

V Congresso Nazionale “Il Controllo degli Agenti Fisici: Ambiente, Salute e Qualità della Vita”

Applicazione della norma UNI/TR 11326:2009 in alcuni casi di monitoraggio del rumore ambientale

**Alessandro Conte, Michele Balzano,
Elisabetta Barbieri, Franca Stragapede**

Provincia di Genova – Dir. Ambiente, Ambiti Naturali e Trasporti – Uff. Energia e Rumore

Novara, 6 – 8 giugno 2012

OBIETTIVI

- ✓ applicabilità in campo dei metodi di valutazione dell'incertezza proposti da UNI 11326
- ✓ individuazione di possibili problematiche applicative
- ✓ codifica di una procedura interna per valutare l'incertezza nel caso di monitoraggi in continuo di L_{eq} \Rightarrow confronto dei dati

CASI DI STUDIO

A: viadotto autostradale monitorato da distante

B: tratto autostradale monitorato in prossimità

C: canyon urbano con strada ad alto traffico

D: zona urbana con traffico locale e varie sorgenti sonore diverse

E: zona naturale appenninica

Riferimenti per la valutazione dell'incertezza

UNI CEI ENV 13005:2000
“Guida all'espressione dell'incertezza di misura”

UNI/TR 11326:2009
“Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni
e nei calcoli di acustica”

incertezza: «parametro, associato al risultato di una misurazione, che caratterizza la dispersione dei valori ragionevolmente attribuibili al misurando»

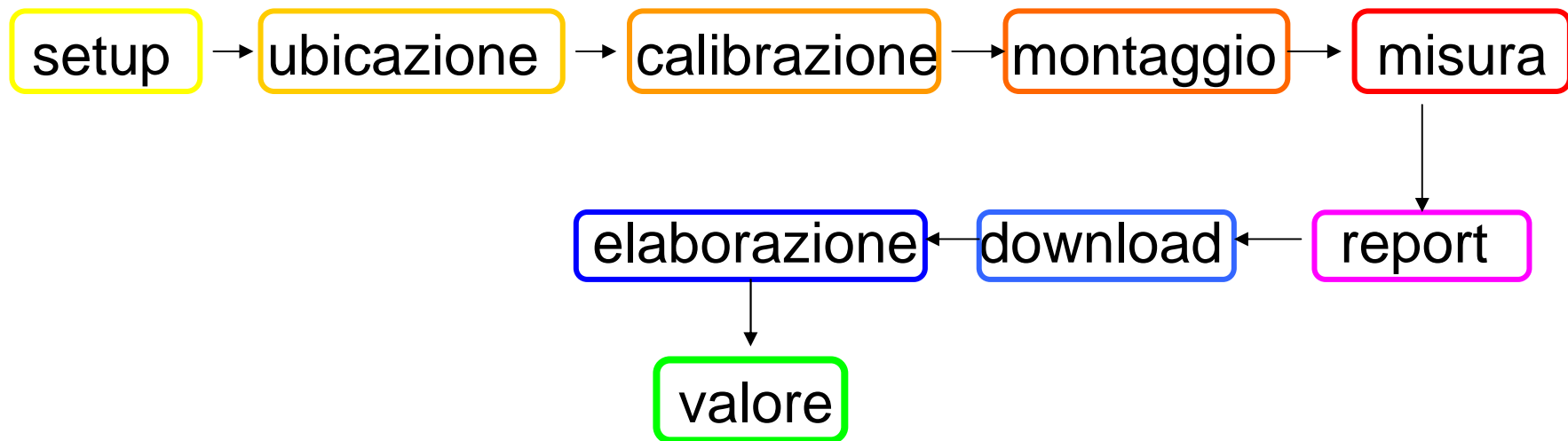
$$u_c^2 = u_\alpha^2 + u_\beta^2 + u_\gamma^2$$

definizione del misurando (α), metodo adottato (β)
e procedimento effettivamente realizzato (γ)

l'incertezza è associata al dato per come si è “formato”
(misura, elaborazione, etc.)

La stima dell'incertezza presuppone una analisi operativa

- scopo della misura
- tecnica di misura
- operazione di misura
- elaborazione dei dati



calcolo dell'incertezza composta

- in presenza di più contributi parziali, l'incertezza complessiva viene determinata considerando tutti i fattori di incertezza

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)$$

ipotesi sottostanti: funzione matematica che “modella” il misurando $Y = f(X_1, \dots, X_N)$
serie di Taylor al primo ordine

- In caso di grandezze non correlate:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) \qquad u_c = \sqrt{\sum_i c_i^2 u_i^2}$$

incertezza strumentale per una misura di L_{eq} (dBA)

- incertezza del calibratore $u_{cal} = \sqrt{u_{scost}^2 + u_{tar}^2}$
- incertezza del fonometro $u_{fon} = \sqrt{u_{scost}^2 + u_{met}^2 + u_{lin}^2 + u_A^2 + \dots}$

$$u_{strum} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{fon}^2}$$

UNI/TR 11326:2009 propone 0,49 dBA quale valore di riferimento

casi di studio: incertezza strumentale stimata in $0,46 \div 0,59$ dBA, a seconda degli strumenti e dei contributi considerati

vari studi forniscono valori diversi fra loro: calibratore: $0,13 \div 0,21$,
fonometro: $0,44 \div 0,59 \Rightarrow u_{strum}$: $0,49 \div 0,60$

non sembra raggiunto un consenso unanime su metodo e quantità da considerare

componenti non strumentali

- ubicazione (incertezza sulle coordinate)
 - distanza dalla sorgente
 - altezza da terra
 - riflessioni da superfici
 - ripetibilità della misura
 -
- UNI/TR 11326 propone metodi quantitativi di valutazione*

inoltre può esservi anche una componente dovuta all'elaborazione del dato grezzo:

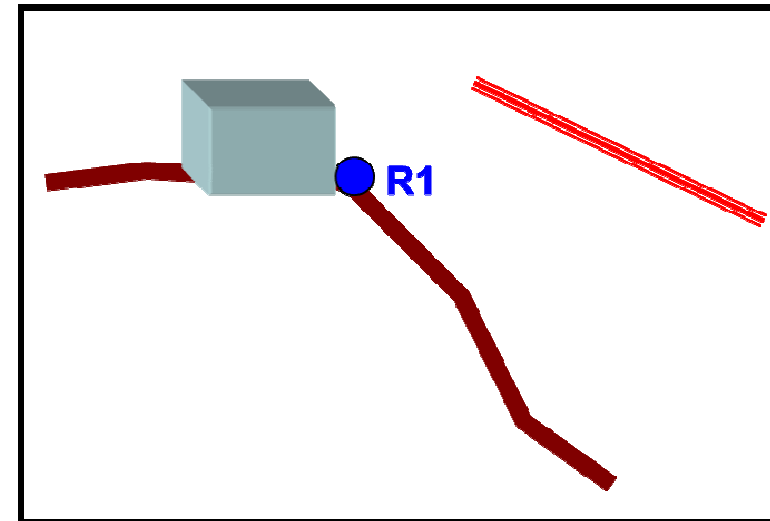
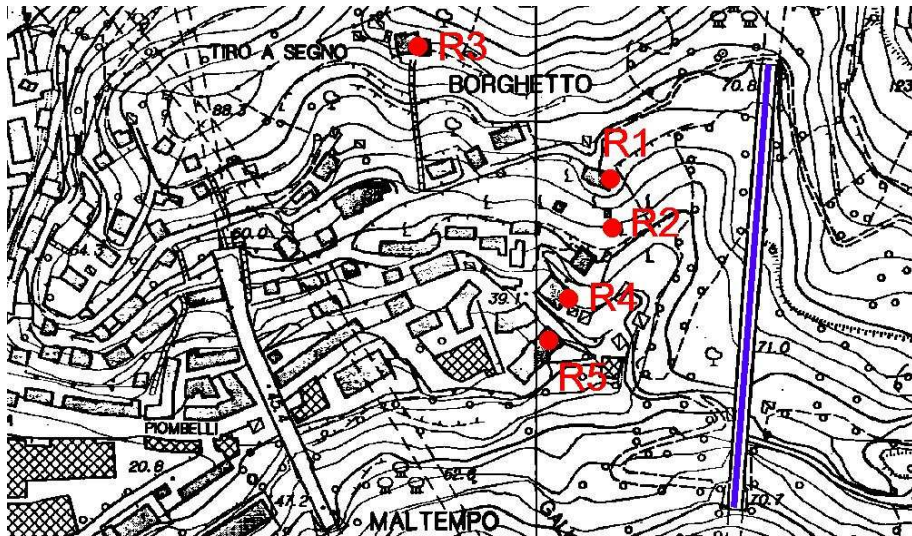
$$u_c = \sqrt{u_{\text{strum}}^2 + u_{\text{nonstrum}}^2 + u_{\text{elab}}^2}$$

ad es.: LeqD e LeqN misurabili direttamente con integrazione continua sui periodi diurno o notturno o calcolati dai dati orari effettivamente monitorati: il calcolo corrisponde all'integrazione continua con la differenza di usare un foglio elettronico anziché gli algoritmi e l'elettronica interna del fonometro \Rightarrow ulteriore elemento di incertezza sul valore finale

Caso A

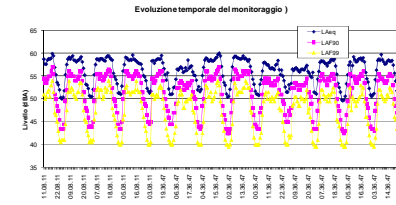
Viadotto autostradale

R1: monitoraggio plurigiornaliero in continuo con strumento alloggiato in box su terrazzo



misura:

rilievo plurigiornaliero: Leq, Ln orari



elaborazione

$$L = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{N} \sum_i 10^{0,1L_i} \right]$$

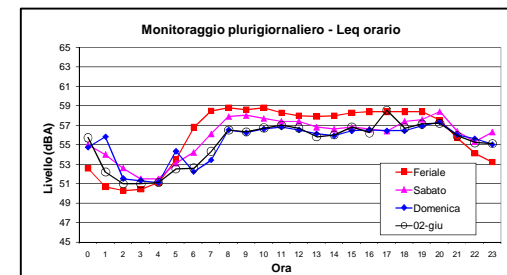
$$\text{Leq}_{\text{estrLT}} = \text{Leq}_{\text{mis/elab}} + \delta$$

risultati:

LeqD, LeqN giornalieri, settimanali e LT

	Fer.	Sab.	Dom.	2 giu.
LeqD	58,1	57,1	56,2	56,4
LeqN	52,2	54,0	54,0	53,7

Lungo Termine
LeqD: 58,2
LeqN : 52,2



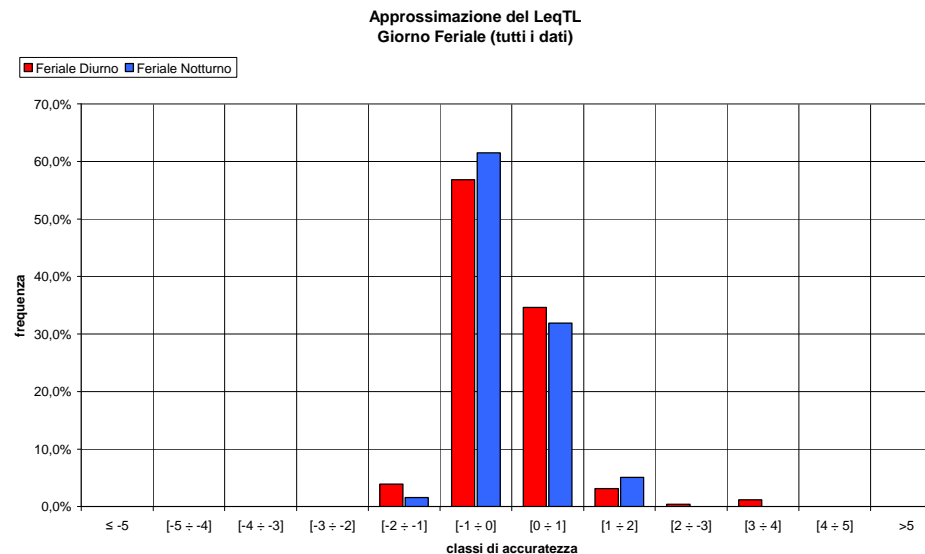
estrapolazione a lungo termine: $Leq_{LT} = Leq_{sett} + \delta$ determinazione di δ

analogia con monitoraggio in cabina (257 “settimane”): δ scarto medio fra Leq “settimanale” e annuale sull’intero anno, nel periodo “freddo” (da ottobre a giugno) , nel periodo “caldo” (da luglio a settembre)

Media degli scarti: da -0,5 a +0,1 dBA, deviazione standard 0,4 ÷ 0,8 dBA

Per il caso in esame le quantità δ_k (D, N) valgono 0,1 e 0,0 dBA

l’analisi statistica mostra che il 92% (94%) dei valori di Leq_D (Leq_N) settimanali approssimano il livello equivalente a lungo termine con uno scarto compreso nell’intervallo -1 ÷ +1 dBA (periodo freddo)



valutazione dell'incertezza per:

dati orari da monitoraggio plurigiornaliero (L_{eq})

valori giornalieri sui tempi di riferimento (L_{eqD} e L_{eqN})

media logaritmica sui tempi di riferimento (L_{eqD} e l_{eqN})

valori di lungo termine (L_{eqD} e l_{eqN})

incertezza per i L_{eq} orari

componente strumentale: 0,50 dBA

componente dovuta alla distanza dalla sorgente

UNI 11326: $u_{dist} = k \cdot \text{Log}\left(\frac{d \pm \Delta d}{d}\right)$ per sorgenti lineari o puntiformi

sorgente lineare infinita (retta): $L = L_w - 10 \cdot \text{Log}(d) - k$



sorgente lineare finita (segmento):

$$L = L_w - 10 \cdot \text{Log}(d) + 10 \cdot \text{Log}\left[\arctg\left(\frac{x_o}{d}\right) + \arctg\left(\frac{l - x_o}{d}\right)\right] - k$$

comporta la quantità additiva:

$$C_d = 10 \cdot \text{Log}\left[\frac{\arctg\left(\frac{x_o}{d}\right) + \arctg\left(\frac{l - x_o}{d}\right)}{\arctg\left(\frac{x_o}{d \pm \Delta d}\right) + \arctg\left(\frac{l - x_o}{d \pm \Delta d}\right)}\right]$$

	u_{dist} “lineare”	u_{dist} “segmento”	u_{dist} “puntuale”
R1	0,12	0,17	0,20

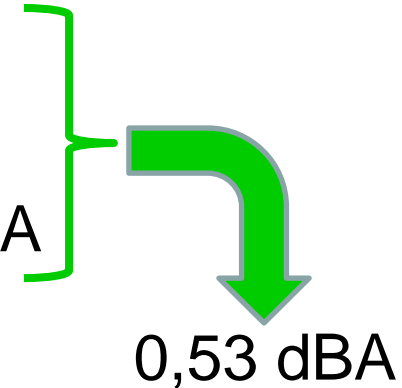
alla fine dei calcoli: 0,53 dBA

incertezza per LeqD e LeqN giornalieri

$$\left[LeqD = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{16} \sum_i 10^{0,1L_h} \right] \right]$$

componente “fonometrica”: 0,53 dBA

componente “calcolo” dai dati orari: 0,03 dBA



0,53 dBA

incertezza per LeqD e LeqN medi logaritmici

incertezza dovuta all'operazione di media logaritmica:

$$L = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{N} \sum_i 10^{0,1L_i} \right]$$

2 approcci diversi:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_L^2 = \frac{\sum_i (10^{0,1L_i})^2}{\left[\sum_i 10^{0,1L_i} \right]^2} u^2 \longrightarrow 0,15 \text{ (D)}, 0,14 \text{ (N)} \\ u_\sigma = \frac{\sigma(\langle Leq_{TR} \rangle)}{\sqrt{n}} \longrightarrow 0,17 \text{ (D)}, 0,23 \text{ (N)} \end{array} \right.$$

i due metodi differiscono per impostazione concettuale e per espressione matematica

Infine:

incertezza per i valori estrapolati a Lungo Termine

$$LeqD_{TL} = LeqD_{tipo} + \delta_D \quad \longrightarrow \quad 0,77 \text{ dBA}$$

$$LeqN_{TL} = LeqN_{tipo} + \delta_N \quad \longrightarrow \quad 0,61 \text{ dBA}$$

$$u_c = \sqrt{u_{ML}^2 + u_\delta^2}$$

$$u_\delta = 0,76 \text{ dBA (D) e } 0,59 \text{ dBA (N)}$$

Caso B



Logistica e scopi del monitoraggio a volte creano problemi metodologici:

quali sono le sorgenti?

quali sono le distanze dalle sorgenti?

quale metodo di misura viene effettivamente applicato?

come si configura il procedimento di misura?



quali componenti di incertezza è corretto considerare?

stima di LeqD da valori di Leq su tempo breve

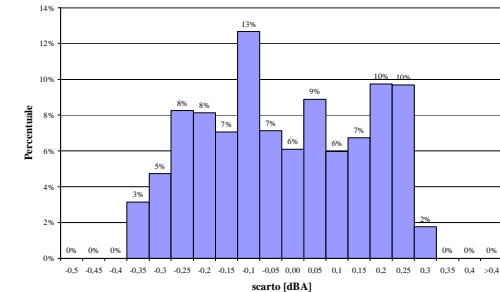
$$LeqD = Leqh + \delta_h$$

da dati orari: δ scarto medio fra ogni Leq orario e $LeqD$ feriale misurati

$$\left[\begin{array}{l} Leqh = Leq15 + \delta_{15} \\ LeqD = Leqh + \delta_h \end{array} \right.$$

da dati su 15': stima propedeutica di $Leqh$ da $Leq15'$:
 δ scarto medio fra tutti i $Leq15'$ (da Leq 0,125 s) e Leq orario misurato

Determinazione di δ scarto medio fra livello (misurato) sull'intero periodo e livelli "parziali" (misurati) all'interno dello stesso periodo



$$u_c = \sqrt{u_{spot}^2 + u_{\delta}^2}$$

incertezza

1,4 ÷ 1,6 dBA

Caso C



ancora la logistica

e inoltre: non sempre è
accettato un mezzo mobile



difficoltà di applicare in modo
completo alcuni standard

postazioni di misura a norma?

campo sonoro cilindrico?

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \quad \Rightarrow \quad \text{correlazione?}$$

l'ipotesi di livelli LeqD e LeqN giornalieri non correlati può essere non del tutto corretta per un monitoraggio in continuo:

una possibile causa di correlazione può essere l'utilizzo continuativo dello stesso apparato di misura (UNI CEI ENV 13005:2009 punto 5.2.4)

altre possibili cause di correlazione: sostanziale ripetitività dei fenomeni monitorati

effetto di possibili correlazioni fra i livelli sul valore finale dell'incertezza - una stima molto approssimata:

$$L = 10 \cdot \text{Log} \left[\frac{1}{N} \sum_i 10^{0,1L_i} \right] \quad \text{tutti gli } N \text{ livelli } L_i \text{ sono uguali e con la stessa incertezza } u$$

due casi estremi:

correlazione nulla ($r(L_i, L_j) = 0$ per ogni i, j): $u_c^2 = u^2/N$

correlazione totale ($r(L_i, L_j) = 1$ per ogni i, j): $u_c^2 = u^2$

se i livelli sono poco variabili e con la stessa incertezza per $0 < r(L_i, L_j) < 1$
 \Rightarrow l'incertezza composta sarà in genere fra u/\sqrt{N} e u .

In assenza di informazioni l'incertezza composta in presenza di valori correlati può essere stimata da

$$u_c^* = \sqrt{\frac{N+1}{2N}} u$$

correlazione \Rightarrow sensibile incremento dell'incertezza sui valori medi logaritmici

nell'ipotesi di correlazione nulla all'aumentare del numero di giorni monitorati è possibile ottenere valori di incertezza sempre minori

nel caso di correlazione non nulla la stima u_c^* suggerisce l'esistenza di un limite oltre cui l'incertezza non decresce più in modo sensibile all'aumentare dei giorni monitorati e si stabilizza su un valore asintotico.

Caso D

zona urbana collinare a traffico locale

sito di monitoraggio prossimo parcheggio condominiale

rumore antropico locale (parlato, arrivo/partenza auto, etc.), suoni naturali, rumore urbano e portuale di lungo raggio

monitoraggio in continuo di Leq orario (dBA): concorrono primariamente le componenti strumentale e “riflessione”

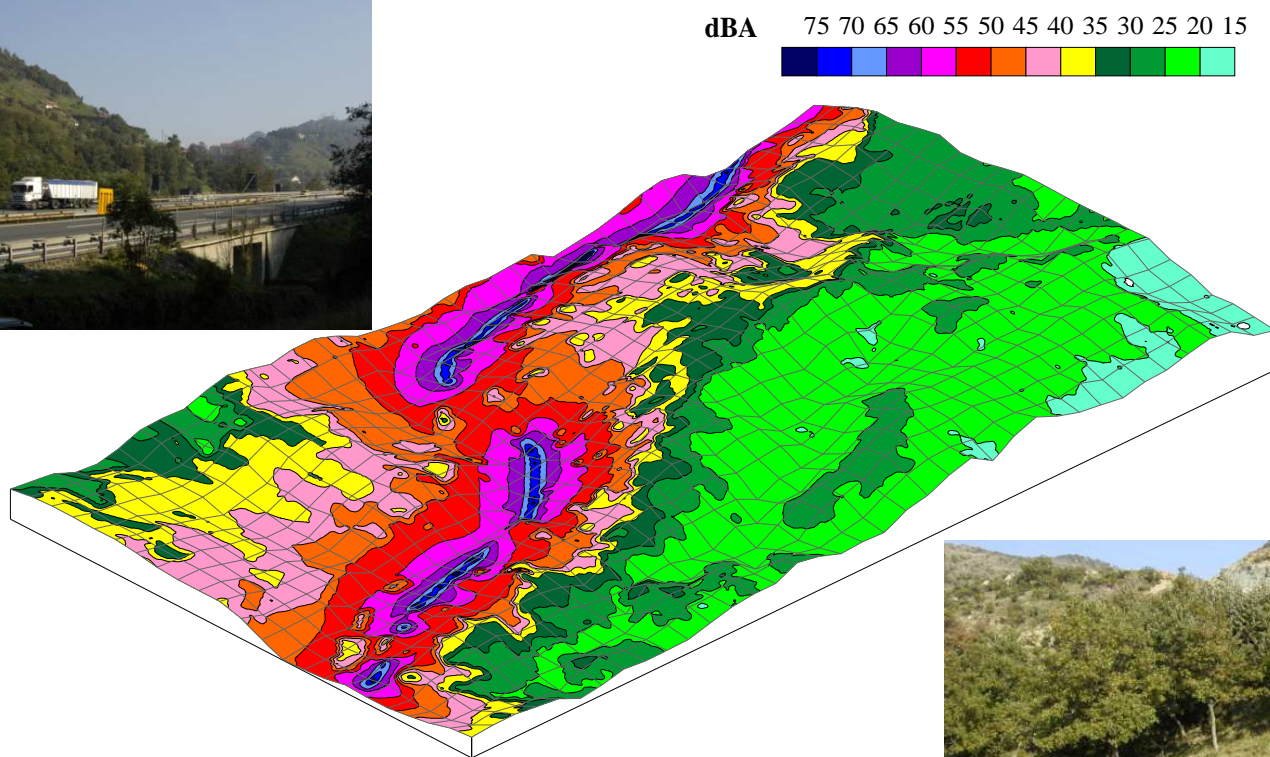
componente distanza dalla sorgente: non valutabile (numerose sorgenti, nessuna prevalente, sia localizzate sia diffuse)

componente altezza dal suolo: analogamente non valutabile

misure di multispettro (1/3 di ottava, dB): per il LAeq di sintesi vale quanto sopra, il tipo di misura in relazione al misurando in banda e nel tempo il metodo di misura non ha una standardizzazione di riferimento

Caso E

valle appenninica disabitata parallela a valle antropizzata
(centri abitati, autostrada, attività produttive e agricole)



aree naturali: L_{eq} fra $35 \div 51$ dBA
differenze in intensità: diverse attività della fauna
frequenze più “dense”: < 200 Hz e $2.0 \div 10.0$ kHz



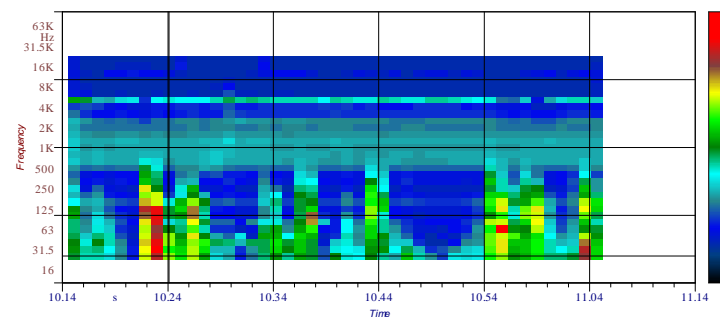
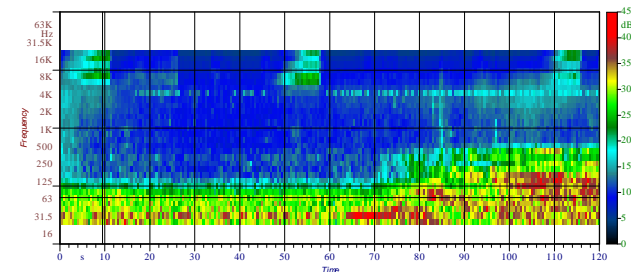
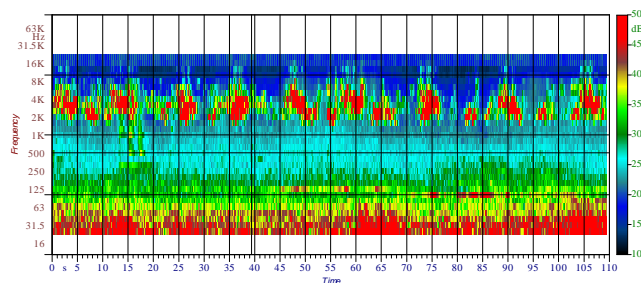
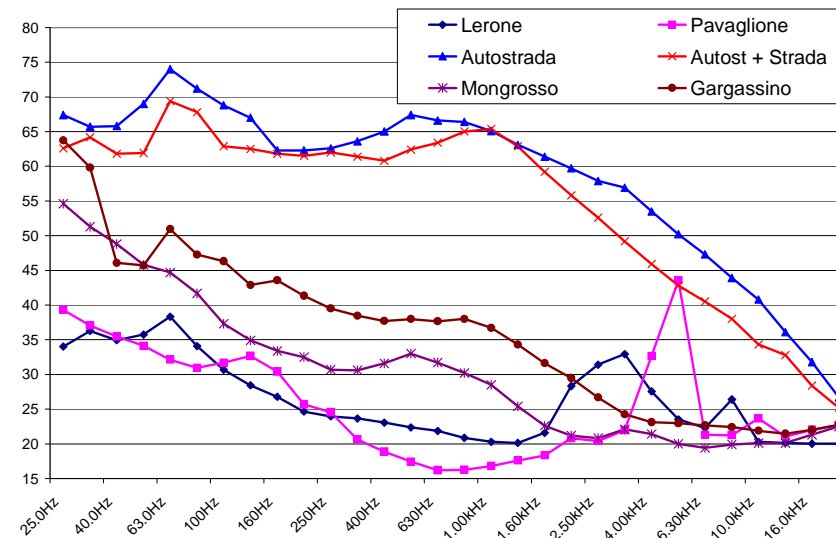
L_{Aeq} misurati sempre nettamente maggiori del valore del rumore intrinseco

non vi sono effetti apprezzabili dovuti al rumore intrinseco né sul valore misurato, né sull'incertezza

componenti importanti oltre i 4 kHz, necessità di tecniche di misura e di elaborazione non standard

eventi 4 kHz \Rightarrow incertezza
strumentale di LAeq: valutazione
che tenga conto dei livelli
misurati in ogni singola banda
(UNI/TR 11326:2009 punto 5.2)

valori di multispettro in banda:
componenti di incertezza per
banda di frequenza da associare
ai valori spettrali



conclusioni

UNI CEI ENV 13005:2000 e UNI/TR 11326:2009:

- ✓forniscono un metodo per la stima dell'incertezza di portabilità generale ma non sempre puntuale in tutte le situazioni
- ✓consentono un più proficuo utilizzo dei dati fonometrici
- ✓stimolano a ripensare in modo critico alle misure, elaborazione dati e presentazione risultati

Componenti di u non sempre valutate in questo studio:

- componenti «distanza sorgente – microfono» e «altezza da terra del microfono»:
 - non applicabili in assenza di una sorgente sonora dominante
 - aspetti logistici: non applicabili correttamente (interpretazione fisica)
- componente «riflessione»: non sempre è presente una superficie riflettente

alcuni aspetti critici generali nella valutazione dell'incertezza:

- ❑ non completezza di metodi standardizzati per la misura del rumore ambientale

- ❑ necessità, per vincoli logistici o per opportunità di valutazione su recettori di interesse, di procedere con monitoraggi non riconducibili in toto alle tecniche standard

⇒ può risultare ambiguo il confronto fra misure anche in presenza delle incertezze

⇒ è necessario corredare i dati con informazioni metodologiche e descrittive dei siti e riportare la dichiarazione di incertezza ben formulata in accordo con UNI CEI ENV 13005:2000 e UNI/TR 11326:2009

alcune questioni aperte:

- ❑ misurandi diversi da LAeq

- ❑ tecniche di misura prive di riferimenti metodologici standard