

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



Coordinating Beneficiary:

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

Associated Beneficiaries:

ARPAT, BRR, ECOPNEUS, IDASC (CNR), Regione 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:

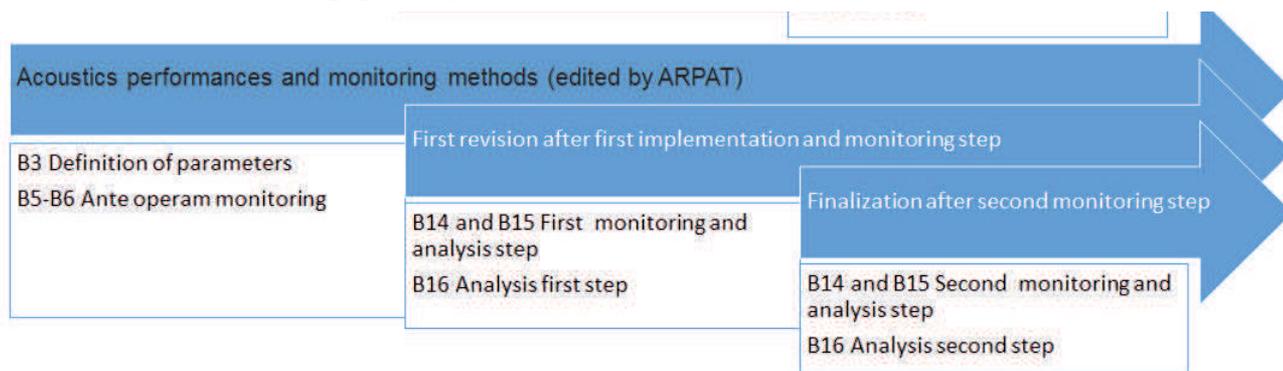
- Implementando i **piani di azione** ai sensi della direttiva 2002/49/CE abbassando l'esposizione acustica dei cittadini.
- Sviluppando e monitorando **pavimentazioni a bassa emissione sonora** con bassa emissione di CO₂.

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

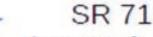
I siti sperimentali sono collocati a **Massarosa**, **Arezzo** e **Castiglion Fiorentino**.

Le caratteristiche delle aree selezionate sono le seguenti:

SR 439
 Massarosa



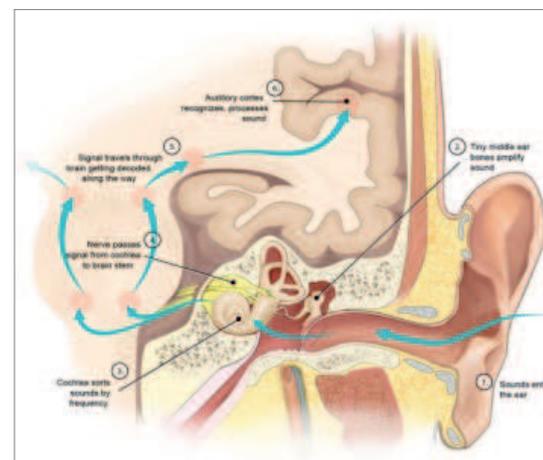
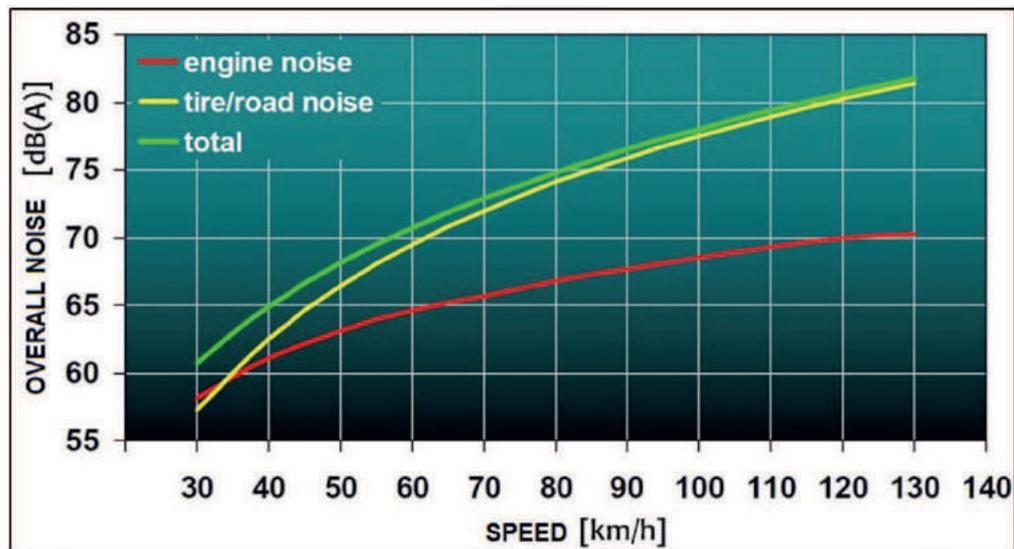
SR 71
 Arezzo &
 Castiglion Fiorentino



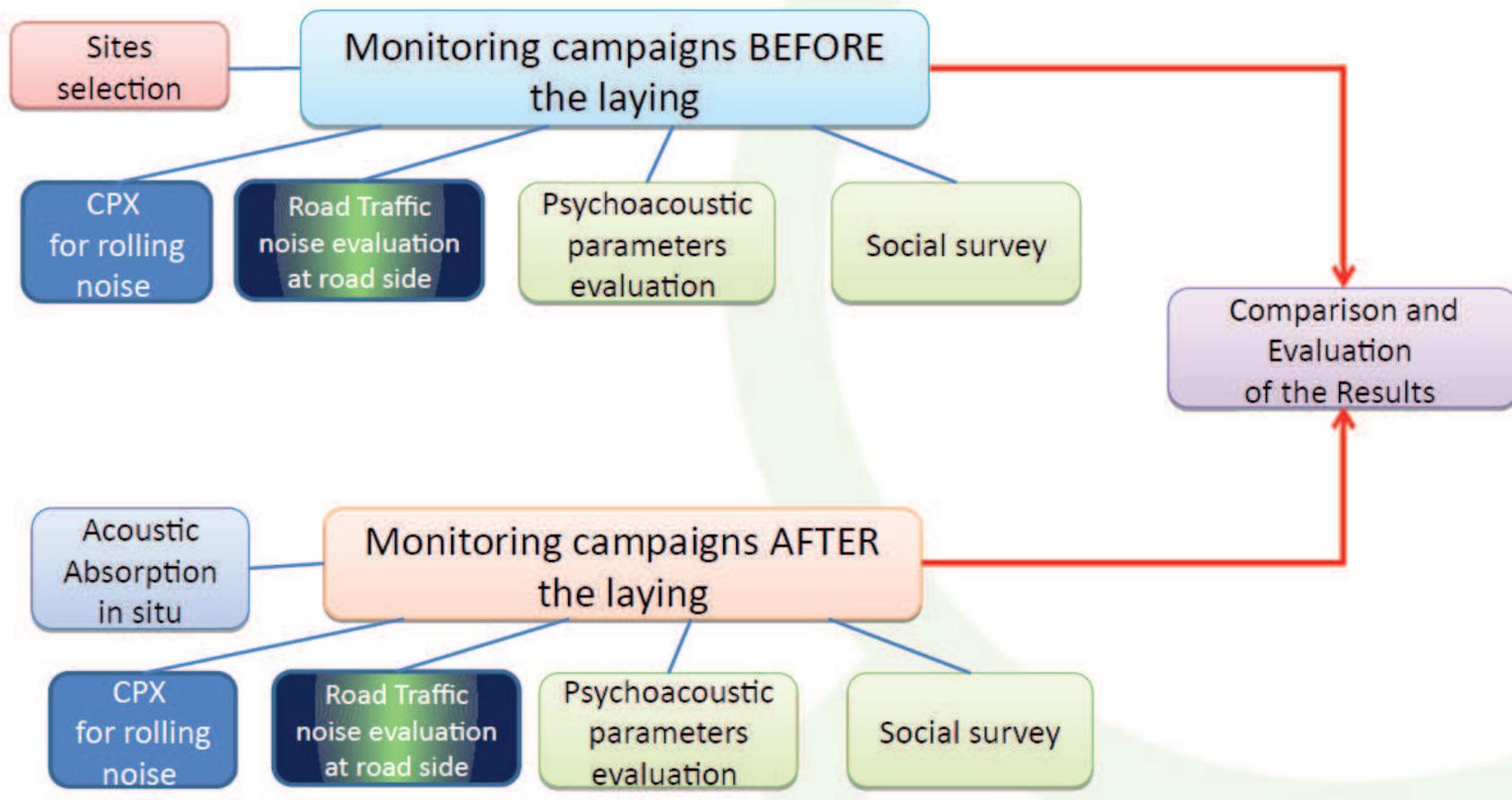
Sites	Inhabitants	Inhabitants exceeding limits	Sensitive buildings	AADT 2016		
				2-wheelers	Light Vehicles	Heavy Vehicles
SR439	1587	1131	4	370	13889	124
SR71	5963	2172	6	112	10783	248

Rumore da traffico

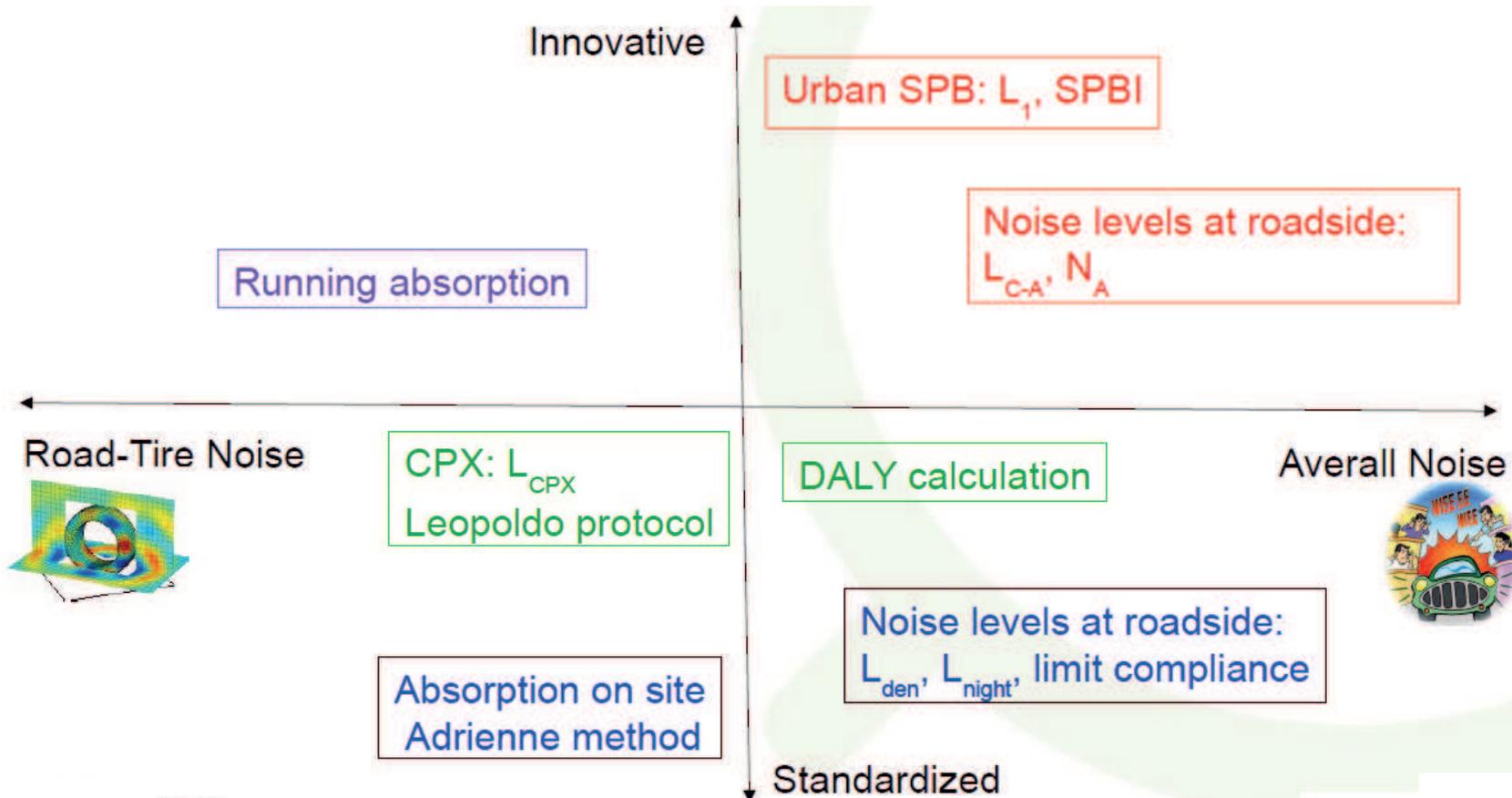
- Il rumore da rotolamento diventa rilevante a 35 km/h e predominante dopo i 50 km/h.
- Nei siti interessati la velocità dei veicoli è superiore ai 40-50 km/h.
- Le prestazioni acustiche delle pavimentazioni stradali sono normate dalla ISO 11819-1, metodo SPB, dalla ISO 11819-2, metodo CPX, e da diversi 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

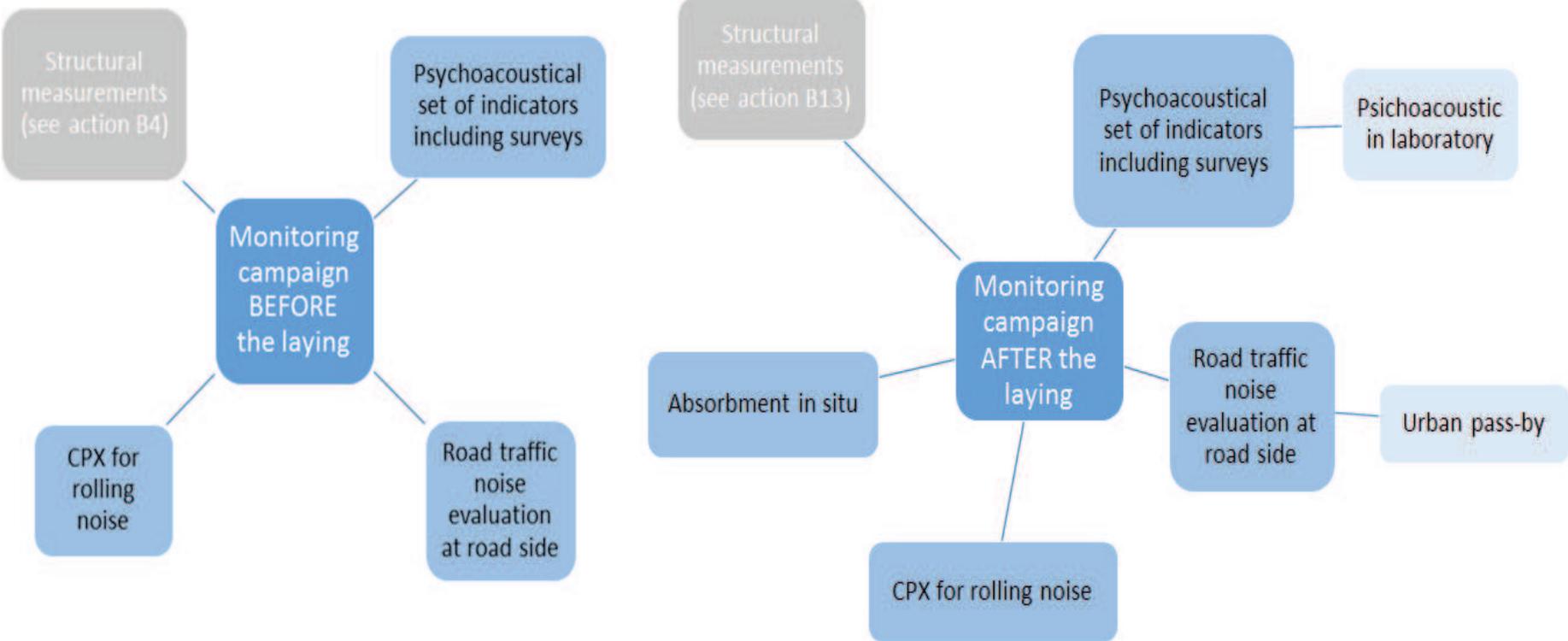


I parametri acustici monitorati



Parametri acustici e psicoacustici

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



Rumore percepito dalla popolazione [1/4]



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).



ARPAT Toscana - CINE Project NERE-DE LIFE 15 Sviluppo 2014 Questionnaire title

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 1st 2nd 3rd 4th 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
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

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

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.

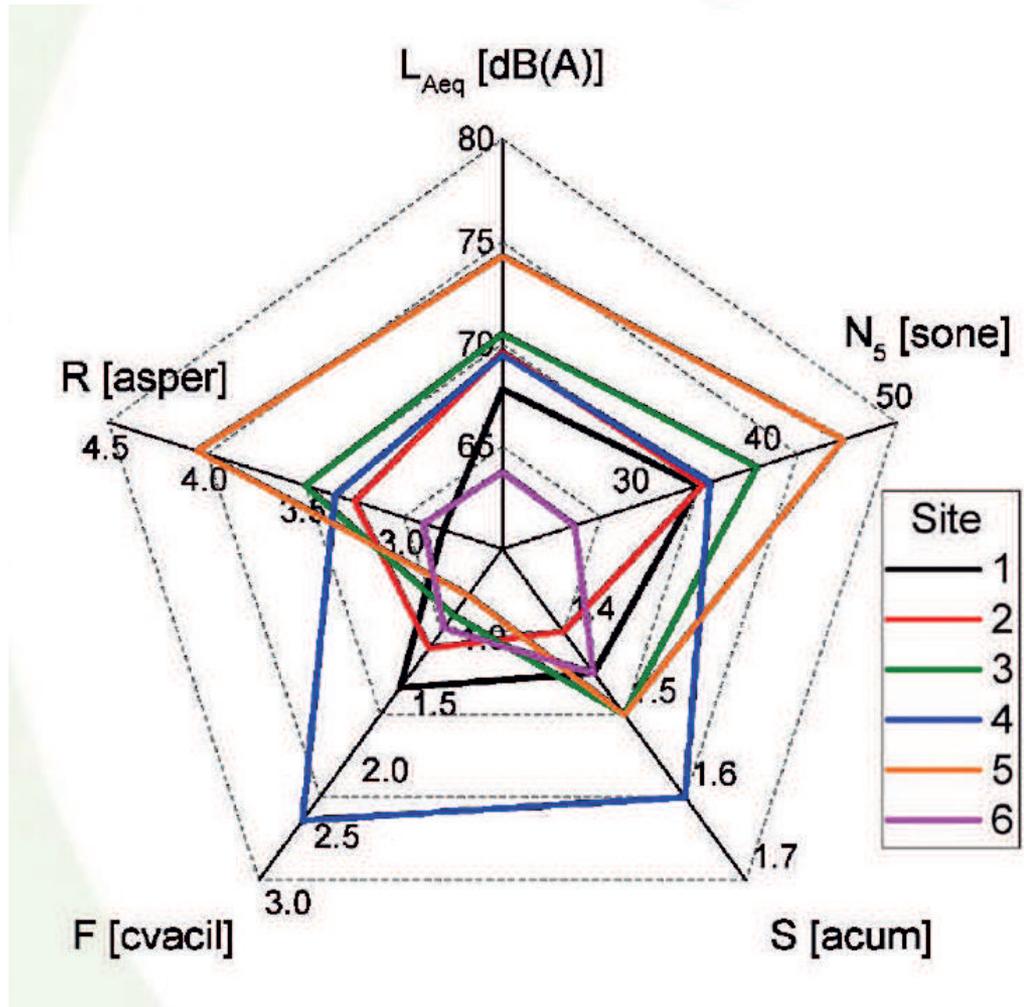
La **ruvidità (roughness)** quantifica la percezione soggettiva della modulazione in ampiezza di un suono (modulazione in frequenza 15 Hz ÷ 300 Hz).

La **fluttuazione (fluctuation strength)**, come la ruvidità, quantifica la percezione soggettiva della modulazione in ampiezza di un suono ma a frequenza 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



Social survey

Il vantaggio ottenuto 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"/>					
2) Railway traffic	<input type="radio"/>					
3) Aircraft flyover	<input type="radio"/>					
4) Shipyards, construction,	<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"/>											
2) Railway traffic	<input type="radio"/>											
3) Aircraft flyover	<input type="radio"/>											
4) Shipyards, construction,	<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.

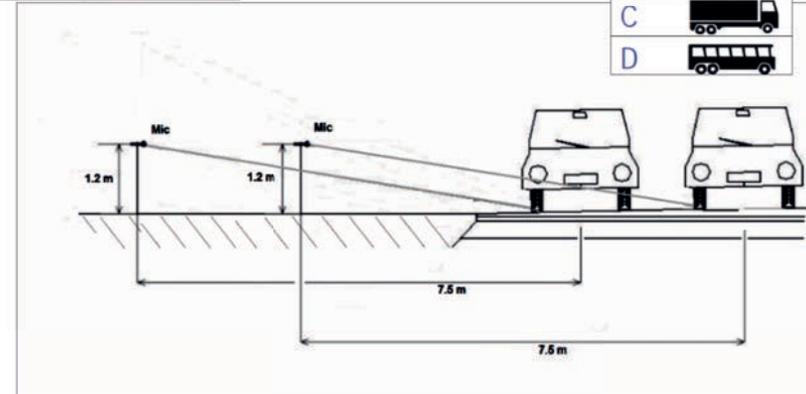
Valutazione del rumore da traffico mediante metodo SPB



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



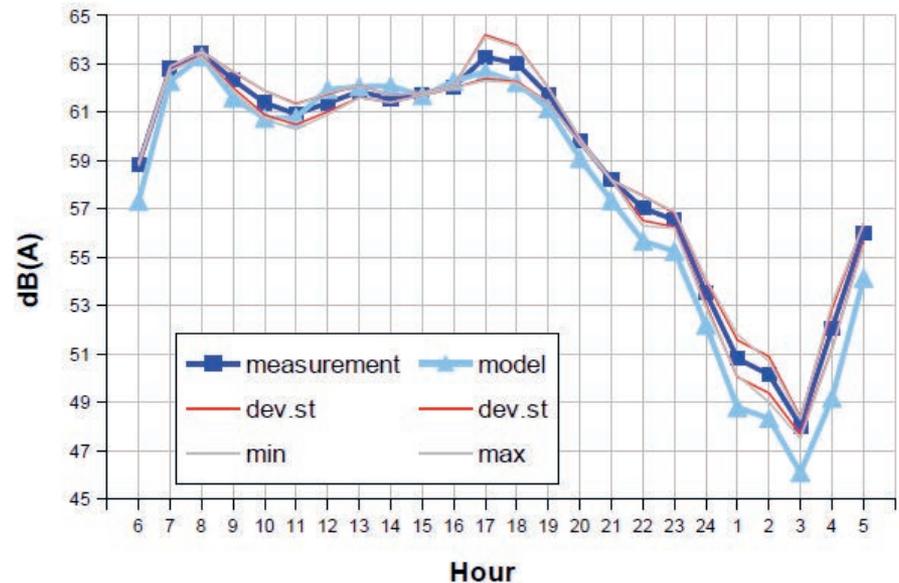
Contatore di
traffico per
distinguere le
categorie

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:

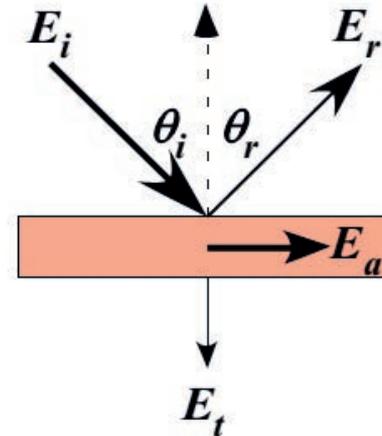
$$\alpha = 1 - \frac{E_r}{E_i} = \frac{E_a + E_t}{E_i}$$

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:

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



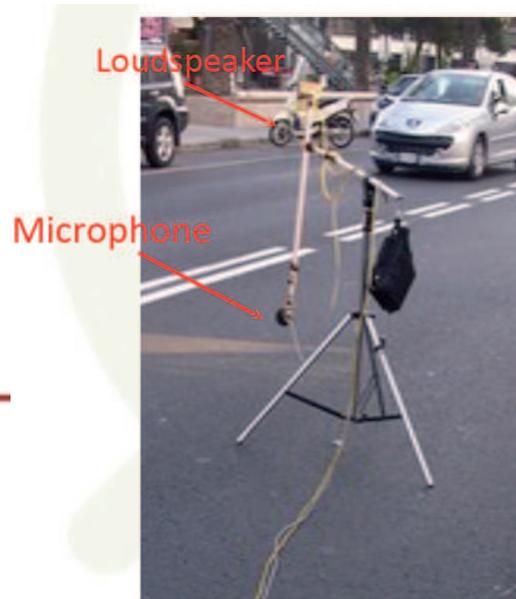
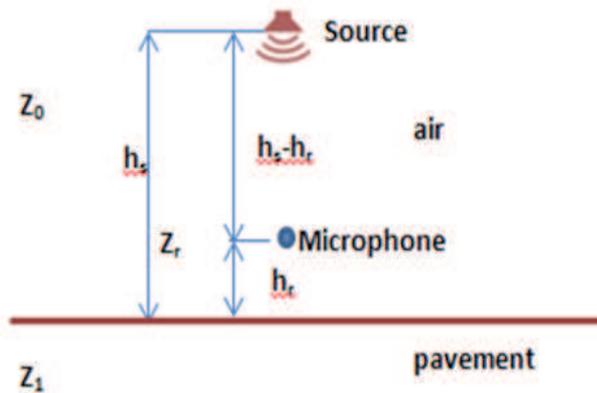
Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

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

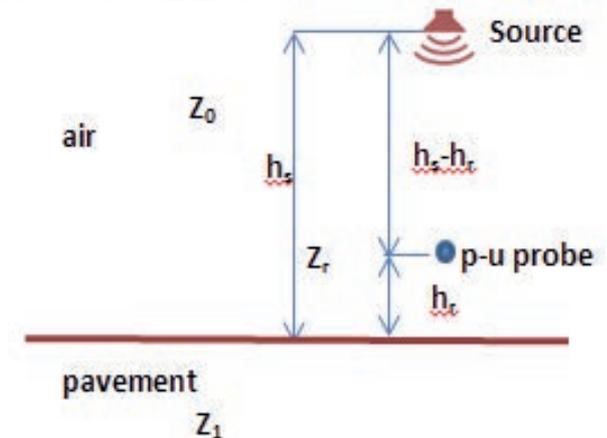
Metodo proposto: caratteristiche

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 sweep

Vantaggi:

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



Difficoltà:

h_s : mantenere costante la distanza sorgente-pavimentazione;

h_r : mantenere costante la sonda p-u dalla pavimentazione.

Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

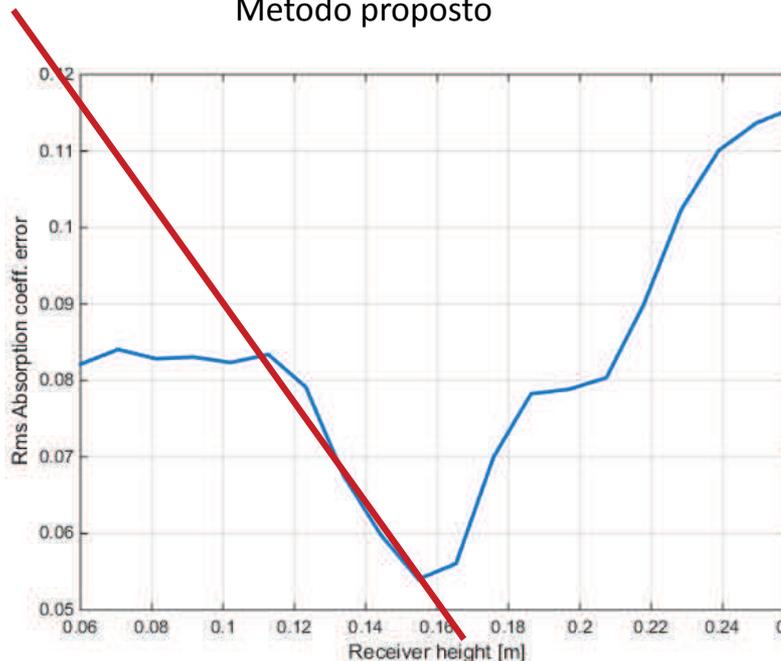
Comparazione dei metodi

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

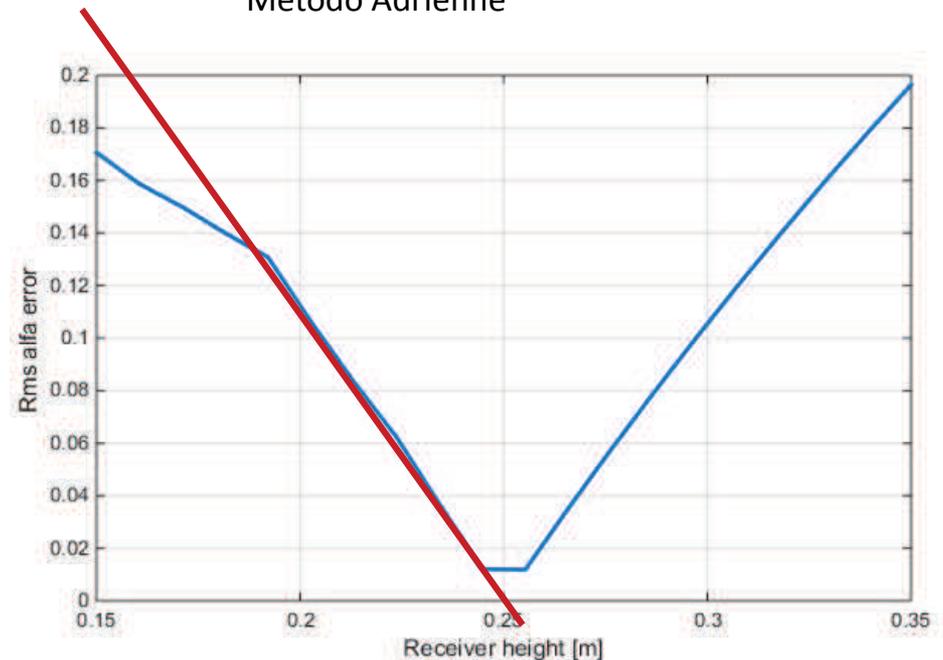
$$\frac{\partial \alpha}{\partial h_r} = \frac{\partial |R|^2}{\partial h_r}$$

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

Metodo proposto



Metodo Adrienne

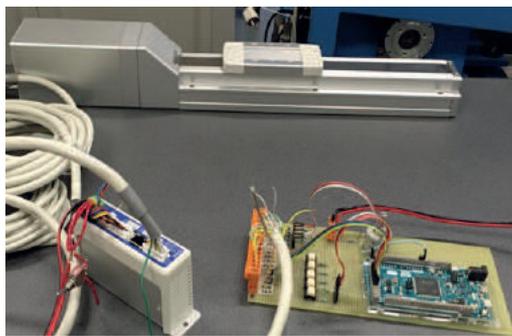
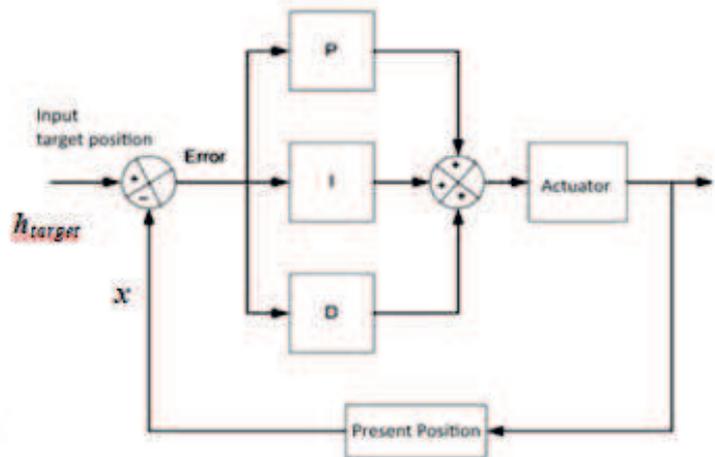
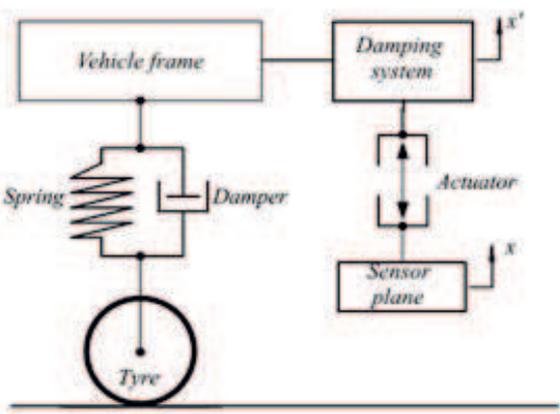
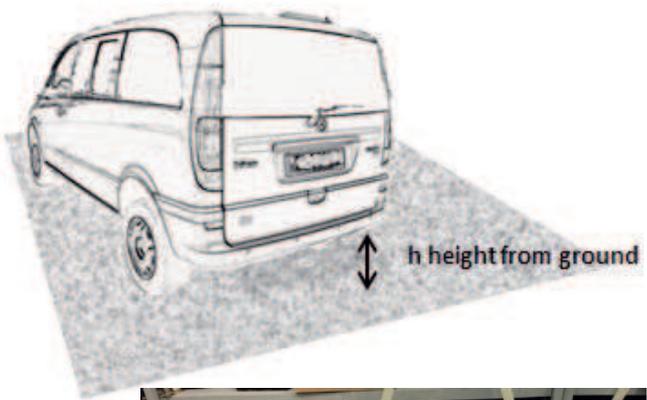


Andamento dell'errore del coefficiente di assorbimento dovuto al cambio della distanza h_r (quota ricevitore).

Valutazione dell'assorbimento acustico mediante laboratorio mobile

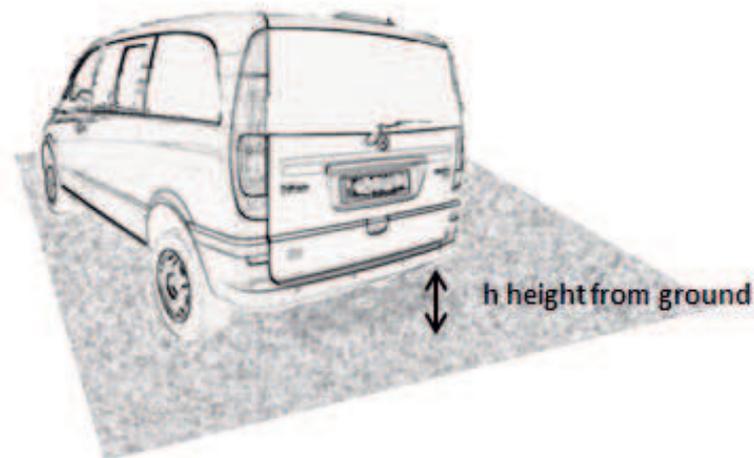
Metodo proposto:

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



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.



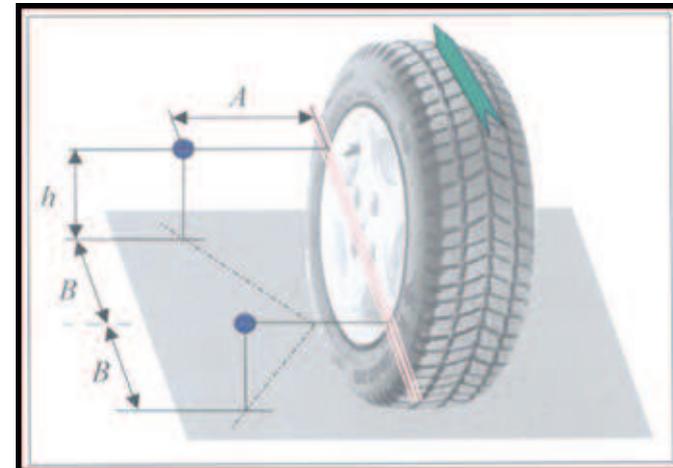
Attualmente il sistema è in fase di messa a punto di in laboratorio.

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



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.**



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

*“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)**.

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).

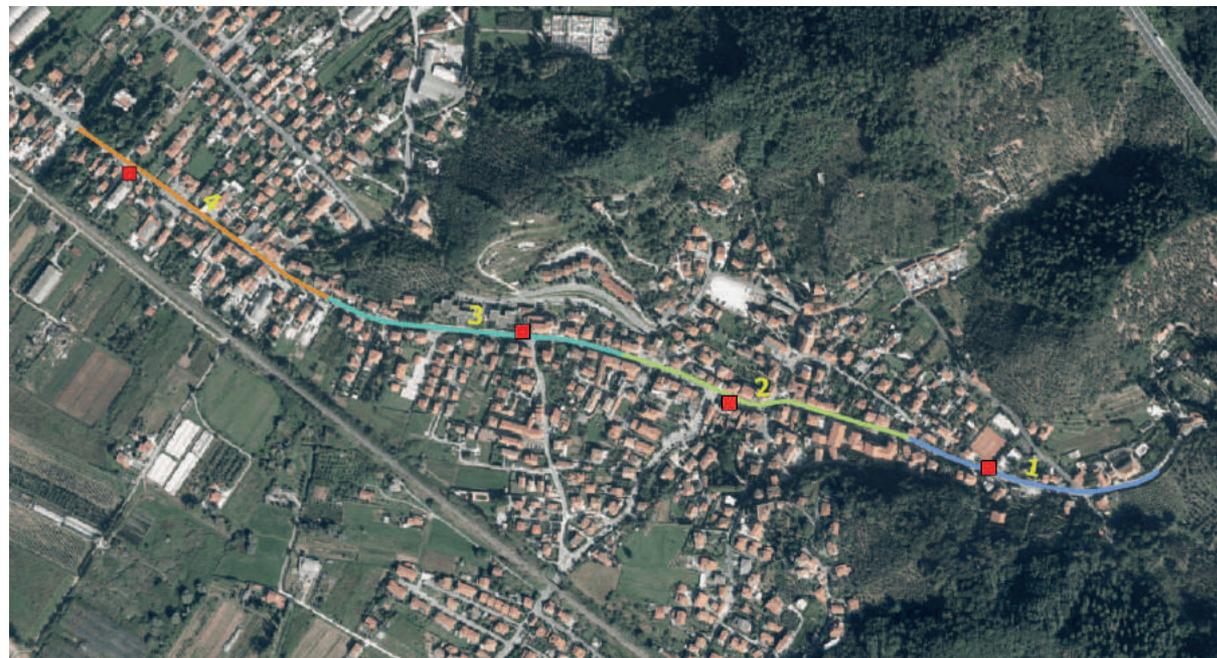
(*) I valori da non superare sono quelli indicati con il progetto (se inferiori).

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



Monografie siti sperimentali [1/2]

DENOMINAZIONE	Sigla	chilometrica	Data di stesa	SPESSORE [mm]	ϕ_{max} aggregato [mm]	$\phi_{nominale}^{(1)}$ aggregato [mm]	BITUME ⁽²⁾ %	POVERINO %	VUOTI ⁽³⁾ %
Usura gap graded di riferimento	GAP Riferimento	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	GAP Dry	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	OPEN Dry	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	OPEN Riferimento	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	OPEN Wet	Km 12+897 - Km 12+514	17/01/2018	40	8.0	6.2	5.7	1.1 ⁽⁴⁾	17.6
Usura gap graded confezionata a tiepido con bitumi additivati con polverino secondo processo wet	GAP Wet	Km 12+514 - Km 12+078	18/01/2018	40	8.0	5.9	8.1	1.6 ⁽⁴⁾	5.9

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

⁽²⁾ Percentuale di bitume riferita al peso degli aggregati.

⁽³⁾ Vuoti relativi alla densità di progetto D_G ottenuta su provini confezionati con 50 rotazioni della pressa giratoria.

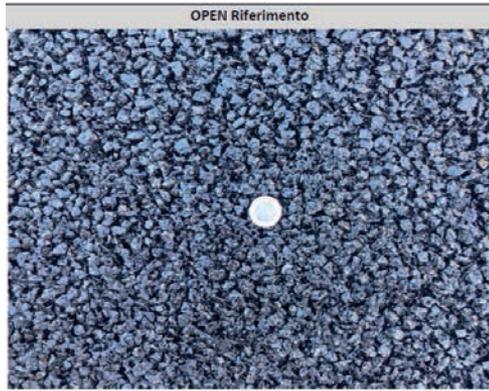
⁽⁴⁾ Nel processo wet la percentuale di polverino è pari al 20% del contenuto di bitume.

**Additivazione del PFU
e dry**



Monografie siti sperimentali [2/2]

OPEN



OPEN Riferimento

GAP



GAP Riferimento

OPEN WET



OPEN DRY



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>	4.8	3.0	0.0	0.1
2 – Open dry rubber	9.3	6.5	0.5	0.8
3 – Gap dry rubber	6.7	5.0	0.4	0.6
<i>4 – Gap - Reference</i>	3.4	1.9	0.1	0.1
5 – Gap wet rubber	4.7	3.2	0.1	0.2
6 – Open wet rubber	8.2	4.1	0.2	0.2

ALCUNI RISULTATI SPERIMENTALI

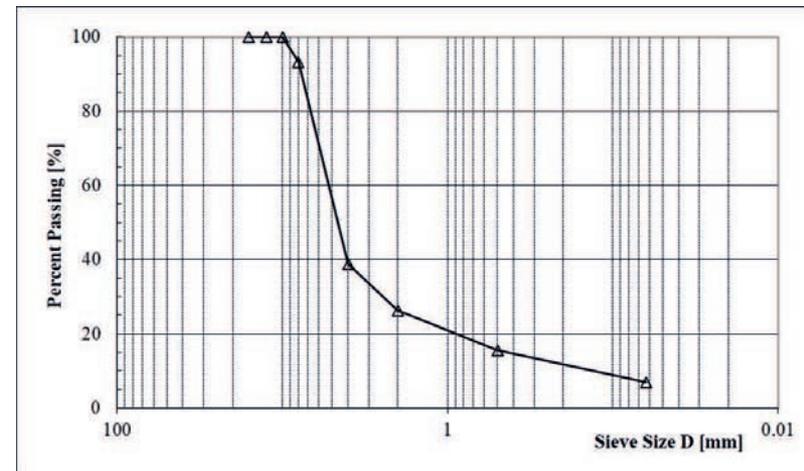
L'esperienza riminese

Caso Studio I – Via Marecchiese, Rimini

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

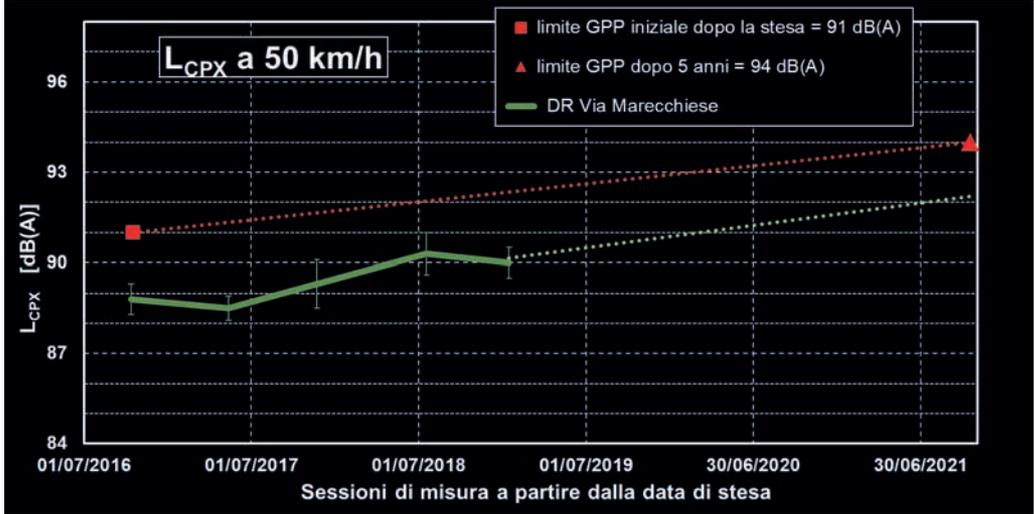


Curva Granulometrica

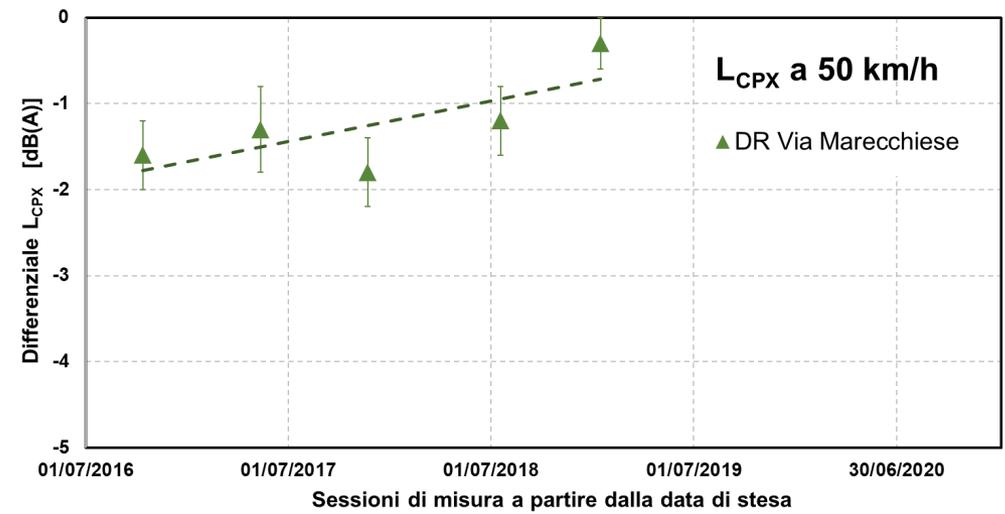


Caso Studio I – Via Marecchiese, Rimini

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

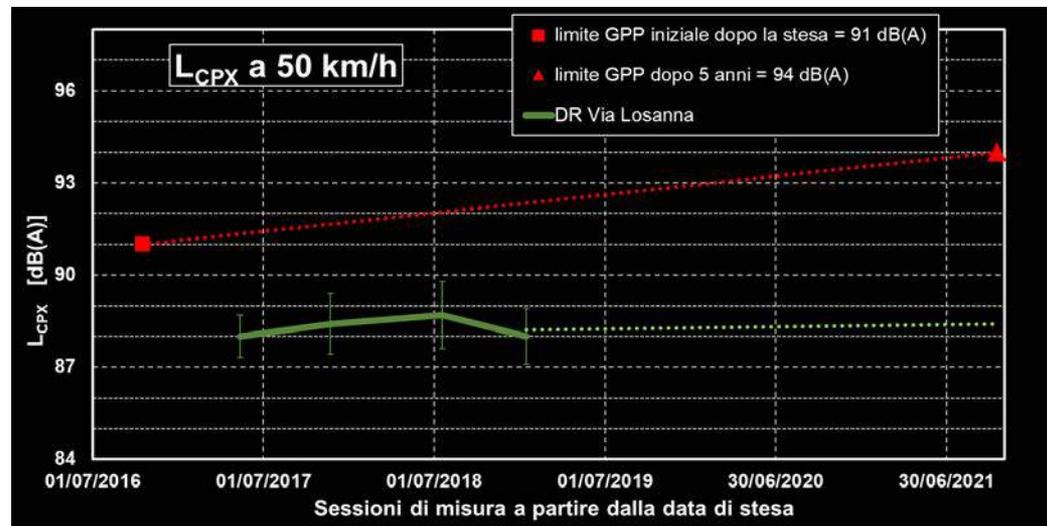


Evoluzione del valore differenziale rispetto al riferimento coevo

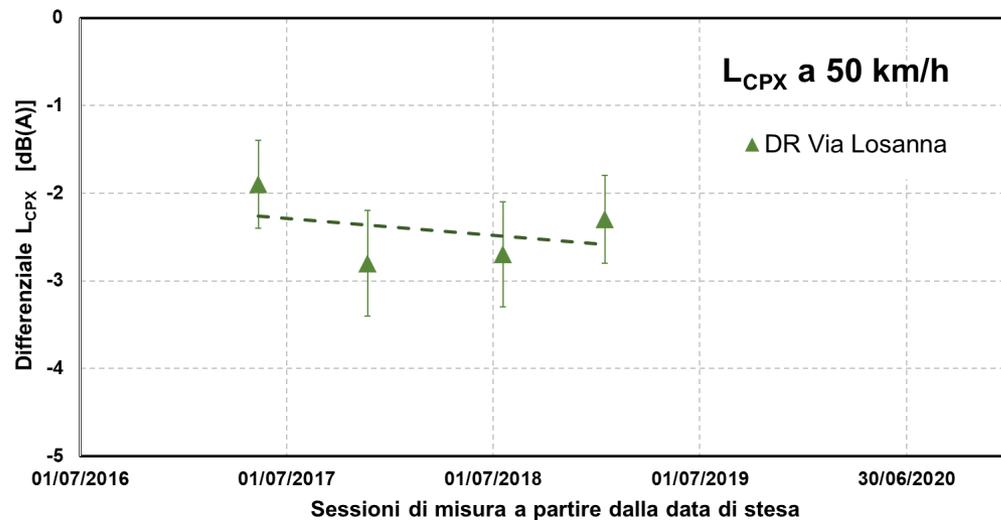


Caso Studio II – Viale Losanna, Rimini

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?