



ASPHALT-WORKSHOP CAM STRADE/STRAßENBAU

Pavimentazioni stradali a basso impatto acustico

Prof. Ing. Maurizio Bocci

Ordinario di Strade, Ferrovie e Aeroporti - Fuori Ruolo

maurizio.bocci@hotmail.com

Caratteristiche delle pavimentazioni stradali

STRUTTURALI

SUPERFICIALI



ADERENZA

REGOLARITA'

DRENABILITA'

RUMOROSITA'

CAM Strade

Emissione acustica delle pavimentazioni

Indicazioni alla stazione appaltante

*Il presente criterio si applica alle miscele per **strati di usura di tipo chiuso** (come definito dalla norma UNI EN 13108) installate sia su strade della rete primaria (**categoria A – B - D del Codice della Strada** – D.Lgs 285/92 aggiornato alla Legge n°197 del 29-12-22) che su strade di altre categorie nei tratti interessati dall'attuazione dei Piani di Contenimento ed Abbattimento del Rumore (PCAR) previsti dalla Legge Quadro 447/95 e successivi Decreti Attuativi.*

...

La stazione appaltante ha facoltà di chiedere la conformità a tale criterio anche per le strade di categoria C1 ed anche di utilizzare il corrispondente criterio premiante “3.2.7-Emissione acustica delle pavimentazioni”.

CAM Strade

Emissione acustica delle pavimentazioni

Criterio

Il progetto prevede che, nel caso di realizzazione di nuove strade, manutenzione straordinaria o adeguamento, si utilizzino miscele per strati di usura aventi prestazioni acustiche tali da contenere il rumore da rotolamento immesso nell'ambiente circostante. A tal fine, **la miscela deve garantire**, fatte salve le prestazioni meccaniche e funzionali dello strato di usura necessarie per la sicurezza, **un livello di emissione acustica L_{CPX} , rilevabile con il metodo Close Proximity (CPX)** secondo la norma UNI EN ISO 11819-2, inferiore ai valori limite espressi nella seguente tabella:

Velocità in km/h	40	50	60	70	80	90	110	130
L_{CPX} limite in dB(A)	88,0	91,0	93,5	96,0	97,5	99,0	101,5	103,5

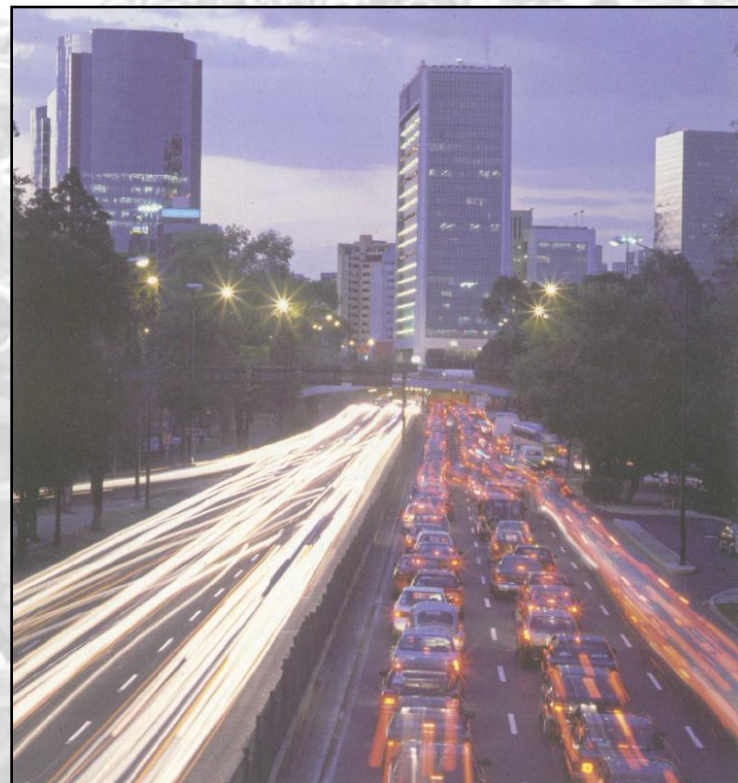
Verifica

La Relazione CAM, di cui criterio “2.2.1- Relazione CAM”, illustra in che modo il progetto ha tenuto conto di questo criterio progettuale. In particolare, il capitolato speciale d'appalto contiene le indicazioni per effettuare le prove suindicate che vanno effettuate dopo la realizzazione dell'opera in una sessione di misura eseguita conformemente al criterio premiante “3.2.6 - Emissione acustica delle pavimentazioni” ed effettuata non prima di 4 settimane e non oltre 12 settimane dall'apertura al traffico del tratto di pavimentazione interessato dalla verifica.

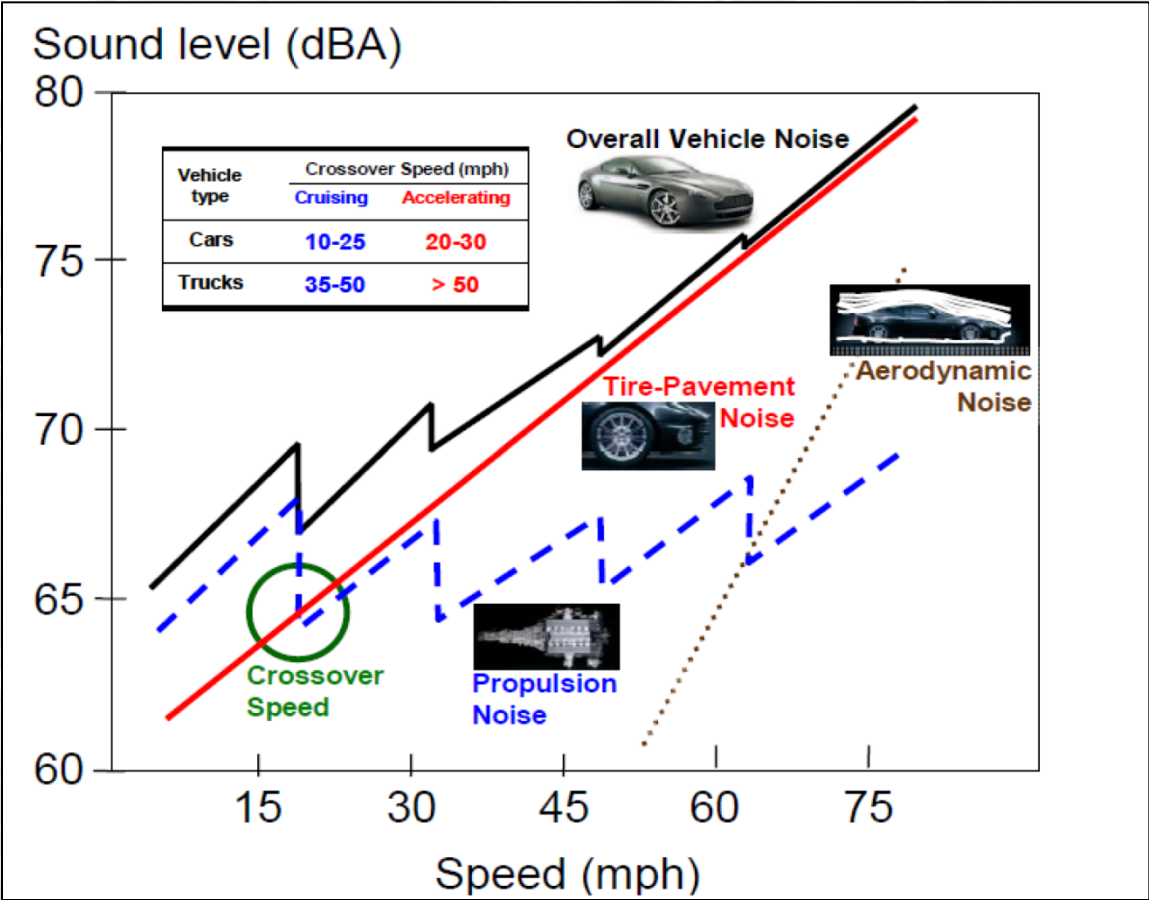
Il rumore da traffico veicolare

Un veicolo in moto ha 3 principali sorgenti di rumore:

- **Motore e scappamento**
- **Rotolamento**
- **Aerodinamica**



Il rumore da traffico veicolare



Il rumore da traffico veicolare

➤ Veicoli ultra-leggeri (moto e motorini)

- il contributo principale è dovuto al motore

➤ Veicoli pesanti (camion e bus)

- il contributo principale è dovuto al motore

➤ Veicoli leggeri (auto e furgoni)

- a velocità $v > 35 \text{ km/h}$ il contributo principale è dovuto al rotolamento
- in caso di rallentamenti, semafori, incroci diventa preponderante il motore

Rumore da rotolamento

L'interazione del pneumatico con la pavimentazione genera due diversi sorgenti di rumore:

➤ Rumore da vibrazione

- Il pneumatico viene sollecitato dal profilo della superficie stradale e si generano fenomeni vibratorii che incidono prevalentemente a frequenze inferiori a 1000 Hz e contribuiscono per circa il 60% del rumore complessivo

➤ Rumore aerodinamico

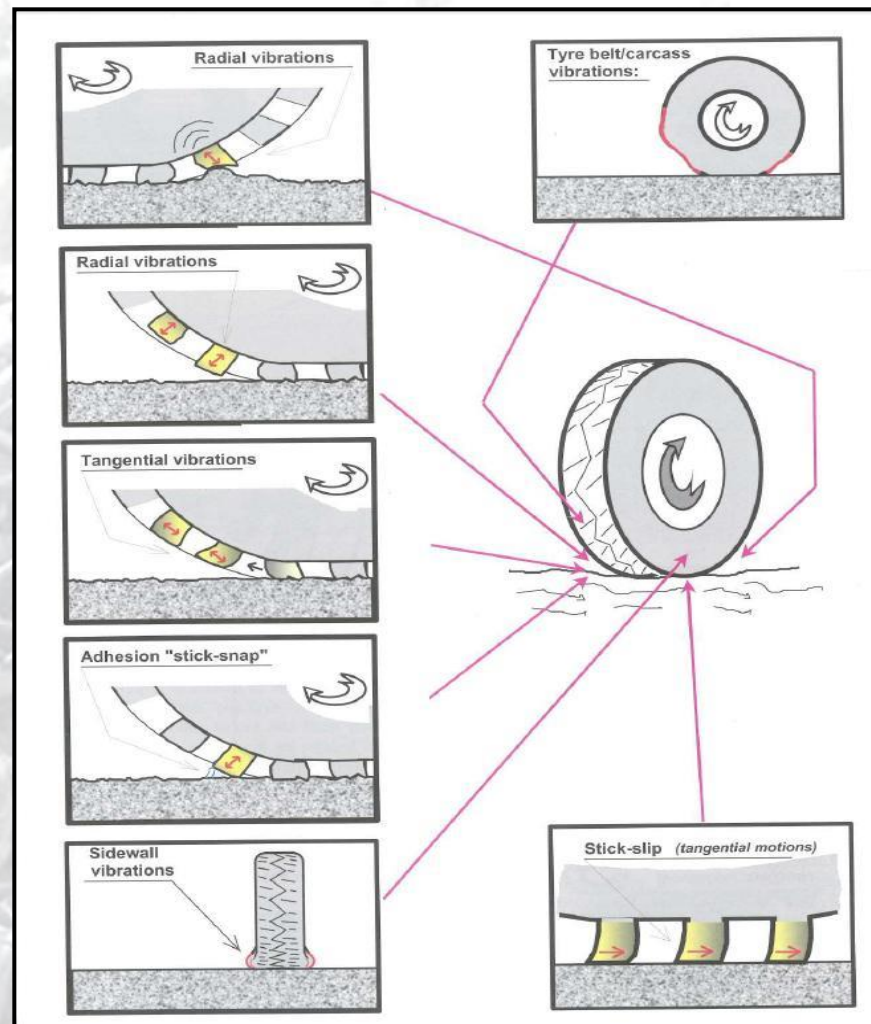
- Attorno al pneumatico e in prossimità della pavimentazione si generano delle compressioni e decompressioni di aria dovute al moto, sorgente di rumore a frequenze medio-alte

Rumore da rotolamento

Meccanismi di vibrazione

- Deformazione della carcassa
- Impatto e deformazione dei tasselli del battistrada
- Stick/slip
- Stick/snap

La dimensione del pneumatico (impronta di contatto) influenza il livello complessivo
Il disegno del battistrada influenza lo spettro di emissione.

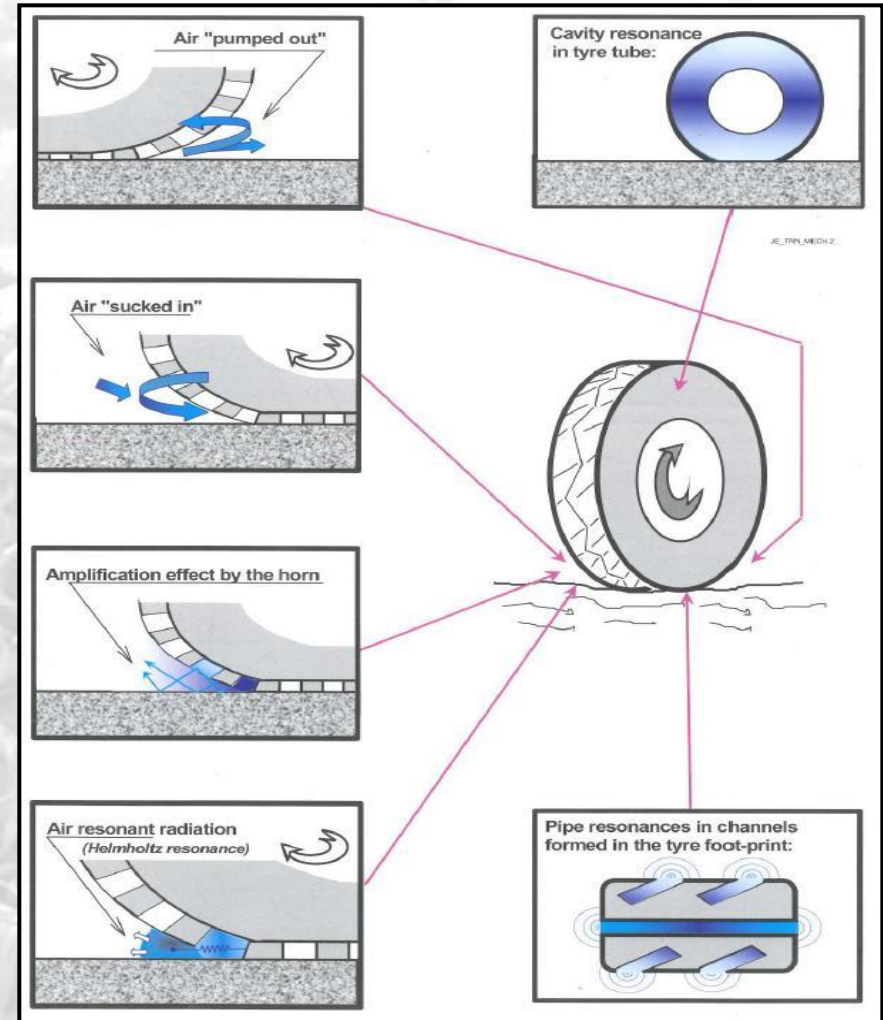


Rumore da rotolamento

Meccanismi aerodinamici

- **Turbolenza**
- **Risonanza**
- **Air pumping**
- **Micro-risonanze nella cavità del battistrada**

Il volume del triedro tra pneumatico e pavimentazione genera un effetto di amplificazione del rumore (*effetto corno*)



Risanamento alla sorgente

Per ridurre l'impatto acustico di un'infrastruttura

➤ pianificazione del traffico

- Riduzione dei volumi di traffico
- Riduzione della velocità media di percorrenza
- Sostituire incroci con semafori e "Stop" con rotatorie per mantenere il flusso di traffico costante

➤ pavimentazioni a basso impatto acustico

- Pavimentazioni ad assorbimento acustico
- Pavimentazioni a bassa emissione acustica

Una pavimentazione a basso impatto acustico riduce di almeno 3dB(A) il rumore emesso rispetto ad una comune

Pavimentazioni a basso impatto acustico

Le pavimentazioni sono la soluzione più facilmente adottabile per ridurre il rumore alla sorgente.

Le caratteristiche di una pavimentazione che influenzano il rumore di rotolamento sono:

Tessitura superficiale

- **Determina la frequenza e l'ampiezza dell'impatto**
- **Influenza l'air pumping**
- **Determina anche l'aderenza**

Pavimentazioni a basso impatto acustico

Le pavimentazioni sono la soluzione più facilmente adottabile per ridurre il rumore alla sorgente.

Le caratteristiche di una pavimentazione che influenzano il rumore di rotolamento sono:

Porosità

- Limita i meccanismi di risonanza nelle cavità del battistrada
- Limita l'air pumping
- Nella propagazione a distanza, riduce l'energia riflessa del raggio sonoro (fonoassorbenza)
- **Determina anche la drenabilità**

Pavimentazioni a basso impatto acustico

Una tipologia di pavimentazione a basso impatto acustico è basata sull'utilizzo di polverino di gomma come materiale aggiuntivo.

Il polverino di gomma deriva da pneumatici fuori uso (PFU).

- Incrementa la viscosità
- Aumenta l'elasticità



➤ **Processo WET**

Il polverino è addittivato al bitume

➤ **Processo DRY**

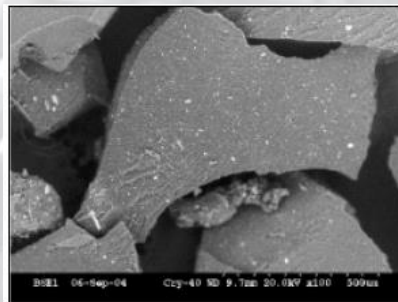
Il polverino è aggiunto alla miscela in fase di produzione del conglomerato bituminoso

Metodo WET (norma ASTM D6114)

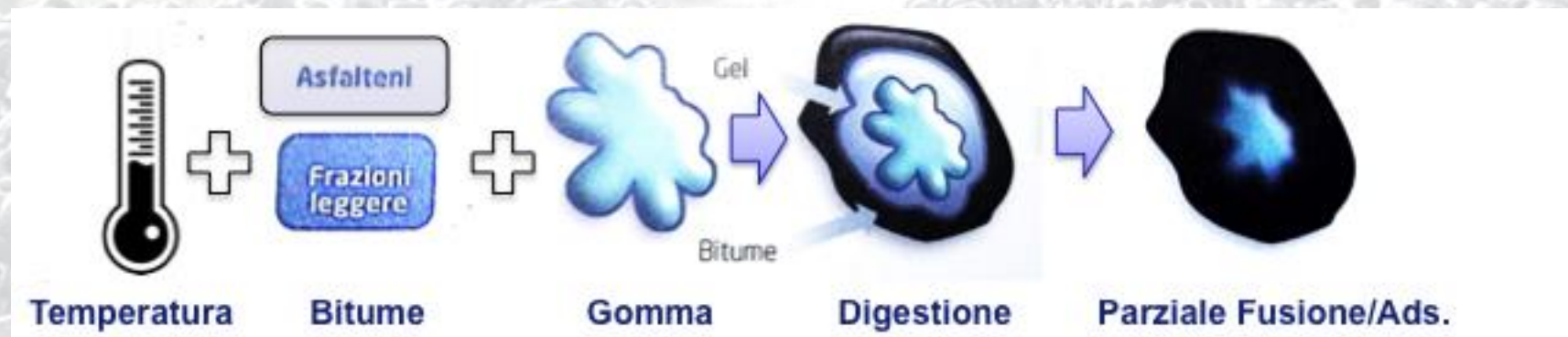
Bitume

Polverino di Gomma da
Pneumatici Fuori Uso (PFU)

- Temperatura di miscelazione: **$> 177^{\circ} \text{ C}$**
- Tempo di reazione: **$45 \div 60$ minuti**
- Dosaggio polverino gomma: **$18 \div 22\%$** sul peso del legante



Il processo digestivo



**LA GOMMA CONFERISCE AL BITUME DELLE
PROPRIETA' ELASTOMERICHE**

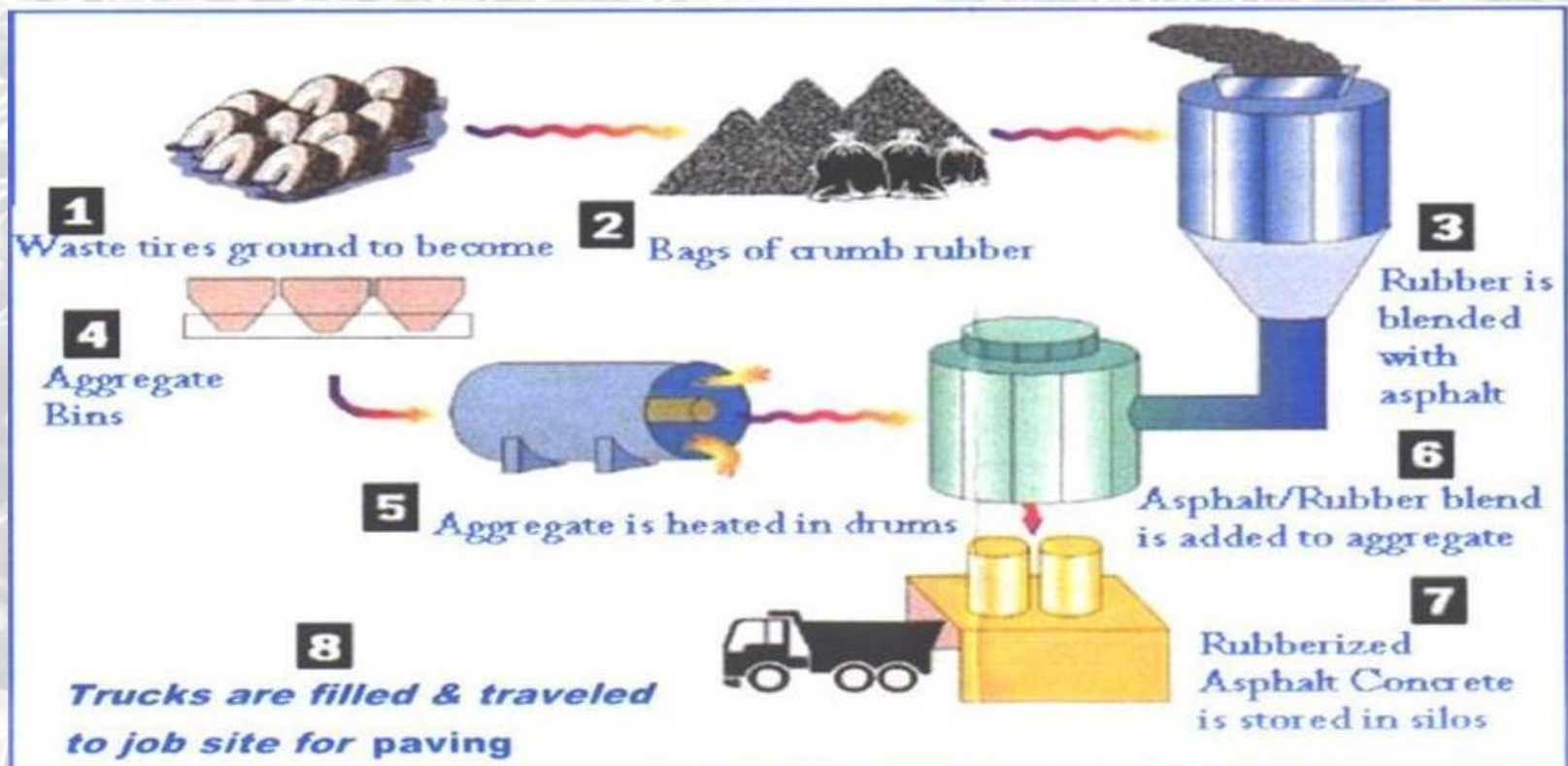
Impianto di miscelazione Asphalt Rubber



- Impianto specializzato
- Mulino
- Serbatoio di reazione scaldato con serpentine ad olio diatermico

Fornitura di Asphalt Rubber

La fornitura di Asphalt Rubber è **ANALOGA** a quella di un qualunque legante bituminoso.



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

Asphalt Rubber (Metodo WET)

Vantaggi

- ✓ Riduzione della propagazione di fessure di riflessione
- ✓ Migliore comportamento a fatica
- ✓ Buone prestazioni ad alte e basse temperature
- ✓ Maggiore durabilità
- ✓ Aderenza/sicurezza
- ✓ **Fonoassorbimento/Bassa emissione del rumore**

Metodo DRY tradizionale



Testato dagli anni '70 in:

- miscele chiuse
- miscele semichiusate (gap graded)
- miscele semiaperte (open graded)

Dosaggi di gomma da 0,5% a 3%
Da granuli a polverini ultrafini

Metodo DRY tradizionale



Granuli di PFU troppo grandi

Assorbimento incontrollato delle frazioni aromatiche



2 anni dopo la posa ...
...formazione di buche

M-300 Loeches – Alcalà de HERNANDEZ
(Madrid)

Metodo DRY “Italia”

**Bitume modificato hard
ad alta lavorabilità**



**Polverino fino (0,2 – 0,6 mm)
Dosaggi di gomma da 0,5% a 1,5%**



Metodo DRY “Italia”

omogeneità di stesa



**tessitura ottimizzata
(Progetto Leopoldo)**



Misura del rumore di rotolamento - Metodo CPX

Basato sulla configurazione proposta da LCPC

Fabienne Anfosso-Lédée , SURF 2004, June 6-10th, 2004, Toronto, Canada

- Due microfoni in prossimità del punto di contatto
- Un encoder per la registrazione di velocità e posizione



SS 38 – Goldrano (Val Venosta) anno 2011

Stesa di Asphalt Rubber



SS 38 – Goldrano (Val Venosta) anno 2011

Misure del rumore con CPX



SS 38 – Goldrano (Val Venosta) anno 2011

Misure del rumore con fonometri



SS 38 – Goldrano (Val Venosta) anno 2011

Risultati delle misure di rumore

Punto di misura 1 - km 170,712 asphalt rubber

Caratteristiche fonoassorbenti...	...con Fonometro (diurno) [dB (A)]	...con Fonometro (notturno) [dB (A)]	...con CPX 50km/h [dB (A)]	...con CPX 80km/h [dB (A)]	Resistenza di attrito [BPN]	Macrorugosità [mm]
Prima della stesa	66,6	59,5	90,2 ± 0,5 *	97,4 ± 1,0 *	65	1,67
Dopo la stesa (sett. 29)	61,1	53,1	85,6 ± 0,5 **	91,6 ± 0,7 **	57	1,49
Dopo la stesa (sett. 35)	62,4	54,1	/	/	/	/
1 anno dopo la stesa			87,5 ± 0,9**	93,6 ± 1,1 **	66	1,51

Punto di misura 2 - km 170,390 splittmastix

Caratteristiche fonoassorbenti...	...con Fonometro (diurno) [dB (A)]	...con Fonometro (notturno) [dB (A)]	...con CPX 50km/h [dB (A)]	...con CPX 80km/h [dB (A)]	Resistenza di attrito [BPN]	Macrorugosità [mm]
Prima della stesa	69,8	62,7	90,2 ± 0,5 *	97,4 ± 1,0 *	60	1,67
Dopo la stesa (sett. 29)	67,6	60,2	88,6 ± 0,5**	95,1 ± 1,0**	56	1,40
Dopo la stesa (sett. 35)	68,4	60,3	/	/	/	/
1 anno dopo la stesa			90,3 ± 0,7 **	97,0 ± 0,9 **	61	0,87

Punto di misura 3 - km 169,627 asphalt rubber

Caratteristiche fonoassorbenti...	...con Fonometro (diurno) [dB (A)]	...con Fonometro (notturno) [dB (A)]	...con CPX 50km/h [dB (A)]	...con CPX 80km/h [dB (A)]	Resistenza di attrito [BPN]	Macrorugosità [mm]
Prima della stesa	72,5	65,2	90,2 ± 0,5 *	97,4 ± 1,0 *	65	1,21
Dopo la stesa (sett. 29)	66,2	58,5	85,6 ± 0,5 **	91,6 ± 0,7 **	54	1,12
Dopo la stesa (sett. 35)	68,1	61,2	/	/	/	/
1 anno dopo la stesa			87,7 ± 0,7 **	94,0 ± 0,9 **	66	1,40

SS 38 – Goldrano (Val Venosta) anno 2011

Risultati delle misure di rumore

Differenziali del livello di rumorosità nel primo e nel secondo rilievo con CPX

	Rilievo CPX del 24.02.2012		Rilievo CPX del 26.07.2012	
Tipo di tappeto di usura	Differenziale Leq(A) 50 km/h	Differenziale Leq(A) 80 km/h	Differenziale Leq(A) 50 km/h	Differenziale Leq(A) 80 km/h
*Tappeto tradizionale 2008	Riferimento	Riferimento	Riferimento	Riferimento
RubberAsphalt 2011	- 4.6 ± 0.7 dB(A)	- 5.7 ± 1.2 dB(A)	- 3.6 ± 0.6 dB(A)	- 4.5 ± 0.8 dB(A)
SMA 2011	- 1.6 ± 0.7 dB(A)	- 2.3 ± 1.4 dB(A)	- 1.0 ± 0.7 dB(A)	- 1.6 ± 0.9 dB(A)
Tappeto tradizionale 2010	-2.6 ± 0.8 dB(A)	- 3.9 ± 1.5 dB(A)	- 2.7 ± 0.6 dB(A)	- 3.4 ± 0.9 dB(A)
**Tappeto tradizionale 2007	+0.8 ± 0.7 dB(A)	+ 0.3 ± 2.0 dB(A)	+ 0.7 ± 0.5 dB(A)	+ 0.7 ± 0.8 dB(A)

* Tappeto tradizionale chiuso in buone condizioni

** Tappeto tradizionale chiuso a tratti fessurato

SS 38 – Goldrano (Val Venosta) anno 2011

Misure del rumore con CPX

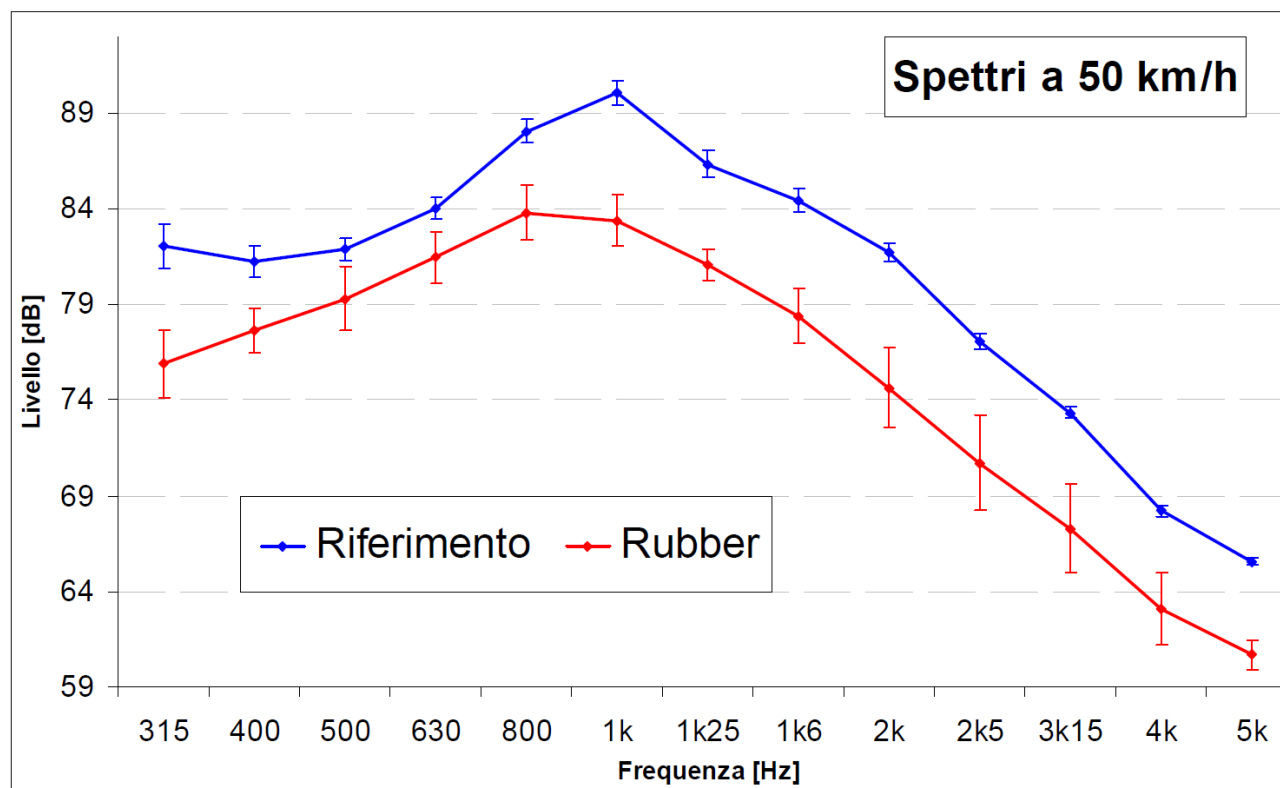


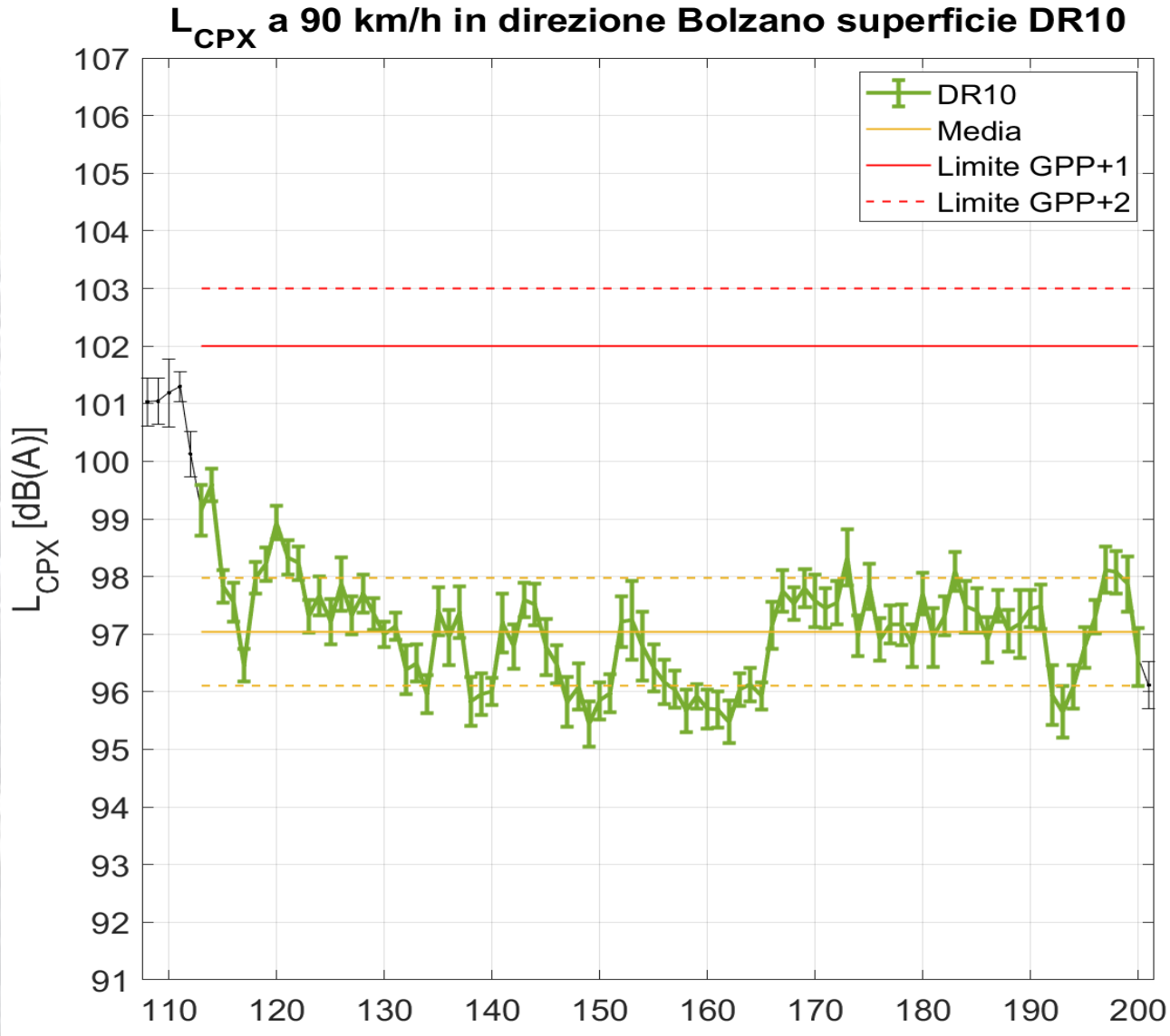
Figura 3: Spettri di emissione a 50 km/h delle due pavimentazioni, ottenuti come media delle due corsie.

SS 38 – Merano - Bolzano – anni 2015/2022

Stesa di tappeto con polverino di gomma dry Italia



Stesa 2019 CPX 2022



VERIFICA DELLA CONFORMITA' DELLA PRODUZIONE

(dopo 4-12 settimane
dall'apertura della strada)

I risultati comprensivi della propria incertezza non devono sorpassare i seguenti valori limite (*) di oltre 1 dB(A):

- 90 dB(A) a 50 km/h,
- 95 dB(A) a 70 km/h,
- 98 dB(A) a 90 km/h.

Inoltre, nessun singolo elemento della sezione di prova deve superare i limiti di cui sopra di oltre 2 dB(A).

VERIFICA DELLA DURATA DELLE PRESTAZIONI

(durante il periodo di 5 anni dopo
la prova di conformità della
produzione)

I risultati comprensivi della propria incertezza non devono sorpassare i seguenti valori limite (*) di oltre 1 dB(A):

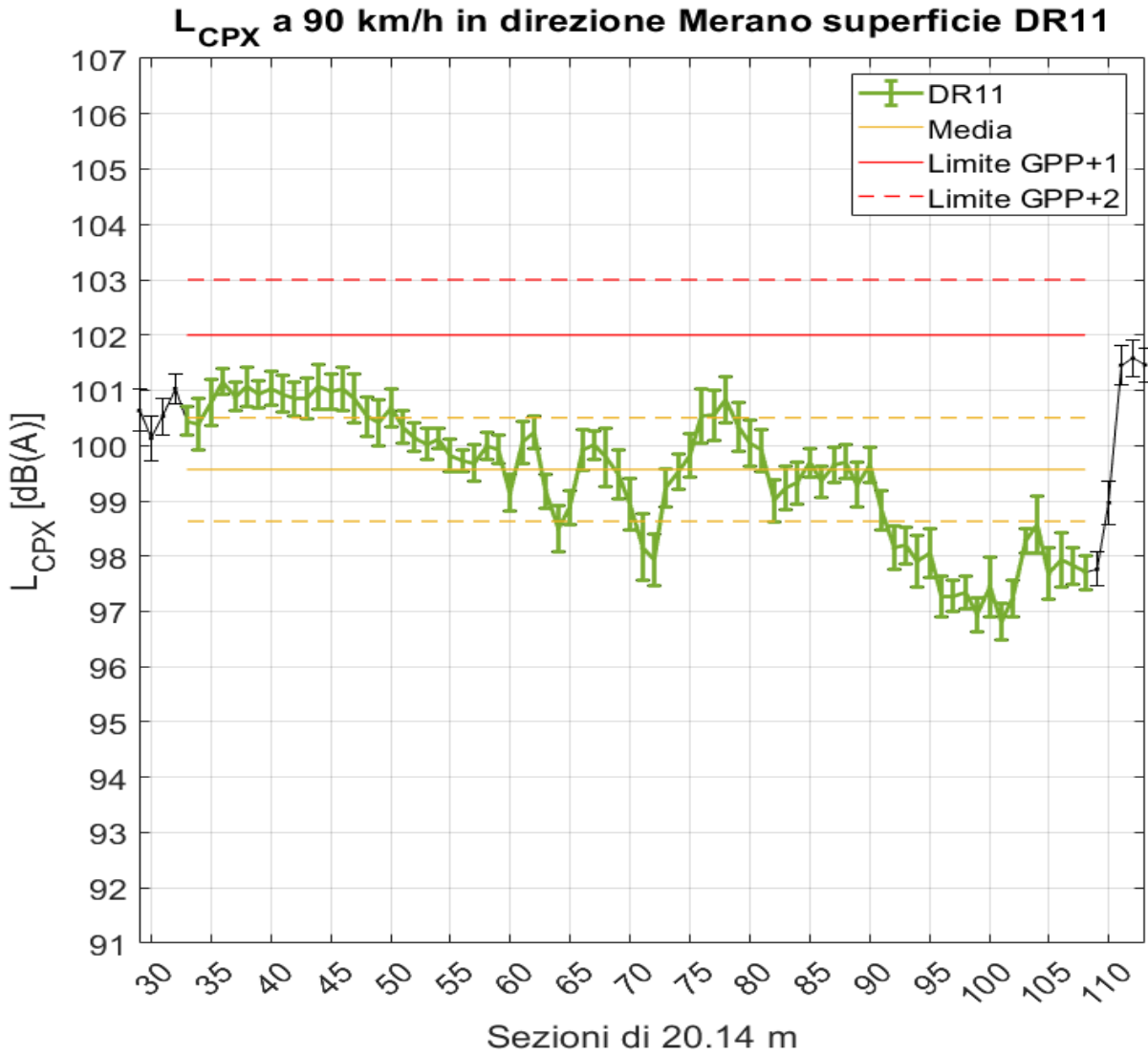
- 93 dB(A) a 50 km/h
- 98 dB(A) a 70 km/h
- 101 dB(A) a 90 km/h.

Inoltre, nessun singolo elemento della sezione di prova deve superare i limiti di cui sopra di oltre 2 dB(A).

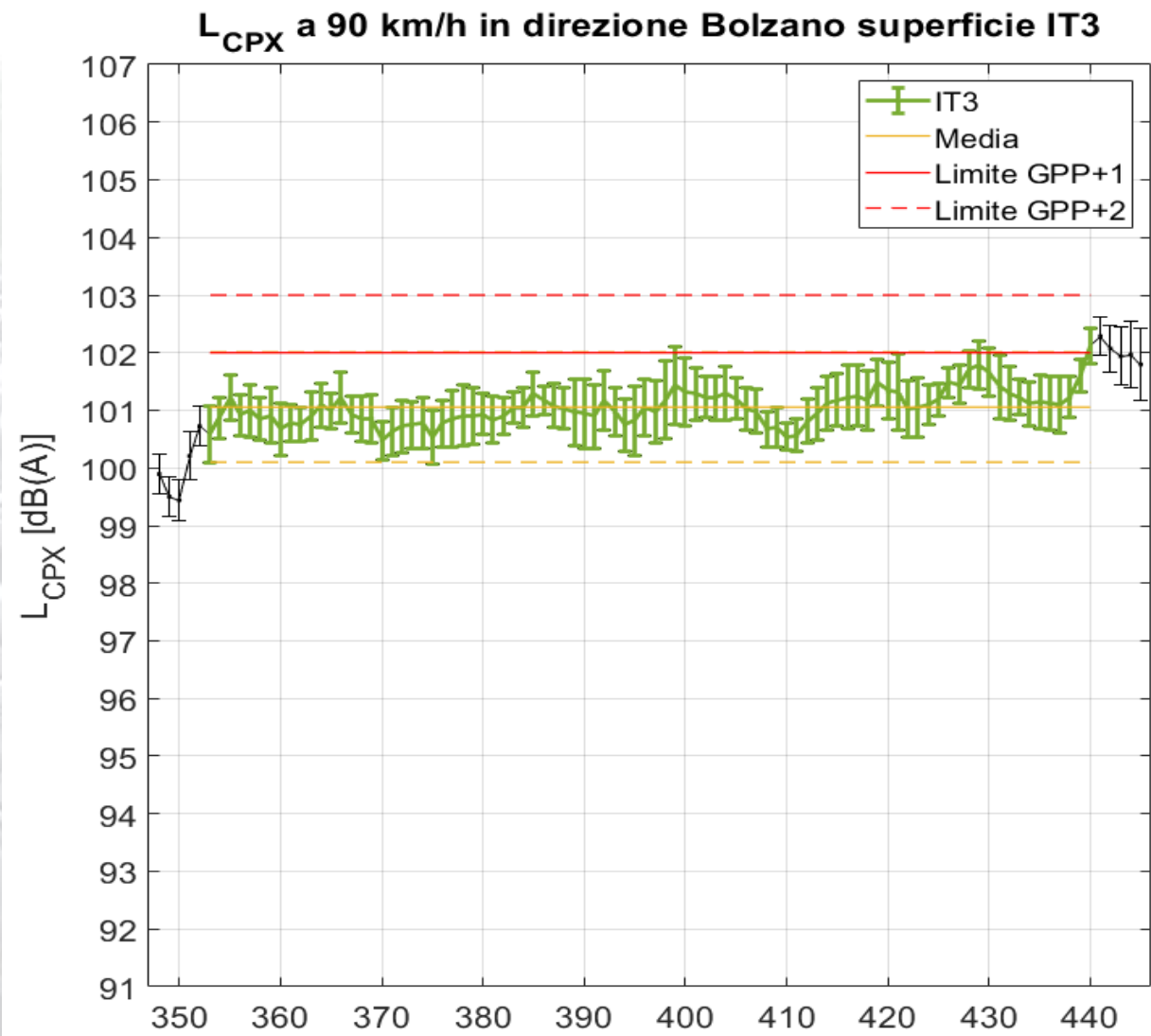
Limiti fissati dal GGP

Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance

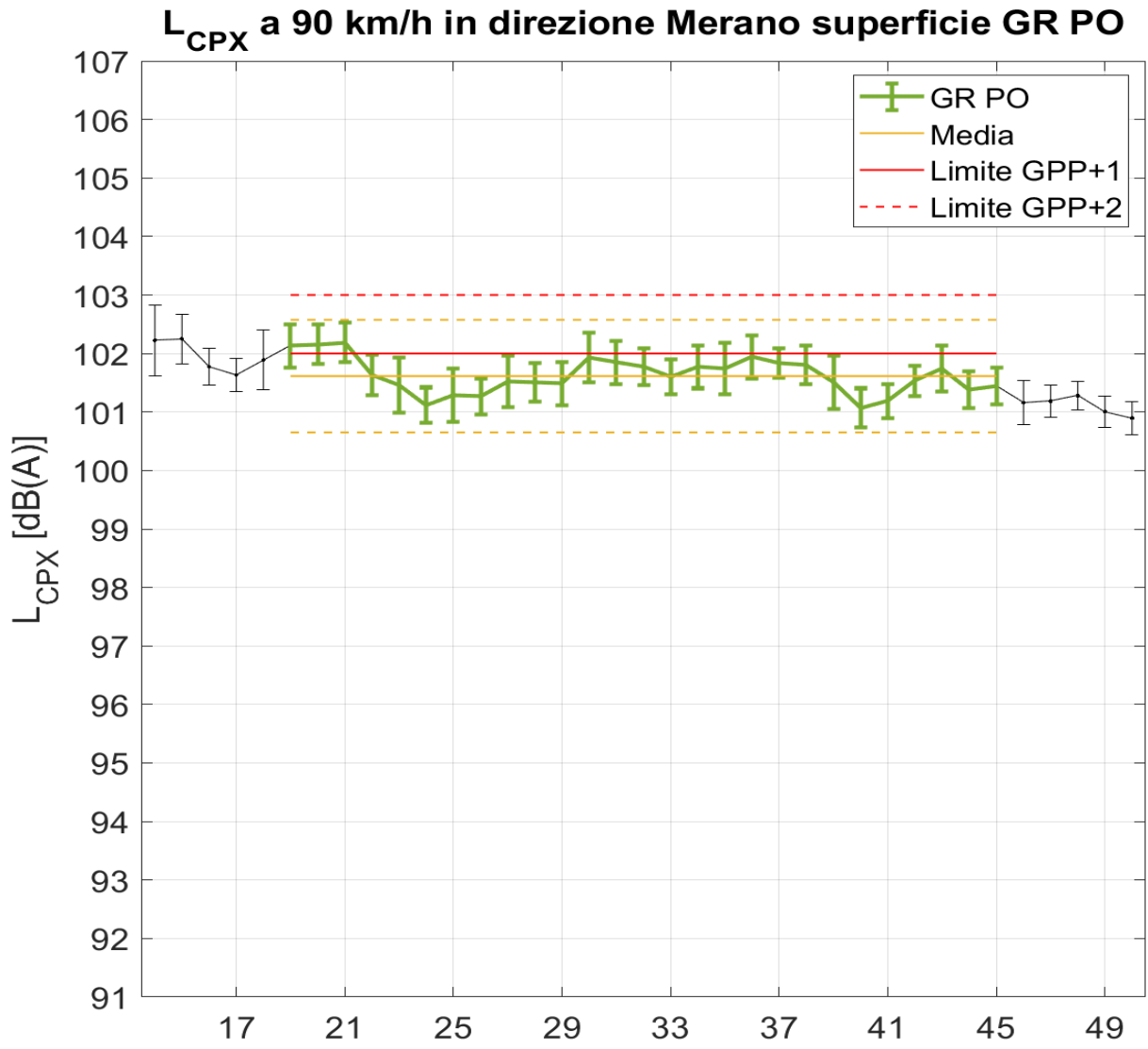
Stesa 2019 CPX 2022



Stesa 2019 CPX 2022



Stesa 2019 CPX 2022



Fumi e vapori

Stesa di Asphalt Rubber (wet)
A22 del Brennero

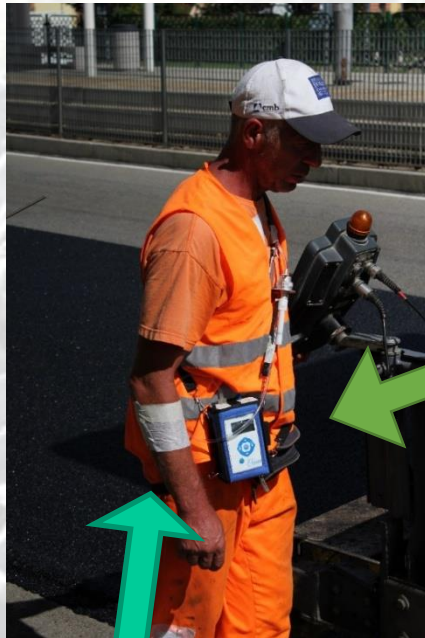


Stesa di dry Italia
Vandoies (Val Pusteria)



Fumi e vapori

Valutazione dell'esposizione agli IPA e alle polveri



Esposizione inalatoria a IPA (idrocarburi policiclici aromatici) e polveri:

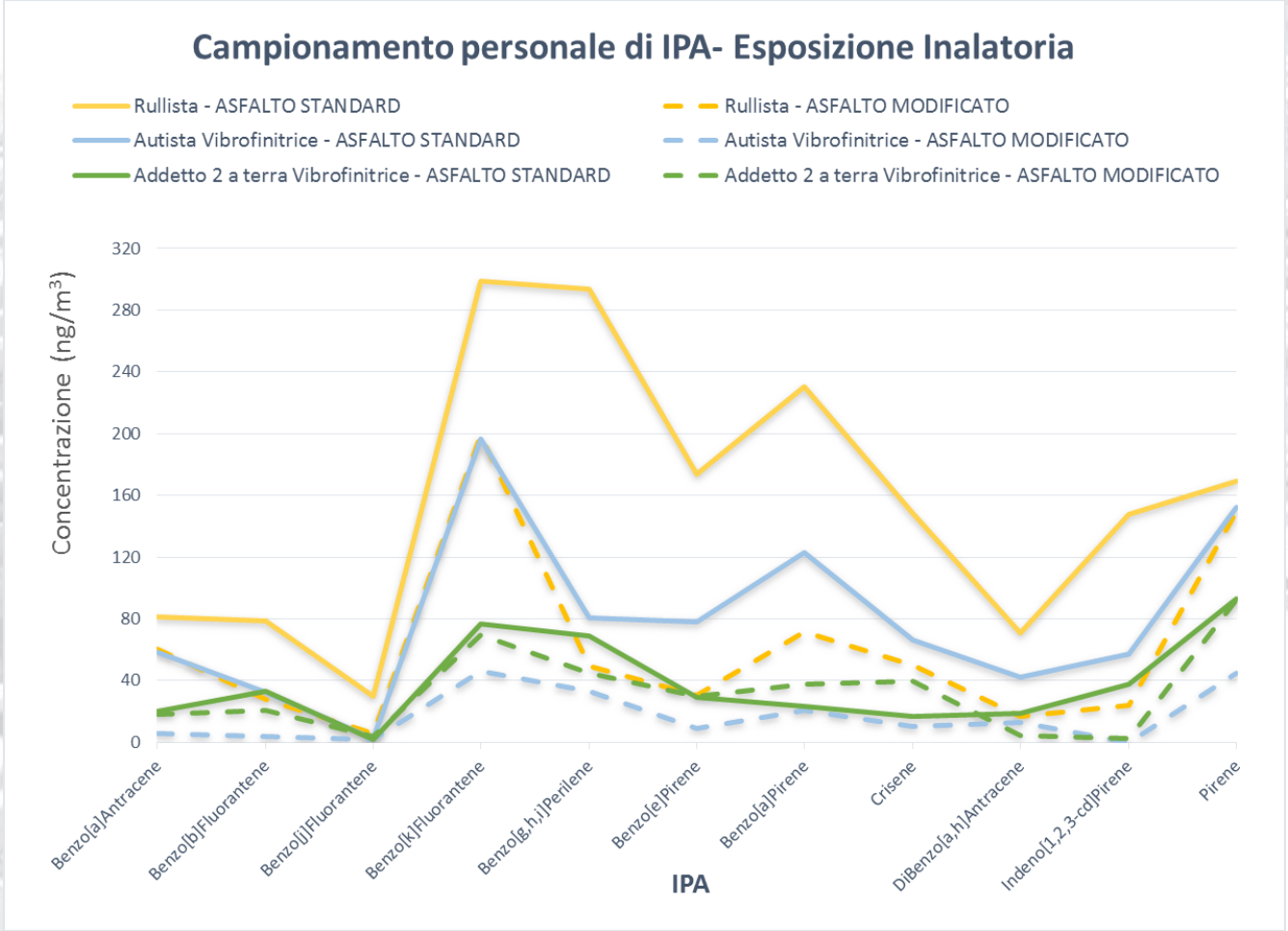
- Autista Finitrice
- Rullista
- Banchista/operaio a terra

UNI EN 689:1997
UNI EN 1232: 1999
NIOSH-NMAM, 5515:1994 /0600:1998
UNI CHIM n.1998:2013

Esposizione dermica a IPA:

- Autista Finitrice
- Rullista
- Banchista/operaio a terra

Esposizione inalatoria agli IPA



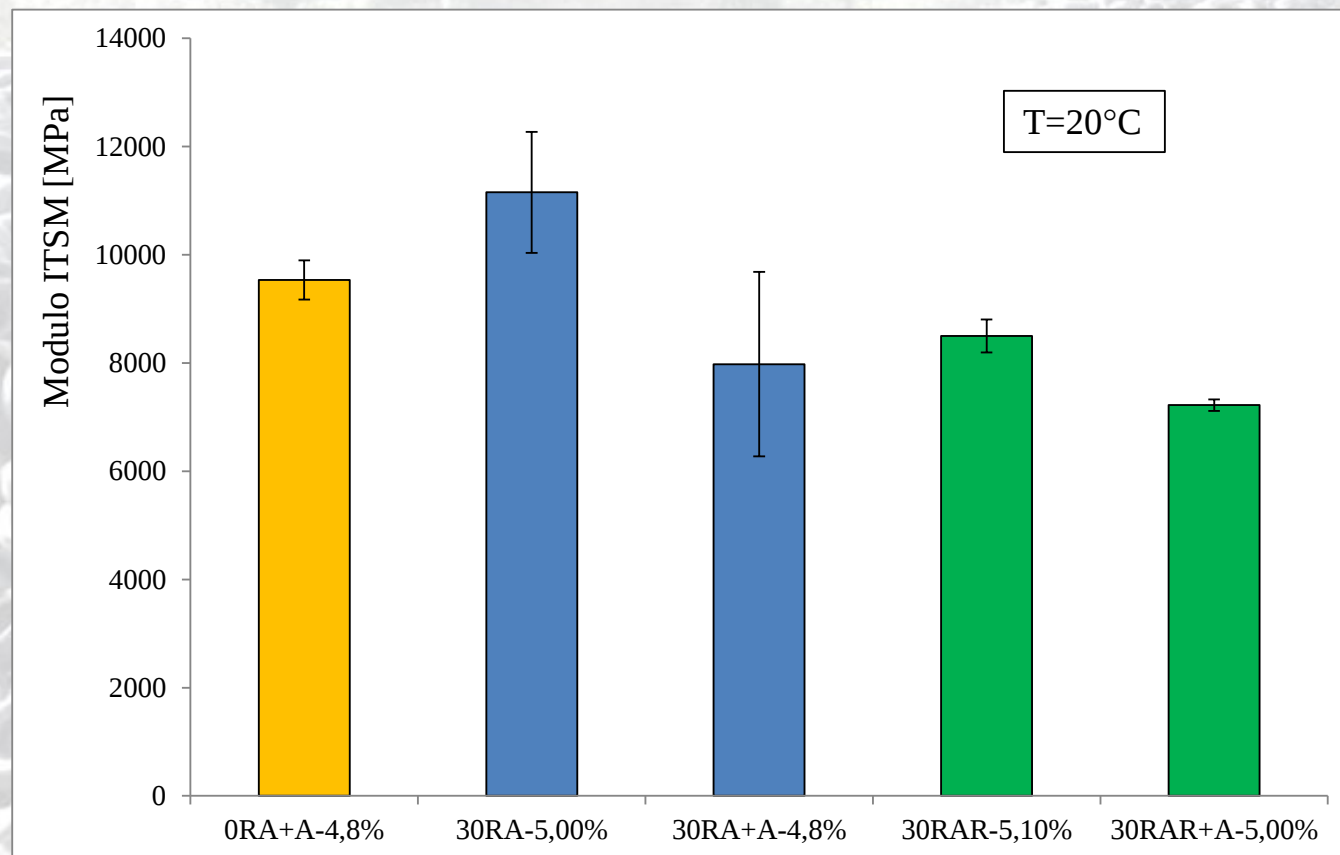
Fresato di Asphalt Rubber

Studio delle possibilità di riutilizzo nella produzione di conglomerati bituminosi a caldo

Miscele tipo binder	Bitume totale [%]	Bitume nuovo aggiunto [%]
00RA (senza fresato)	4,8	4,8
30RA (con 30% di fresato normale)	5,0	3,2
30RA+A (con 30% di fresato normale + additivo)	4,8	3,0
30RAR (con 30% di fresato di asfaltrubber)	5,1	2,9
30RAR+A (con 30% di fresato di asfaltrubber + additivo)	5,0	2,8

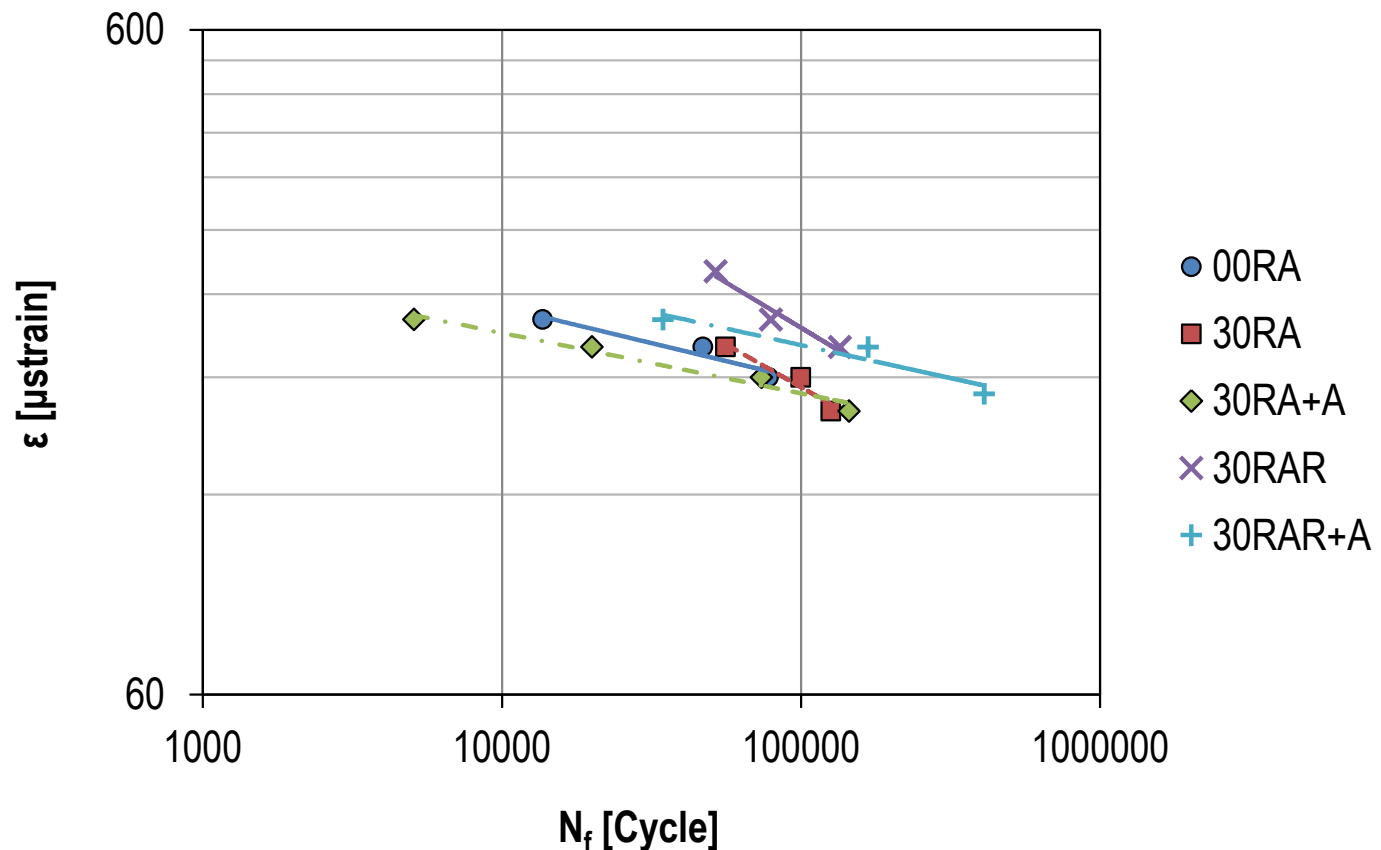
Fresato di Asphalt Rubber

Confronto delle caratteristiche di rigidità (ITSM)



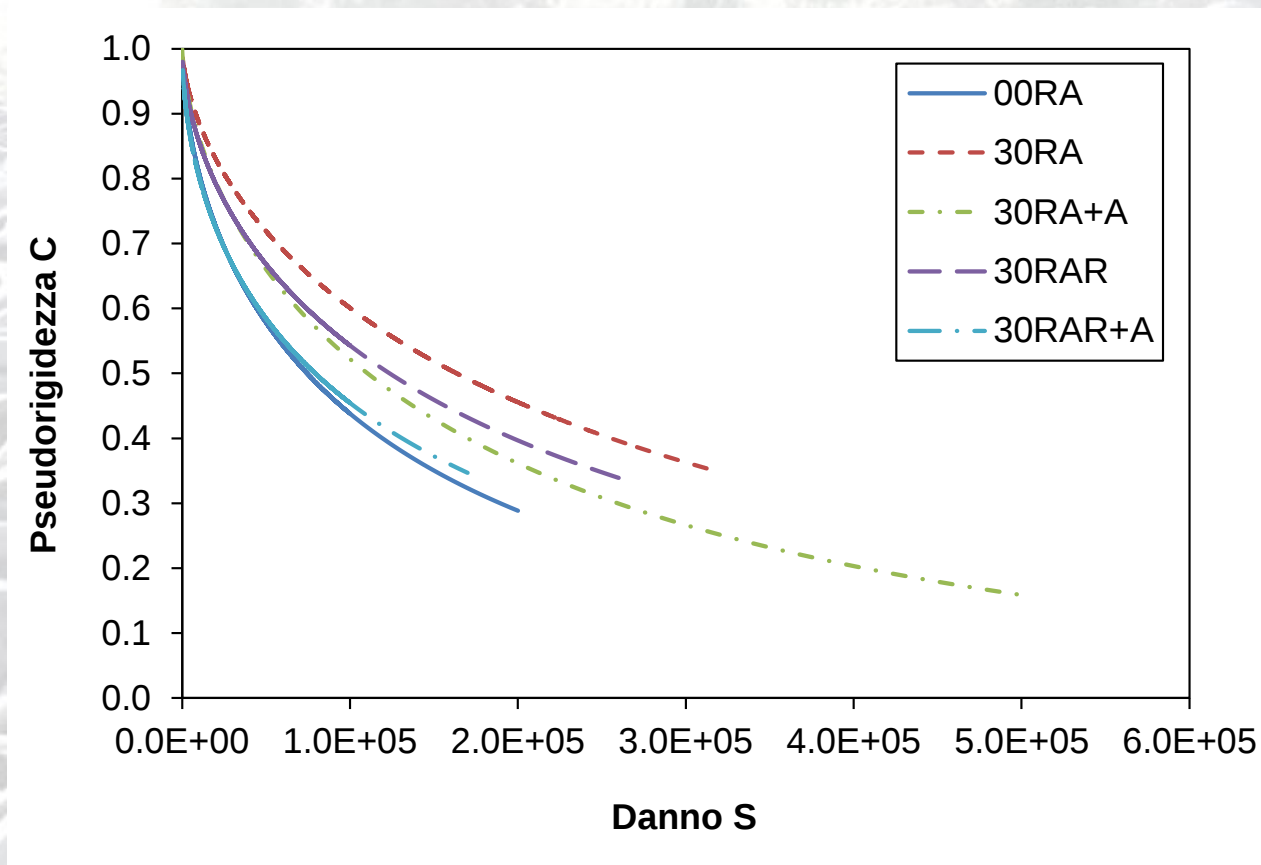
Fresato di Asphalt Rubber

Curve di fatica in termini di deformazione imposta



Fresato di Asphalt Rubber

Confronto tra le curve caratteristiche di danno



Questions - ?





Grazie per l'attenzione