

# L'Università dell'ingegno

Seminario: PAVIMENTAZIONI A ELEVATE PRESTAZIONI E RIDOTTO  
IMPATTO AMBIENTALE

## Il progetto europeo Life Nereide: pavimentazioni con polverino di gomma

**Gaetano Licitra**

**ARPAT**

*Sala Montelupo Domagnano, Repubblica di San Marino, 18/04/2019*



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO



SEGRETERIA DI STATO  
TERRITORIO AMBIENTE E TURISMO  
  
SEGRETERIA DI STATO  
ISTRUZIONE, CULTURA E  
UNIVERSITÀ



# Dati generali del Progetto



- DOVE: **Tuscany (I) & Brussels (B)**

Total amount: **2.764.673 €**  
% EC Co-funding: **1.118.799 €**

- DURATA: **01/09/16 - 31/03/20**

[www.nereideproject.eu](http://www.nereideproject.eu)



Coordinating Beneficiary:

**University of Pisa -The Department of Civil and Industrial Engineering (DICI)**

Associated Beneficiaries:

**ARPAT, BRR, ECOPNEUS, IDASC (CNR), Regione Toscana**



Regione Toscana



ARPAT  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO

- 1) Ridurre lo smaltimento dei rifiuti tramite l'uso di materiali riciclati (Pneumatici Fuori Uso, PFU);*
- 2) Diminuire l'inquinamento acustico in ambito urbano;*
- 3) Migliorare la sicurezza stradale ottenendo superfici drenanti con maggiore aderenza sul bagnato;*
- 4) Ridurre l'inquinamento atmosferico durante le stese.*

**Stesa di nuove pavimentazioni a bassa emissione  
contenenti fresato (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) e  
polverino di gomma (PFU).**

- ❑ Caratterizzazione di materiali grezzi;
- ❑ Stesa di 13 miscele in due fasi:
  1. 2450 m (6 superfici in Toscana + 1 test in Belgio, usando gomma da Pneumatici Fuori Uso, PFU);
  2. 2800 m (6 superfici usando PFU e Reclaimed Asphalt Pavement, RAP, + 1 PoroElastic Road Surface, PERS).
- ❑ Monitoraggio ante/post-operam tramite:
  - Close Proximity Index (CPX);
  - Statistical Pass By (SPB) in ambito urbano;
  - metodo innovativo di misura dell'assorbimento a bordo di laboratorio mobile;
  - valutazione psicoacustica;
  - valutazione strutturale sulla sicurezza stradale;
  - verifica delle emissioni IPA durante la stesa.

- **Riciclo di 24.000 kg di gomma derivante da pneumatici esausti.**
- **Ridurre i livelli di inquinamento acustico di almeno 5 dB (A) rispetto a pavimentazioni tradizionali e di 2 dB (A) rispetto a pavimentazioni porose tradizionali. Verifica da effettuare tramite LDEN e CPXL nonché tramite una valutazione del DALY sugli abitanti.**
- **Migliorare l'attrito delle pavimentazioni del 20%.**
- **Ridurre del 30% le emissioni IPA grazie alla produzione di miscele bituminose a temperature inferiori.**

I benefici saranno valutati in termini di Life Cycle Assessment e l'efficienza sarà valutata in termini olistici considerando

- i livelli di rumore
- la percezione dei cittadini
- gli aspetti di sicurezza stradale
- gli aspetti di sostenibilità a livello di inquinamento atmosferico durante la stesa.

Il progetto contribuisce all'implementazione della legislazione EU:

- Implementando i **piani di azione** ai sensi della direttiva 2002/49/CE abbassando l'esposizione acustica dei cittadini.
- Sviluppando e monitorando **pavimentazioni a bassa emissione** sonora con bassa emissione di CO<sub>2</sub>.

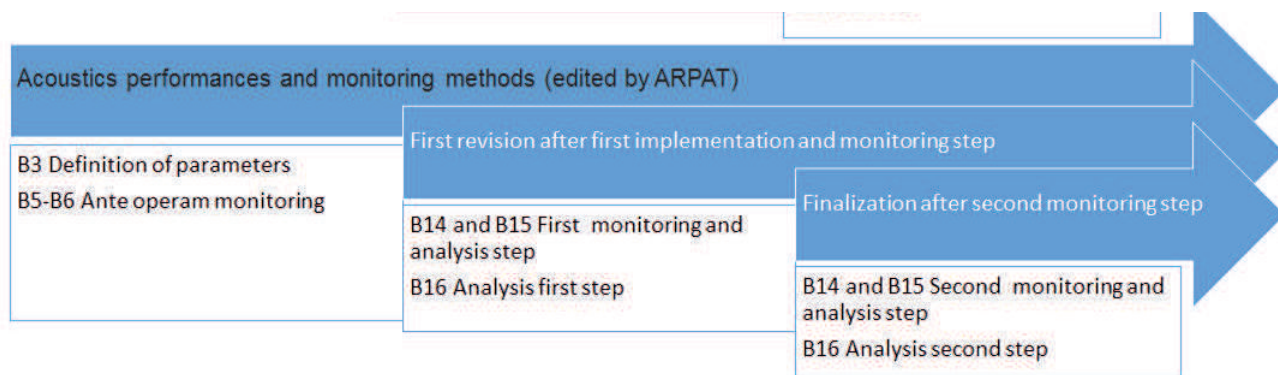
Il progetto produrrà **protocolli per la valutazione dell'efficacia delle pavimentazioni** al fine di stabilire i requisiti minimi di efficacia anche in ambito urbano, là dove i metodi ufficiali non sono sempre applicabili, al fine di sostenere le autorità locali per la valutazione dei risultati.

Il progetto sviluppa **tecnologie e metodi di riduzione del rumore**, sviluppando apposite **linee guida tecniche e amministrative** per incentivarne l'utilizzo come mitigazioni in tutta Europa.



Le linee guida sono costituite da **3 documenti** sviluppati in modo coerente:

1. La definizione delle gare di appalto per l'implementazione di azioni di mitigazione innovative (redatto da Regione Toscana).
2. L'implementazione di azioni di mitigazione innovative: pianificazione e costruzione di pavimentazioni a bassa emissione (redatto da DICI).
3. L'implementazione di azioni di mitigazione innovative: performance acustiche e metodi di monitoraggio (redatto da ARPAT).





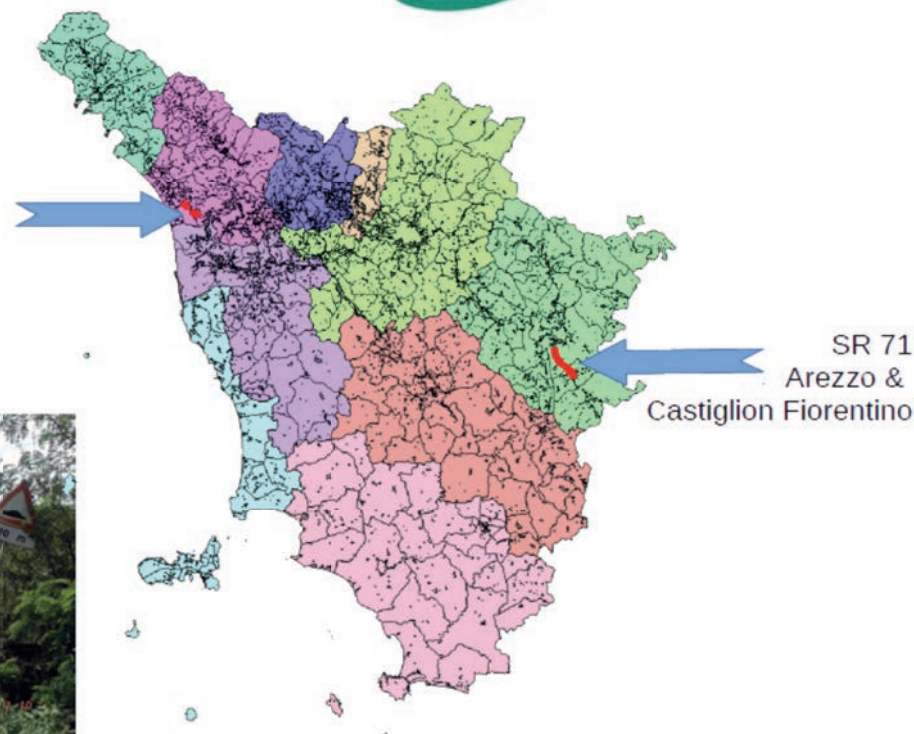
# Contesto

I siti sperimentali sono collocati a **Massarosa**, **Arezzo** e **Castiglion Fiorentino**.

Le caratteristiche delle aree selezionate sono le seguenti:



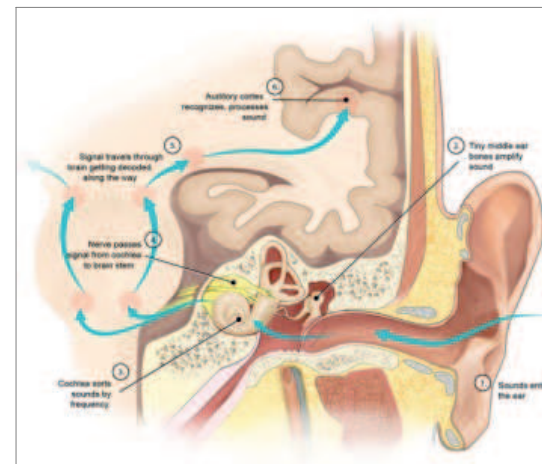
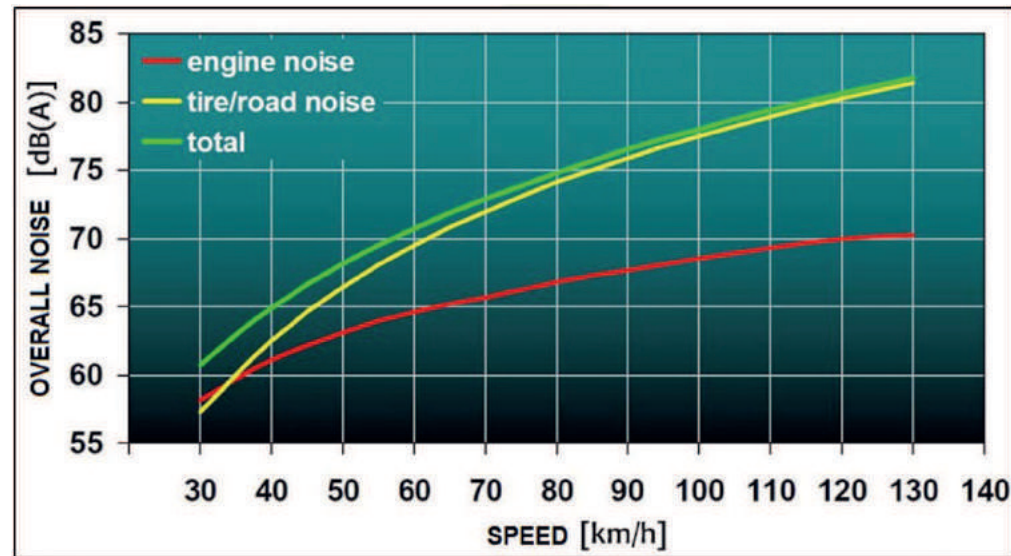
SR 439  
Massarosa



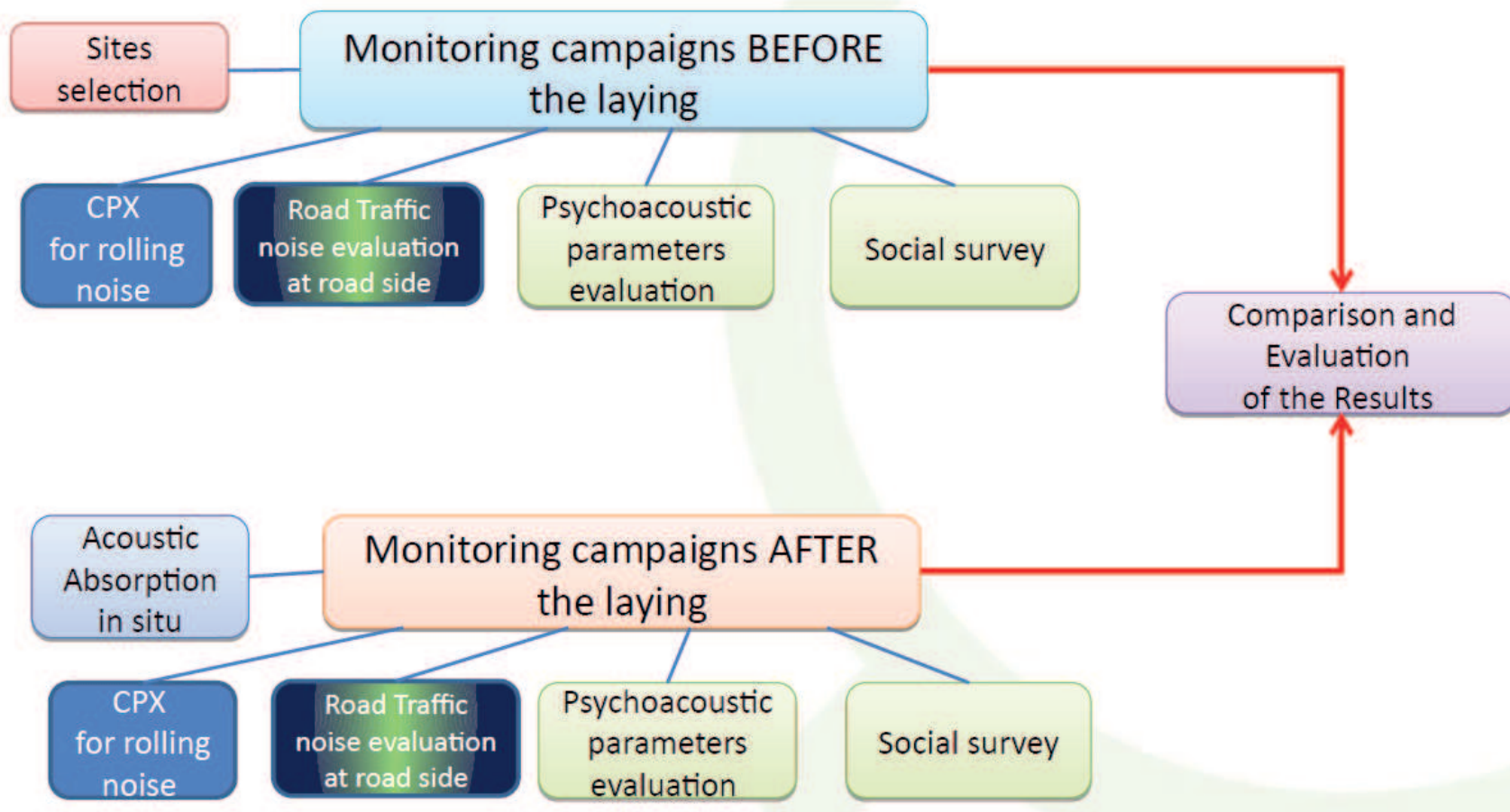
Sites	Inhabitants	Inhabitants exceeding limits	Sensitive buildings	AADT 2016		
				2-wheelers	Light Vehicles	Heavy Vehicles
SR439	1587	1131	4	370	13889	124
SR71	5963	2172	6	112	10783	248

# Rumore da traffico

- Il rumore da rotolamento diventa rilevante a 35 km/h e predominante dopo i 50 km/h.
- Nei siti interessati la velocità dei veicoli è superiore ai 40-50 km/h.
- Le prestazioni acustiche delle pavimentazioni stradali sono normate dalla ISO 11819-1, metodo SPB, dalla ISO 11819-2, metodo CPX, e da diversi metodi per la stima dell'assorbimento acustico.
- La letteratura si concentra soprattutto sulla fisica del rumore da rotolamento ma trascura come i ricettori (ad es. popolazione) percepiscano il rumore da traffico, sia dentro che fuori i veicoli, e come il rumore influenzi i ricettori sensibili.
- Sfortunatamente non esistono normative mirate alla caratterizzazione della percezione umana del rumore da rotolamento, che viene di solito valutato in funzione di parametri psicoacustici.



# Riduzione del rumore: valutazione

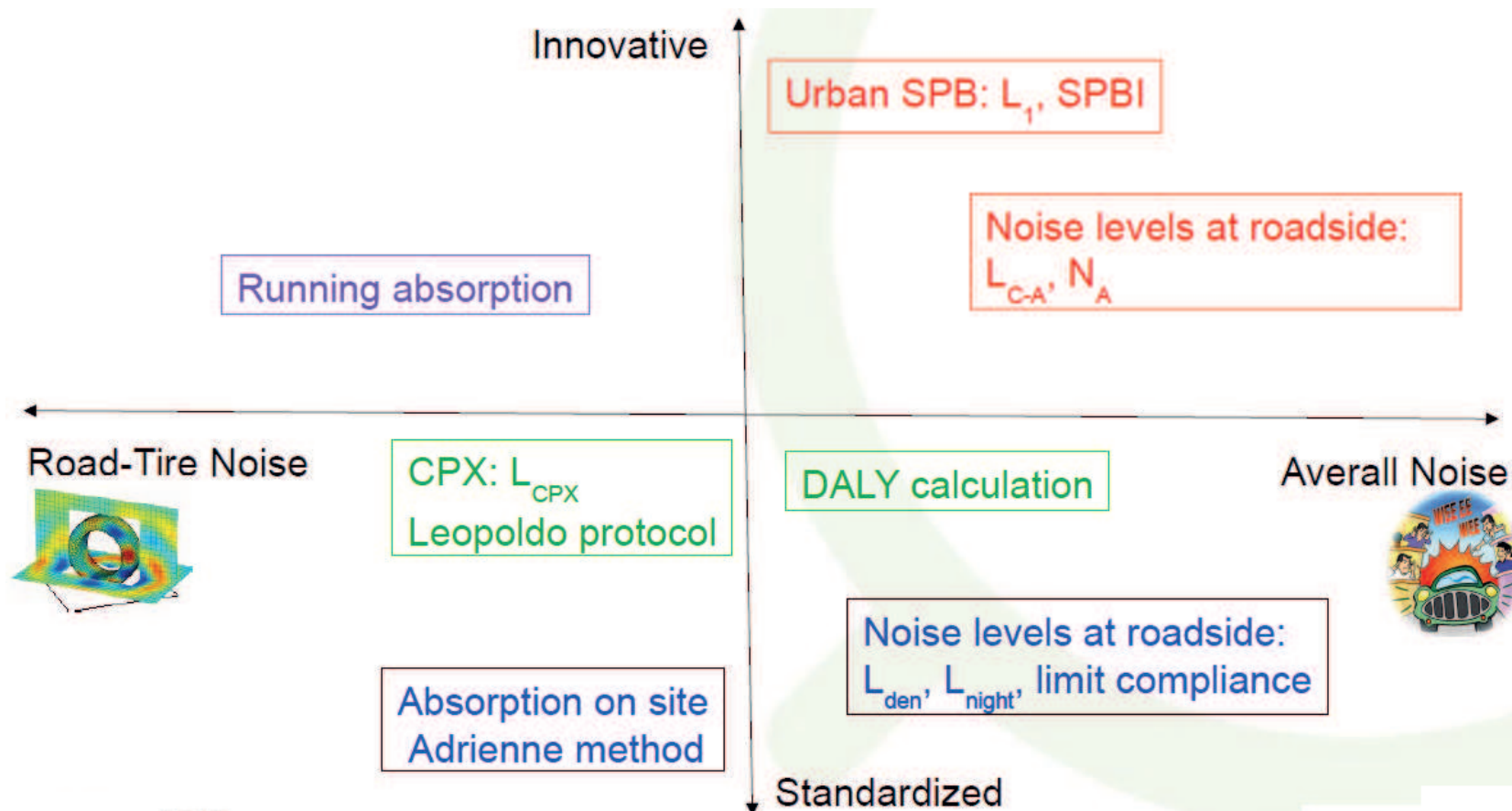




# I parametri acustici monitorati



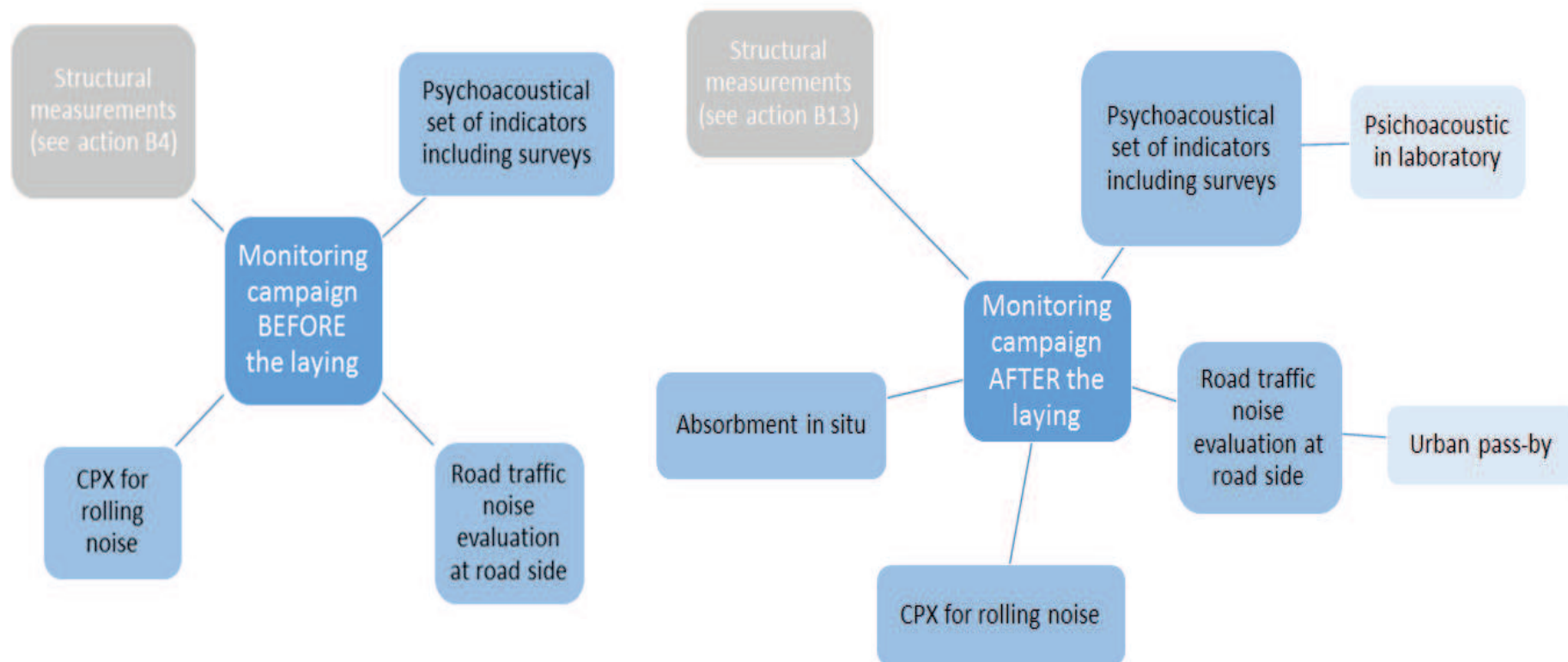
**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO

# Parametri acustici e psicoacustici

Indicatori scelti al fine del monitoraggio ante post delle seguenti caratteristiche:



# Rumore percepito dalla popolazione [1/4]



**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

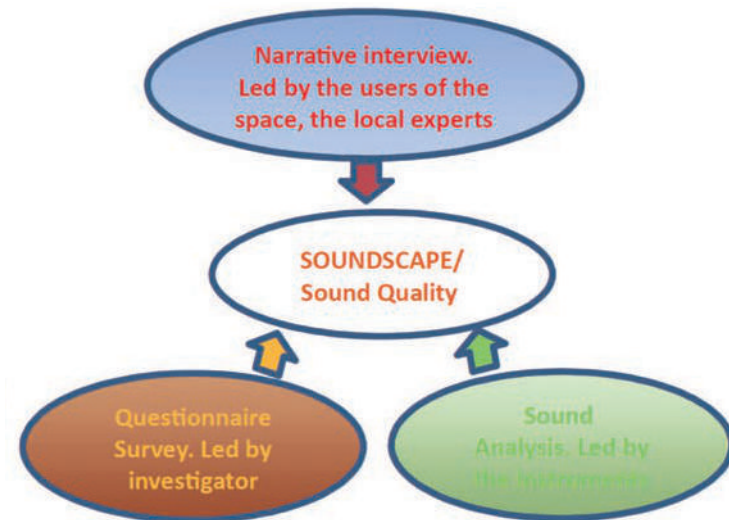
La **psicoacustica** è una disciplina che si occupa della sensazione sonora in relazione agli umori prodotti nell'ascoltatore.

I parametri psicoacustici sono usati come descrittori della qualità percepita del rumore:

**Grandezze psicoacustiche principali:** sensazione sonora (loudness), nitidezza (sharpness), ruvidità (roughness), la fluttuazione (fluctuation strength), tonalità (tonality).

**Grandezze psicoacustiche secondarie:** annoyance.

Non è possibile osservare direttamente la reazione o l'emozione causata dal disturbo del rumore in una persona e deve quindi essere valutata attraverso autovalutazioni ottenute tramite interviste (telefoniche o faccia a faccia) o questionari (posta ordinaria o, più recentemente, sul web).



Project: ARPAT Toscana - CINE  
Project: NERIDE  
LIFE 15. Environment  
Questionnaire: noise  
Site: Subject: 0

**SURVEY ON NOISE IN THE LIFE ENVIRONMENT**

Please answer to all questions one by one, in the same order they appear in the sheets. Darken the circle box ☐ which better corresponds to your situation/opinion. For multiple answers, darken each of the circle box ☐ which better corresponds to your situation/opinion. Your personal data will be processed in a strictly confidential manner and the publication of the survey results will be in a way to avoid any recognition of the responses you have given.

**GENERAL INFORMATION**

Please give your address, also for further communication:

Municipality: \_\_\_\_\_ Place, district: \_\_\_\_\_

Address where you live (mandatory): \_\_\_\_\_

Street: \_\_\_\_\_ n. \_\_\_\_\_ Tel: \_\_\_\_\_

1.1 Gender: ☐ F ☐ M

1.2 Age (years): ☐ 15-25 ☐ 26-35 ☐ 36-45 ☐ 46-55 ☐ 56-65 ☐ 66-80 ☐ more than 80

1.3 Civil status: ☐ Single, widower ☐ Married, cohabitant

1.4 Education: ☐ Primary ☐ Secondary ☐ Degree

1.5 Occupation: ☐ Employed ☐ Craftsman ☐ Housewife  
☐ Housekeeper ☐ Retired ☐ Farmer  
☐ Professional ☐ Shopkeeper ☐ Unemployed  
☐ Student ☐ Teacher ☐ Businessman  
☐ Other (specify): \_\_\_\_\_

1.6 How many years do you live in this house? ☐ less than 1 ☐ 1-4 ☐ 5-10 ☐ 11-20 ☐ more than 20

1.7 Including you, how many persons live in the house? ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ more than 5

How many children are old less than 10 years? ☐ 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ more than 3

1.8 Type of house: ☐ Detached ☐ Independent terraced house  
☐ Semi-detached or multi-family house  
Flat at floor: ☐ ground or raised ☐ 1<sup>st</sup> ☐ 2<sup>nd</sup> ☐ 3<sup>rd</sup> ☐ 4<sup>th</sup> ☐ 5<sup>th</sup> or more

1.9 With what right do you live in the house? ☐ Owner ☐ Tenant or sub-tenant

1.10 On average, how many hours per day do you stay at home? ☐ not more than 8 h ☐ from 9 to 12 h ☐ from 13 to 16 h ☐ more than 16 h

1.11 Do you have hearing impairment? ☐ No ☐ Yes ☐ Don't know  
If the answer is YES, specify the impairment: \_\_\_\_\_  
Do you usually wear hearing aids? ☐ No ☐ Yes

1.12 How much are you satisfied of the services given by the Municipality where you live?

<input type="radio"/> Not at all	<input type="radio"/> A little	<input type="radio"/> Moderately	<input type="radio"/> Much	<input type="radio"/> Very much
----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------	---------------------------------

1.13 What do you suggest to improve the environment, the area where you live?



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO

# Rumore percepito dalla popolazione [2/4]



Gli algoritmi utilizzati per valutare i descrittori psicoacustici sono, ove possibile, standardizzati

Descriptor	Algorithm
Loudness	ISO 532-1
Sharpness	DIN 45692
Roughness	Sottek
Fluctuation strength	Sottek modified

## Definizione dei parametri psicoacustici (Zwicker E. & Fastl H.):

La **sensazione sonora (loudness)** è il livello percepito di un suono. È diverso da quello misurato da un SPM.

La **nitidezza (sharpness)** è una misura del contenuto alle alte frequenze di un suono. Maggiore è il contenuto alle alte frequenze, più nitido è il suono percepito.

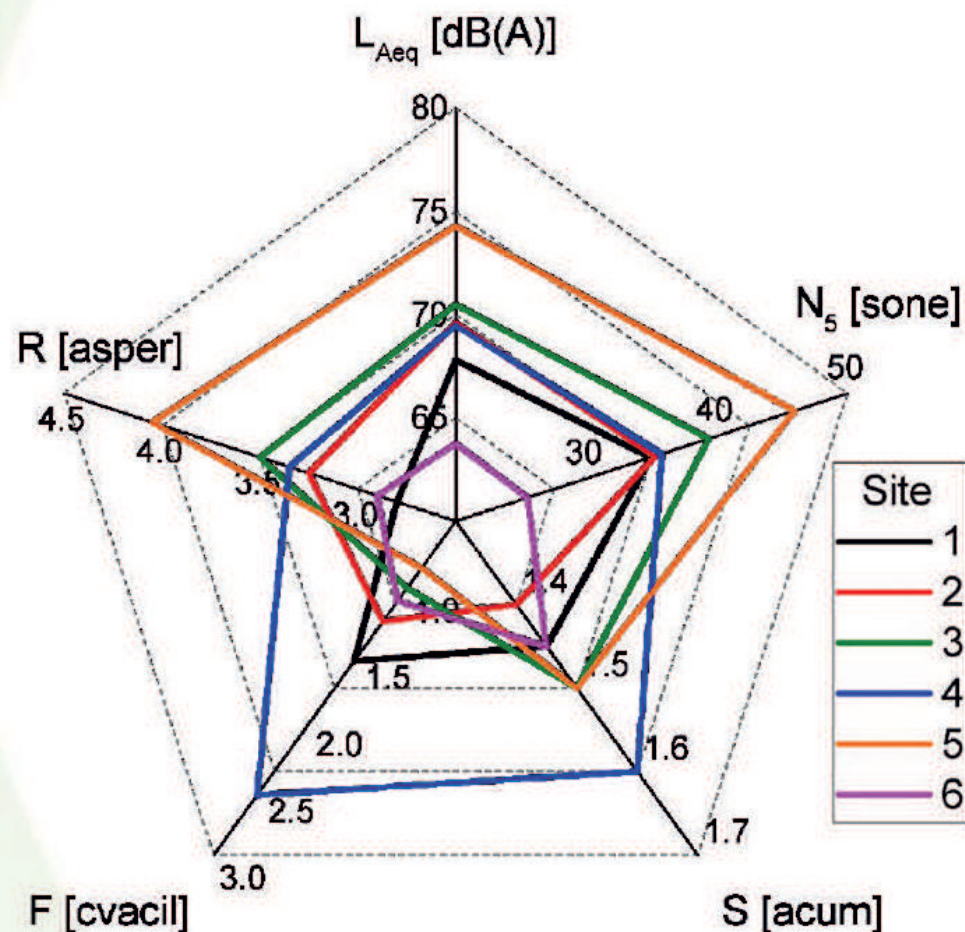
La **ruvidità (roughness)** quantifica la percezione soggettiva della modulazione in ampiezza di un suono (modulazione in frequenza 15 Hz ÷ 300 Hz).

La **fluttuazione (fluctuation strength)**, come la ruvidità, quantifica la percezione soggettiva della modulazione in ampiezza di un suono ma a frequenze più basse fino a 20Hz.



## Impronta Psicoacustica

L'impronta psicoacustica prende in considerazione i valori misurati di livello equivalente  $L_{Aeq}$ , il 5° percentile di sensazione sonora  $N_5$ , i valori medi della nitidezza  $S$ , della fluttuazione  $F$  e della ruvidità  $R$  per ciascun sito.



Valori dei parametri psicoacustici misurati presso ogni sito

# Rumore percepito dalla popolazione [4/4]



**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

## Social survey

Il vantaggi ottenuti dalla nuova pavimentazione stradale in termini di riduzione di rumore sono valutati confrontando le valutazioni soggettive fornite nelle configurazioni "ante" e "post operam "

Un questionario, strutturato in 3 sezioni (dati personali, valutazione del disturbo, sensibilità al rumore), è stato sviluppato e consegnato agli abitanti che vivono lungo e vicino i tratti stradali interessati dall'azione di mitigazione relativa alla posa delle nuove superfici stradali

Nella seconda sezione del questionario viene eseguita l'autovalutazione del disturbo del rumore, valutato attraverso due diverse scale:  
di tipo verbale (5 punti) e di tipo numerico (11 punti)

2.1 How much the noise from the sources listed below annoys or disturbs you; give only an answer for each of the perceived sources; for those not perceived darken the circle box "NP".  
*Thinking about the last 12 months, when you are at home, how much you were bothered, disturbed, or annoyed by the noise from the following sources?*

Noise source	NP	☺ Not at all	A little	Moderately	Much	☹ Very much
1) Road traffic	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Railway traffic	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Aircraft flyover	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Shipyards, construction,	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2.3 Give a score on the numerical scale from 0 (☺ not at all annoyed) to 10 (☹ extremely annoyed) to indicate how much the noise from the sources listed below annoys or disturbs you; give only an answer for each of the perceived sources; for those not perceived darken the circle box "NP".

*Thinking about the last 12 months, when you are at home, how much you were bothered, disturbed, or annoyed by the noise from the following sources?*

Noise source	NP	☺ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	☹ 10
1) Road traffic	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Railway traffic	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Aircraft flyover	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Shipyards, construction,	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

# Metodi innovativi di monitoraggio

Nella fase di analisi post operam del primo lotto e nelle fasi ante post del secondo lotto sono utilizzati metodi innovativi per:

- La valutazione del rumore prodotto dalle singole categorie di veicoli a bordo strada tramite lo sviluppo di una **metodologia pass by in ambito urbano (U-SPB)**.
- La misura dell'assorbimento acustico a bordo di un **laboratorio mobile** al fine della caratterizzazione dell'omogeneità della stesa di pavimentazioni open.

# Valutazione del rumore da traffico mediante metodo SPB

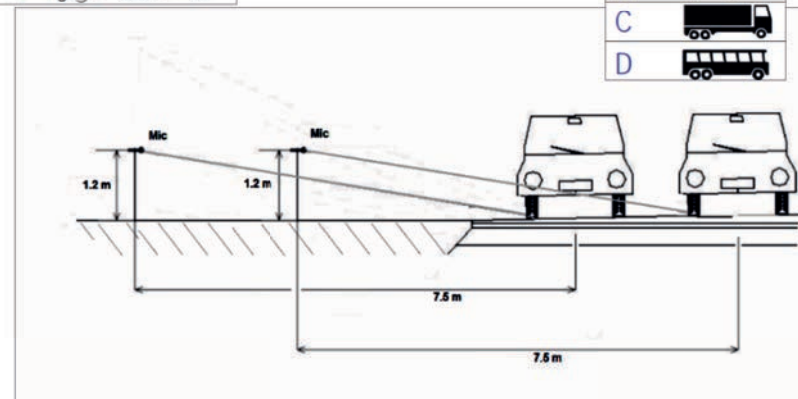


**ARPAT**

Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana



A	
B	
C	
D	



- Il metodo Statistical Pass By (SPB), regolamentato dalla norma ISO 11819-1, può essere usato per:
  - Classificare le pavimentazioni stradali in funzione della loro influenza sul rumore prodotto da varie composizioni di traffico;
  - Valutare l'influenza del rumore di una pavimentazione indipendentemente da età e condizioni (ad es. prima e dopo il suo rifacimento).

## VANTAGGI

- Tiene conto delle reali condizioni di traffico;
- Valuta l'esposizione al rumore del ricettore (ad altezza uomo);
- Permette di calcolare la potenza sonora per un modello di sorgente semplificata.

## SVANTAGGI

- Permette di indagare solo limitate aree della pavimentazione stradale;
- Richiede condizioni di prova difficili da realizzare (campo libero), soprattutto in ambito urbano;
- Richiede lunghi tempi di prova;
- Richiede la presenza costante di un operatore;
- Difficoltà nel misurare le velocità medie reali.





## SPB in ambito urbano: U-SPB

Definizione di un **nuovo protocollo (Urban-SPB)** che consente di ottenere un indice SPB in ambito urbano considerando i dati dei livelli notturni rilevati da stazioni di monitoraggio in continuo non presidiate e i dati delle categorie dei veicoli rilevati tramite contatraffico. \_

Stazione per il  
monitoraggio  
continuo



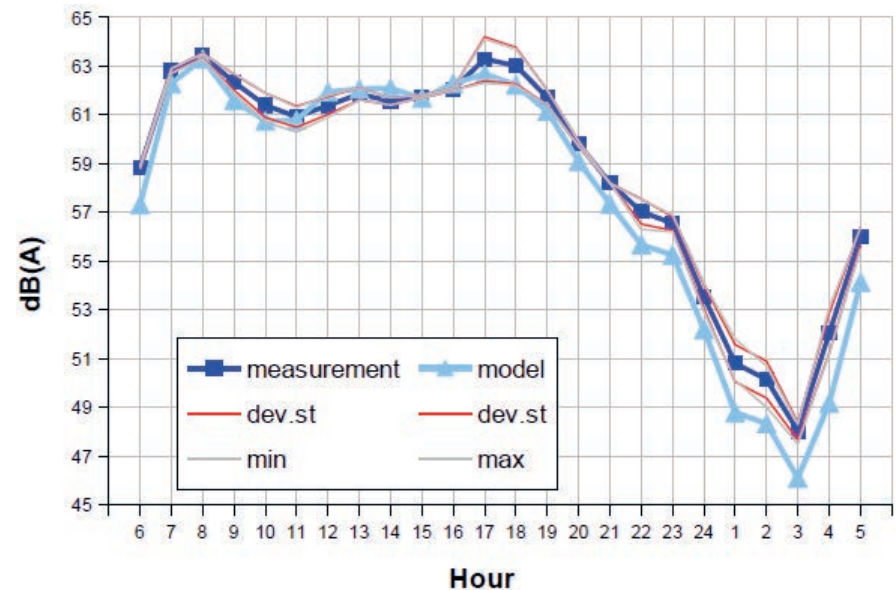
Contatore di  
traffico per  
distinguere le  
categorie

# U-SPB: risultati

Il metodo fornisce un modello di sorgente capace di **predire il rumore in base al flusso veicolare** considerando le emissioni acustiche delle differenti categorie di veicoli.



Noise Indicator	Meas.	Pass by Model	Difference
$L_D$	62.0	61.8	0.2
$L_E$	59.1	58.3	0.8
$L_N$	54.0	52.4	1.6
$L_{DEN}$	63.0	62.1	0.9



Sito di validazione del modello pass by: Sesto Fiorentino

# Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

- Assorbimento acustico

Legge di conservazione dell'energia:

$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

Coefficiente di assorbimento acustico:

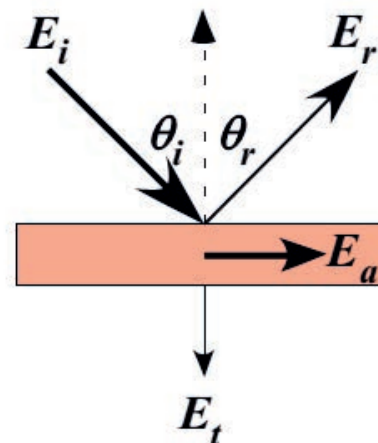
$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = \frac{E_a + E_t}{E_i}$$

Se  $\hat{r} = r \angle \theta$  è il coefficiente di riflessione della pressione:

$$\alpha = 1 - |\hat{r}|^2 = 1 - r^2$$

Impedenza acustica normale superficiale:

$$\hat{Z}_n = \frac{1 - \hat{r}}{1 + \hat{r}}$$





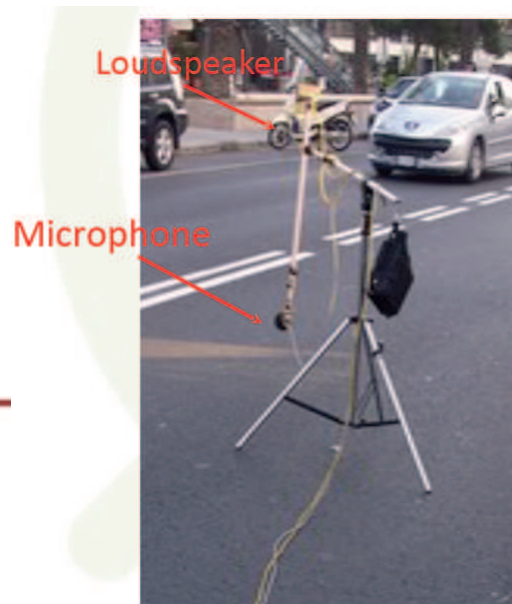
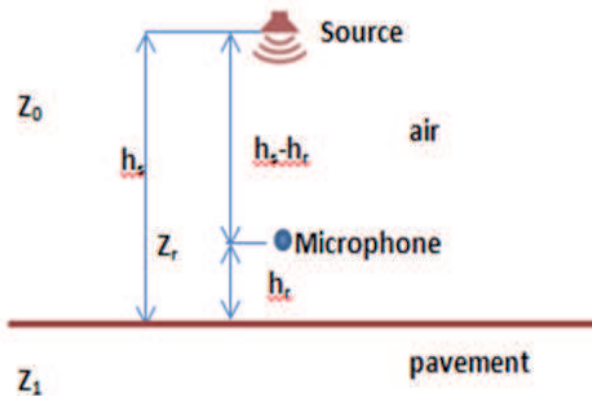
# Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

## Metodi tradizionali: caratterizzazione in sito

Esistono due metodi per la determinazione dell'assorbimento acustico in sito, i quali non necessitano di estrazione di campioni della pavimentazione:

- 1) Spot method (ISO 10534)
- 2) Adrienne method (ISO 13472-1)

## Metodo Adrienne



assorbimento acustico.

Svantaggi: metodo statico.

# Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

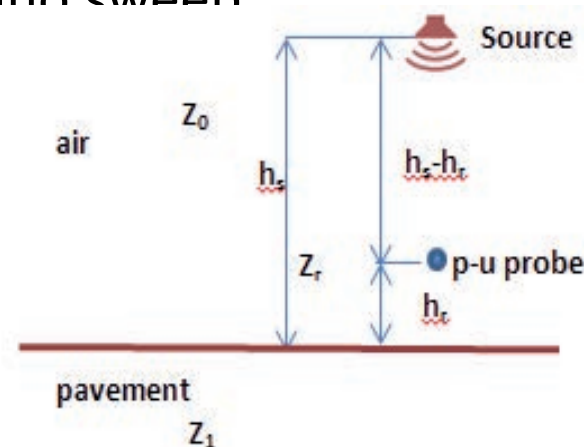
## Metodo proposto: caratteristiche

Il metodo proposto vuole essere una evoluzione del metodo Adrienne, dato che:

- Il microfono viene sostituito da una sonda p-u (pressione-velocità);
- Il segnale di prova è un rumore rosa continuo o pink swan

## Vantaggi:

Le misure vengo fatte in continuo (mentre la sonda si muove).



## Difficoltà:

$h_s$ : mantenere costante la distanza sorgente-pavimentazione;

$h_r$ : mantenere costante le sonda p-u dalla pavimentazione.

# Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

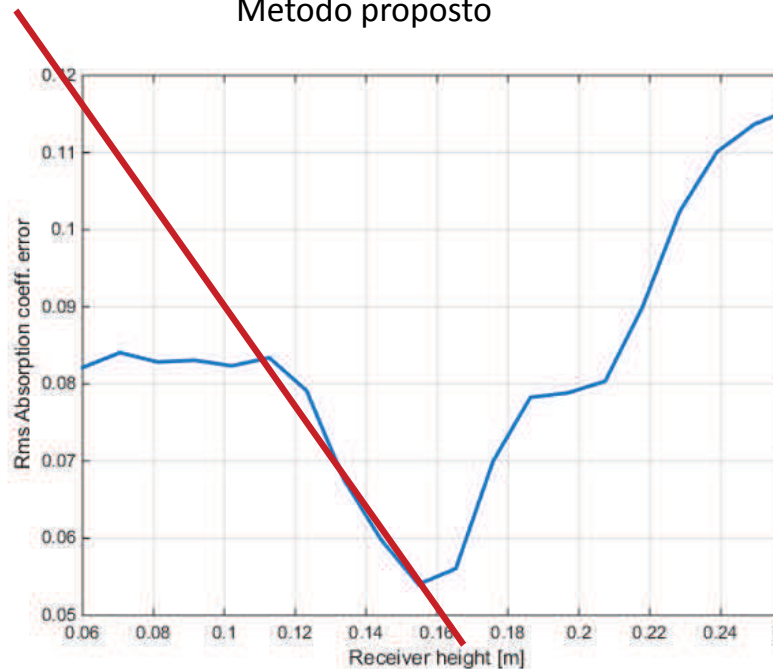
## Comparazione dei metodi

Il coefficiente di riflessione è sensibile alla variazione dell'altezza del microfono e dell'altoparlante.

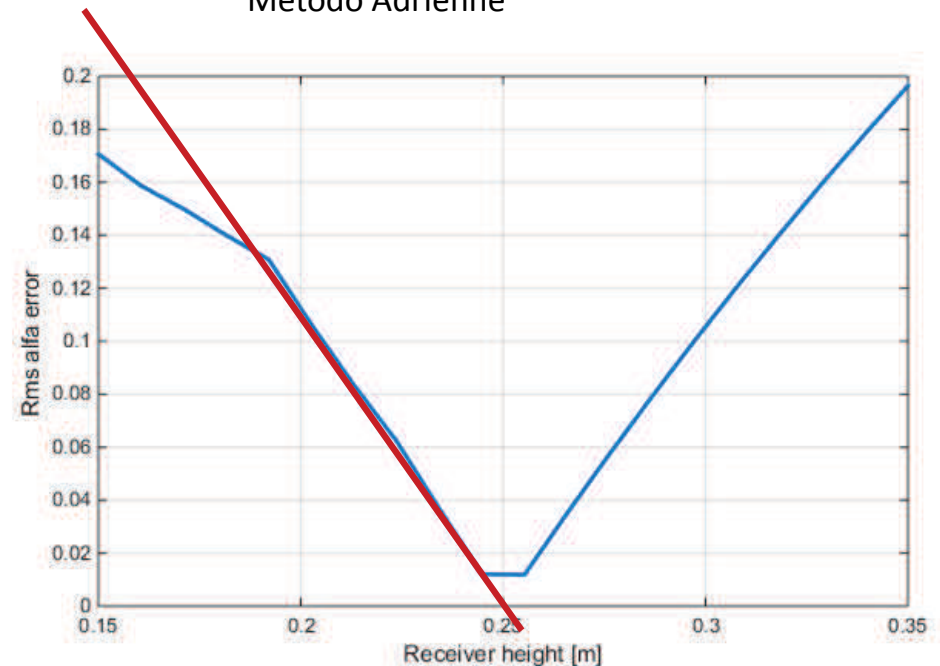
$$\frac{\partial \alpha}{\partial h_r} = \frac{\partial |R|^2}{\partial h_r}$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial h_s} = \frac{\partial |R|^2}{\partial h_s}$$

Metodo proposto



Metodo Adrienne



Andamento dell'errore del coefficiente di assorbimento dovuto al cambio della distanza  $h_r$  (quota ricevitore).

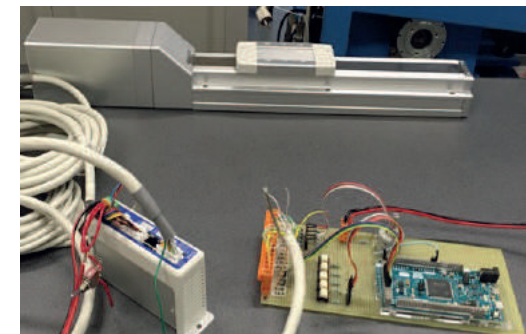
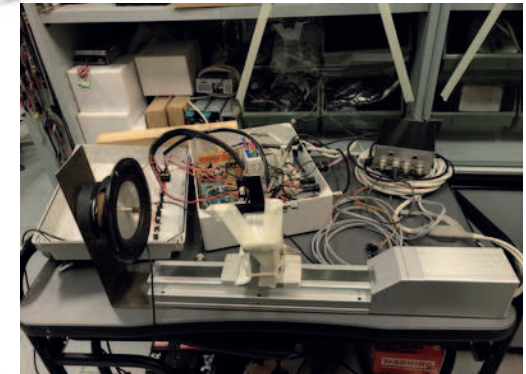
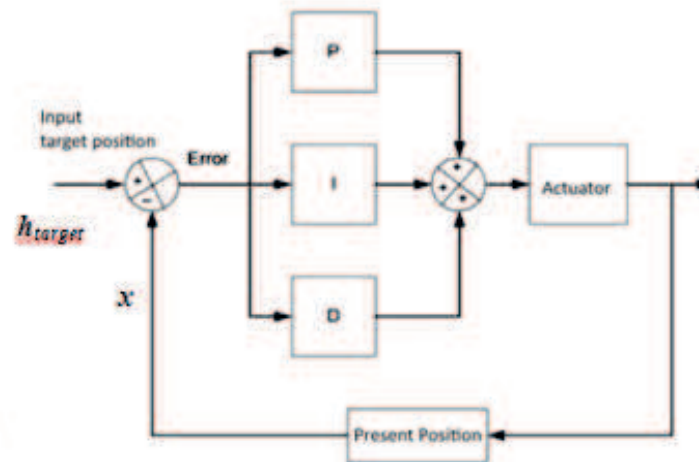
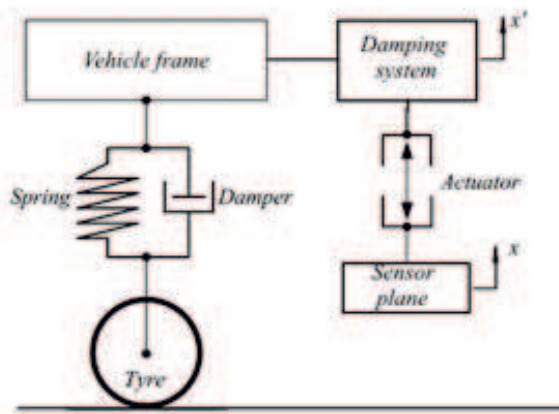
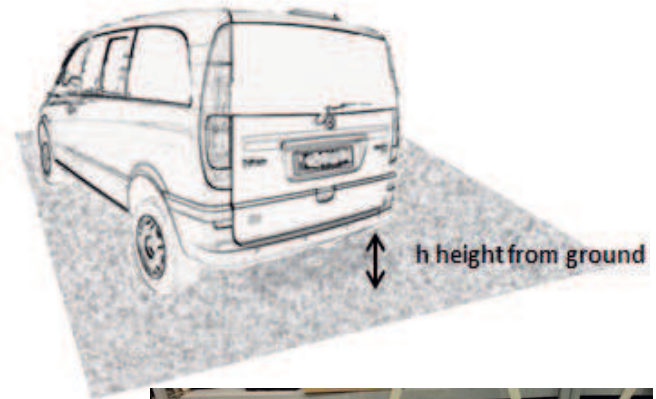
# Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile



**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

Metodo proposto:

Il sistema sonda-ricevitore verrà montato dietro un veicolo e le distanze dalla pavimentazione verranno mantenute costanti usando un Proportional Integral Derivative controller (PID) .

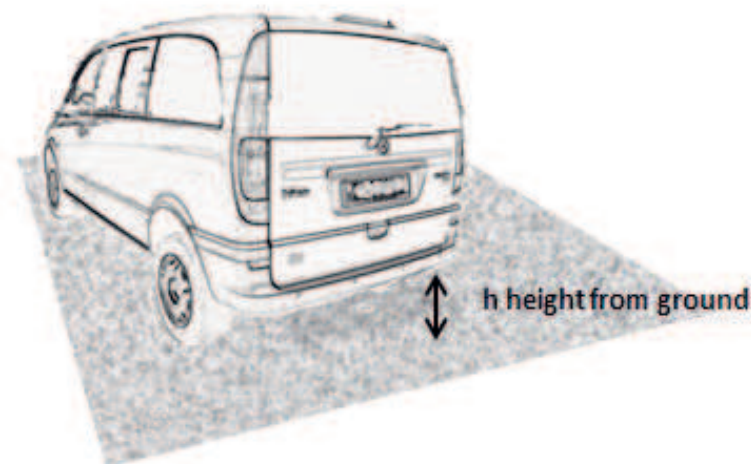


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO



# Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

- Nel progetto NEREIDE, per la caratterizzazione acustica di pavimentazioni stradali esistenti e nuove, è stato sviluppato un metodo per la misura in continuo del coefficiente di assorbimento acustico, usando un sistema basato su una sonda p-u montata su un veicolo.
- Il metodo rappresenta una evoluzione del metodo Adrienne (ISO 13472-1).
- Il metodo permette di eseguire le misure con veicolo in movimento.



Attualmente il sistema è in fase di messa a punto di in laboratorio.

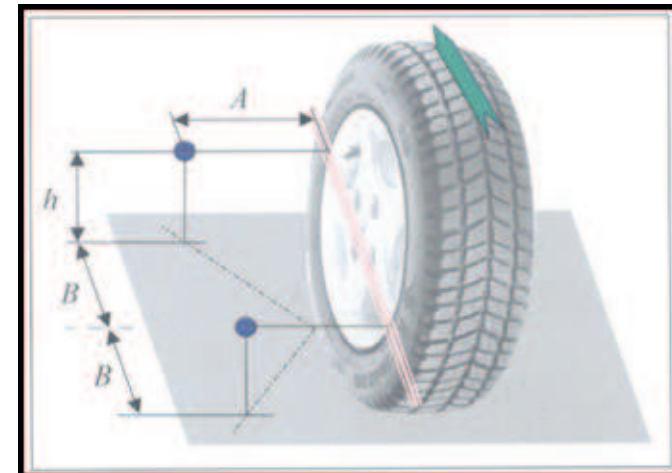
Prestazioni acustiche di una  
pavimentazione valutate con il metodo  
CPX (UNI EN ISO 11819-2:2017).



**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

## Vantaggi:

- **E' una misura diretta del solo rumore di rotolamento;**
- **E' in grado di caratterizzare l'intera stesa per tutta la sua lunghezza e di valutarne quindi l'omogeneità spaziale in termini di emissione acustica.**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO

# verifica della conformità della produzione e dell' durata delle prestazioni acustiche di pavimentazioni low-noise secondo i criteri GPP



**ARPAT**  
Agenzia regionale  
per la protezione ambientale  
della Toscana

*“Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance” (denominato **GPP**), edito dalla Commissione Europea*

Si utilizza la tecnica CPX:

Secondo il protocollo richiesto dalla UNI EN ISO 11819-2 e adottato dal Report GPP il tratto di strada viene suddiviso in **sezioni di 20 m** e **i dati vengono corretti in temperatura dell'aria e durezza dello pneumatico di riferimento utilizzato (SRTT).**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO



## VERIFICA DELLA CONFORMITA' DELLA PRODUZIONE

### QUANDO ?

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

### QUANDO ?

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).

(\*) I valori da non superare sono quelli indicati con il progetto (se inferiori).

# ALCUNI RISULTATI SPERIMENTALI

## IL progetto Life NEREiDE



# PROGETTO LIFE NEREIDE



I sei tratti di pavimentazione studiata nella I fase:  
**Massarosa** (sopra) e **Pian del Quercione** (lato) -  
S.R. 439 Sarzanese Valdera.

Strada a 1 carreggiata e 2 corsie da ca 3.5 m  
Limite: 50 km/h



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELLA REPUBBLICA  
DI SAN MARINO



# Monografie siti sperimentali [1/2]

DENOMINAZIONE	Sigla	chilometrica	Data di stesa	SPESSORE [mm]	$\phi_{\max}$ aggregato [mm]	$\phi_{\text{nominale}}^{(1)}$ aggregato [mm]	BITUME <sup>(2)</sup> %	POVERINO %	VUOTI <sup>(3)</sup> %
Usura gap graded di riferimento	<b>GAP Riferimento</b>	Km 16+467 - Km 17+240	06/12/2017	40	10.0	8.6	5.2	-	7.0
Usura gap graded confezionata a tiepido e additivata con polverino secondo processo dry tiepido	<b>GAP Dry</b>	Km 17+240 - Km 17+615	13/12/2017	40	8.0	6.1	8.0	3.0	10.5
Usura open graded confezionata a tiepido e additivata con polverino secondo processo dry tiepido	<b>OPEN Dry</b>	Km 17+615 - Km 18+000	19/12/2017	40	8.0	6.1	5.6	1.0	19.1
Usura open graded di riferimento	<b>OPEN Riferimento</b>	Km 18+000 - Km 18+437	20/12/2017	40	10.0	8.9	4.6	-	25.2
Usura open graded confezionata a tiepido con bitumi additivati con polverino secondo processo wet	<b>OPEN Wet</b>	Km 12+897 - Km 12+514	17/01/2018	40	8.0	6.2	5.7	1.1 <sup>(4)</sup>	17.6
Usura gap graded confezionata a tiepido con bitumi additivati con polverino secondo processo wet	<b>GAP Wet</b>	Km 12+514 - Km 12+078	18/01/2018	40	8.0	5.9	8.1	1.6 <sup>(4)</sup>	5.9

<sup>(1)</sup> Diametro dell'aggregato lapideo a cui corrisponde una percentuale di passante al 90%.

<sup>(2)</sup> Percentuale di bitume riferita al peso degli aggregati.

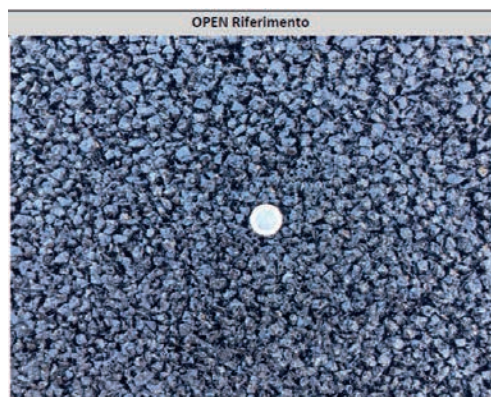
<sup>(3)</sup> Vuoti relativi alla densità di progetto  $D_g$  ottenuta su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria.

<sup>(4)</sup> Nel processo wet la percentuale di polverino è pari al 20% del contenuto di bitume.

Additivazione del PFU  
e dry

# Monografie siti sperimentali [2/2]

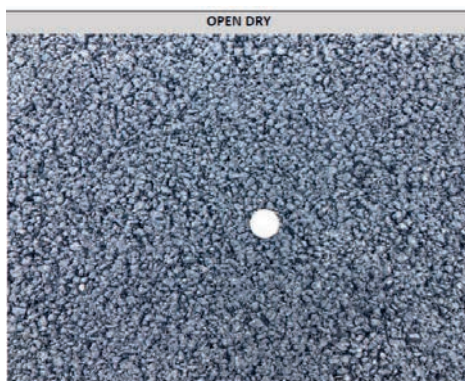
OPEN



OPEN WET



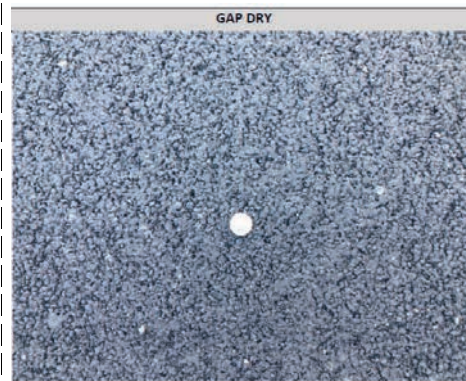
OPEN DRY



GAP



GAP DRY



GAP WET





# Massarosa Open dry (tratto2)

Site (km)	Laying Date	Aggregate diameter	Bitumen%	Rubber%	Voids%
17+615 – 18+000	29/05/18	8 mm	5.6	1.0	19.1

$L_{CPX}$  (50 km/h)

Direzione: Lucca	Direzione: Viareggio
88.1± 2.0	87.1 ± 1.9

Livelli equivalenti  
pesati A a Lungo  
termine su Periodi  
Italiani e EU

LD (6.00 - 22.00)	LD Limite	LN (22.00 - 6.00)	LN Limite	LDEN
62.8	65	54.5	55	63.8

DALY Annoyance	DALY Sleep disturbance
0.6	1.1

# Massarosa Gap dry (tratto3)

Site (km)	Laying Date	Aggregate diameter	Bitumen%	Rubber%	Voids%
17+240 – 17+615	13/12/17	8 mm	8.0	3.0	10.5

$L_{CPX}$  (50 km/h)

Direzione: Lucca	Direzione: Viareggio
89.2 ± 1.6	89.0 ± 1.4

Livelli equivalenti  
pesati A a Lungo  
termine su Periodi  
Italiani e EU

LD (6.00 - 22.00)	LD Limite	LN (22.00 - 6.00)	LN Limite	LDEN
63.5	50*	57.3	55	65.5

\*scuola

DALY Annoyance	DALY Sleep disturbance
0.8	1.5



# Massarosa Gap wet (tratto5)

Site (km)	Laying Date	Aggregate diameter	Bitumen%	Rubber%	Voids%
12+897 – 12+614	18/01/18	8 mm	8.1	1.6	5.9

$L_{CPX}$  (50 km/h)

Direzione: Lucca	Direzione: Viareggio
91.0 ± 1.3	91.3 ± 1.5

Livelli equivalenti  
pesati A a Lungo  
termine su Periodi  
Italiani e EU

LD (6.00 - 22.00)	LD Limite	LN (22.00 - 6.00)	LN Limite	LDEN
67.8	50*	61.3	55	69.7

\*scuola

DALY Annoyance	DALY Sleep disturbance
0.4	0.7

# Massarosa Open wet (tratto6)

Site (km)	Laying Date	Aggregate diameter	Bitumen%	Rubber%	Voids%
12+514 – 12+078	17/01/18	8 mm	5.7	1.1	17.6

$L_{CPX}$  (50 km/h)

Direzione: Lucca	Direzione: Viareggio
87.3 ± 1.4	87.5 ± 1.0

Livelli equivalenti  
pesati A a Lungo  
termine su Periodi  
Italiani e EU

LD (6.00 - 22.00)	LD Limite	LN (22.00 - 6.00)	LN Limite	LDEN
64.4	65	59.3	55	66.7

DALY Annoyance	DALY Sleep disturbance
0.4	0.9

# Confronto ante/post operam

Stretch – pavement	$L_{CPX}$ [dB(A)]	LDEN [dB(A)]	DALY (annoyance)	DALY (sleep disturbance)
<i>1 – Open - Reference</i>	<b>4.8</b>	<b>3.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.1</b>
2 – Open dry rubber	<b>9.3</b>	<b>6.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.8</b>
3 – Gap dry rubber	<b>6.7</b>	<b>5.0</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>
<i>4 – Gap - Reference</i>	<b>3.4</b>	<b>1.9</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>
5 – Gap wet rubber	<b>4.7</b>	<b>3.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.2</b>
6 – Open wet rubber	<b>8.2</b>	<b>4.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>

# ALCUNI RISULTATI SPERIMENTALI

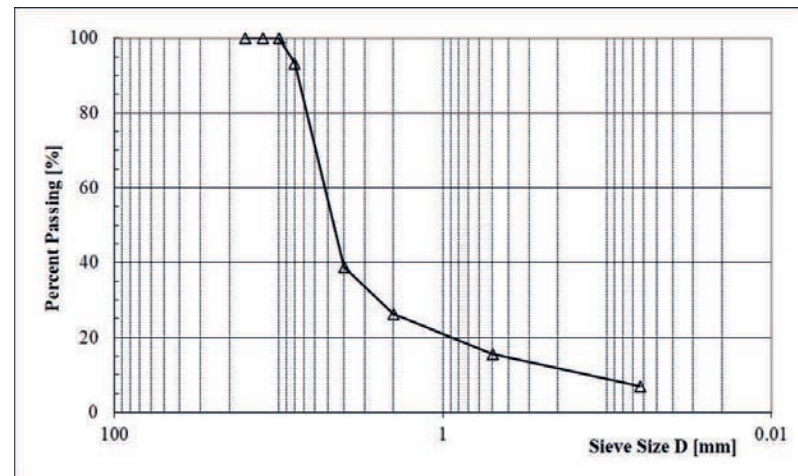
## L'esperienza riminese

# Caso Studio I – Via Marecchiese, Rimini

**Pavimentazione contenente  
gomma additivata secondo il  
metodo dry  
Gap Graded 0/8 mm (DR)**



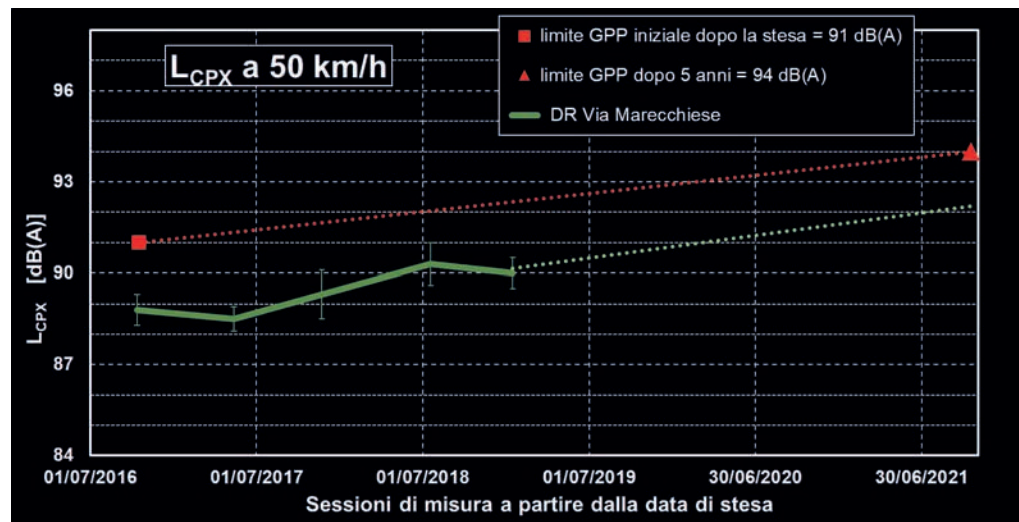
**Curva Granulometrica**



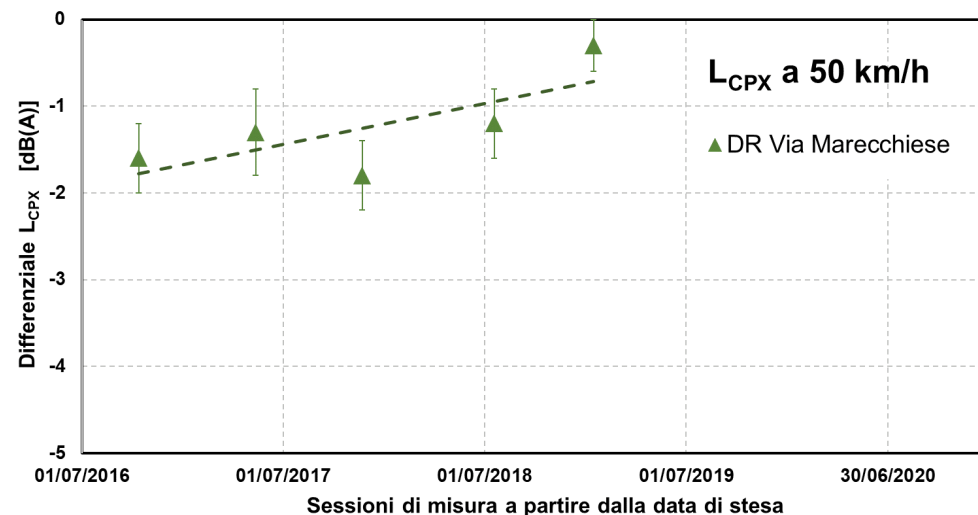


# Caso Studio I – Via Marecchiese, Rimini

**Evoluzione temporale  
dei valori  $L_{CPX}$  e  
confronto con i  
limiti GPP**



**Evoluzione del  
valore differenziale  
rispetto al riferimento  
coevo**

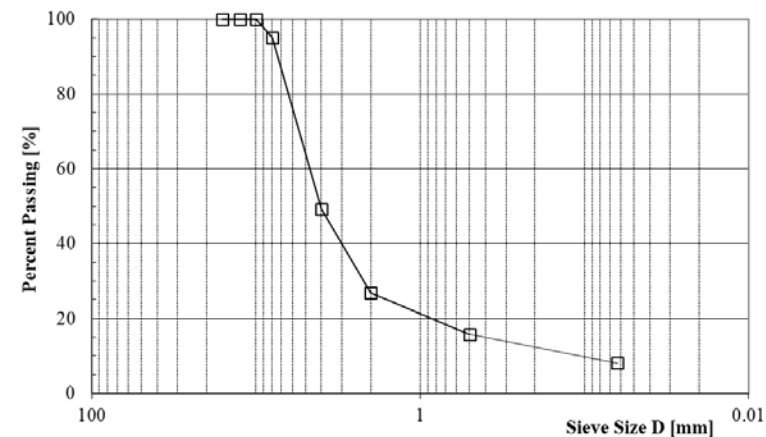


# Caso Studio II – Viale Losanna, Rimini

**Pavimentazione contenente  
gomma additivata secondo il  
metodo dry  
Gap Graded 0/8 mm (DR)**

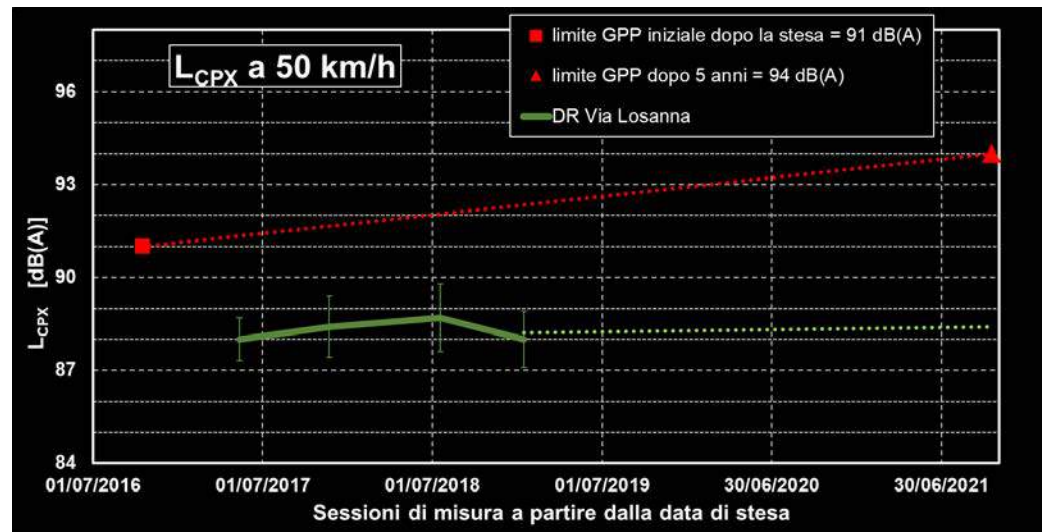


**Curva Granulometrica**

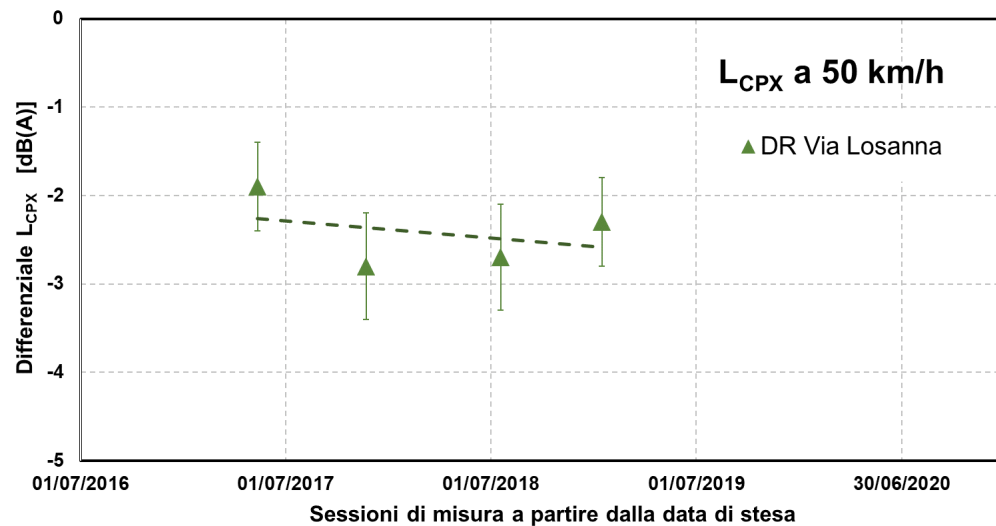


## Caso Studio II – Viale Losanna, Rimini

**Evoluzione temporale  
dei valori  $L_{CPX}$  e  
confronto con i  
limiti GPP**



**Evoluzione del  
valore differenziale  
rispetto al riferimento  
coevo**



## Conclusioni e prospettive

### Il rumore ambientale in Italia

- ◆ causa almeno circa 1.500 morti premature e 6.000 ricoveri in ospedale all'anno;
- ◆ disturba il sonno di 1.800.000 persone.

**Per ogni euro investito per la riduzione del rumore ne risparmieremmo 29 (*Dati Commissione Europea*)**

- ◆ In Italia, l'attuazione della direttiva relativa al rumore ambientale risulta essere in ritardo e un **procedimento d'infrazione** è ancora in corso per la mappatura acustica del 2012 e per i piani d'azione del 2013.

## Conclusioni e prospettive

### Il rumore stradale

- ◆ è largamente la causa più diffusa di disturbo e quella su cui si deve agire per legge con piani pluriennali;
- ◆ L'innovazione nel settore incontra resistenze culturali degli addetti oltre che da parte di lobby interessate allo status quo

**Le pavimentazioni con polverino di gomma hanno mostrato da vari anni ed anche in Italia:**

- ◆ performace superiori ;
- ◆ maggiore durata e quindi un Life Cycle Cost più basso.



# CHE ASPETTIAMO?