



SIIV

SIIV SUMMER SCHOOL 2011 @ BRESCIA

Centro Paolo VI, Via Gezio Calini, 30 - BRESCIA

5-9 Settembre 2011

*Studio in laboratorio e su stese  
sperimentali di miscele per strati  
di usura con polverino di gomma*

Massimo Losa

*Università di Pisa*

*Dipartimento di Ingegneria Civile*



# SOMMARIO

- Introduzione
- Metodologia di indagine
- Descrizione della sperimentazione
- Analisi dei risultati
- Considerazioni finali

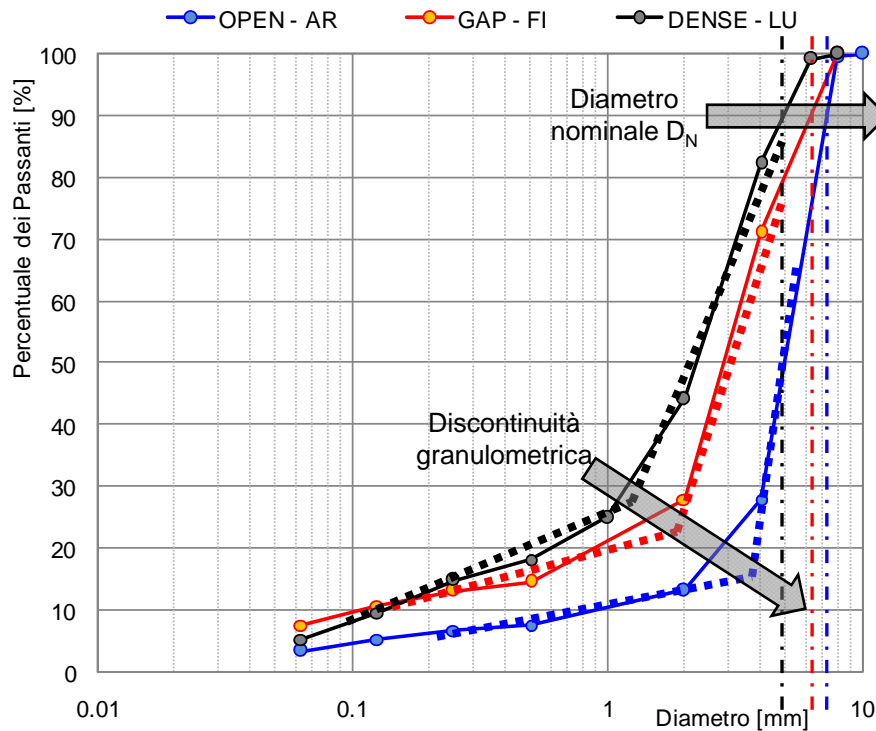


# Introduzione

- Distinzione fra processo “dry” e “wet”
- Miscele per strati di usura ad elevate prestazioni funzionali
- Esiste la possibilità di utilizzare il polverino di gomma in queste miscele?
- Quali sono le prestazioni delle miscele confezionate con i due processi?



# Le miscele per strati di usura ad elevate prestazioni funzionali



**RIDUZIONE EMISSIONI DI RUMORE**

Rumore da VIBRAZIONI

Radiali  
Tangenziali

Rumore da AIR-PUMPING

Air-pumping

OTTIMIZZAZIONE DELLA TESSITURA →

OTTIMIZZAZIONE DELLA POROSITÀ →

Riduzione diametro nominale  $D_N$   
 $D_{N-AR}=7\text{mm}$   $D_{N-FI}=6\text{mm}$   
 $D_{N-LU}=5\text{mm}$

Discontinuità curva granulometrica

**INCREMENTO LIVELLI DI ADERENZA**

OTTIMIZZAZIONE MACROTESSITURA → Discontinuità curva granulometrica

OTTIMIZZAZIONE MICROTESSITURA → Impiego aggregati basaltici

**INCREMENTO PRESTAZIONI MECCANICHE**

ELEVATE PRESTAZIONI MECCANICHE → Impiego BITUMI MODIFICATI

Impiego aggregati basaltici

Percentuale bitume [%]	OPEN-AR	GAP-FI	DENSE-LU
	4.2	6.8	5.0



# Metodologia di indagine

## 1. CARATTERIZZAZIONE IN LABORATORIO

- Caratteristiche compositive : granulometria, percentuale e tipo di legante
- Caratteristiche volumetriche
- Trazioni indirette e sensibilità all'acqua *UNI EN 12697-23 e 12*
- Caratteristiche di rigidezza *UNI EN 12697-26 Annesso C*
- Resistenza alla fatica *UNI EN 12697-24 Appendice E*

## 2. CARATTERIZZAZIONE PRESTAZIONALE NEL TEMPO DELLE STESE SPERIMENTALI

- Aderenza
- Macrotessitura
- Rumore da rotolamento
- Assorbimento acustico



# Caratteristiche di rigidezza

## RIGIDEZZA

UNI EN 12697-26 Annesso C



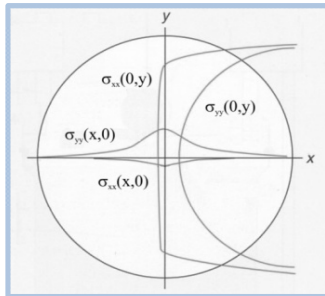
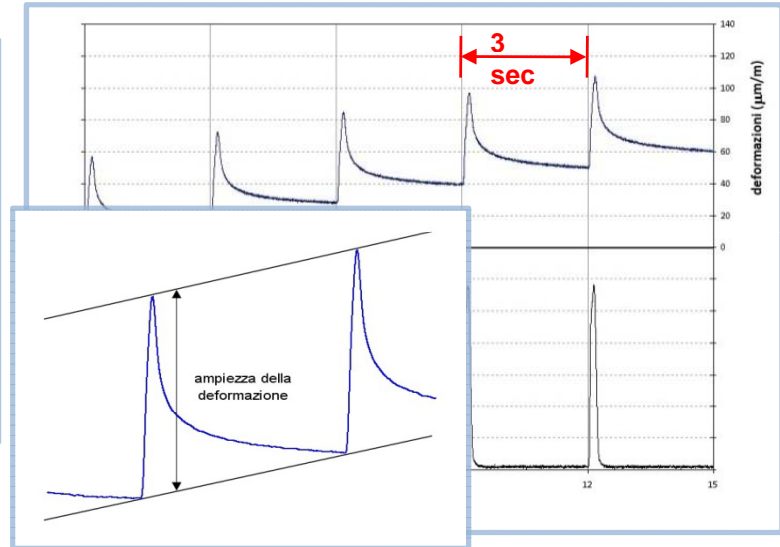
UTM



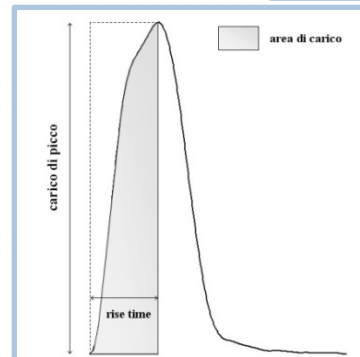
Estensometri



Camera climatica



$$S_{mix} = \frac{P \cdot (\nu + 0,27)}{\Delta U \cdot L}$$



### CONDIZIONI di PROVA

3 diversi rise time:

- ✓ 75 ms (2.8 Hz)
- ✓ 125 ms (1.8 Hz)
- ✓ 200 ms (1.1 Hz)

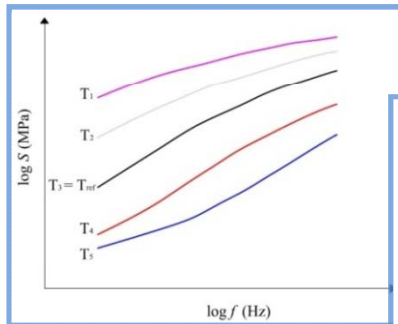
5 diverse temperature di prova:

- ✓ 2 °C
- ✓ 10 °C
- ✓ 20 °C
- ✓ 30 °C
- ✓ 40 °C

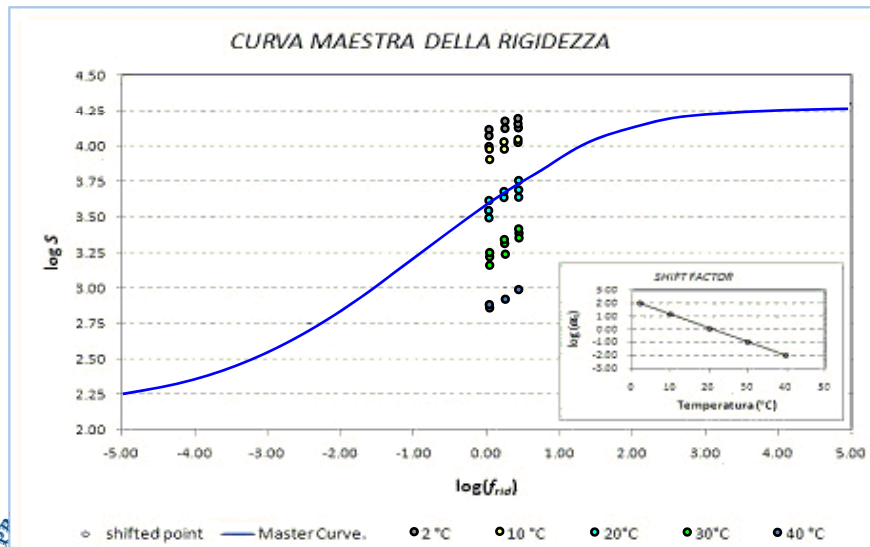
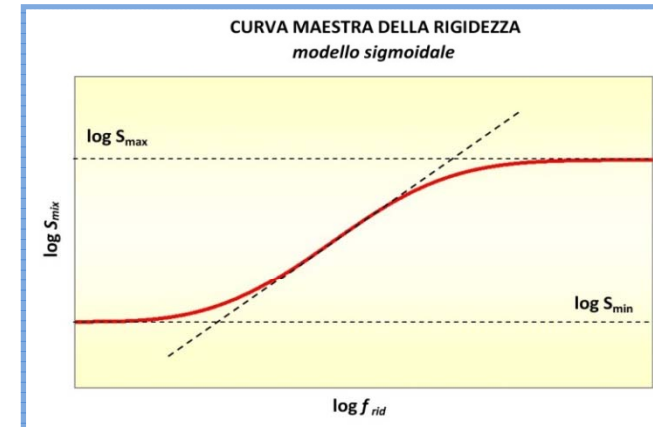
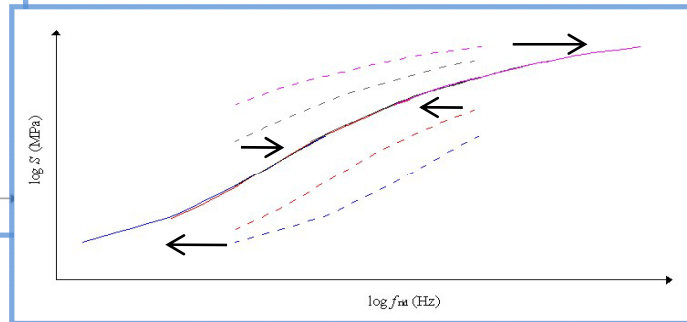
$$S'_{mix} = S_{mix} \cdot [1 - 0,322 \cdot (\log S_{mix} - 1,82) \cdot (0,60 - k)]$$



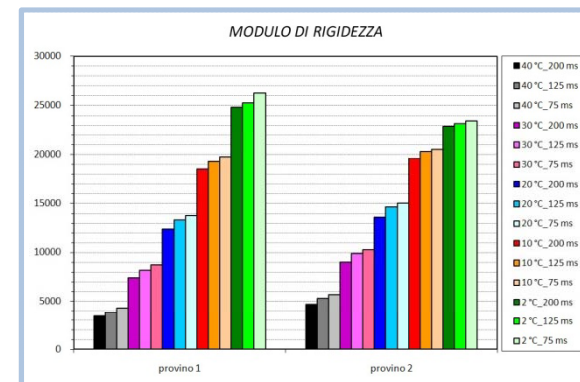
# Curva maestra della rigidezza



PRINCIPIO di SOVRAPPOSIZIONE TEMPO-TEMPERATURA



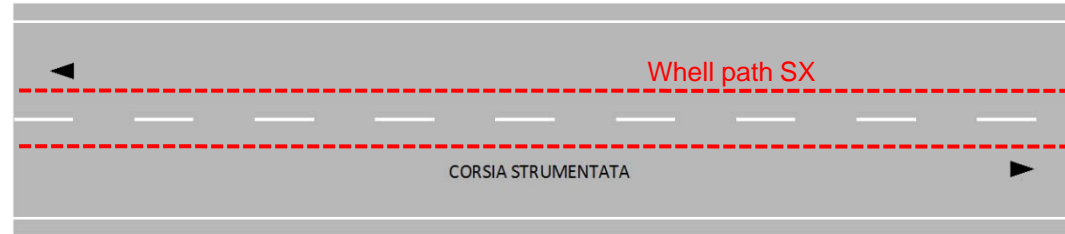
$$\log S_{mix} = \log S_{min} + (\log S_{max} - \log S_{min}) \cdot \left[ 1 + e^{-\left(\frac{10 + \log f_{rid}}{\beta}\right)^\gamma} \right]$$





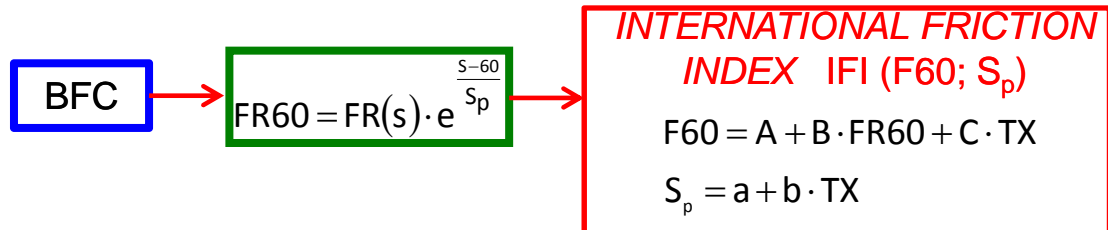
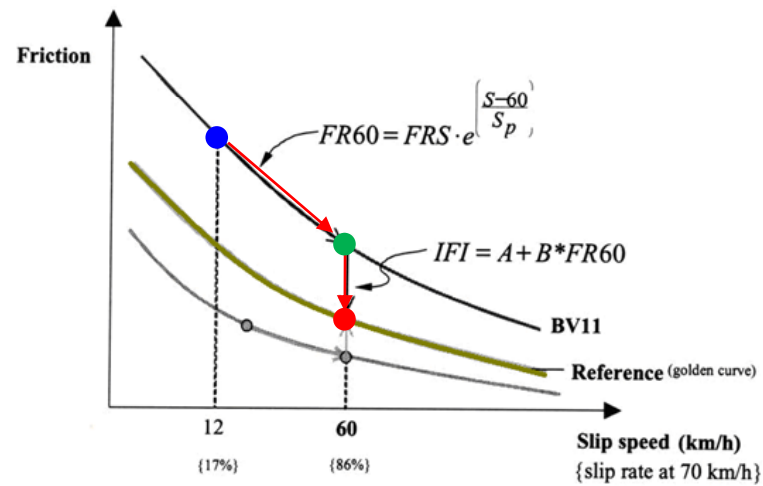
# Aderenza

SKIDDOMETER BV11



**BFC – BRAKING FORCE COEFFICIENT**

V = 20 ÷ 50 km/h  
Scorrimento = 17%





# Macrotestitura

## PROFILOMETRO MOBILE

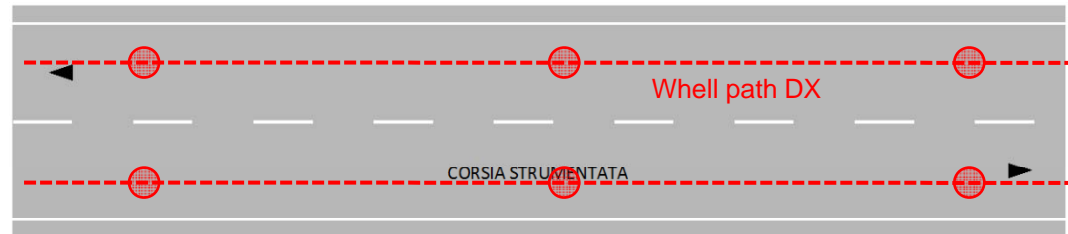


- Rilievo in continuo della tessitura
- $\Delta x = 1 \text{ mm}$
- $V = 15 \text{ km/h}$

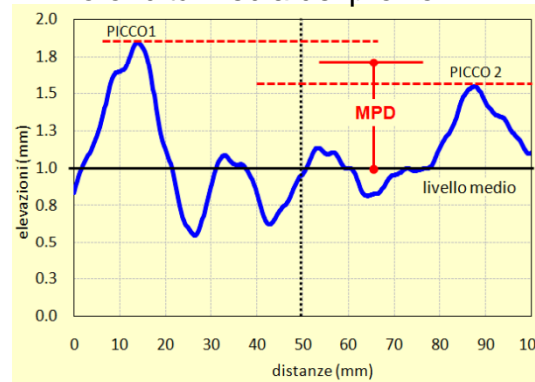
## PROFILOMETRO STATICO



- Rilievo della tessitura in tre direzioni  $\Delta x = 0.1 \text{ mm}$

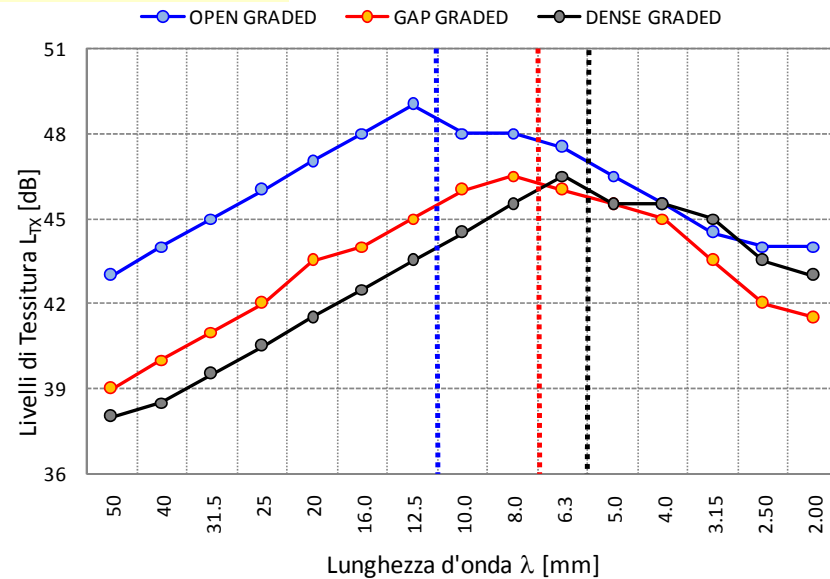


## Profondità media del profilo MPD



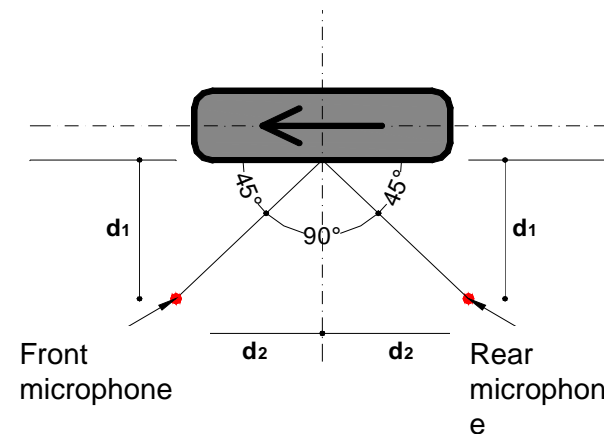
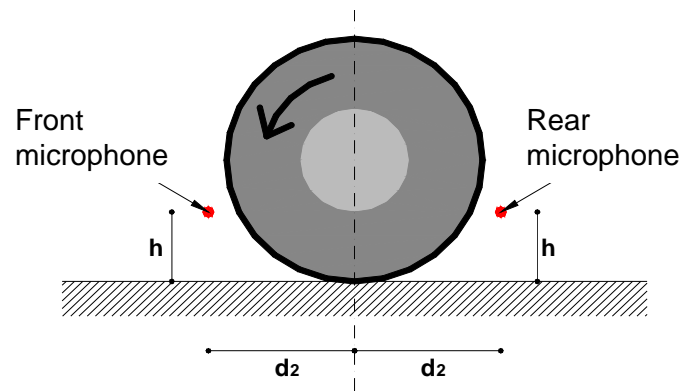
UNI EN ISO 13473-1

$$MTD = 0.8 \cdot MPD + 0.2 \text{ mm}$$



# Misura del rumore di rotolamento

- Close Proximity Method CPX (ISO CD 11819-2)
  - Il livello del rumore di rotolamento  $L_{TR}$  è ottenuto come media dei livelli di pressione sonora  $L_F$  and  $L_R$  per ogni giro ruota (1.92 m)
  - Velocità di riferimento: 50-80-110 km/h;
  - Pneumatici di riferimento (A,B,C e D)
  - Close Proximity Sound Index per veicoli leggeri  
 $CPXL = L_{TRA} + 1,00 \text{ dB(A)}$



# Descrizione della sperimentazione

- 1° fase di mix design e caratterizzazione meccanica in laboratorio
- 2° fase – realizzazione delle stese sperimentali
- 3° fase – caratterizzazione e monitoraggio in sito delle prestazioni



# Caratteristiche degli aggregati

Dry Process				
	Basalt 3/6	Sand	SBR/NR	Mineral Filler
Bulk Specific Gravity (kg/m <sup>3</sup> )	2653	2625	1141	2650
Apparent Specific Gravity (kg/m <sup>3</sup> )	2759	2696	1141	2650
Water Absorption (%)	1.45	1.01	0,962	0

Wet Process				
	Basalt 4/6	Sand		Mineral Filler
Bulk Specific Gravity (kg/m <sup>3</sup> )	2753	2629		2650
Apparent Specific Gravity (kg/m <sup>3</sup> )	2863	2690		2650
Water Absorption (%)	1.39	0.86		0



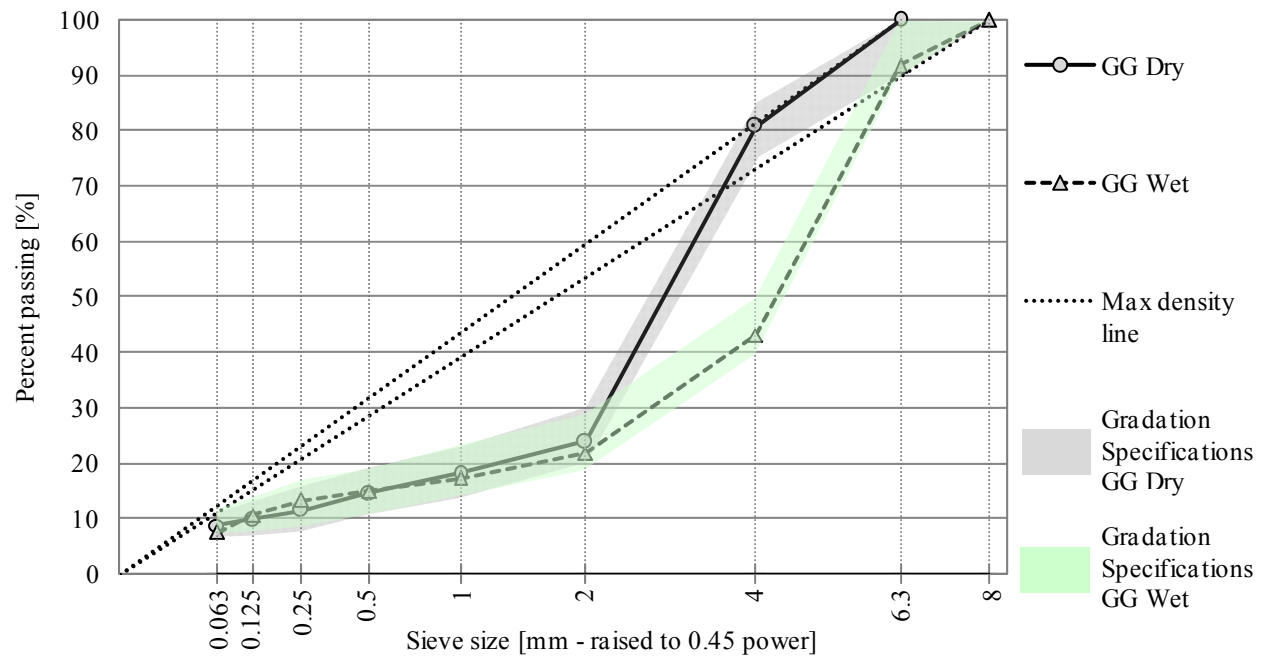
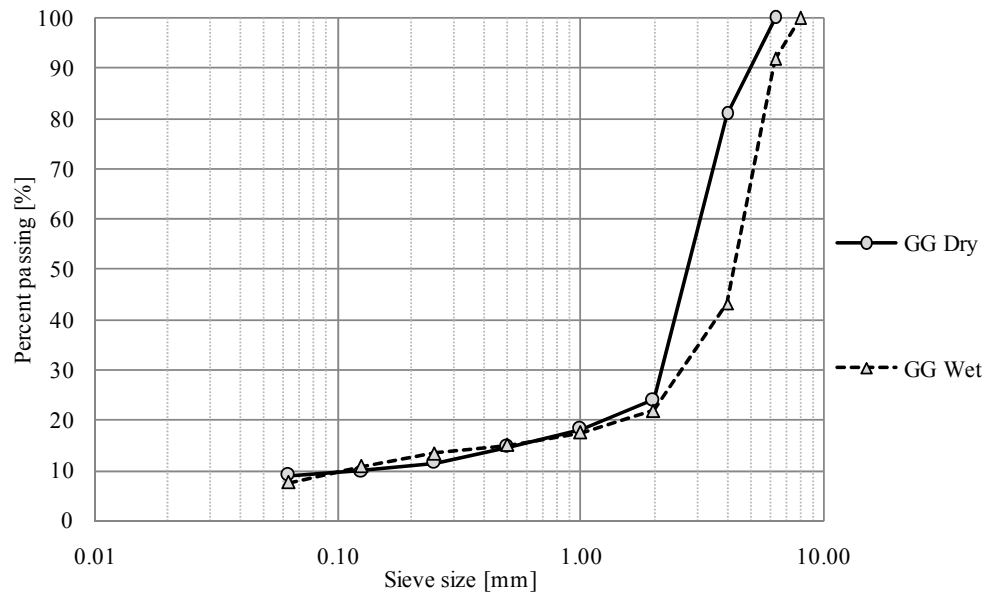
# Composizione volumetrica

Dry Process				
	Basalt 3/6	Sand	CRM	Mineral Filler
Proportions by Volume (%)	72.4	17.1	4.5	6.0
Proportions by Weight (%)	74.4	17.5	2.0	6.1

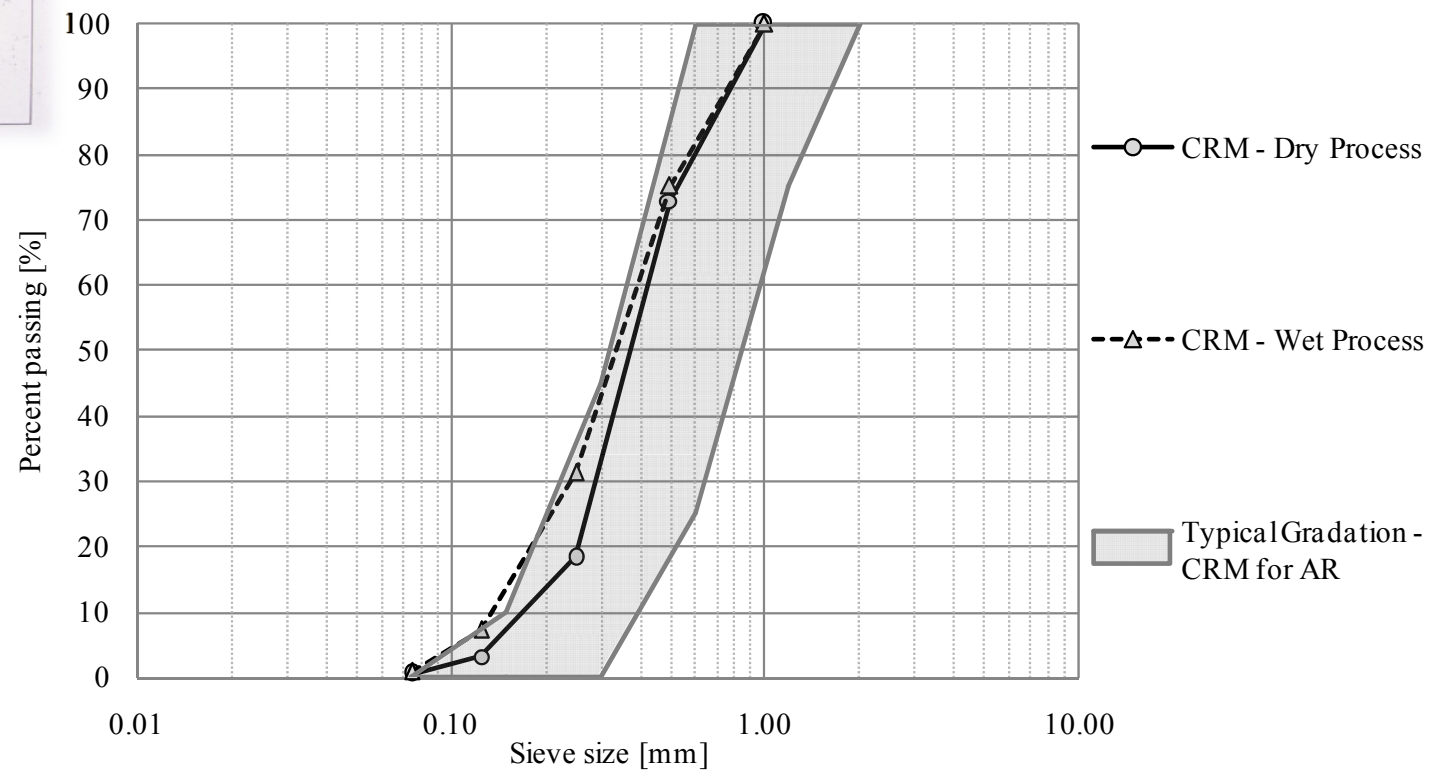
Wet Process				
	Basalt 4/6	Sand		Mineral Filler
Proportions by Volume (%)	74.8	14.0		11.2
Proportions by Weight (%)	75.6	13.5		10.9



# Composizione granulometrica

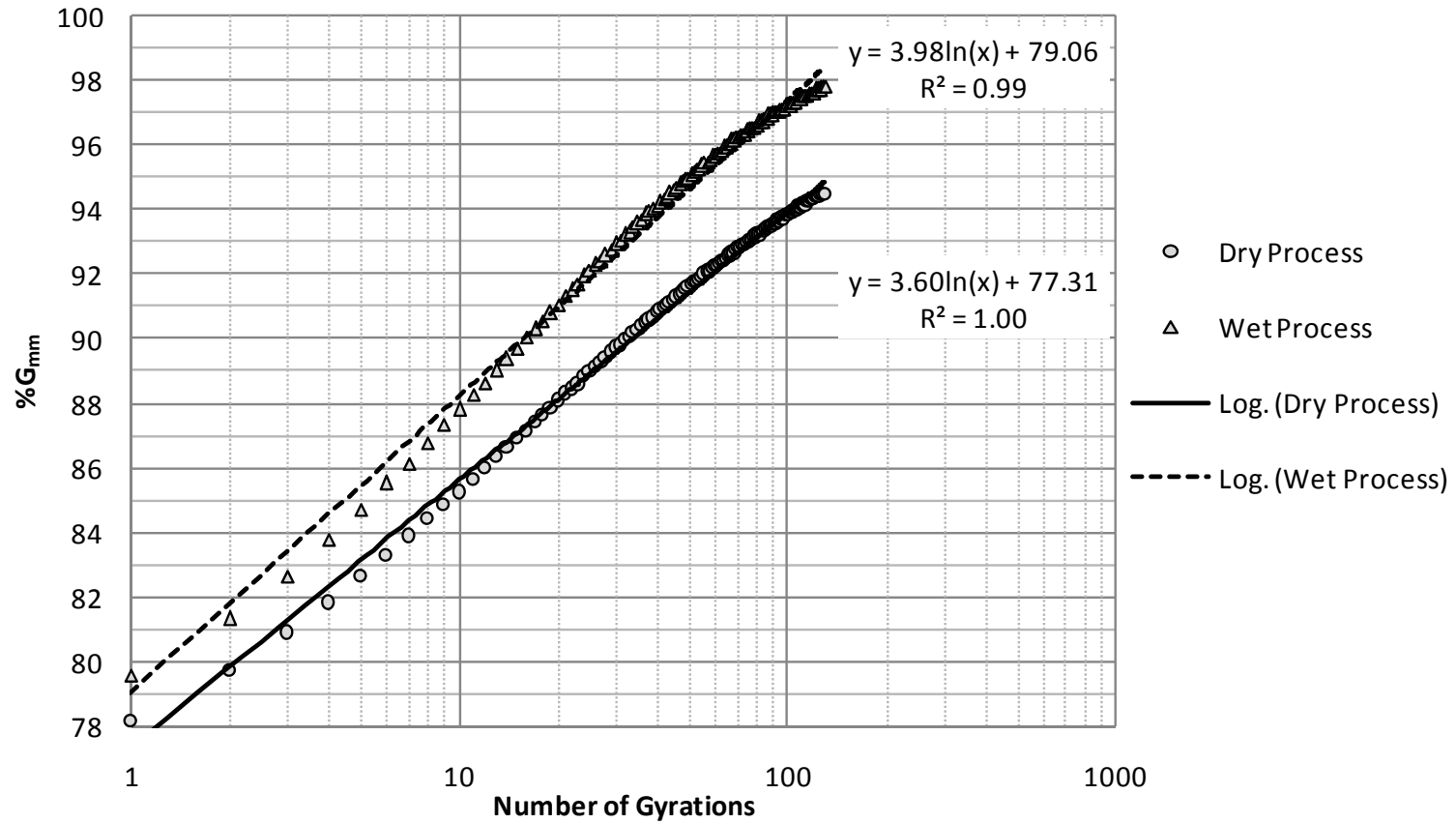


# Granulometria del polverino di gomma





# Curve di addensamento



# Caratteristiche volumetriche

Volumetric Properties – Gap graded asphalt mixture by the dry process (GGD)								
	Number of gyrations	V <sub>A</sub> (%)	VMA (%)	VFA (%)	G <sub>mb</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	G <sub>mm</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>G</sub> (%)	V <sub>B</sub> (%)
AC=7.5 %	N <sub>initial</sub> =10	17.05	29.69	42.56	1947	2347	70.31	12.63
	N <sub>design</sub> =50	10.73	24.33	55.89	2095	2347	75.67	13.60
	N <sub>max</sub> =130	7.87	21.90	64.07	2162	2347	78.10	14.03
AC=8.0 %	N <sub>initial</sub> =10	16.08	29.62	45.70	1958	2333	70.38	13.53
	N <sub>design</sub> =50	9.71	24.27	59.99	2106	2333	75.73	14.56
	N <sub>max</sub> =130	6.82	21.85	68.78	2174	2333	78.15	15.03
AC=8.5 %	N <sub>initial</sub> =10	15.27	29.68	48.55	1965	2319	70.32	14.41
	N <sub>design</sub> =50	8.92	24.41	63.45	2112	2319	75.59	15.49
	N <sub>max</sub> =130	6.06	22.04	72.50	2178	2319	77.96	15.98
AC=9.0 %	N <sub>initial</sub> =10	<b>14.75</b>	29.99	50.79	1965	2305	70.01	15.23
	N <sub>design</sub> =50	<b>8.39</b>	24.76	66.10	2112	2305	75.24	16.37
	N <sub>max</sub> =130	<b>5.51</b>	22.39	75.38	2178	2305	77.61	16.88

Volumetric Properties – Gap graded asphalt mixture by the wet process (GGW)								
	Number of gyrations	V <sub>A</sub> (%)	VMA (%)	VFA (%)	G <sub>mb</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	G <sub>mm</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	V <sub>G</sub> (%)	V <sub>B</sub> (%)
AC=7.5 %	N <sub>initial</sub> =10	14.00	25.98	46.13	2191	2547	74.02	11.98
	N <sub>design</sub> =50	6.81	19.79	65.60	2374	2547	80.21	12.99
	N <sub>max</sub> =130	3.95	17.33	77.21	2446	2547	82.67	13.38
AC=8.0 %	N <sub>initial</sub> =10	13.01	26.30	50.51	2191	2519	73.70	13.28
	N <sub>design</sub> =50	5.85	20.22	71.09	2372	2519	79.78	14.38
	N <sub>max</sub> =130	3.02	17.83	83.06	2443	2519	82.17	14.81
AC=8.5 %	N <sub>initial</sub> =10	<b>12.19</b>	26.44	53.90	2197	2502	73.56	14.25
	N <sub>design</sub> =50	<b>5.01</b>	20.43	75.47	2377	2502	79.57	15.42
	N <sub>max</sub> =130	<b>2.17</b>	18.05	87.96	2448	2502	81.95	15.88
AC=9.0 %	N <sub>initial</sub> =10	11.70	26.86	56.43	2195	2486	73.14	15.16
	N <sub>design</sub> =50	4.54	20.92	78.31	2373	2486	79.08	16.39
	N <sub>max</sub> =130	1.71	18.58	90.80	2443	2486	81.42	16.87



# Struttura interna delle miscele addensate



Gap graded asphalt mixture by the dry process (GGD)



Gap graded asphalt mixture by the wet process (GGW)

# Caratteristiche del bitume

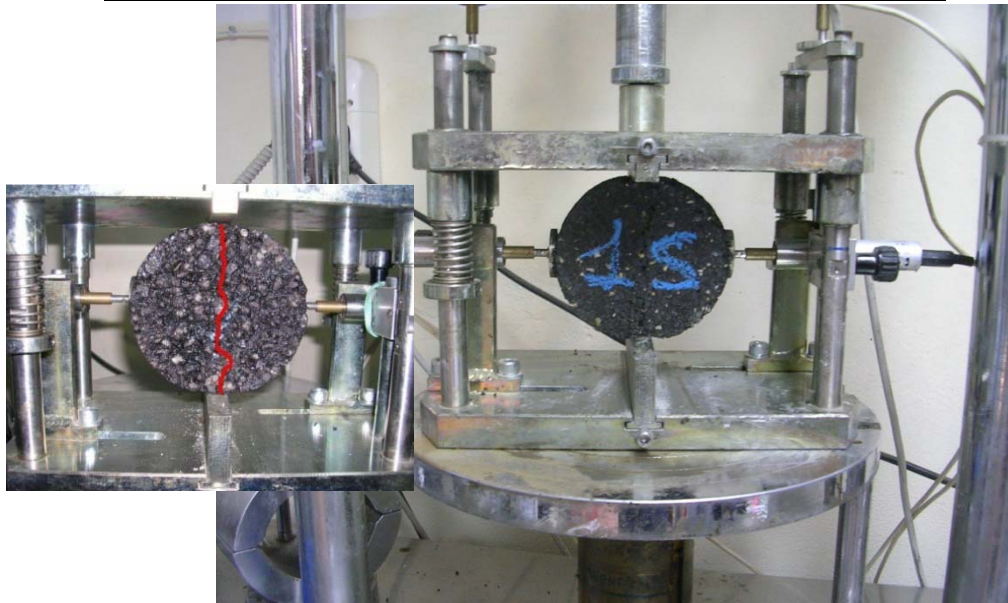
	Unit	Asphalt Rubber – GGW	Modified Asphalt binder - GGD	Reference
Penetration at 25 °C	dmm	50 – 70	50 – 70	UNI EN 1426
Softening point, Ring & Ball	°C	46 – 56	≥ 70	UNI EN 1427
Fraass breaking point	°C	≤ -8	≤ -15	UNI EN 12593
Dynamic viscosity at 160 °C	Pa·s	≥ 0.15	≥ 0.4	UNI EN 13702-2
Elastic recovery at 25 °C	%	-	≥ 75	UNI EN 13398
Storage stability at 180 °C for 3 days	°C	-	≤ 3	UNI EN 13399
Specific gravity at 25 °C	g/cm <sup>3</sup>	1.00 – 1.10	1.00 – 1.10	EN ISO 3838
<i>Resistance to hardening RTFOT (163 °C)</i>				
Loss in mass	%	≤ 0.5	≤ 0.8	UNI EN 12607-1
Retained penetration at 25 °C	%	≥ 50	≥ 60	UNI EN 1426
Increase in softening point	°C	≤ 9	≤ 5	UNI EN 1427



# Resistenza a trazione indiretta e sensibilità all'acqua

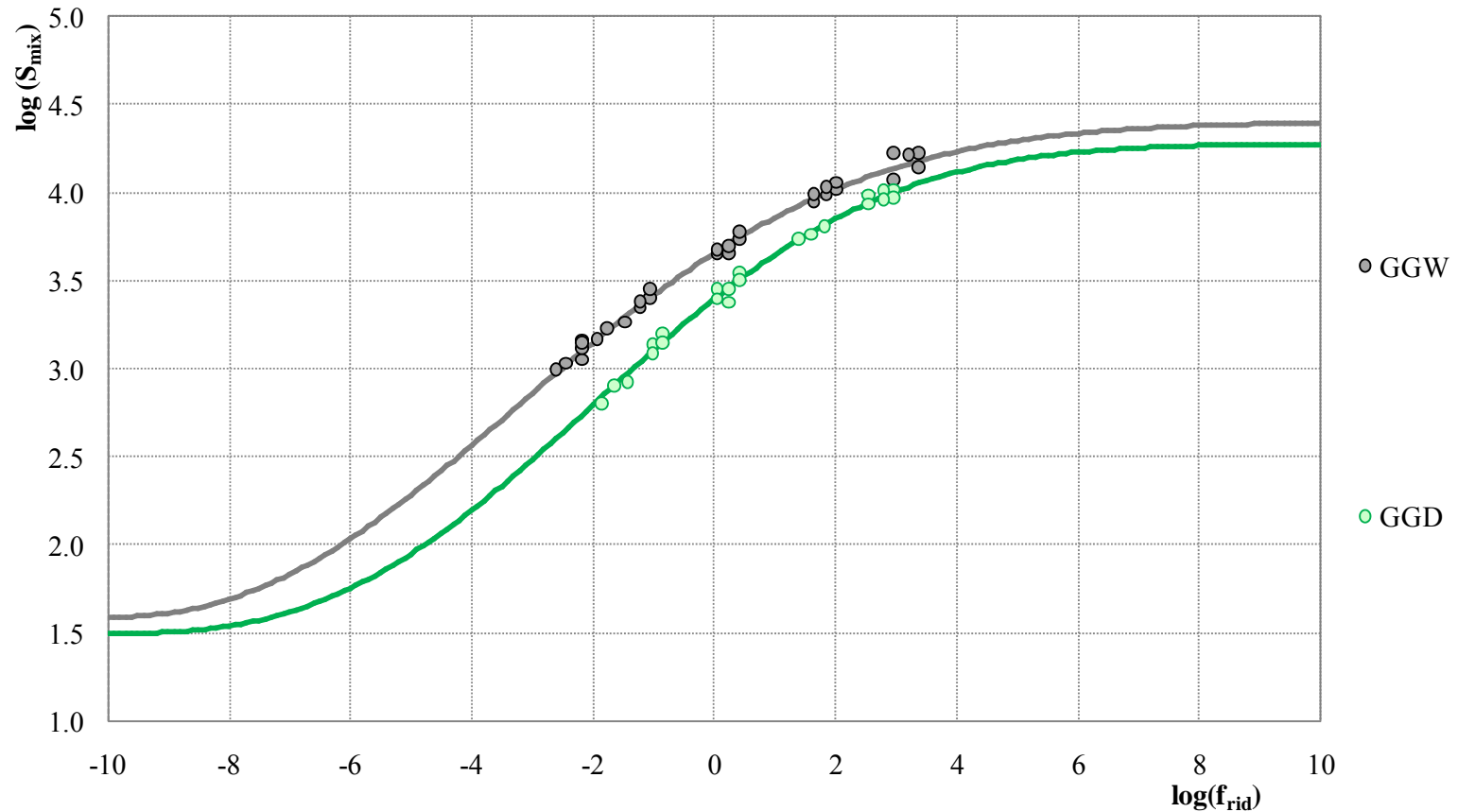
AS - Dry Process					
Sample	ITS <sub>d</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	CTI <sub>d</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITS <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	CTI <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITSR [%]
1	0,70	50,9	0,62	30,4	
2	0,70	42,8	0,73	44,5	
3	0,78	62,1	0,69	39,0	
Mean	<b>0,73</b>	<b>51,9</b>	<b>0,68</b>	<b>37,9</b>	<b>93,6</b>
Dev. St.	0,05	9,70	0,06	7,11	
CoV	6,4	18,7	8,2	18,7	

AS - Wet Process					
Sample	ITS <sub>d</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	CTI <sub>d</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITS <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	CTI <sub>w</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	ITSR [%]
1	0,80	63,9	0,76	46,2	
2	0,81	72,5	0,72	48,8	
3	0,74	60,8	0,73	46,7	
Mean	<b>0,78</b>	<b>65,7</b>	<b>0,74</b>	<b>47,3</b>	<b>94,0</b>
Dev. St.	0,04	6,07	0,02	1,39	
CoV	4,8	9,2	2,8	2,9	





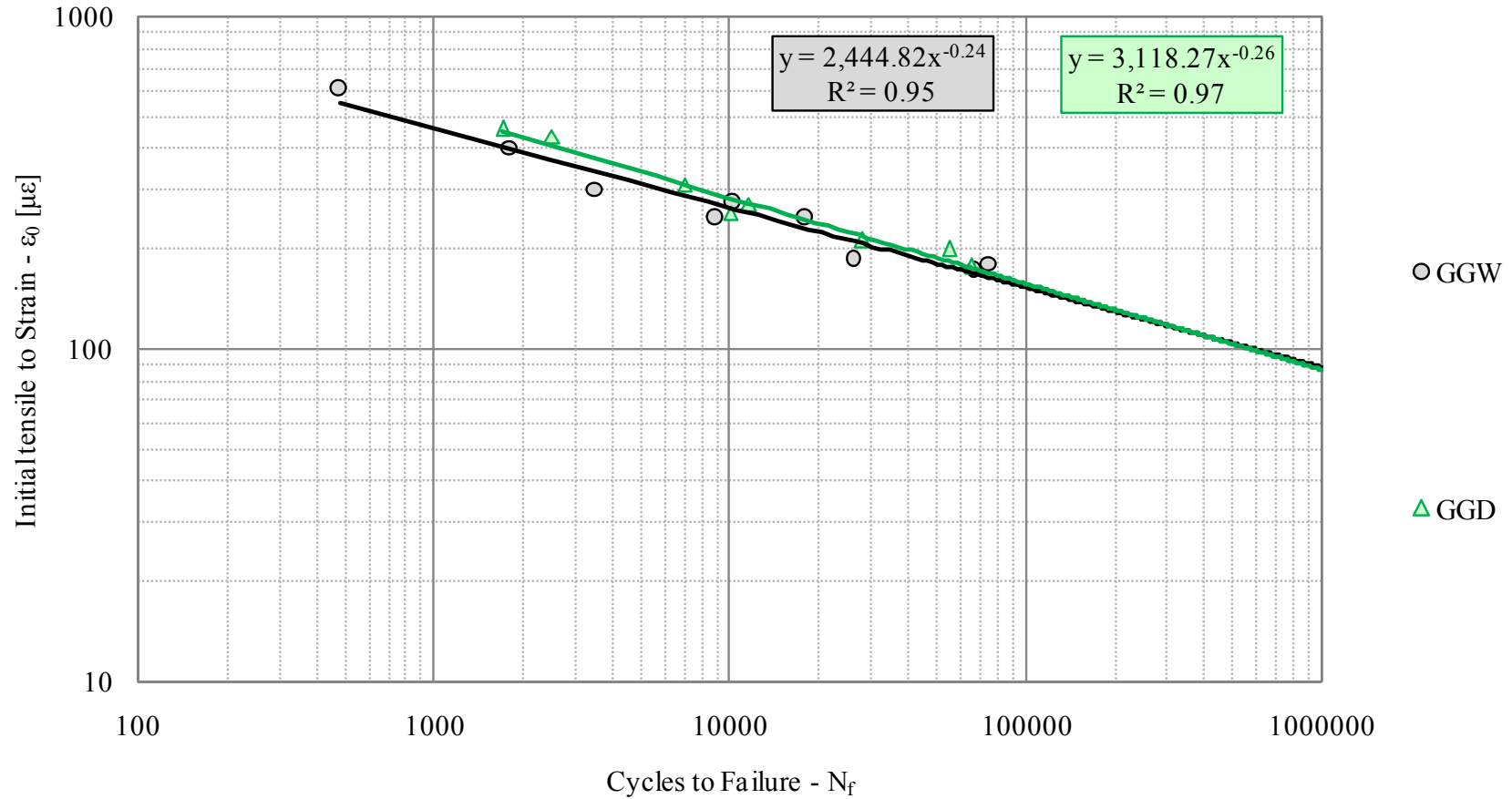
# Caratteristiche di rigidità



Temperature (°C)	0			10			20		
Frequency (Hz)	1	2	10	1	2	10	1	2	10
$M_R$ for GGD (MPa)	9637	10558	12594	5341	6152	8202	2482	2987	4434
$M_R$ for GGW (MPa)	14876	15851	17944	9076	10082	12483	4541	5270	7212



# Resistenza alla fatica



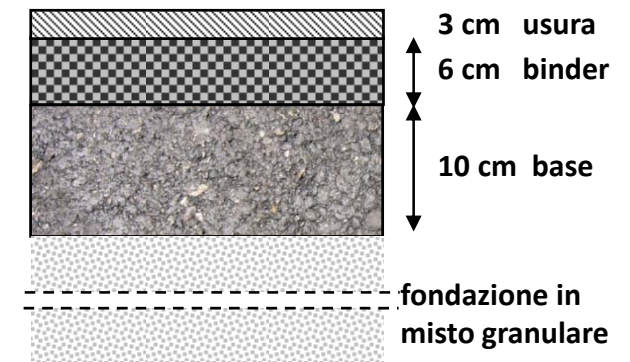


# Stesa sperimentale AR

CARATTERISTICHE DEI SITI : Composizione della sovrastruttura

## Sito di PISTOIA

Localizzazione: SRT 66 Pistoiese dal km 53+908 al km 54+046



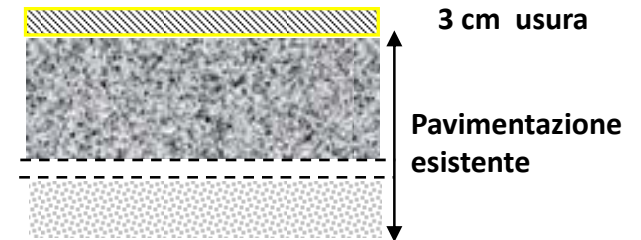
STRATO	MATERIALE
USURA	conglomerato bituminoso gap graded tipo Asphalt Rubber®
BINDER	conglomerato bituminoso gap graded tipo Asphalt Rubber®
BASE	conglomerato bituminoso tradizionale a caldo

# Stesa sperimentale “Dry”

CARATTERISTICHE DEI SITI : Composizione della sovrastruttura

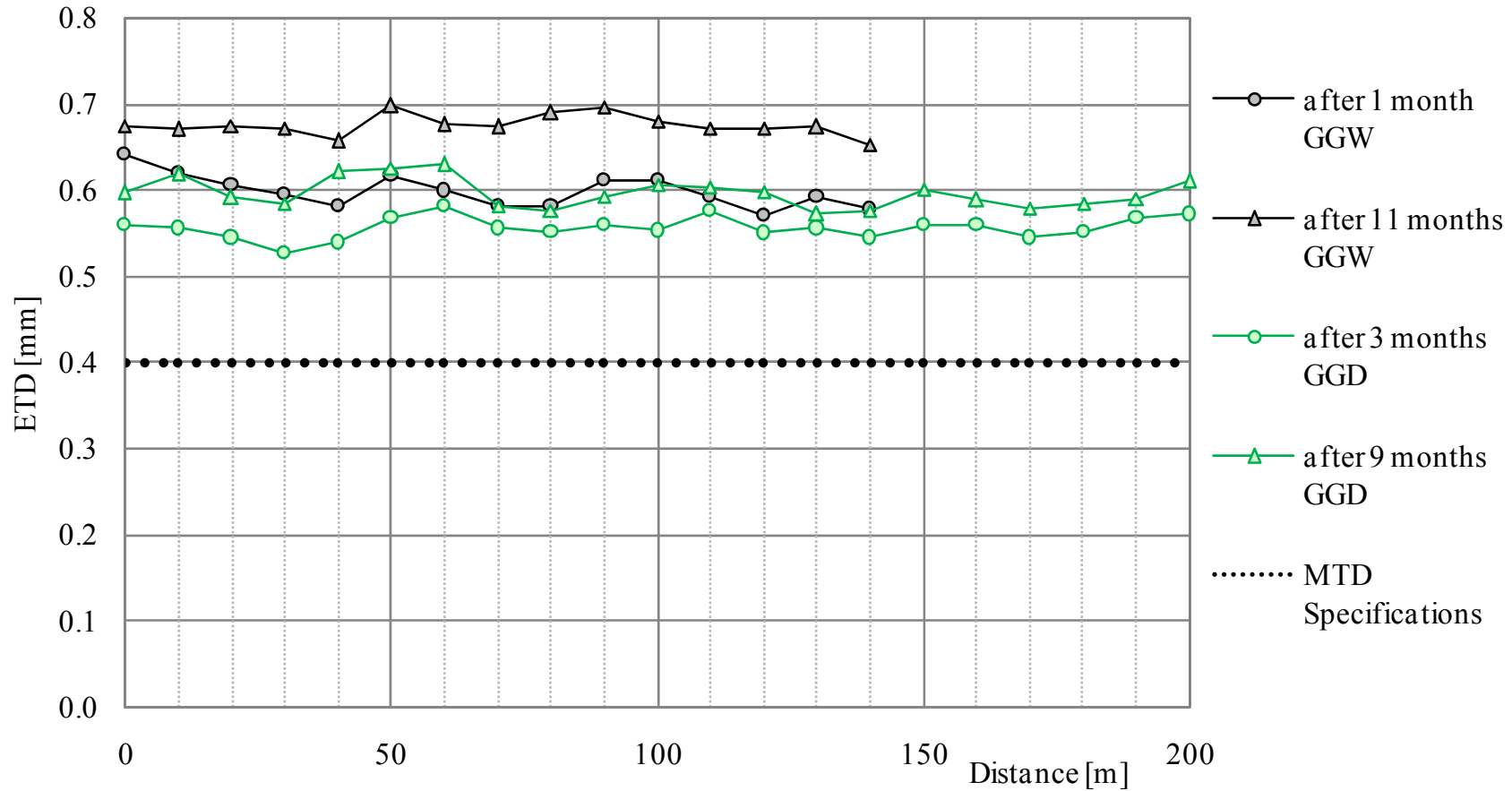
## SIGNA

Localizzazione: Ambito urbano Comune di Signa (FI)

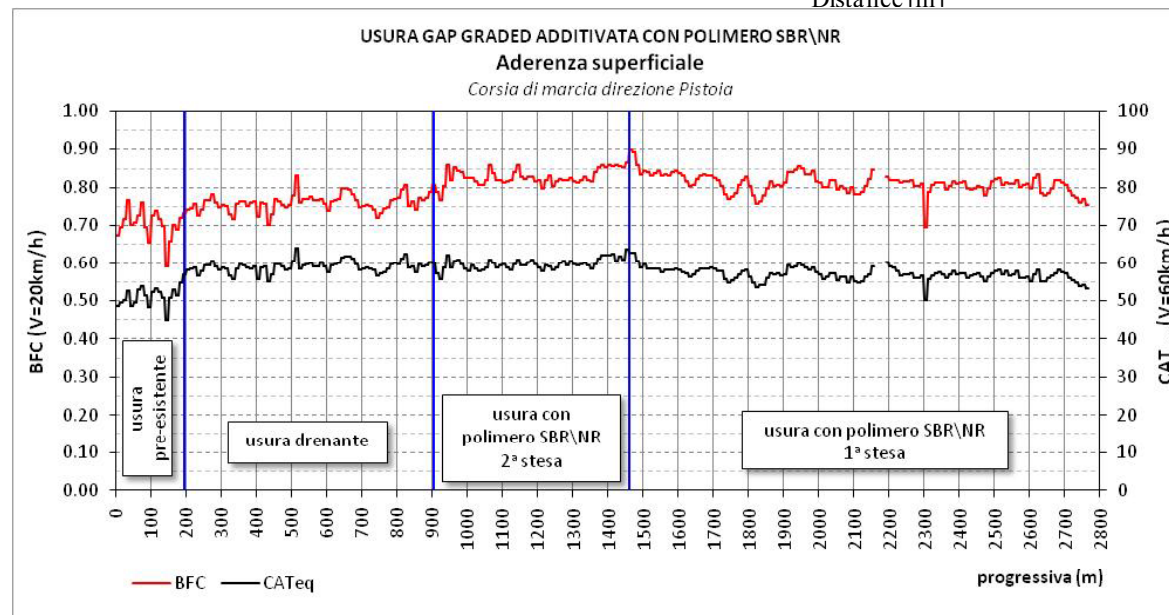
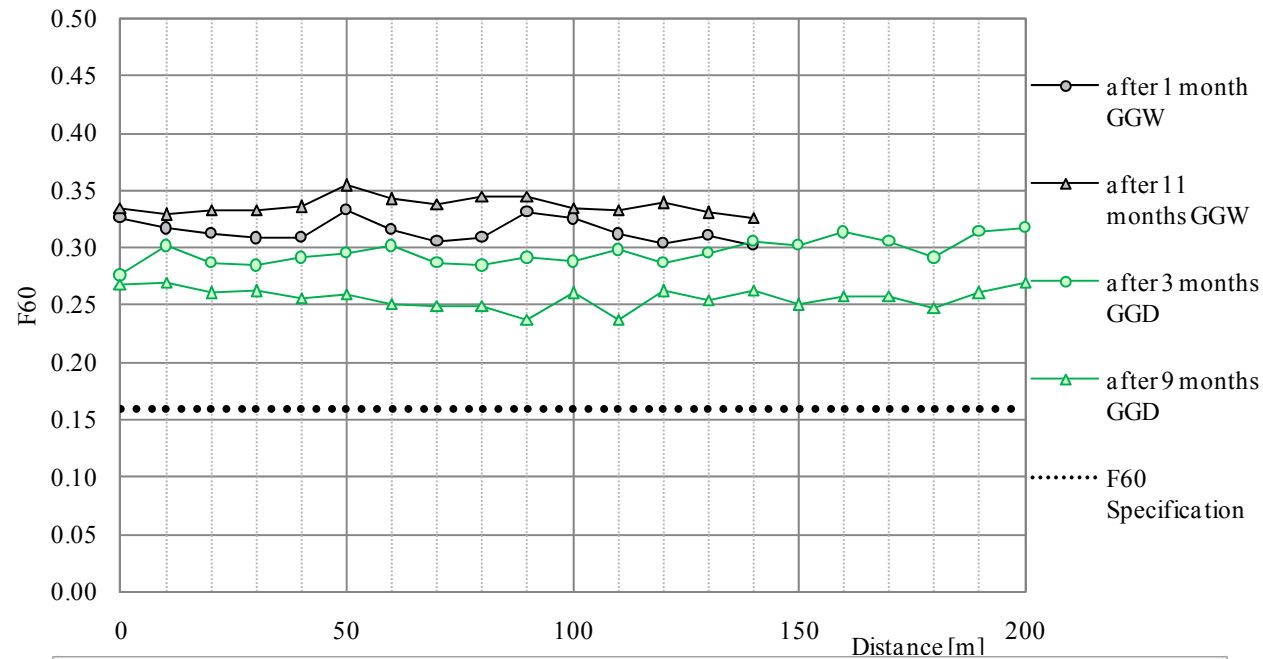




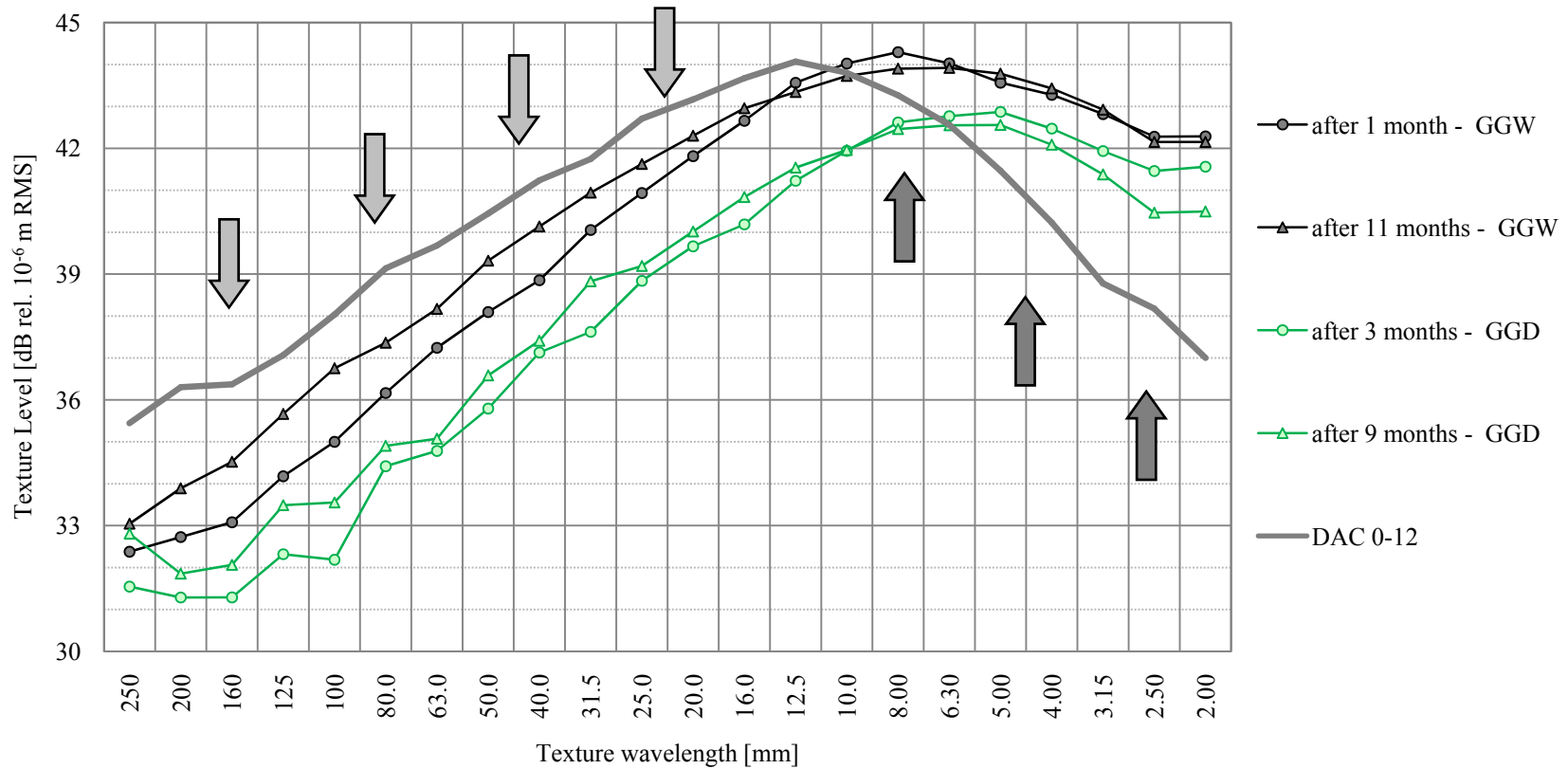
# Caratteristiche di tessitura



# Caratteristiche di aderenza



# Spettri di tessitura



$L_{TX,16 \rightarrow 63}$

low frequency noise

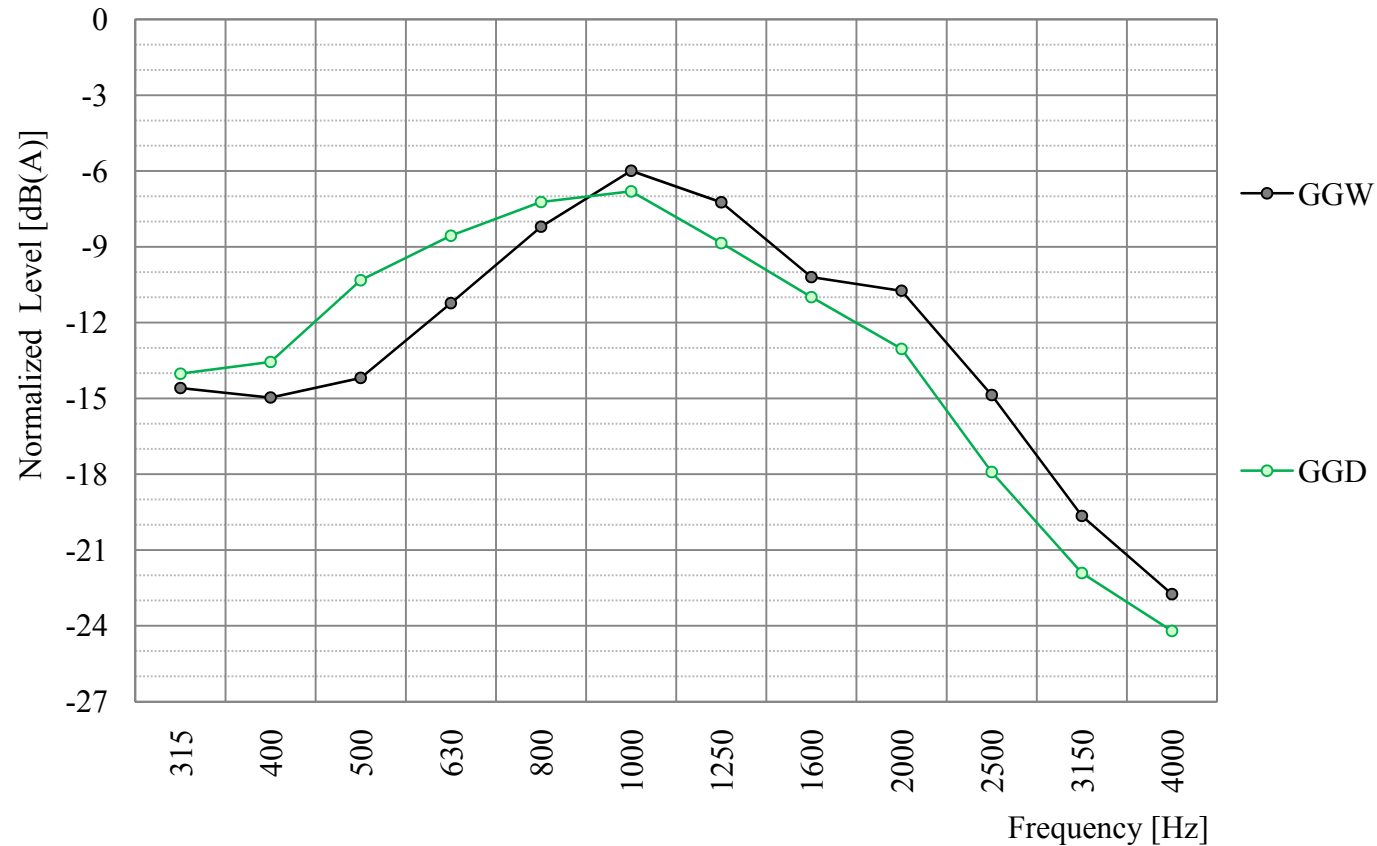
$L_{TX,2 \rightarrow 4}$

high frequency noise



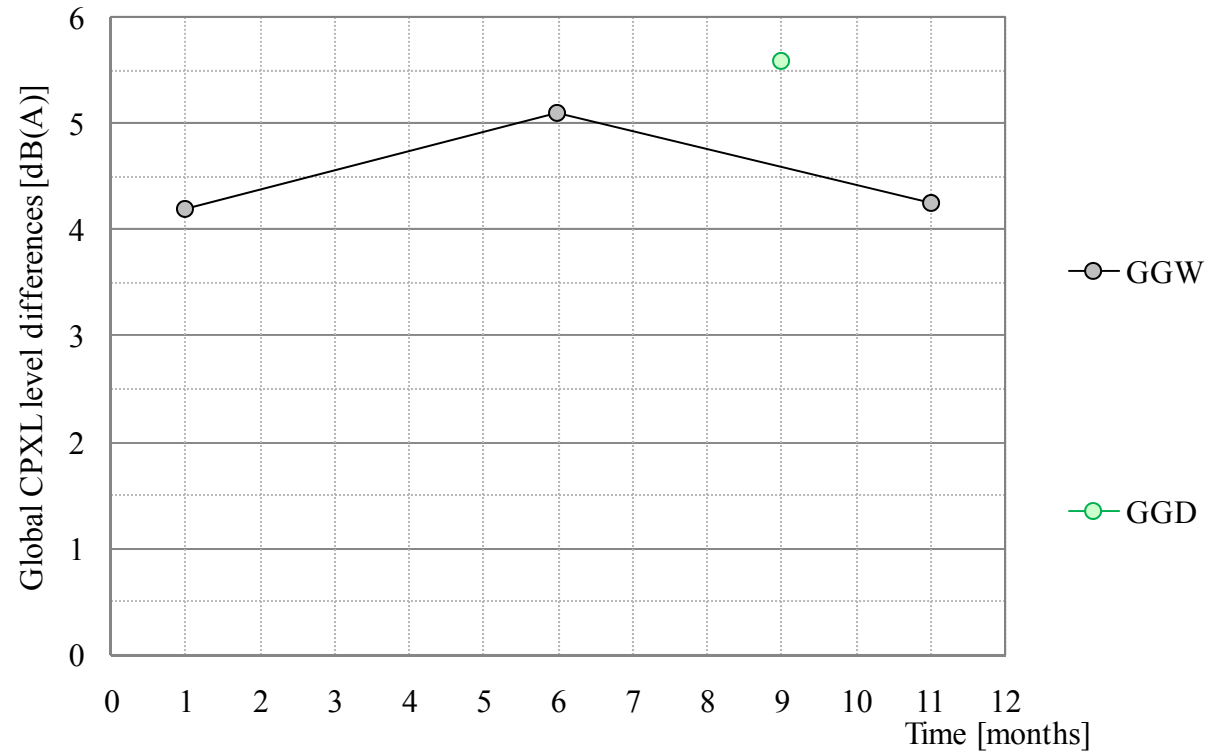
# Rumore da rotolamento

Spettri di rumore CPX normalizzati



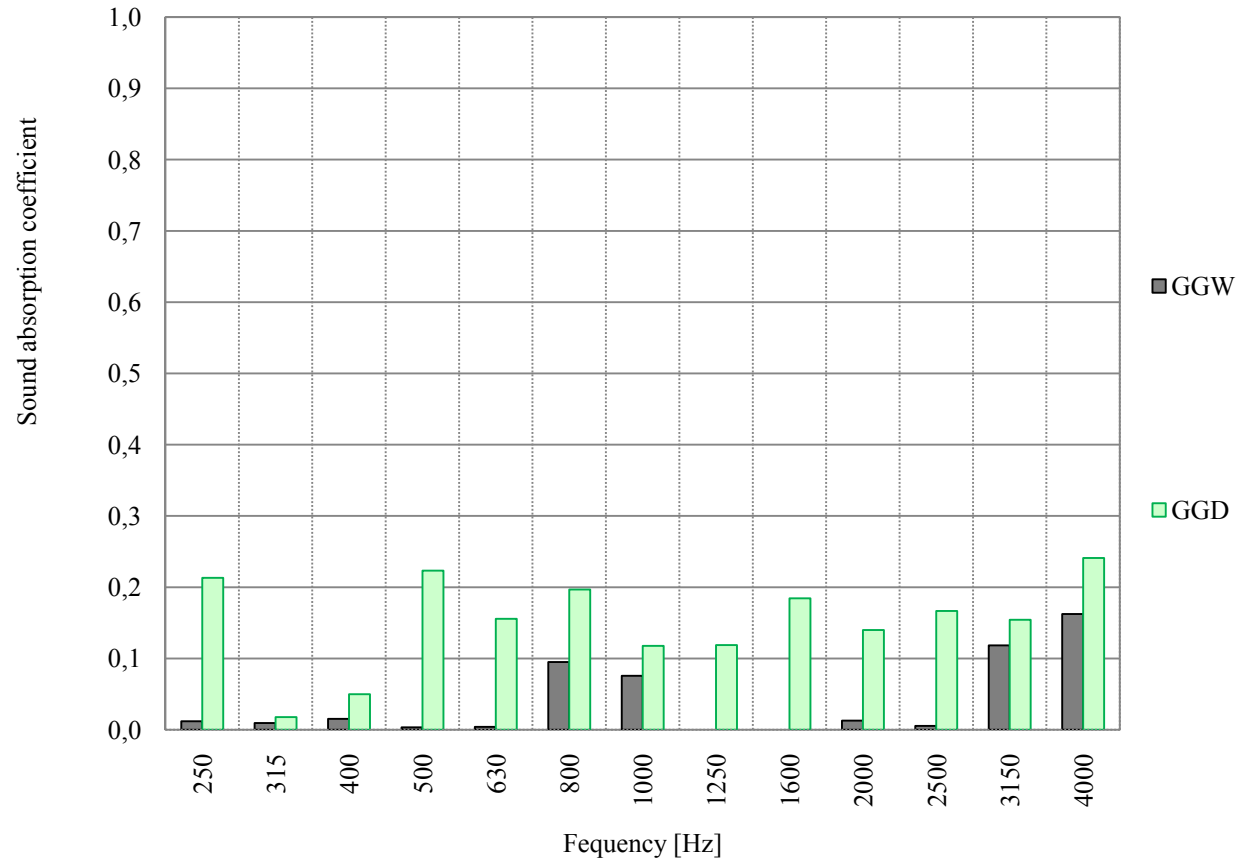
# Rumore da rotolamento

Riduzione delle emissioni di rumore da rotolamento in termini di livelli di CPXL





# Assorbimento acustico



# Considerazioni finali 1/3

- Contenuto di polverino di gomma simile: Wet 1.8 % e Dry 2.0% in peso;
- Contenuto di bitume simile: Wet 8.5% e Dry 9.0% . Il Wet tende ad addensarsi meglio.
- Valori di ITS simili, maggiori di quelli richiesti per miscele a granulometria discontinua. Assenza di sensibilità all'acqua
- Il Wet mostra un incremento di rigidità rispetto al Dry.
- Comportamento a fatica simile;



# Considerazioni finali 2/3

- Il Wet presenta valori di macrotessitura maggiori del Dry. Nel tempo, la macrotessitura delle due miscele tende ad aumentare e tale fenomeno è più significativo nel Wet.
- I livelli di aderenza evidenziano un significativo incremento rispetto agli strati di usura tradizionali. Nel tempo il wet mostra un lieve incremento mentre per il dry tende a diminuire.



# Considerazioni finali 3/3

- L'assorbimento acustico è praticamente trascurabile.
- La riduzione del livello globale CPXL rispetto ad un'usura chiusa 0-16 è pari a circa 4.5 dB(A) per il wet e 5.5 dB(A) per il dry.
- Entrambe le miscele consentono di realizzare pavimentazioni a bassa emissione di rumore (riduzione maggiore di 3 dB(A)).

