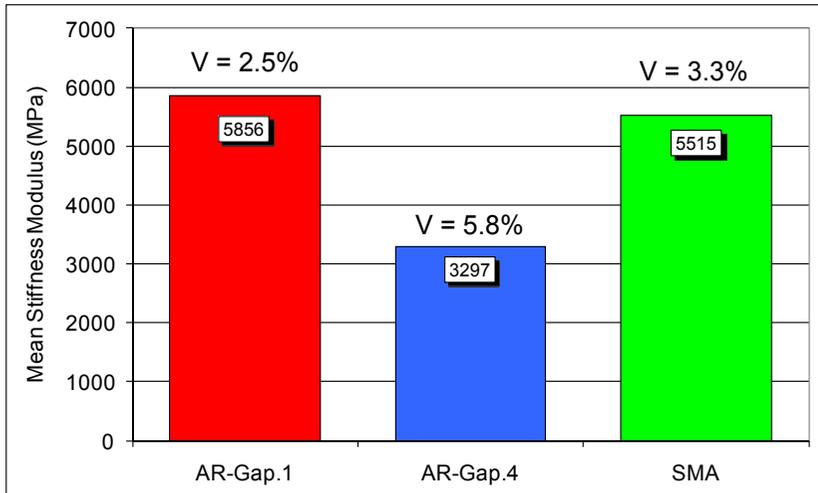


Wheel Tracker (T= 60 °C)



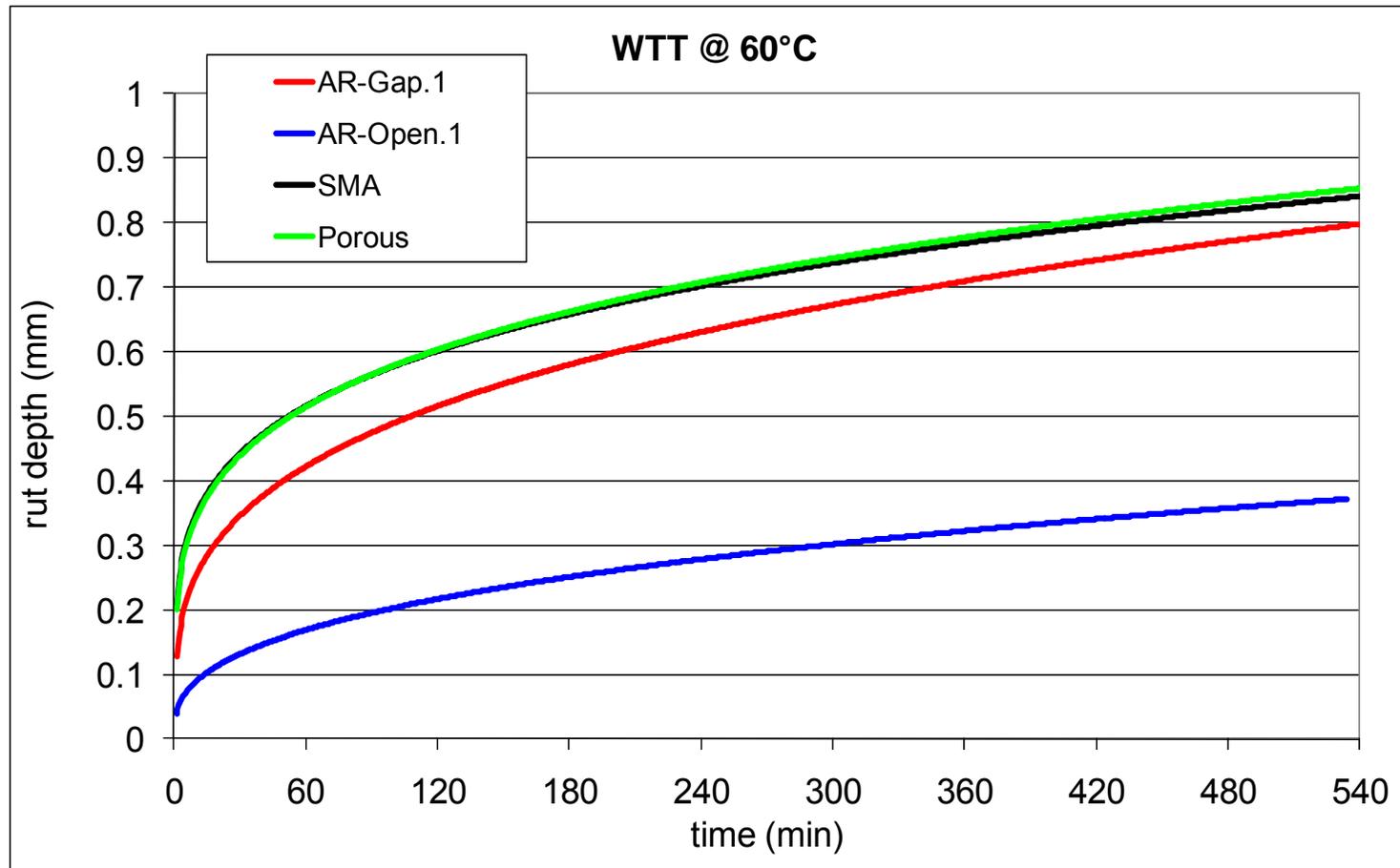
■ **Sperimentazione UNIVPM: Proprietà Meccaniche**

Indirect Tensile Stiffness Modulus & Indirect Tensile Fatigue



■ Sperimentazione UNIVPM: **Proprietà Meccaniche**

Resistenza all'Accumulo di Deformazioni Permanenti



■ Sperimentazione UNIVPM: **Durabilità**

Resistenza allo Sgranamento di miscele AR

Perdita in peso CANTABRO

Apparecchiatura Los Angeles



$$\% P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100$$

P_1 = peso iniziale

P_2 = peso dopo 300 giri





■ Sperimentazione UNIVPM: Durabilità

Resistenza allo Sgranamento di miscele AR

Perdita in peso CANTABRO

Mixture type	Type of binder	Air voids %	Average particle loss %
ARAC – gap graded	rubber modified	6.6	1.8
ARFC – open graded	rubber modified	11.2	1.4
Dense graded mixture (Gubler <i>et al.</i> 2005)	plain	5.7	10.2
Open graded mixture (Gubler <i>et al.</i> 2005)	polymer modified	12.8	6.8
50/60 pen. Binder (Zoorob <i>et al.</i> 1999)	plain	4.0	10.0
EVA binder (Zoorob <i>et al.</i> 1999)	polymer modified	4.0	5.5
AR mixtures (Widyatmoko <i>et al.</i> 2009)	rubber modified	3.3÷5.7	4.0÷9.0
SMA-LS-50pen (Widyatmoko <i>et al.</i> 2009)	plain	3.6	15.0÷19.0

- OTTIMA resistenza allo sgranamento delle miscele AR

■ Sperimentazione UNIVPM: **Durabilità**

Resistenza all'Invecchiamento di miscele AR-Gap

Programma Sperimentale

Processo di invecchiamento:

provini in forno per 120 h a 85 °C (AASHTO R30)

Metodologie di prova:

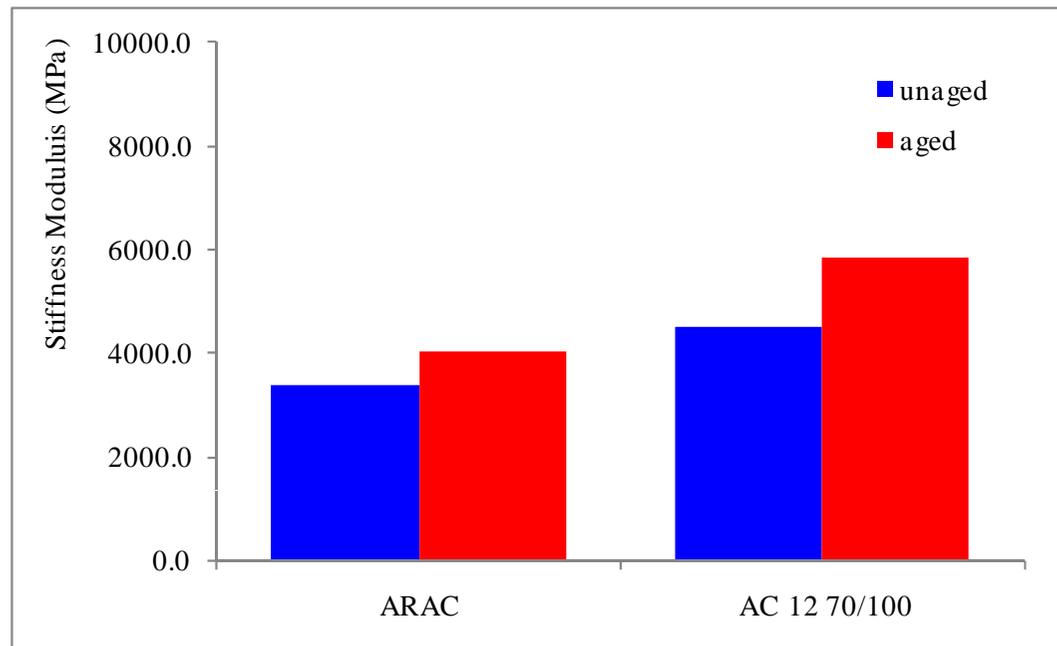
- i. Modulo di Rigidezza (EN 12697-26/C)
- ii. Resistenza a Fatica (EN 12697-24/E)



■ Sperimentazione UNIVPM: Durabilità

Resistenza all'Invecchiamento di miscele AR-Gap

Risultati Sperimentali – Modulo di Rigidezza ITSM

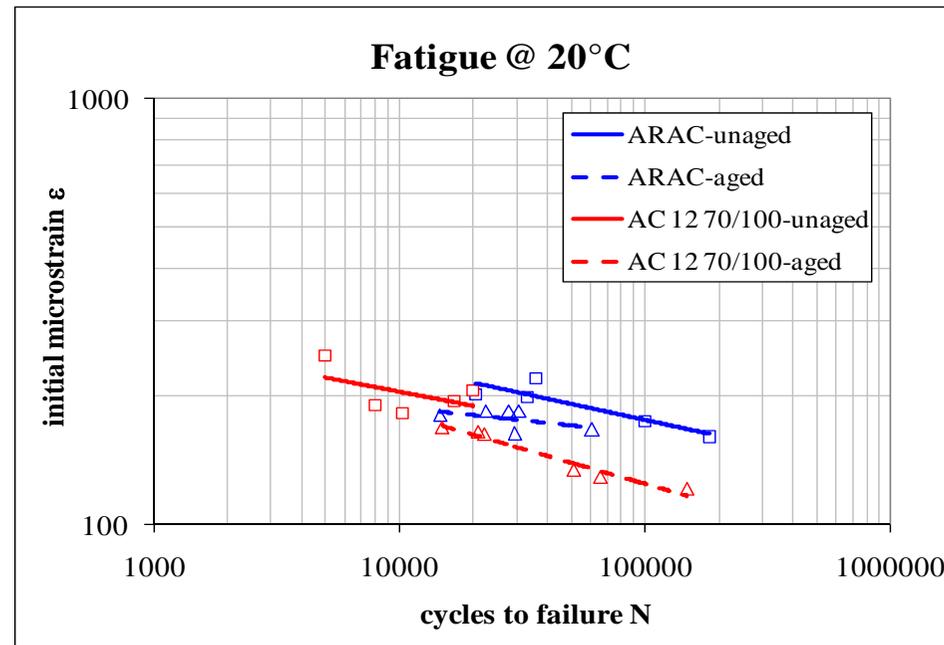


Mixture	Unaged ITSM MPa	Aged ITSM MPa	Change in ITSM %
ARAC	3407	4053	+ 19.0
AC 12 70/100	4527	5860	+ 29.4

■ Sperimentazione UNIVPM: Durabilità

Resistenza all'Invecchiamento di miscele AR-Gap

Risultati Sperimentali – Resistenza a Fatica



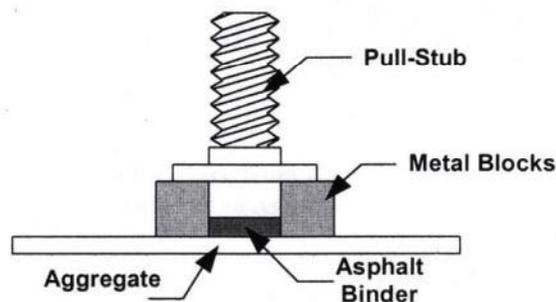
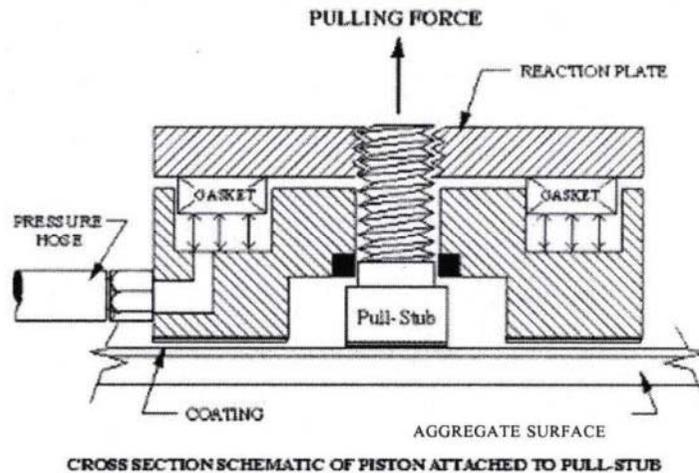
Mixture	Unaged ϵ_6	Aged ϵ_6	Change in ϵ_6
	μstrain	μstrain	%
ARAC	132	142	+ 7.9
AC 12 70/100	124	86	- 30.7

■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Adesione Legante AR-Agregati

(Collaborazione scientifica con l'Università del Wisconsin/USA)

Apparecchiatura PATTI (Pneumatic Adhesion Tensile Testing Instrument)



■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Adesione Legante AR-Agregati

(Collaborazione scientifica con l'Università del Wisconsin/USA)

Programma Sperimentale

- Legante:
 - bitume 70/100;
 - bitume 50/70;
 - Asphalt Rubber.
- Agregati lapidei: calcare e porfido;
- Condizionamento in acqua (0 e 24 ore – 25°C e 40°C);
- Temperatura superficiale aggregati (90°C e 135°C);



Rottura per coesione



Rottura per adesione



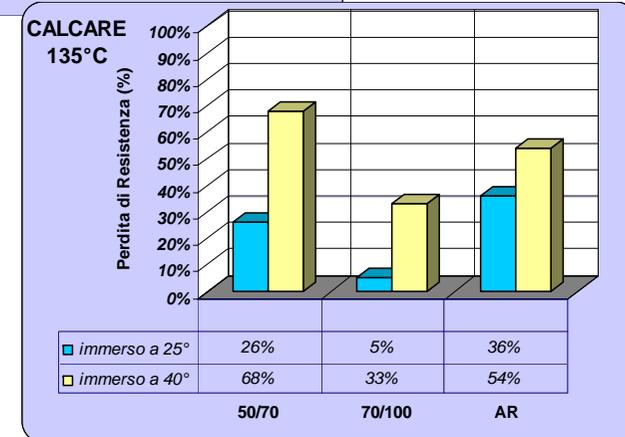
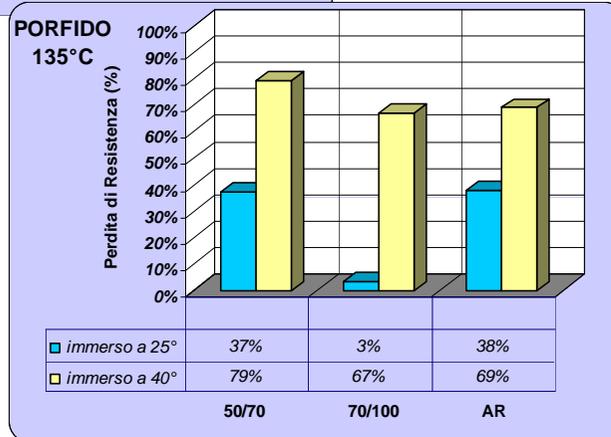
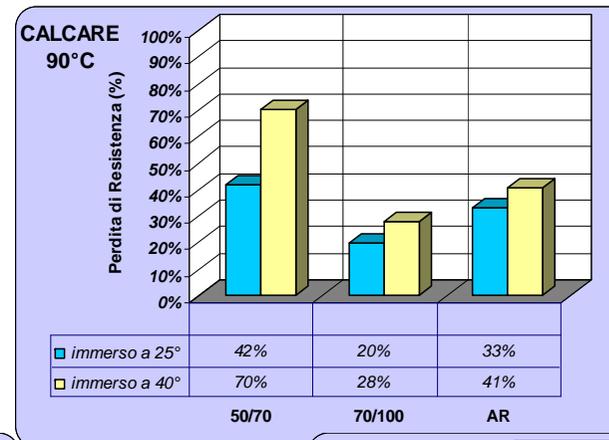
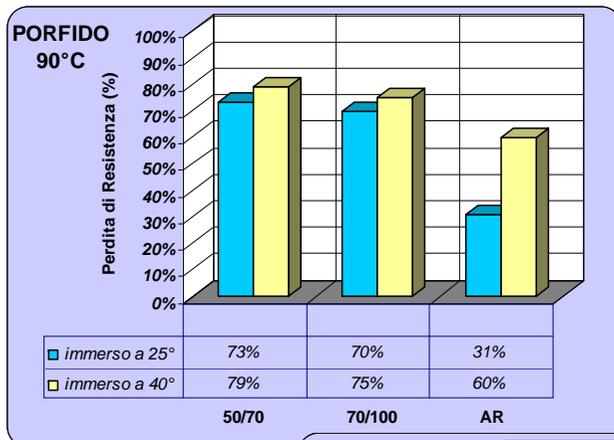
Distacco dal supporto

■ **Sperimentazione UNIVPM: Moisture Damage**

Adesione Legante AR-Agregati

(Collaborazione scientifica con l'Università del Wisconsin/USA)

Risultati PATTI Test





■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR

Metodologia di Prova Tradizionale

Programma Sperimentale

METODOLOGIA DI PROVA:

Prova di trazione indiretta – Brasiliana (EN 12697-23)

CONDIZIONAMENTO IN ACQUA:

TIPO “A”: 15 giorni di immersione a 20 °C (specifiche di Capitolato)

TIPO “B”: 24 ore a 60 °C – provino parzialmente saturo (ASTM D4867)

TIPO “C”: 72 ore a 40 °C – provino parzialmente saturo (EN 12697-12)

TIPO “D”: 16 ore a -18 °C e 24 ore a 60 °C – provino parzialmente saturo (ASTM D4867)



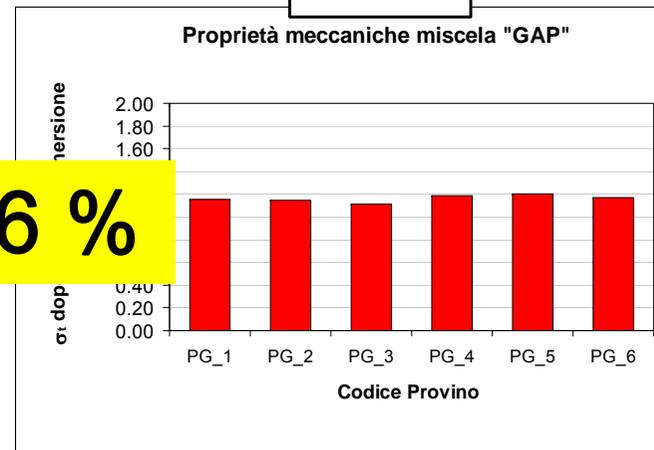
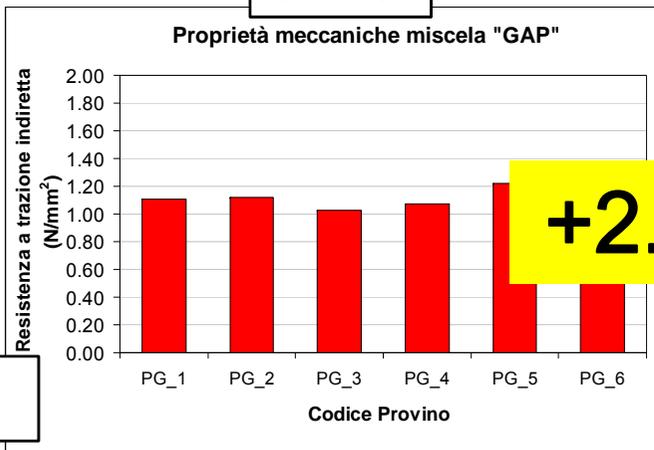
■ **Sperimentazione UNIVPM: Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Gap

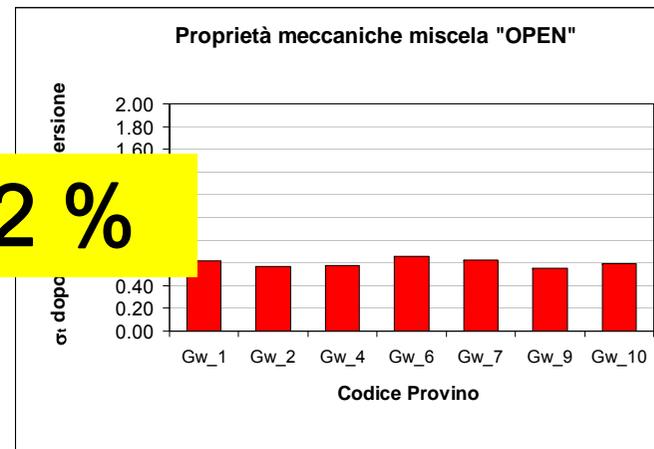
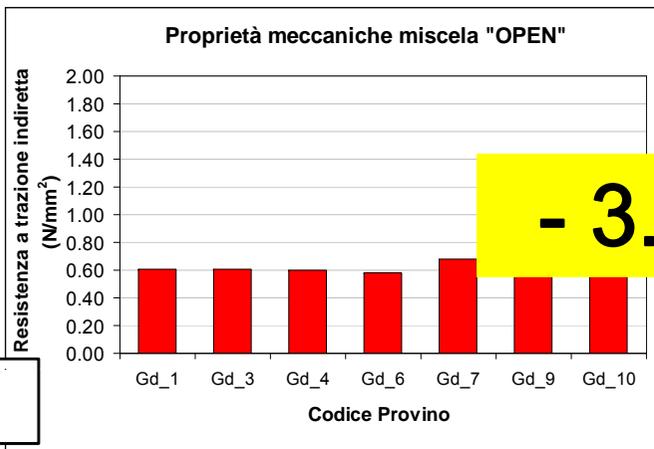
Metodologia di Prova Tradizionale – Condizionamento tipo "A"

DRY

WET



AR gap



AR open



■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR

Metodologia di Prova Tradizionale – Condizionamento tipo "B"

Mixture	Binder	Dry test		Wet test		TSR
		Air voids	ITS	Air voids	ITS	
		%	kPa	%	kPa	
ARAC	AR	5.9	993.0	5.7	957.0	96.4
DGAC	plain	5.7	804.0	5.7	793.7	98.7
ARFC	AR	12.4	485.2	14.1	437.6	90.2
OGAC	SBS	13.4	596.3	12.7	667.6	112.0

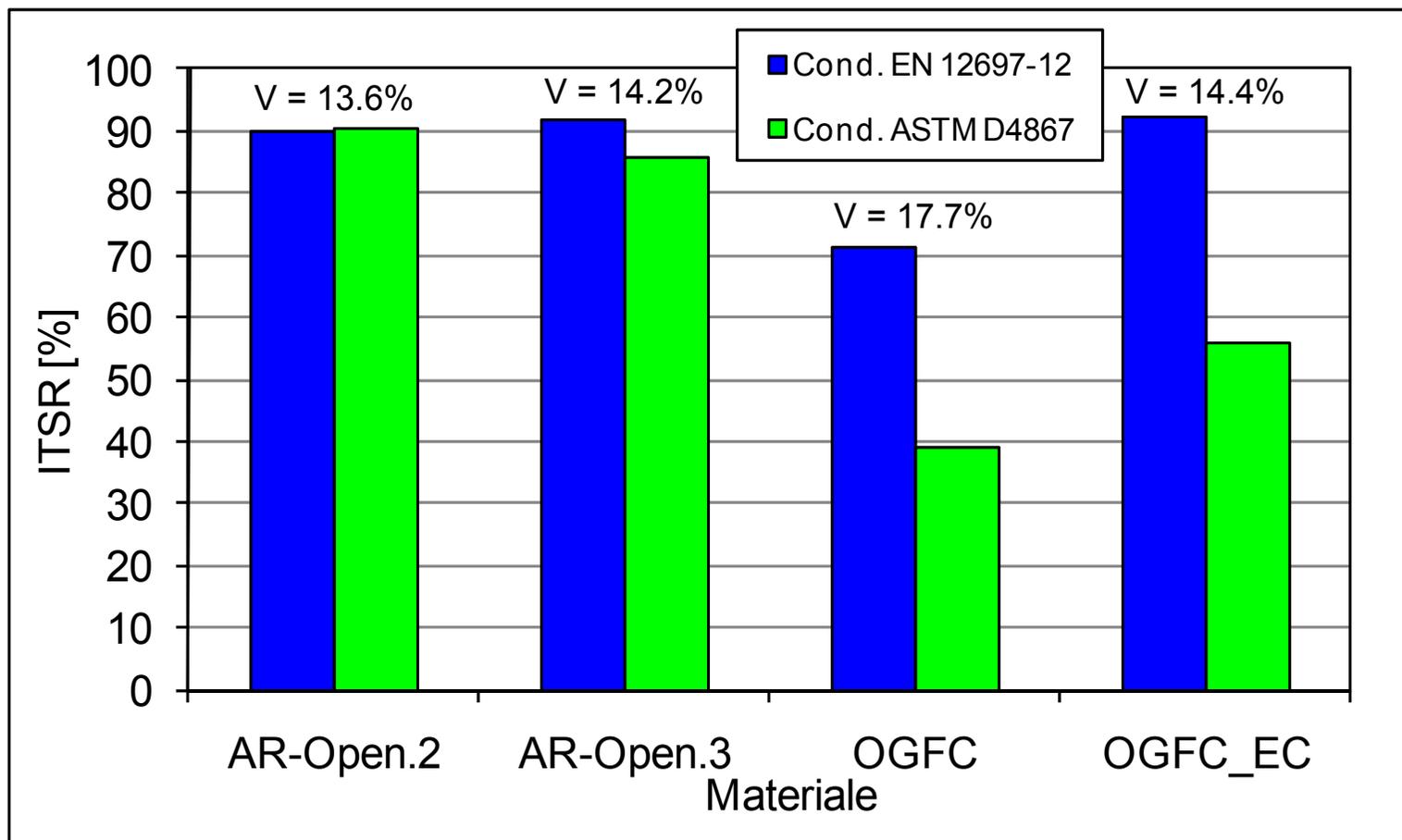
- OTTIMA resistenza delle miscele AR GAP&OPEN all'azione dell'acqua



■ **Sperimentazione UNIVPM: Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

Metodologia di Prova Tradizionale – Condizionamento tipo "C" e "D"

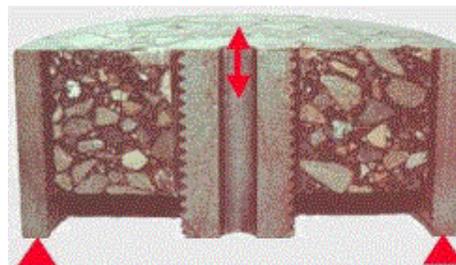
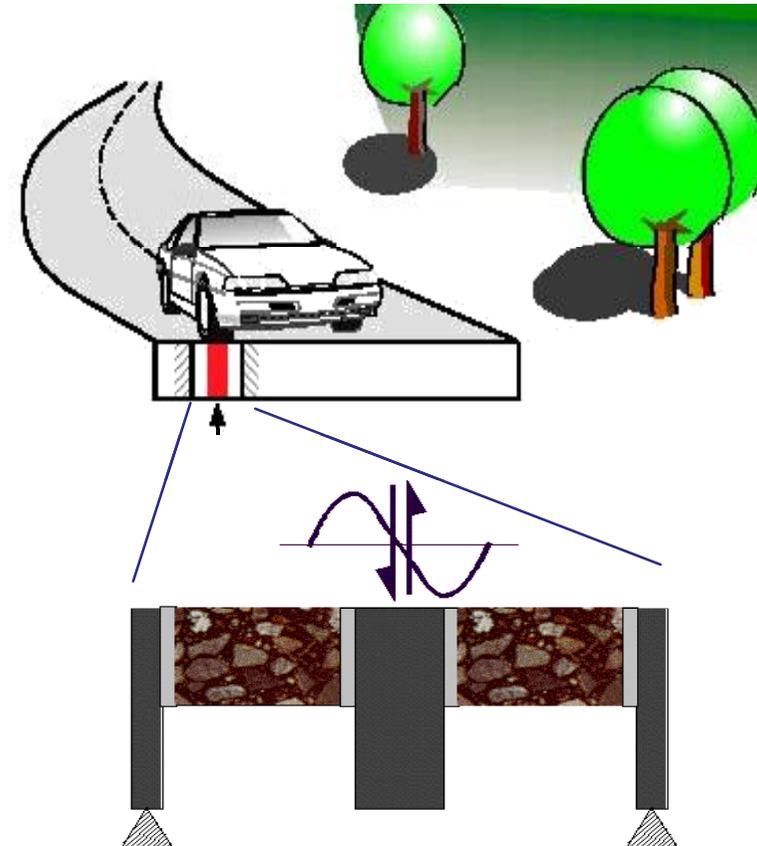


■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

(Collaborazione scientifica con i Laboratori Federali EMPA/CH)

Apparecchiatura di prova CAST (CoAxial Shear Test)



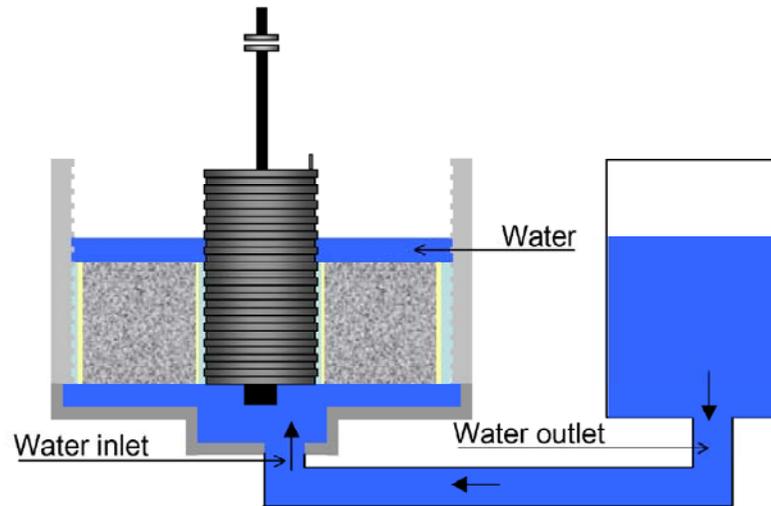
■ **Sperimentazione UNIVPM: Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

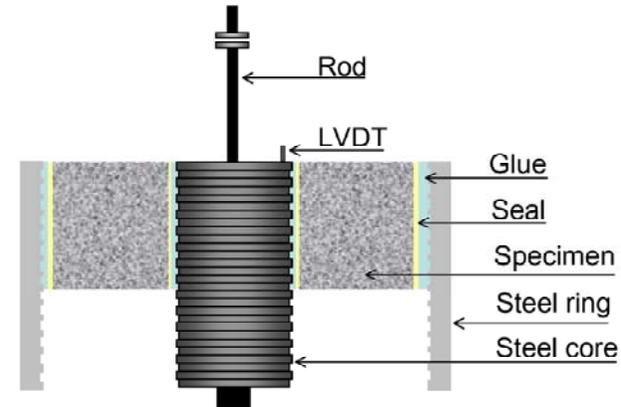
(Collaborazione scientifica con i Laboratori Federali EMPA/CH)

Apparecchiatura di prova CAST (CoAxial Shear Test)

Wet test setup



Dry test setup



CAST fatigue test conditions

Test parameter	Temperature cycles
Tempering period	7200 s
Frequency	10 Hz
Def. Amplitude	0,01 mm
Temperature prog.	27 - 32 °C
Cycle number	4
Duration test	144000 s

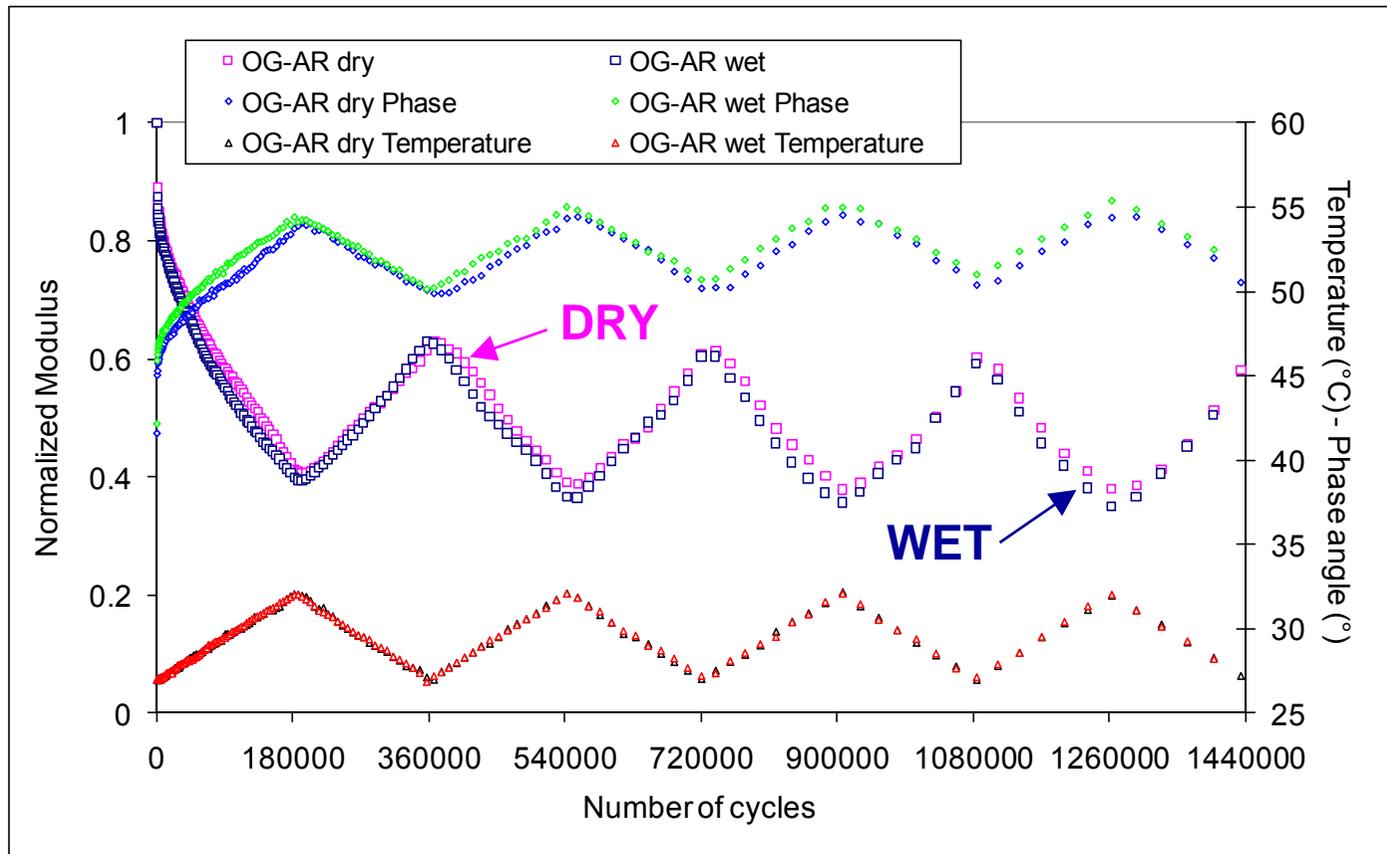
Obiettivo sperimentazione:
confronto prestazioni tra miscele porose
con leganti modificati e con Asphalt Rubber

■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

(Collaborazione scientifica con i Laboratori Federali EMPA/CH)

Risultati prova CAST – 1

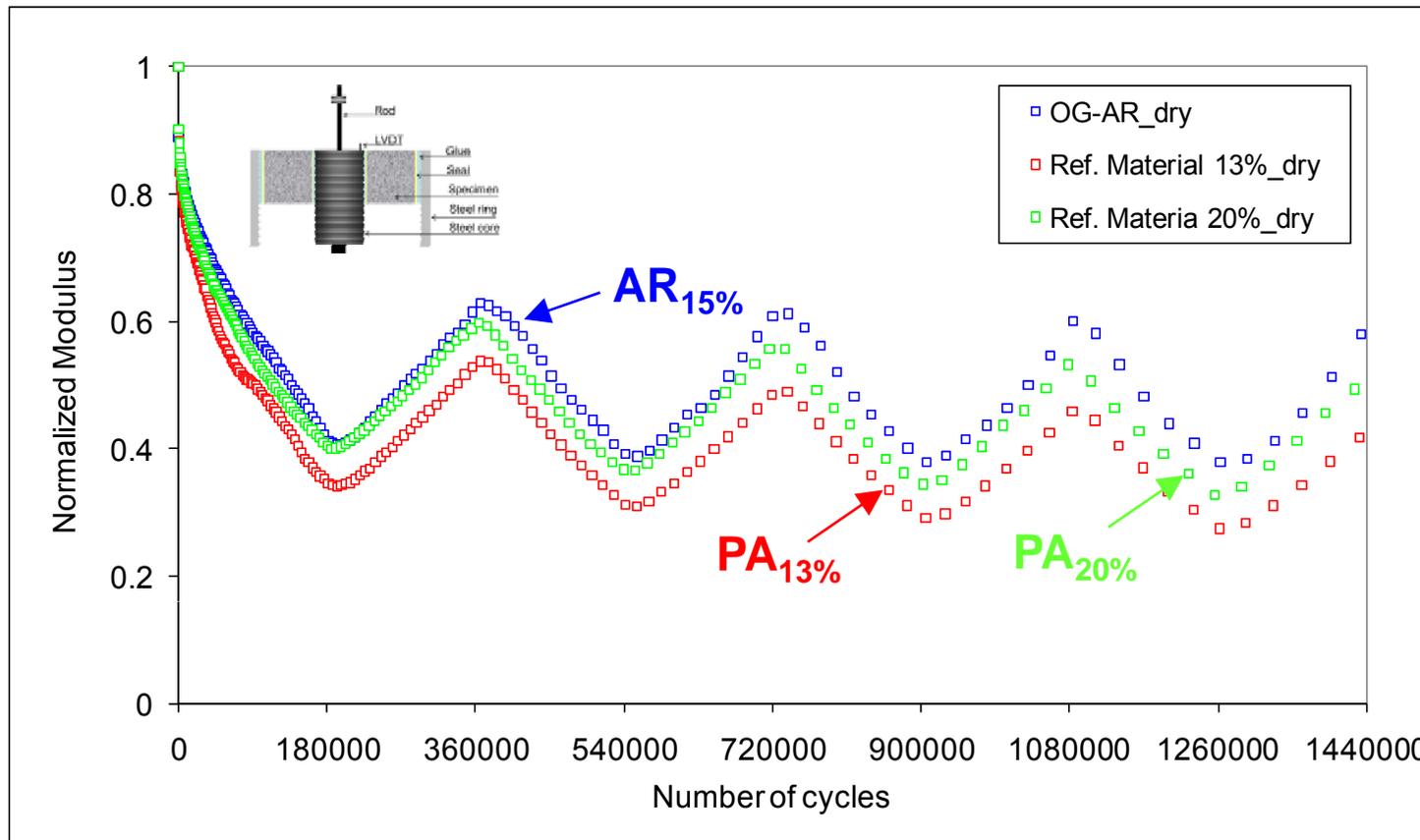


■ **Sperimentazione UNIVPM: Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

(Collaborazione scientifica con i Laboratori Federali EMPA/CH)

Risultati prova CAST – 2

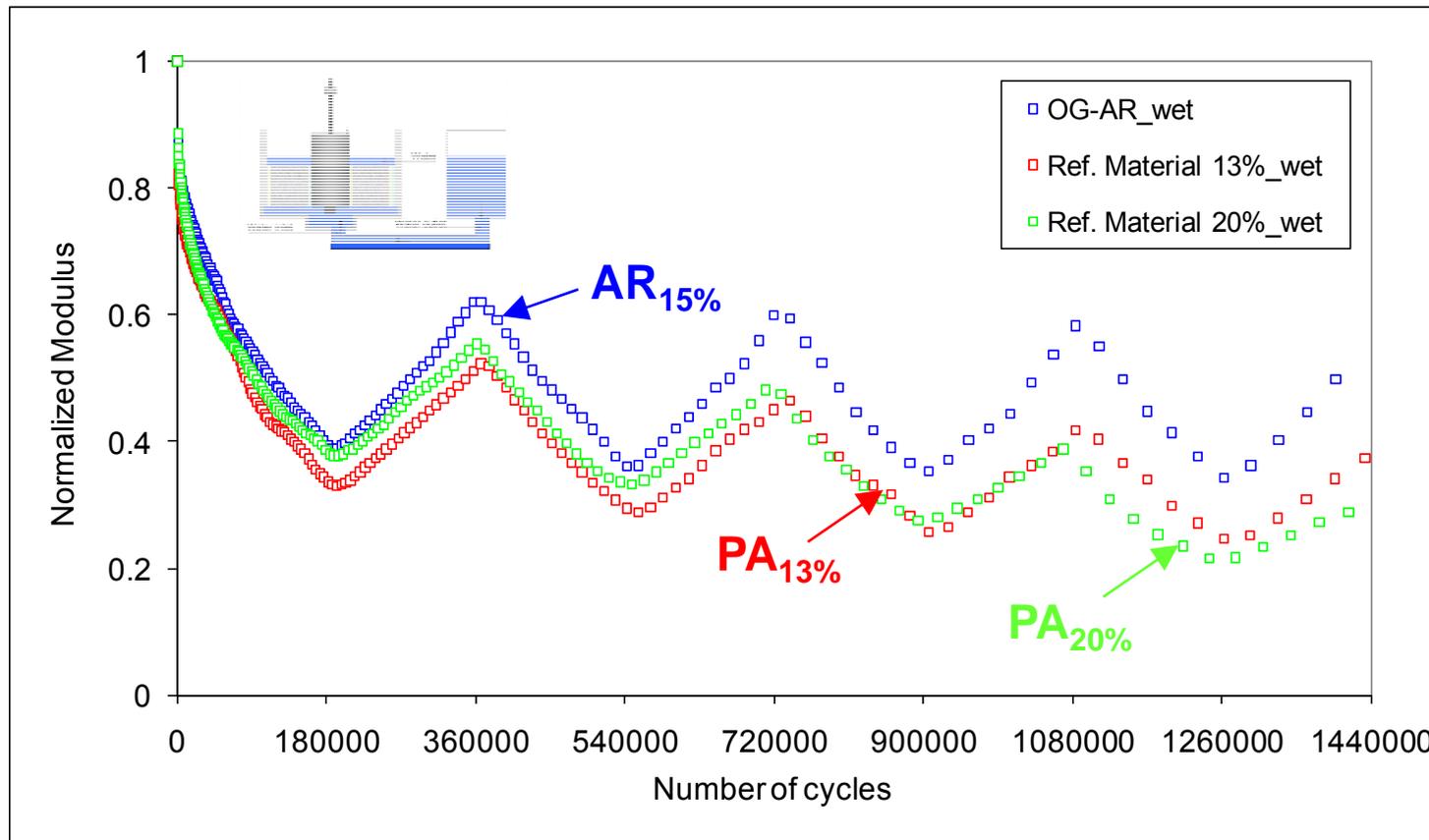


■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

(Collaborazione scientifica con i Laboratori Federali EMPA/CH)

Risultati prova CAST – 3



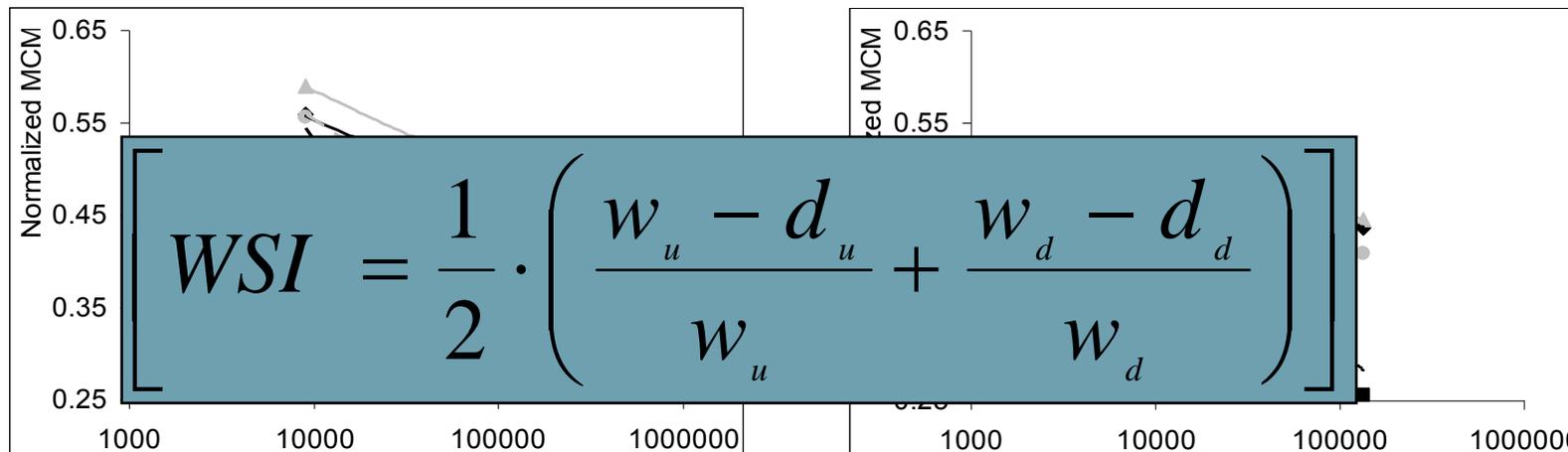


■ Sperimentazione UNIVPM: **Moisture Damage**

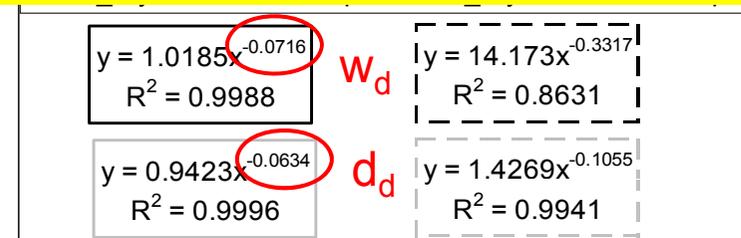
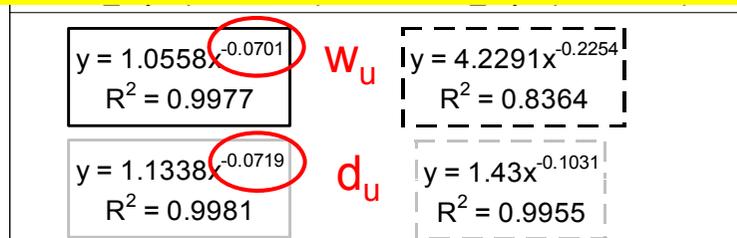
Suscettività all'Acqua miscele AR-Open

(Collaborazione scientifica con i Laboratori Federali EMPA/CH)

Risultati prova CAST – 4

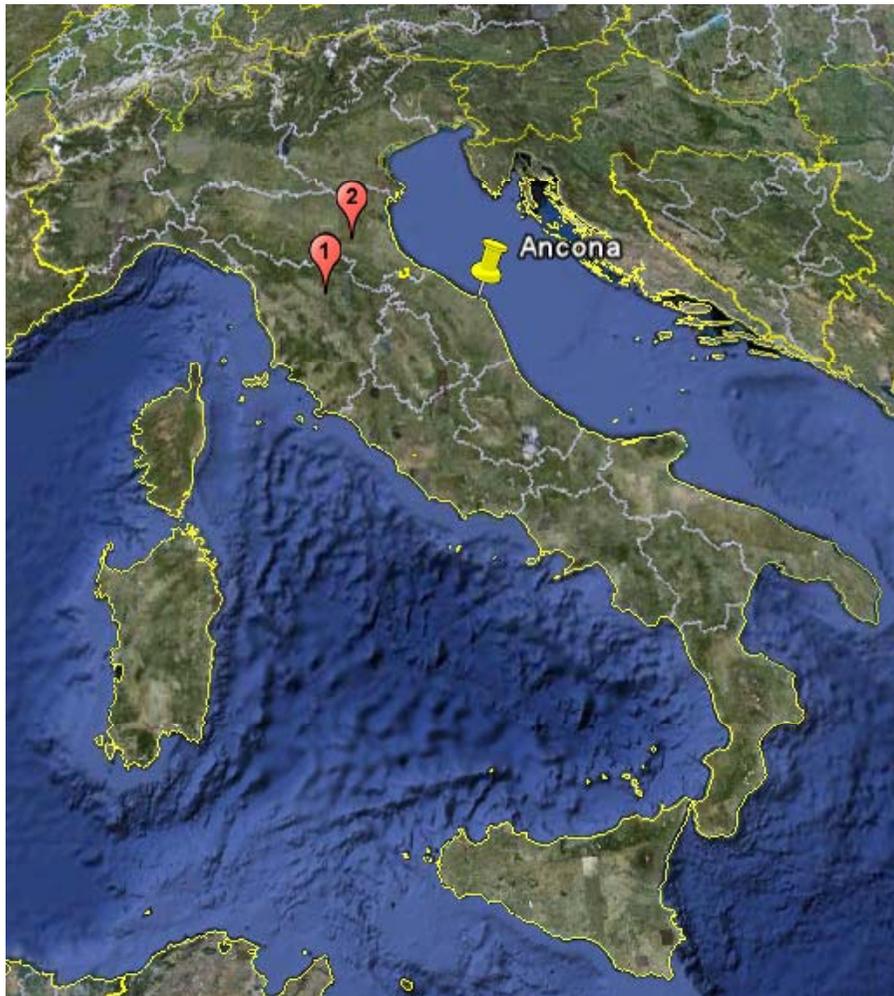


$WSI_{PA13} = 0,79$ $WSI_{PA20} = 1,67$ $WSI_{AR} = 0,05$



■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Trial Sections



- ① **Firenze** (maggio 2007)
 - GG-AR_1 ($\varnothing_{\max}=12$ mm, AR=9.0%, V=7.3%)
 - OG-AR ($\varnothing_{\max}=12$ mm, AR=9.2%; V=12.0%)
 - Lunghezza = 700 m
 - Spessore = 30 mm

- ② **Imola** (ottobre 2007)
 - GG-AR_2 ($\varnothing_{\max}=10$ mm, AR=8.7%, V=3.3%)
 - Lunghezza = 1000 m
 - Spessore = 30 mm

■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Miscele Open Graded preparate in laboratorio

Lab_OGAR

- $\varnothing_{\max} = 8 \text{ mm}$
- Aggregati basaltici
- AR = 9.0%
- Spessore = 30 mm
- Vuoti = 14% & 20%

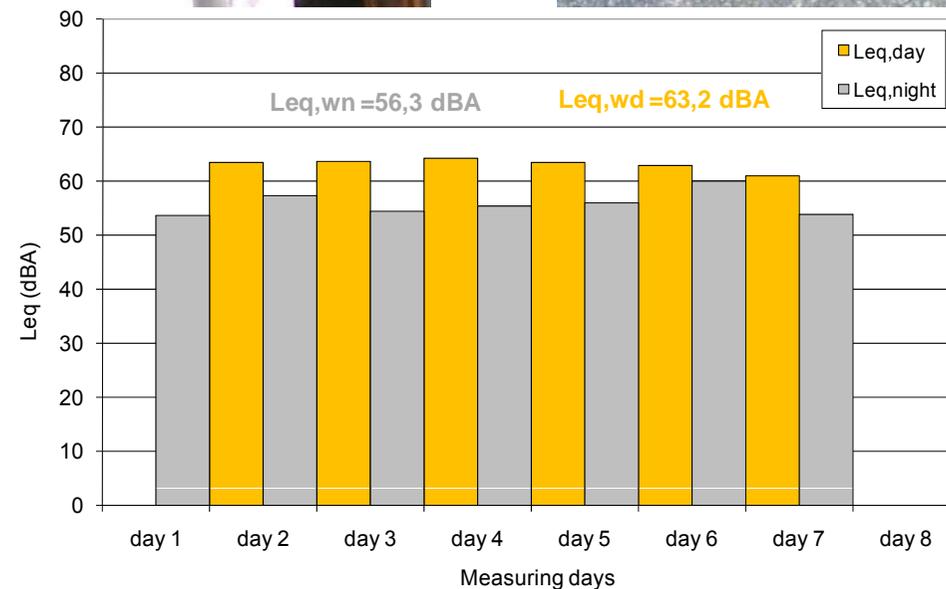
Lab_ECAR



- $\varnothing_{\max} = 8 \text{ mm}$
- Aggregati basaltici
- Argilla espansa (10% in peso)
- **AR = 10.1%**
- Spessore = 30 mm
- Vuoti = 14% & 20%

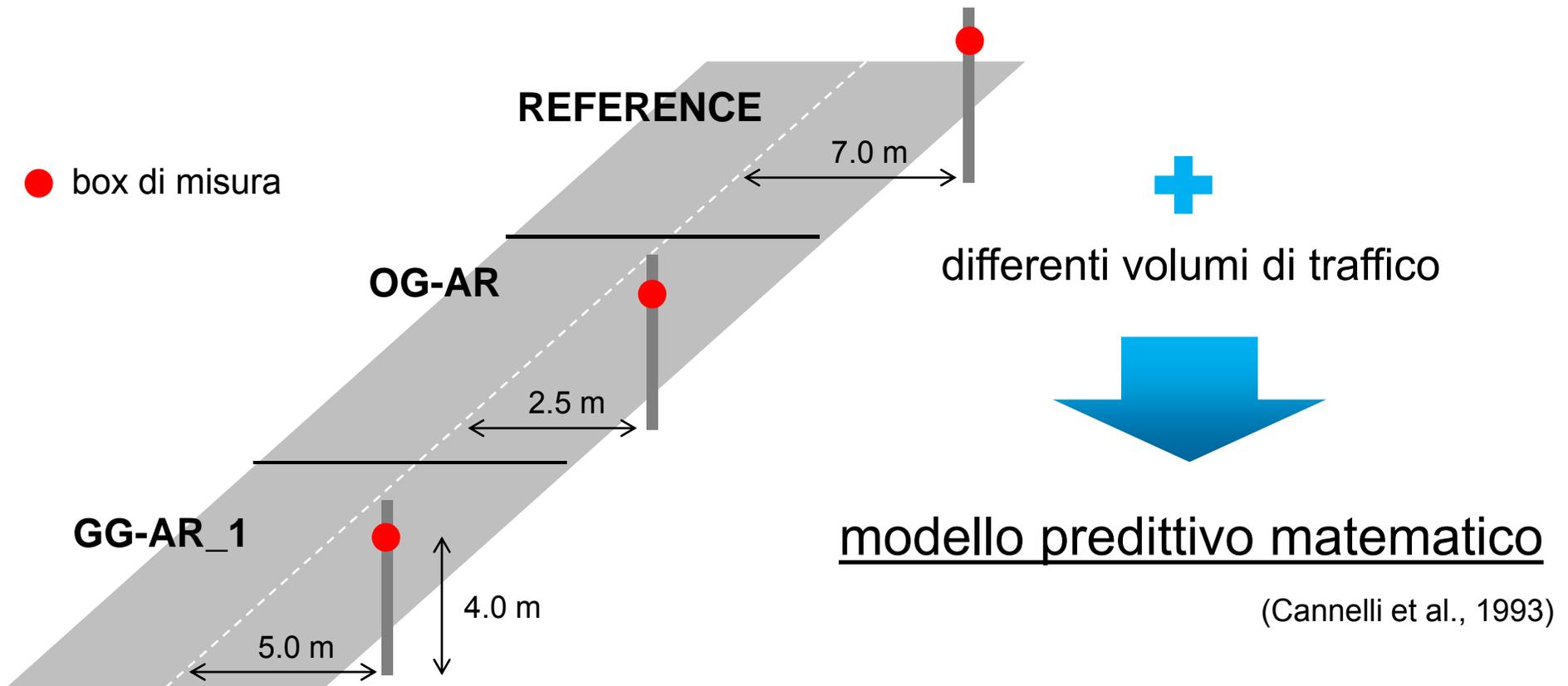
■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Monitoraggi Acustici in sito



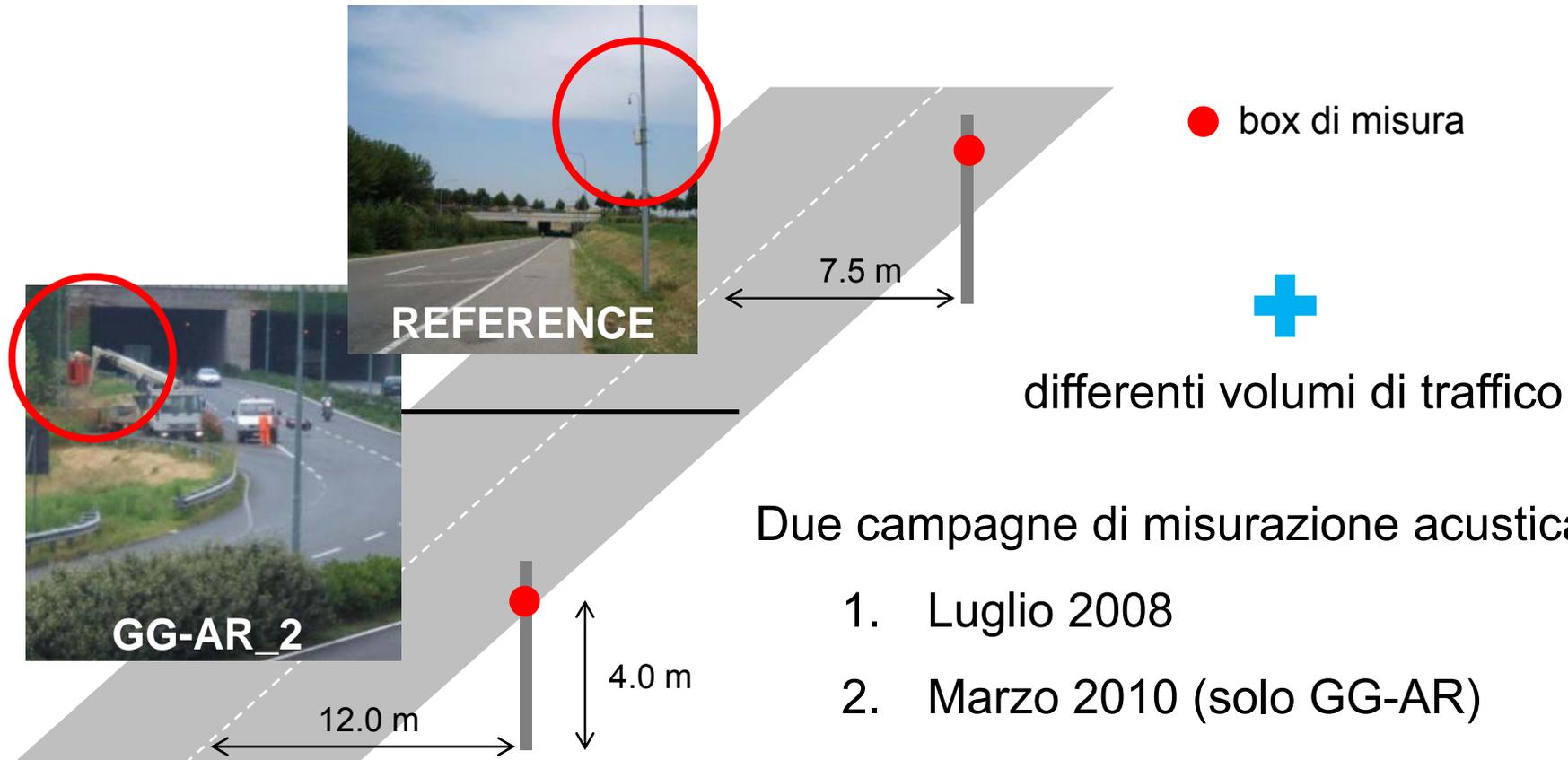
■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Monitoraggi Acustici in sito – Trial Section 1



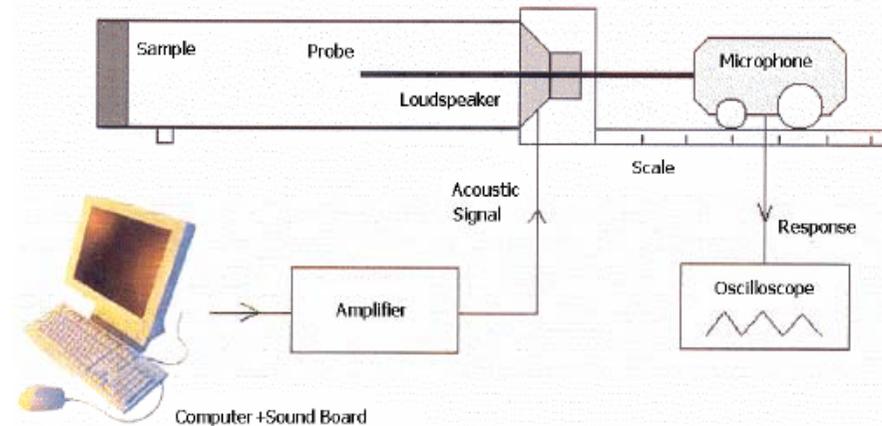
■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Monitoraggi Acustici in sito – Trial Section 2



■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Studio Assorbimento Acustico in laboratorio (EN ISO 10534-1)



Misure Tubo di Kundt: $\alpha = 400 - 500 - 630 - 800 - 1000 - 1250 - 1600$ Hz

■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Monitoraggi Acustici in sito

Risultati Trial Section 1

	GG-AR_1		OG-AR		Reference section	
	day	night	day	night	day	night
Light traffic N_L [vehicles/h]	328	34	326	32	497	76
Heavy traffic N_W [vehicles/h]	34	3	7	1	19	1
Mean speed [km/h]	38.1	41.7	41.0	45.1	44.8	49.7
Measured Leq,w [dBA]	65.1	57.9	63.2	56.3	67.9	61.5
ΔL from equation (1) [dBA]	0.7	-0.5	0.1	-0.8	-	-
Corrected Leq,w [dBA]	64.4	58.4	63.1	57.1	67.9	61.5

1. Differenti flussi di traffico
2. Differenti distanze fra sorgente e apparecchi di misura



$$Leq = 35.1 + 10 \log(N_L + 8N_W) + 10 \log \frac{25}{d} + \sum_i \Delta L_i$$

■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Monitoraggi Acustici in sito

Risultati Trial Section 1

	GG-AR_1		OG-AR		Reference section	
	day	night	day	night	day	night
Light traffic N_L [vehicles/h]	328	34	326	32	497	76
Heavy traffic N_W [vehicles/h]	34	3	7	1	19	1
Mean speed [km/h]	38.1	41.7	41.0	45.1	44.8	49.7
Measured Leq,w [dBA]	65.1	57.9	63.2	56.3	67.9	61.5
ΔL from equation (1) [dBA]	0.7	-0.5	0.1	-0.8	-	-
Corrected Leq,w [dBA]	64.4	58.4	63.1	57.1	67.9	61.5

- La distanza controbilancia il traffico [$\Delta L < 1$ dB(A)]
- GG-AR_1 ≈ 3 dB(A) più silenzioso della sez. di riferimento
- Ulteriori 1.5 dB(A) di riduzione in corrispondenza di OG-AR

■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Monitoraggi Acustici in sito

Risultati Trial Section 2

	GG-AR_2 (≈1 year old)		Reference section (3 year old)		GG-AR_2 (≈3 year old)
	day	night	day	night	night
Light traffic N_L [vehicles/h]	500	97	664	139	59
Heavy traffic N_W [vehicles/h]	29	3	39	4	3
Mean speed [km/h]	74.4	77.7	74.3	77.5	73.3
Mean HMA temperature [°C]	42.6	29.9	41.3	29.5	5.4
Measured Leq,w [dBA]	66.5	60.4	72.7	66.4	61.1
ΔL from equation (1) [dBA]	-3.0	-3.2	-	-	-4.8
Corrected Leq,w [dBA]	69.5	63.6	72.7	66.4	65.9

1. Differenti flussi di traffico (intersezione intermedia)
2. Differenti distanze fra sorgente e apparecchi di misura



- miscela AR ≈ 3 dB(A) più silenziosa

■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Monitoraggi Acustici in sito

Risultati Trial Section 2

	GG-AR_2 (≈1 year old)		Reference section (3 year old)		GG-AR_2 (≈3 year old)
	day	night	day	night	night
Light traffic N_L [vehicles/h]	500	97	664	139	59
Heavy traffic N_W [vehicles/h]	29	3	39	4	3
Mean speed [km/h]	74.4	77.7	74.3	77.5	73.3
Mean HMA temperature [°C]	42.6	29.9	41.3	29.5	5.4
Measured Leq,w [dBA]	66.5	60.4	72.7	66.4	61.1
ΔL from equation (1) [dBA]	-3.0	-3.2	-	-	-4.8
Corrected Leq,w [dBA]	69.5	63.6	72.7	66.4	65.9



■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Monitoraggi Acustici in sito

Risultati Trial Section 2

	GG-AR_2 (≈1 year old)		Reference section (3 year old)		GG-AR_2 (≈3 year old)
	day	night	day	night	night
Light traffic N_L [vehicles/h]	500	97	664	139	59
Heavy traffic N_W [vehicles/h]	29	3	39	4	3
Mean speed [km/h]	74.4	77.7	74.3	77.5	73.3
Mean HMA temperature [°C]	42.6	29.9	41.3	29.5	5.4
Measured Leq,w [dBA]	66.5	60.4	72.7	66.4	61.1
ΔL from equation (1) [dBA]	-3.0	-3.2	-	-	-4.8
Corrected Leq,w [dBA]	69.5	63.6	72.7	66.4	65.9

AR risulta 2.3 dB(A) più rumoroso rispetto a 2 anni prima ??



Il rumore varia di -1 dB ogni 10 °C (Sandberg & Ejsmont, 2002)



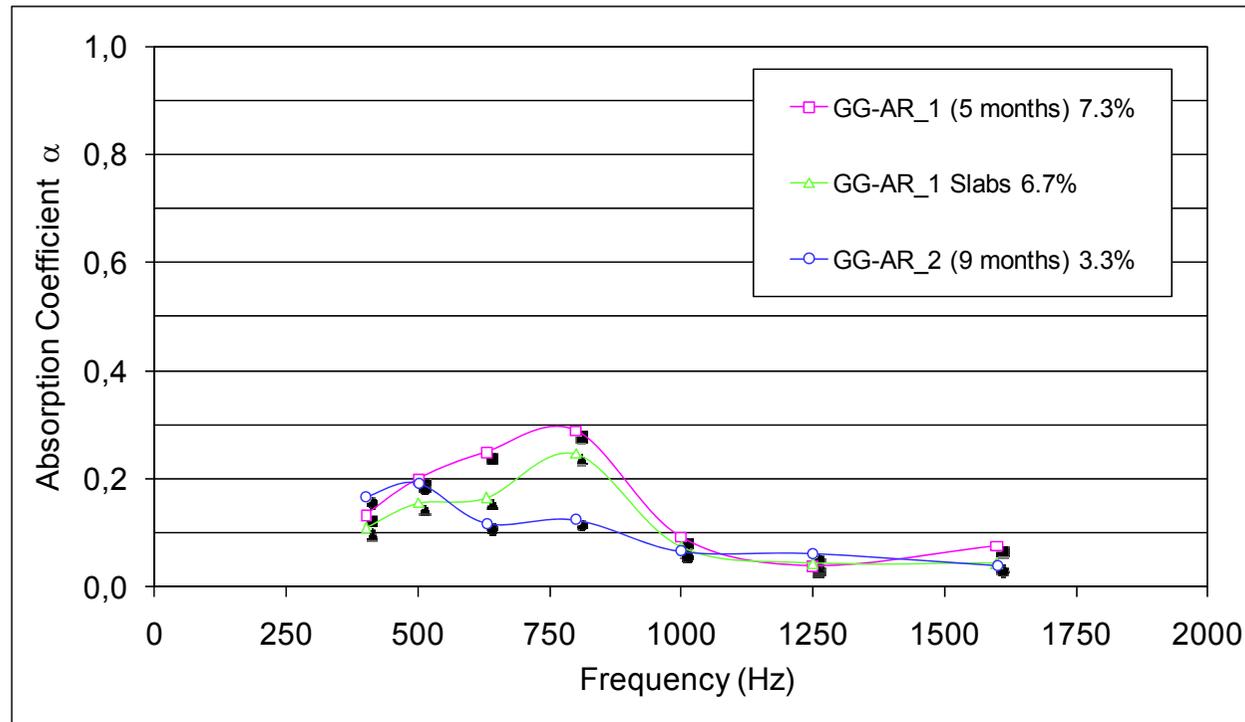
Proprietà acustiche immutate

■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**



Studio Assorbimento Acustico in laboratorio

Risultati prova Tubo di Kundt – 1

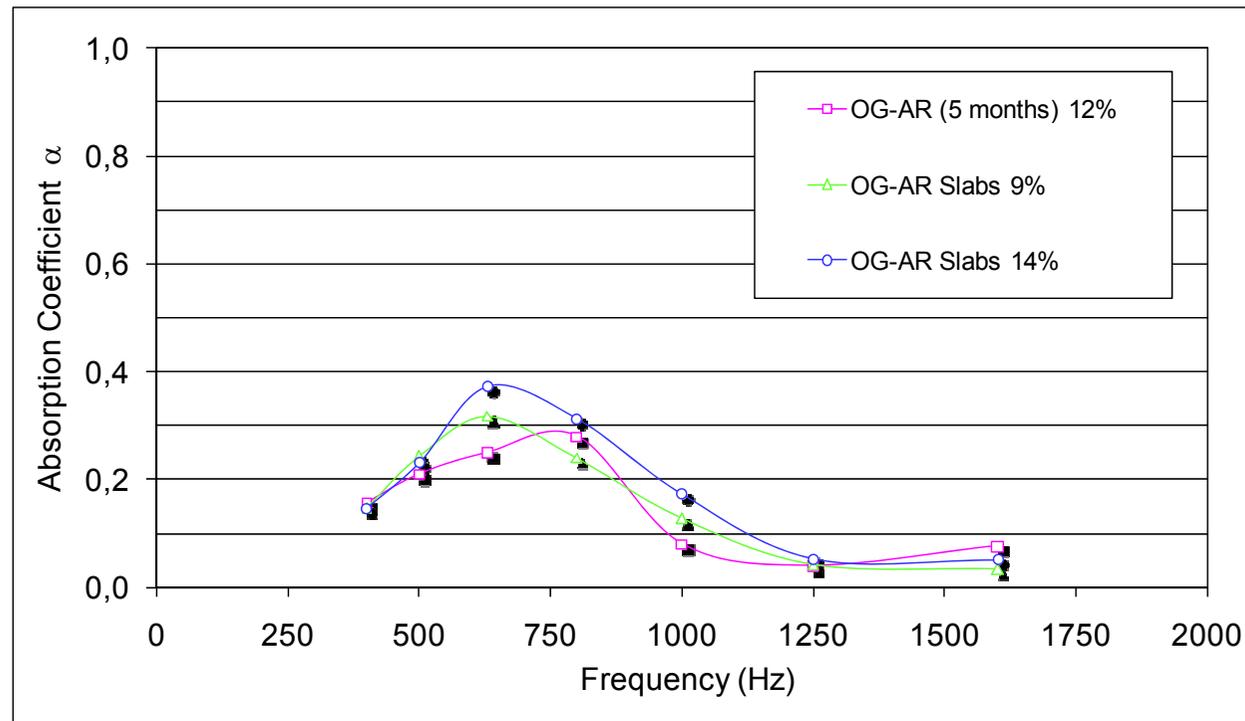


- ridotto fonoassorbimento ad ogni frequenza testata
- proprietà fonoassorbenti indipendenti dalla provenienza dei campioni
- ridotte differenze fra diversi livelli di compattazione

■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Studio Assorbimento Acustico in laboratorio

Risultati prova Tubo di Kundt – 2

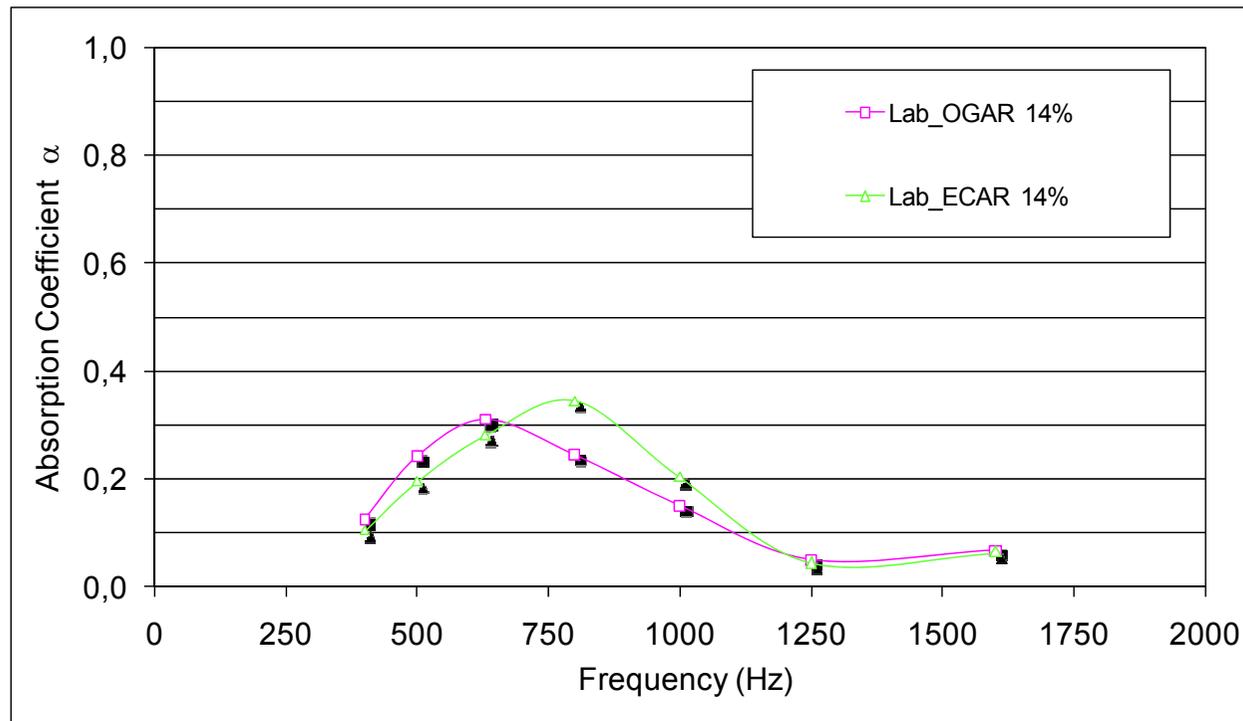


- vuoti minori del 15%
- ridotta dimensione max degli aggregati  limitato fonoassorbimento
- max assorbimento a frequenze ridotte (630÷800 Hz)

■ Sperimentazione UNIVPM: Prestazioni Acustiche

Studio Assorbimento Acustico in laboratorio

Risultati prova Tubo di Kundt – 3

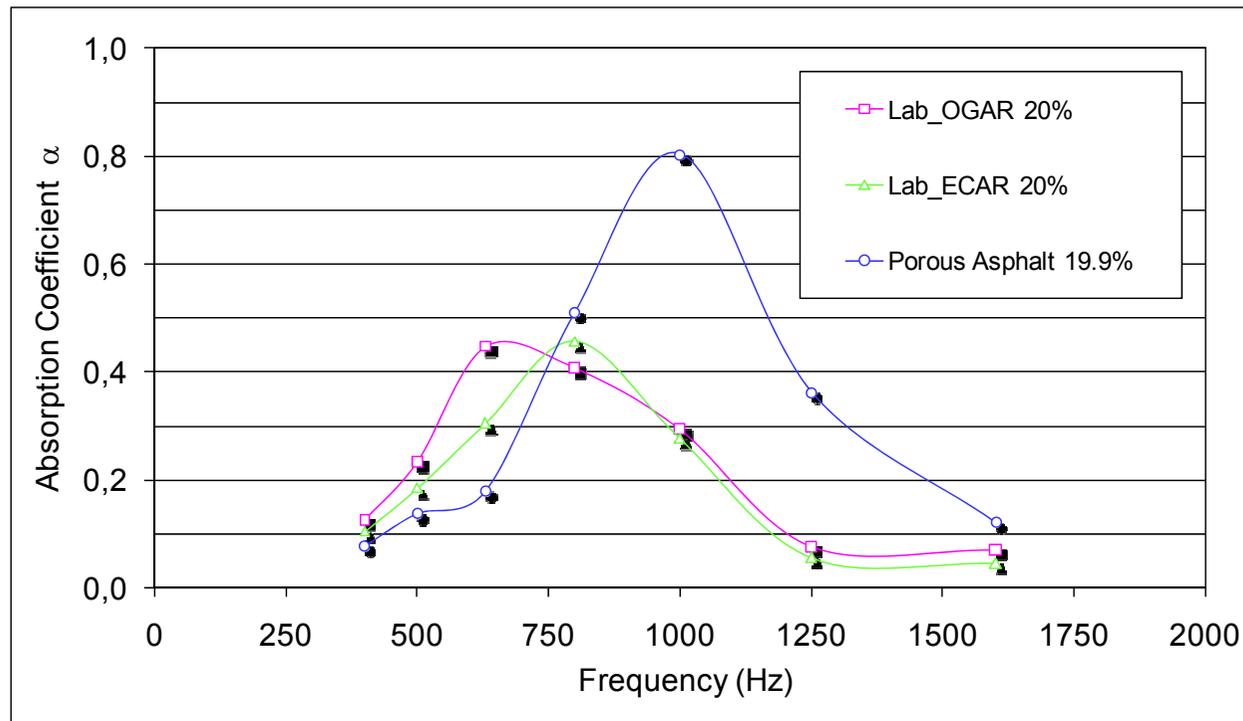


- conferma considerazioni precedenti
- forma arrotondata granuli AE ➡ maggiore frequenza di picco (?)
- la presenza di AE comporta un lieve incremento di α

■ Sperimentazione UNIVPM: **Prestazioni Acustiche**

Studio Assorbimento Acustico in laboratorio

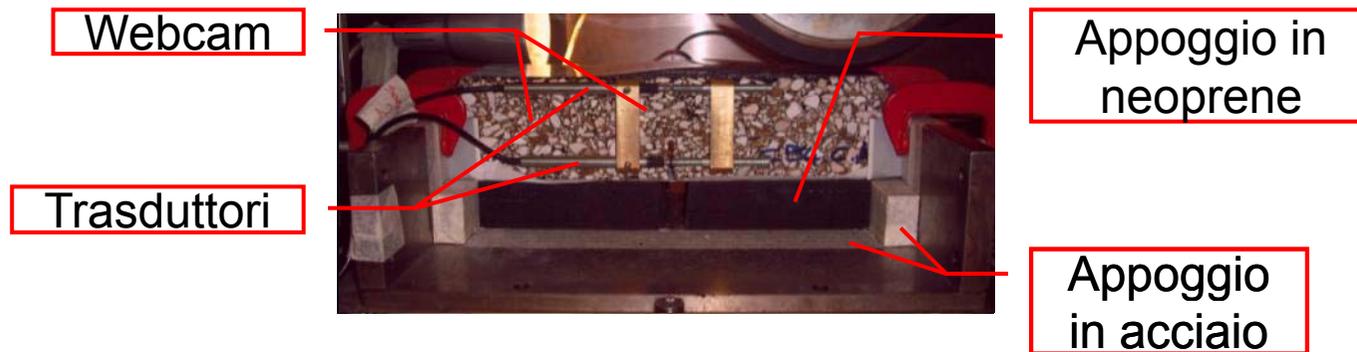
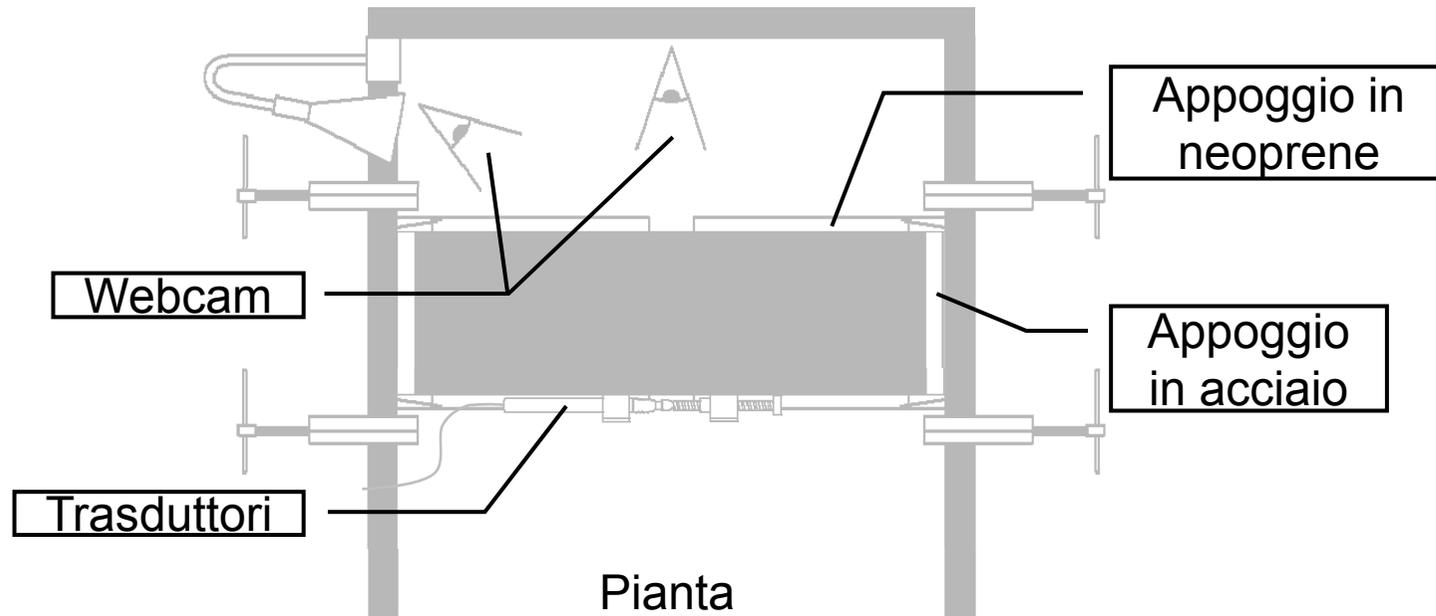
Risultati prova Tubo di Kundt – 4



- livello di fonoassorbimento maggiore
- α non comparabile con miscele porose tradizionali di riferimento
- AE ➡ incremento di α e della frequenza di max assorbimento

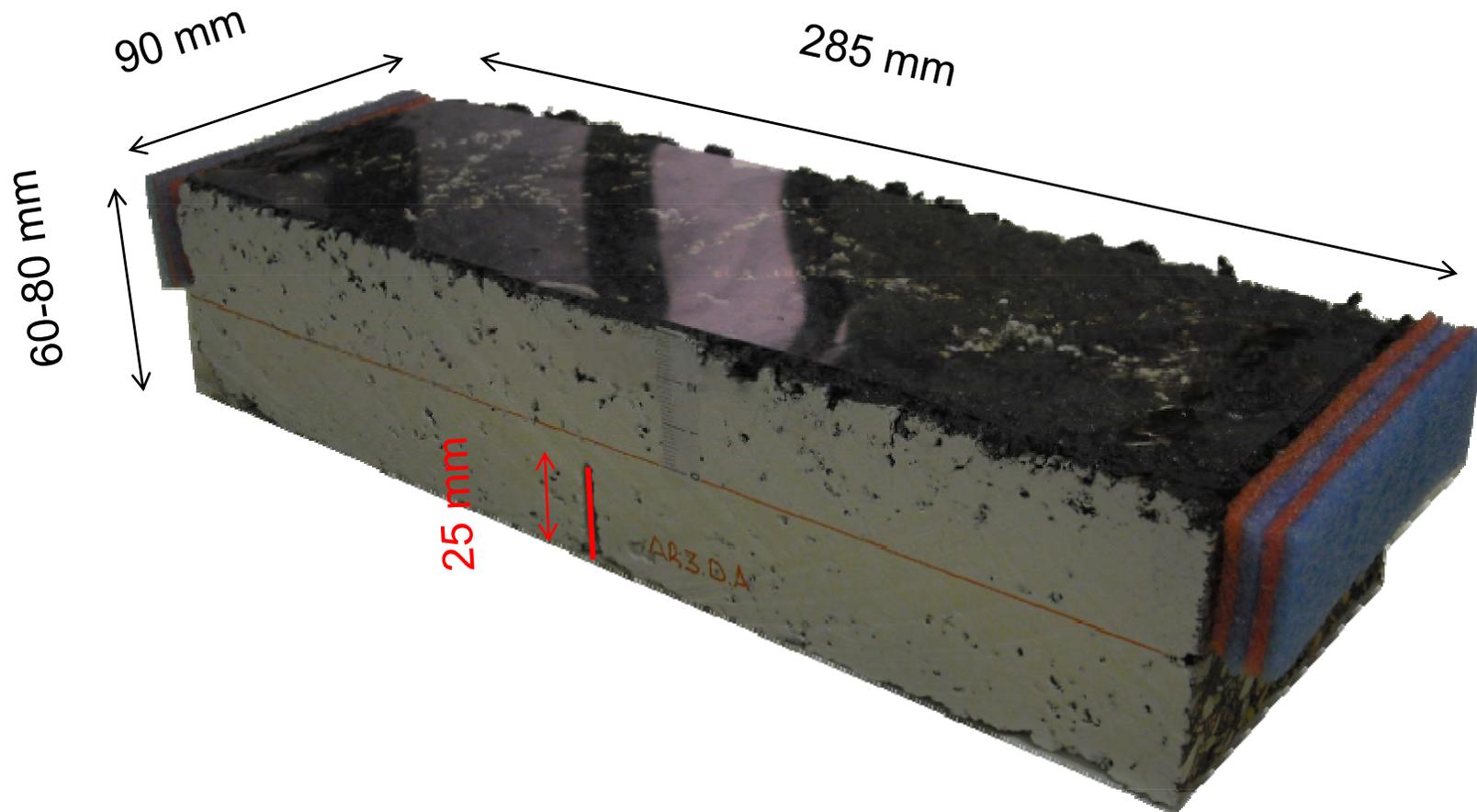
■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Prova Wheel Tracker modificata



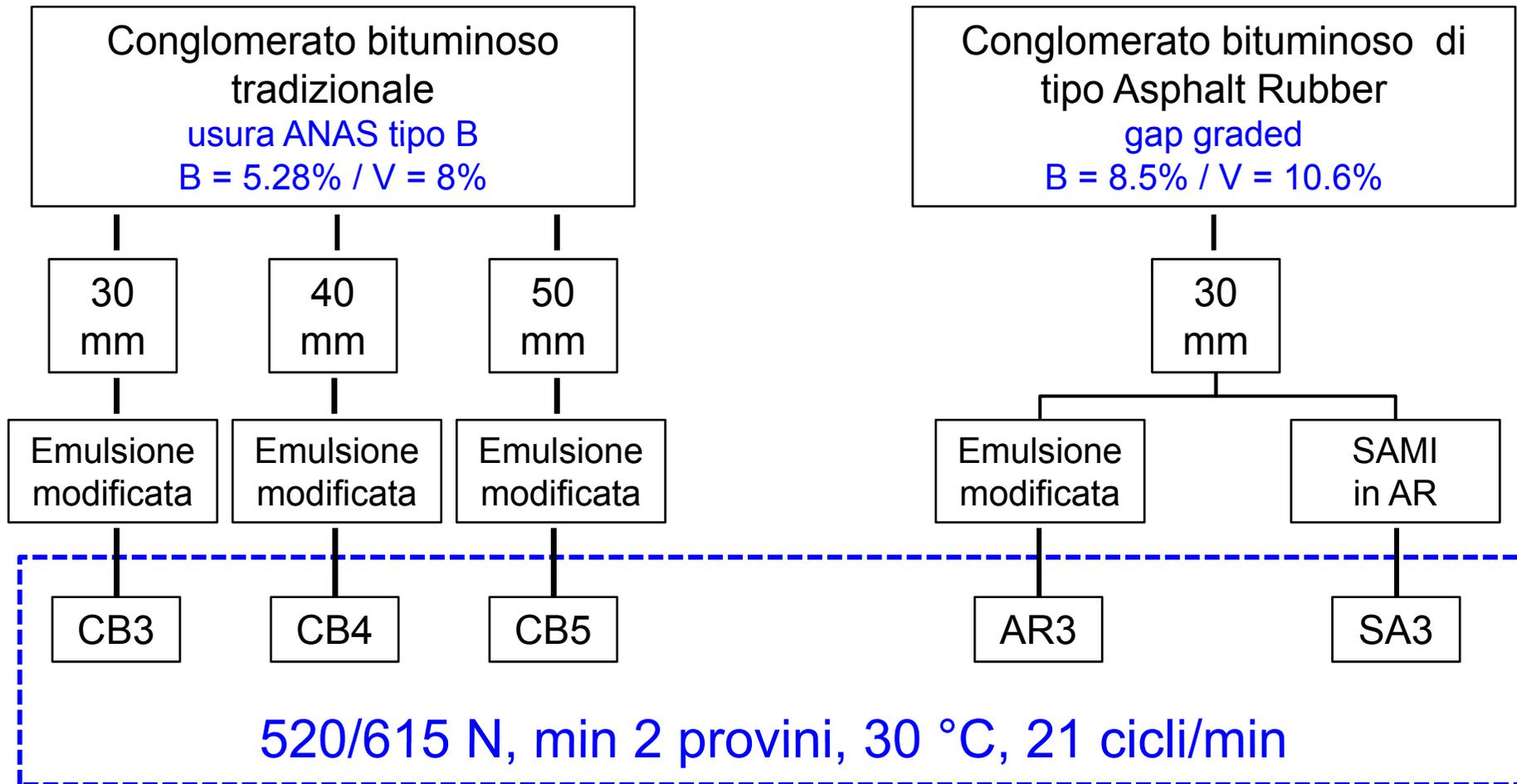
■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Prova Wheel Tracker modificata



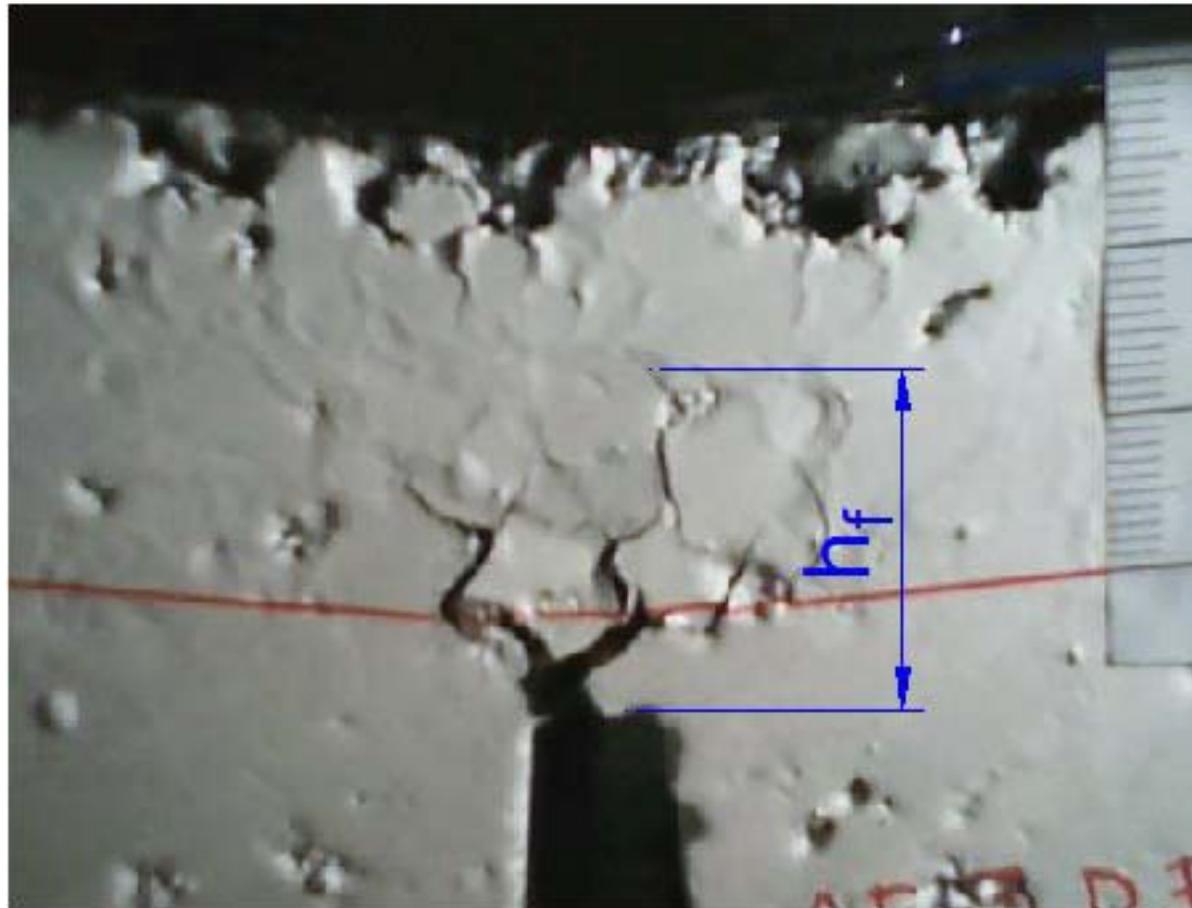
■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Programma Sperimentale



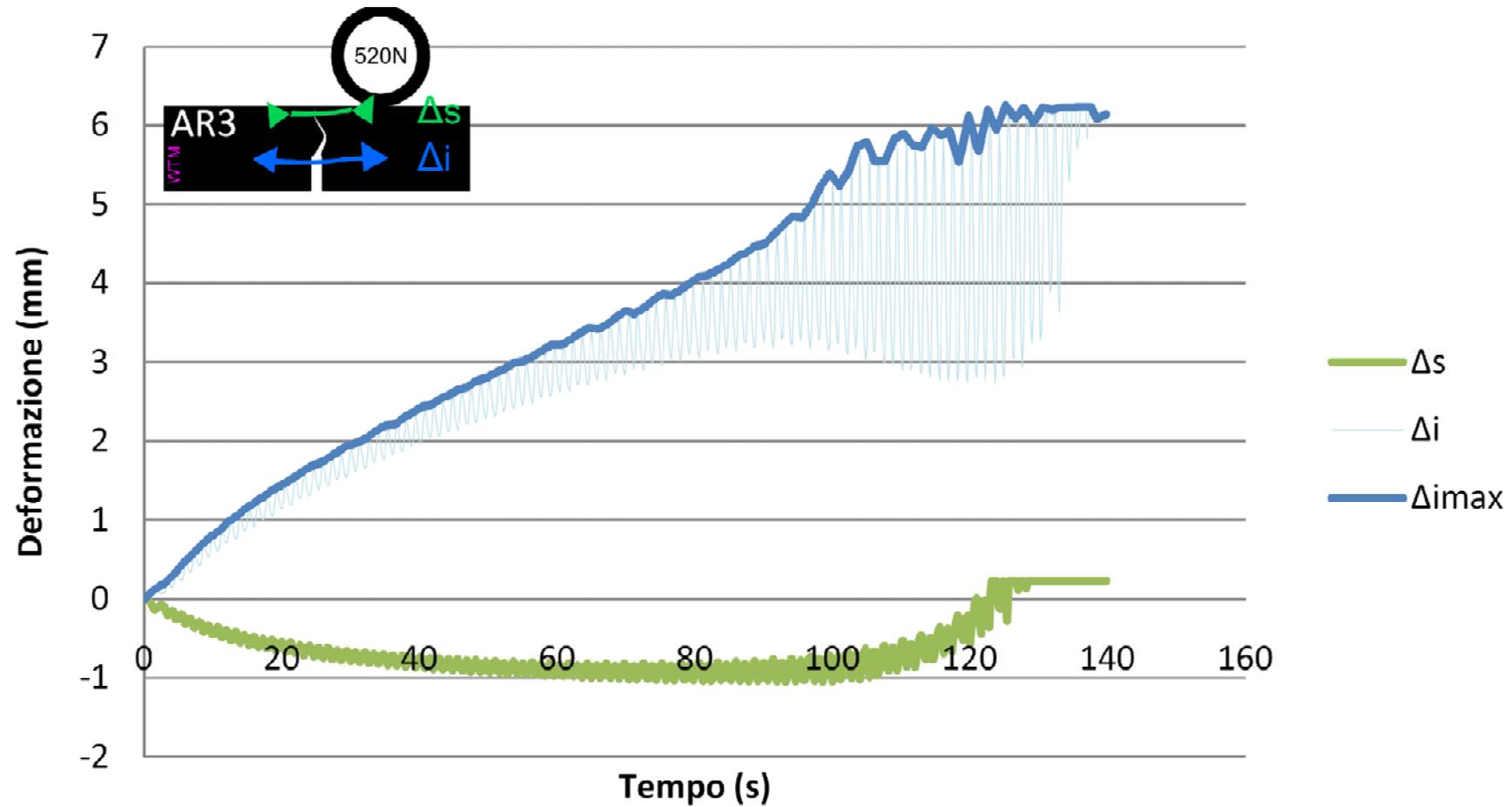
■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Elaborazione Dati – 1



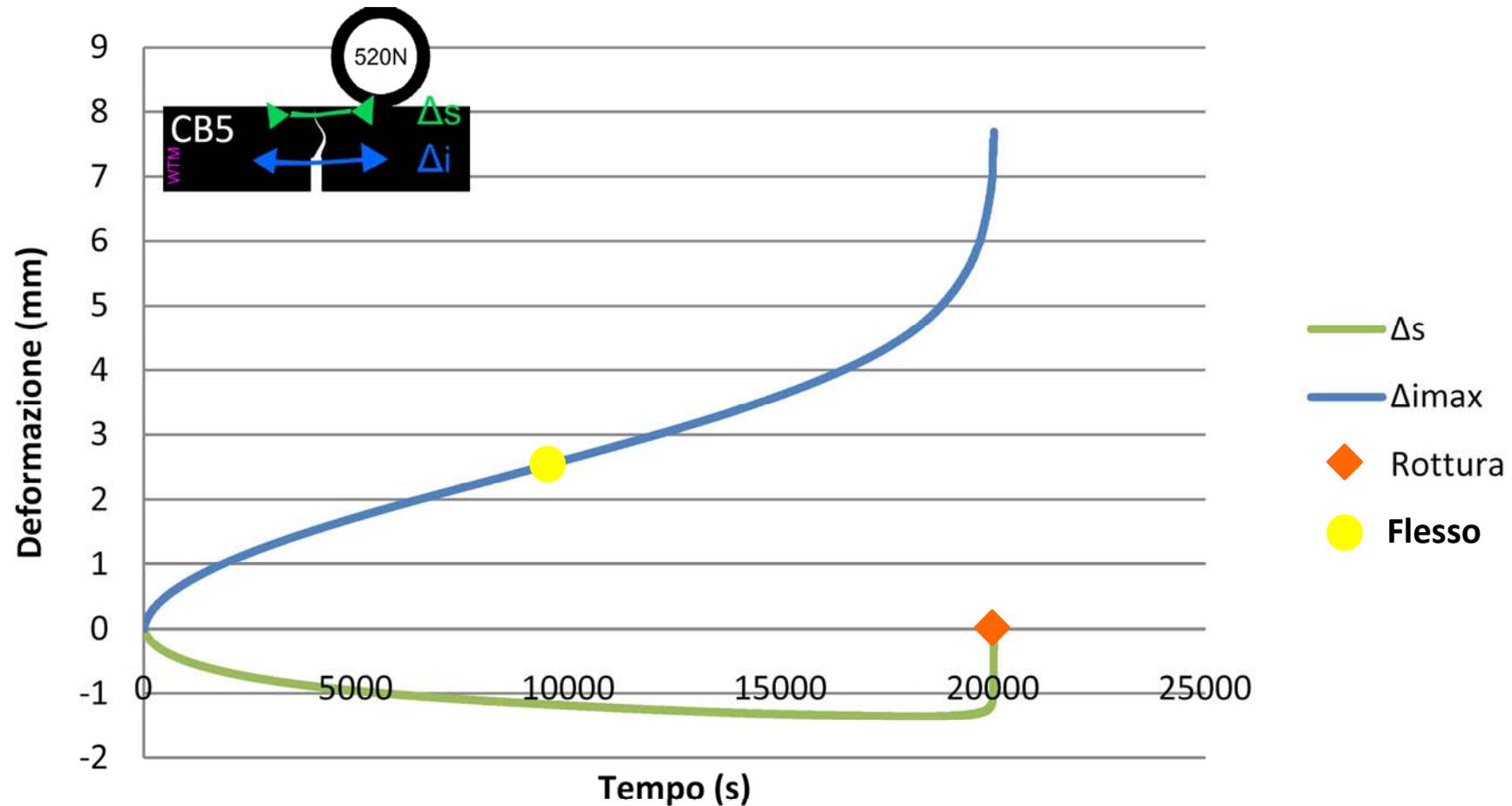
■ Sperimentazione UNIVPM: Reflective Cracking

Elaborazione Dati – 2



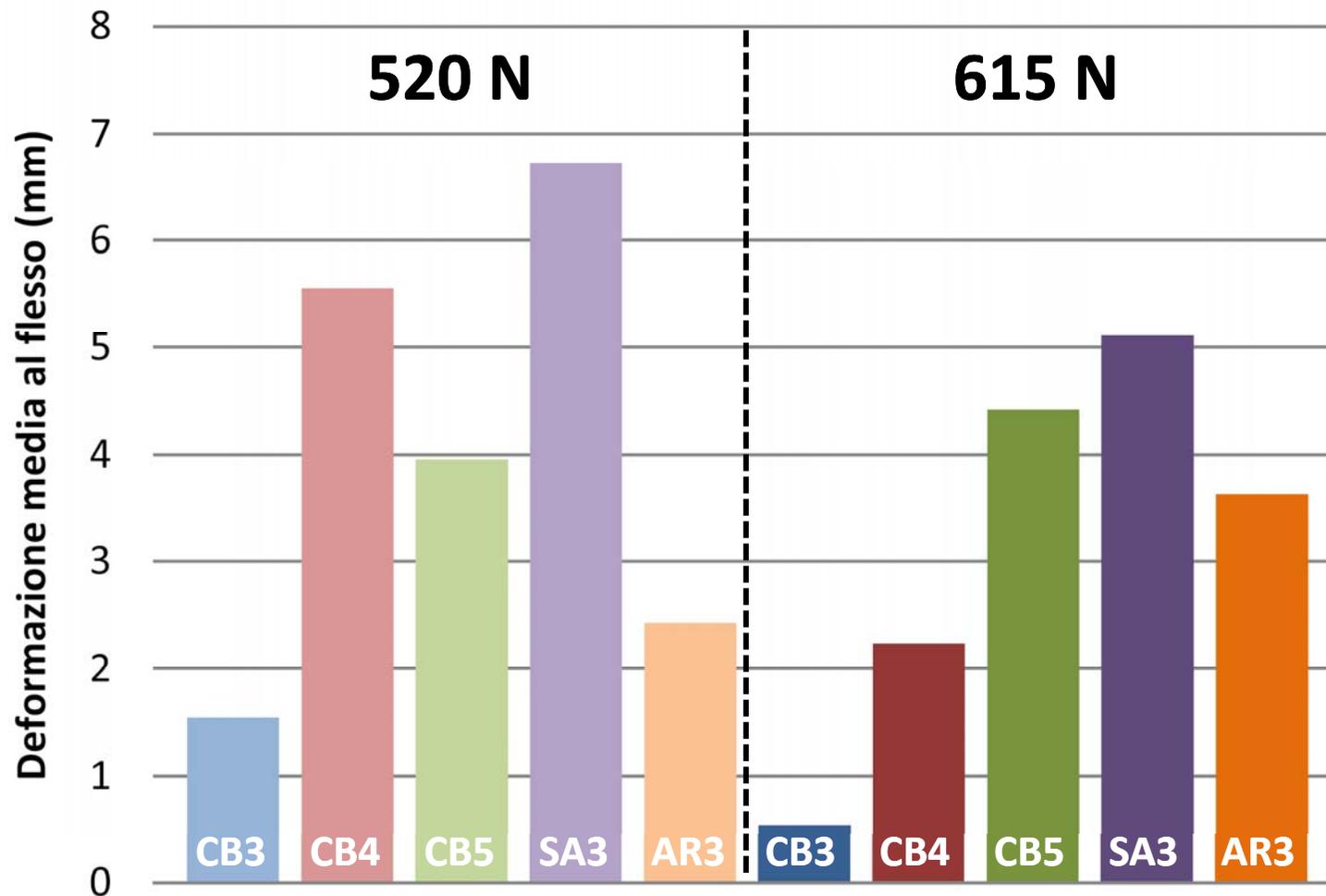
■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Elaborazione Dati – 3



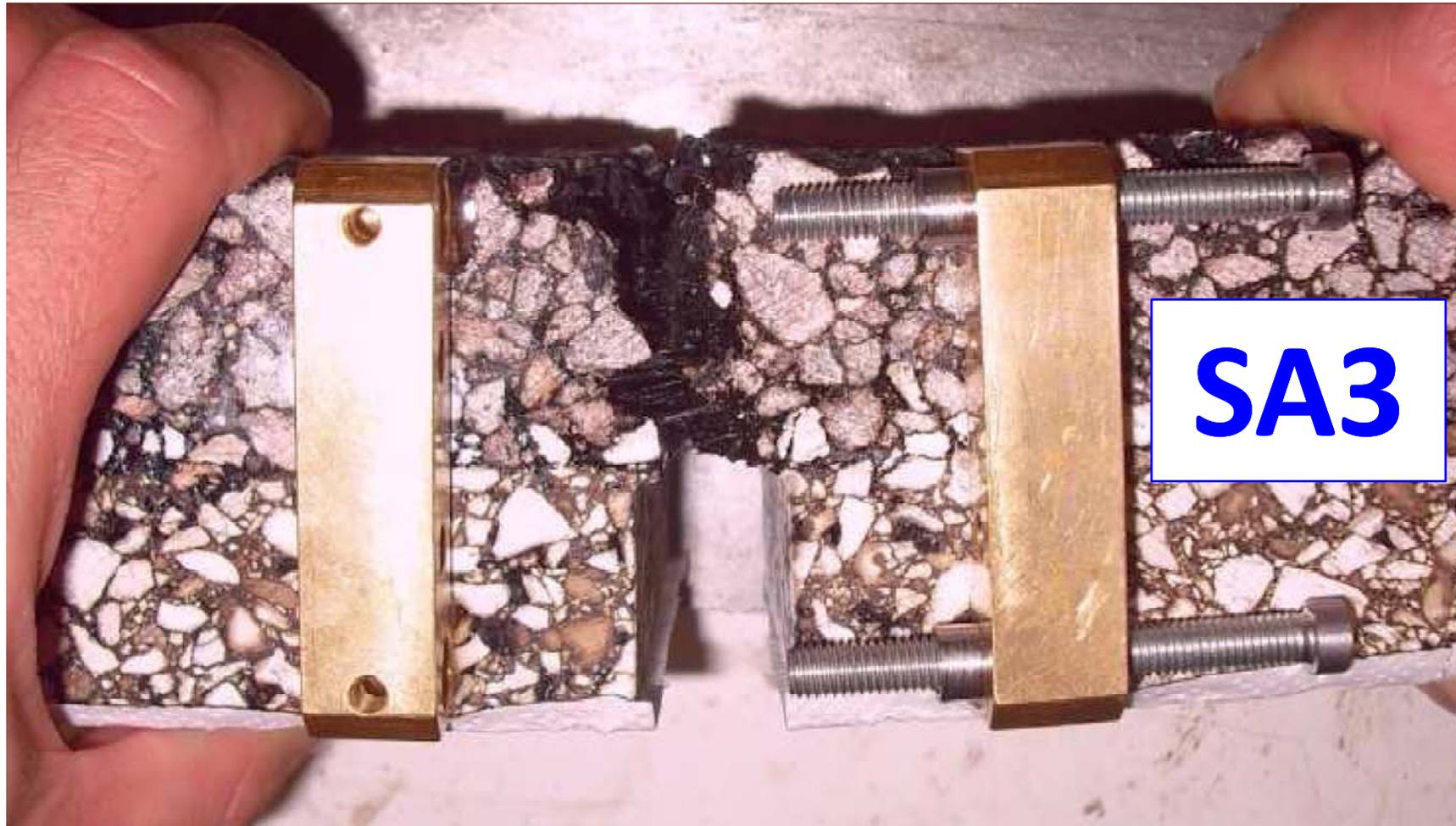
■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Sintesi dei Risultati



■ Sperimentazione UNIVPM: **Reflective Cracking**

Sintesi dei Risultati



■ Riflessioni

In Italia si impiegano annualmente **circa 40 milioni di tonnellate di conglomerato bituminoso**, utilizzando **circa 2 milioni di ton. di bitume**.



Potenzialmente sarebbe possibile smaltire annualmente 400.000 ton di polverino di gomma da PFU corrispondente a **40 milioni di pneumatici**.



■ Pubblicazioni Scientifiche

- i. “Mechanical characterization of asphalt rubber - wet process” – 4th international SIIV Congress, Palermo, Italy, 2007;
- ii. “Asphalt Rubber: primeiros resultados em Itália” – Estrada 2008, V Congresso Rodoviário Português, Estoril, Portugal, 2008;
- iii. “Modified PATTI test for the characterization of adhesion and cohesion properties of asphalt binders” – 6th International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control – MAIREPAV6, Torino, Italy, 2009;
- iv. “Asphalt Rubber: policy disclosure in Italy” – Asphalt Rubber 2009 Conference, Nanjing, China, 2009;
- v. “Analysis of water and thermal sensitivity of open graded AR mixtures” – Construction and Building Materials, 2010, doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.08.041;
- vi. “Acoustic characterization of Asphalt Rubber mixtures in Italy” – 39th International Congress on Noise Control Engineering – Internoise2010, Lisbon, Portugal;
- vii. “Performance evaluation of gap graded Asphalt Rubber mixtures” – Construction and Building Materials, 2011, doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.048;
- viii. “Durability assessment of Asphalt Rubber mixtures” – International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 5(4), 2012.
- ix. “Asphalt Rubber against reflective cracking” – Asphalt Rubber 2012 Conference, Munich, Germany, 2012.



Grazie per l'attenzione