

## Misure di acustica ambientale: valutazione dell'incertezza intrinseca al rumore.

Andrea Cogorno

Arpa Liguria, Via Bombrini 8, 16149 Genova, andrea.cogorno@arpal.org

Patrizia Lazzeri

Arpa Liguria, Via Bombrini 8, 16149 Genova

Paola Ricciardi

Università degli Studi di Pavia, Via Ferrata 1, 27100 Pavia

### RIASSUNTO

*Si propone un metodo di valutazione dell'incertezza intrinseca al fenomeno acustico in una misura di rumore ambientale. Si analizza l'incertezza derivante dalla manifestazione di particolari eventi sonori di energia tale da destabilizzare il livello equivalente progressivo. Allo scopo si ricorre all'applicazione della statistica di Poisson.*

### PREMESSA

In questi ultimi anni è cresciuta l'attenzione al problema della quantificazione dell'indeterminazione associata alle misure di rumore.

Autorevoli esperti hanno più volte analizzato tutte le possibili fonti di incertezza e cercato di quantificare la variabilità che queste apportano alla misura fonometrica: l'incertezza dovuta alle caratteristiche del fonometro, l'incertezza dovuta al calibratore, l'errore derivante dal posizionamento dello strumento, etc.

Per alcuni riferimenti bibliografici vedasi [1][2][3][4].

Al fine di fornire un'adeguata stima dell'indeterminazione associata al livello equivalente di una misura di rumore ambientale, si ritiene indispensabile analizzare anche la "naturale" variabilità del fenomeno acustico indagato, ovvero l'incertezza derivante dalla manifestazione di particolari eventi sonori (di seguito denominati eventi *spot*) in grado di destabilizzare in maniera significativa il valore del livello equivalente progressivo, frutto della misura.

L'intendimento degli autori del presente lavoro è l'analisi della variazione dei livelli equivalenti derivanti da misure successive, relative ad un determinato fenomeno acustico ambientale, effettuate con il medesimo strumento installato costantemente in una definita posizione, secondo una definita metodologia. Questo tipo di analisi sulla misura sarà effettuata quindi a prescindere dalle già citate ed inevitabili incertezze strumentali, metodologiche, operative, ma terrà conto solo della variabilità intrinseca al fenomeno acustico.

Per meglio comprendere i termini della questione, si pensi alle problematiche connesse alle misure di conteggio di una sorgente radioattiva. Ammettendo che il contatore Geiger non commetta errori di conteggio (la sorgente radioattiva non sia troppo intensa) la variabilità del numero di decadimenti conteggiati in misure successive è intrinseca al fenomeno fisico (ammettendo ancora che il tempo di decadimento della sorgente sia sufficientemente lungo in relazione ai tempi di conteggio).

In una misura di rumore in ambito urbano, con rumorosità indotta da intenso traffico veicolare, un evento *spot* potrebbe essere identificato, ad esempio, nel transito di un veicolo particolarmente rumoroso; in una misura di rumore in ambito extraurbano, un evento *spot* può essere causato dal transito di un qualunque veicolo o da versi di animali domestici o selvatici. Si possono riconoscere altri eventi *spot* nel sorvolo di un velivolo a quota medio-bassa, nel transito di un'ambulanza o di altri mezzi di soccorso, ...

Si supponga che la storia temporale registrata presenti un unico evento *spot*, identificato, ad esempio, in un unico transito veicolare in un contesto rurale. La statistica di Poisson [5], a seguito dell'osservazione dell'unico transito veicolare, permette di concludere che, nell'ambito della finestra temporale della misurazione fonometrica, non si può escludere né la possibilità di osservare un doppio transito, né la possibilità di non osservare alcun transito. E queste possibilità sono quantificate attraverso il calcolo della probabilità poissoniana: 37% per assenza di evento *spot* o sua singola manifestazione; 18% per doppia manifestazione di evento *spot*; 6% per tripla manifestazione; probabilità trascurabili per manifestazioni più frequenti.

La manifestazione di un evento *spot* nel corso della misura può portare a destabilizzare significativamente il valore del medesimo livello equivalente e potrebbe indurre l'operatore a "scartare" o "mascherare" quel particolare evento *spot* o ad incrementare arbitrariamente il tempo di misura al fine di conseguire una nuova stabilizzazione del livello equivalente.

Ma sino a che punto è lecito introdurre la soggettività dell'operatore nell'eliminazione di sorgenti sonore forse solo apparentemente non caratteristiche dell'ambiente in esame?

Certamente l'osservazione prolungata del clima acustico presso un determinato sito può condurre ad una parziale risposta ai quesiti posti. Ma l'osservazione prolungata, in determinati casi, può risultare eccessivamente onerosa, oltre ad essere, essa stessa, affetta da indeterminazione.

L'indeterminazione in questione è dunque intrinseca alla variabilità del misurando piuttosto che a problematiche prettamente metrologiche. In passato alcuni fra gli autori del presente lavoro hanno già proposto un approccio metodologico che trova oggi un nuovo sviluppo ricorrendo ad una immediata applicazione della statistica di Poisson. La completa valutazione dell'indeterminazione della misura fonometrica deriverà dalla combinazione delle incertezze strumentali e metrologiche con una stima dell'entità della variabilità del misurando.

## IL METODO DI VALUTAZIONE DELL'INDETERMINAZIONE

Si consideri una misura di rumore della quale si voglia determinare il livello equivalente e l'incertezza ad esso associata, conseguente alla variabilità del misurando. Su un tempo di misura  $T_M$  prefissato, si ricava la storia temporale dei  $L_{Aeq, 1s}$ ; si dispone quindi del  $L_{Aeq}$  di fine misura e del SEL, definito dalla nota relazione:

$$SEL = L_{Aeq} + 10 \log(T_M)$$

L'energia  $E$  "raccolta" dal microfono durante l'intero tempo di misura è dunque:

$$E = 10^{\frac{SEL}{10}}$$

Operativamente definiamo evento *spot* l'insieme dei  $L_{Aeq, 1s}$  che superano il  $L_{Aeq}$  di fine misura utilizzato come livello di soglia.

Gli eventi *spot*, confrontati fra loro, possono ovviamente presentare differente durata temporale e, sulla base di quest'ultima, sono raggruppati (come mostra la prima colonna della tabella 1) e conteggiati (seconda colonna della tabella 1) per la successiva applicazione della statistica di Poisson. Nella terza colonna sono riportati i valori medi del SEL degli eventi *spot* di uguale durata temporale e nella quarta colonna i valori medi della densità di energia corrispondente.

Tabella 1 – Schema di modalità di raggruppamento degli eventi *spot*

Durata evento <i>spot</i>	N° eventi <i>spot</i>	SEL <sub>medio</sub>	Densità di energia media
<b>1 s</b>	$n_1 \pm \sqrt{n_1}$	SEL <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>
<b>2 s</b>	$n_2 \pm \sqrt{n_2}$	SEL <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>
...	...	...	...
<b>k</b>	$n_k \pm \sqrt{n_k}$	SEL <sub>k</sub>	E <sub>k</sub>
...	...	...	...

Nello schema si osserva che, secondo quanto previsto dalla statistica di Poisson, l'indeterminazione del numero di eventi *spot* di uguale durata temporale è pari alla radice quadrata del numero stesso. L'indeterminazione in argomento va intesa come singola deviazione standard.

La metodologia di calcolo è la seguente.

Si definisce densità di energia di base ( $E_{base}$ ) la quantità

$$E_{base} = E - \sum_k n_k E_k$$

intesa come densità di energia  $E$  della misura fonometrica privata di qualsiasi evento *spot*.

Si definiscono quindi una densità di energia massima ( $E_{max}$ ) e una densità di energia minima ( $E_{min}$ ), corrispondenti rispettivamente alla densità di energia base sommata alla massima e alla minima fluttuazione di densità di energia associata agli eventi *spot*

$$E_{max} = E_{base} + \sum_k (n_k + \sqrt{n_k}) E_k$$

$$E_{min} = E_{base} + \sum_k (n_k - \sqrt{n_k}) E_k$$

A tali valori energetici corrispondono i livelli equivalenti così definiti:

$$L_{Aeqmax} = 10 \log \left( \frac{E_{max}}{T_M} \right)$$

$$L_{Aeqmin} = 10 \log \left( \frac{E_{min}}{T_M} \right)$$

Si possono quindi ricavare:

$$\Delta^+ = L_{Aeqmax} - L_{Aeq}$$

$$\Delta^- = L_{Aeq} - L_{Aeqmin}$$

dove i  $\Delta$  definiscono la massima fluttuazione osservabile del  $L_{Aeq}$  di fine misura.

Si ribadisce che, in generale, i  $\Delta$  costituiscono un errore massimo a cui non occorre applicare alcun fattore di copertura. Derivano infatti da fluttuazioni degli eventi *spot* di differente durata temporale, fluttuazioni considerate nel loro insieme o in eccesso o in difetto: nella realtà dei fatti avvengono invece sicuramente parziali compensazioni.

Dunque

$$\text{Risultato misura} = L_{Aeq-\Delta}^{+\Delta}$$

Si osserva che, tipicamente, l'intervallo di incertezza non è simmetrico rispetto al livello equivalente.

Quanto sopra è stato implementato in dedicato software.

## RISULTATI

In applicazione di quanto sopra descritto, si presentano nelle figure 1 e 2 le storie temporali  $L_{Aeq, 1s}$  acquisite presso una fissata posizione di misura prospiciente una strada ad intenso traffico veicolare, nella medesima fascia temporale, in due giorni feriali consecutivi, in condizioni atmosferiche simili. Le figure evidenziano inoltre l'andamento del livello equivalente progressivo, il livello equivalente di fine misura, gli eventi *spot* (le "creste" della storia temporale di livello superiore al livello equivalente globale). Le misure si sono protratte per un tempo pari a 900 s, tempo sufficiente per assicurare, almeno apparentemente, la stabilità del livello equivalente progressivo in relazione alla dinamica della rumorosità registrata.

Figura 1 – Storia temporale (1°giorno)

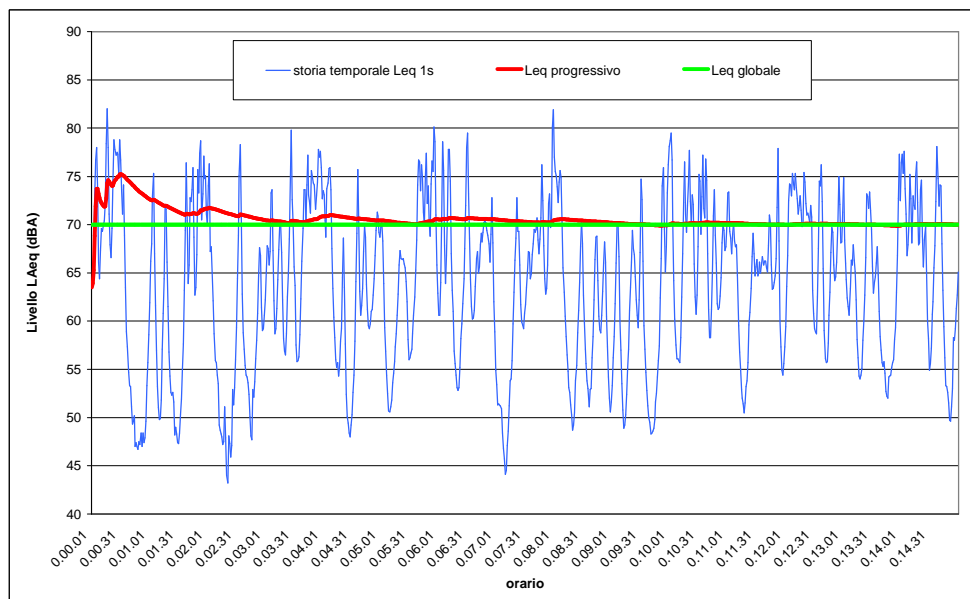
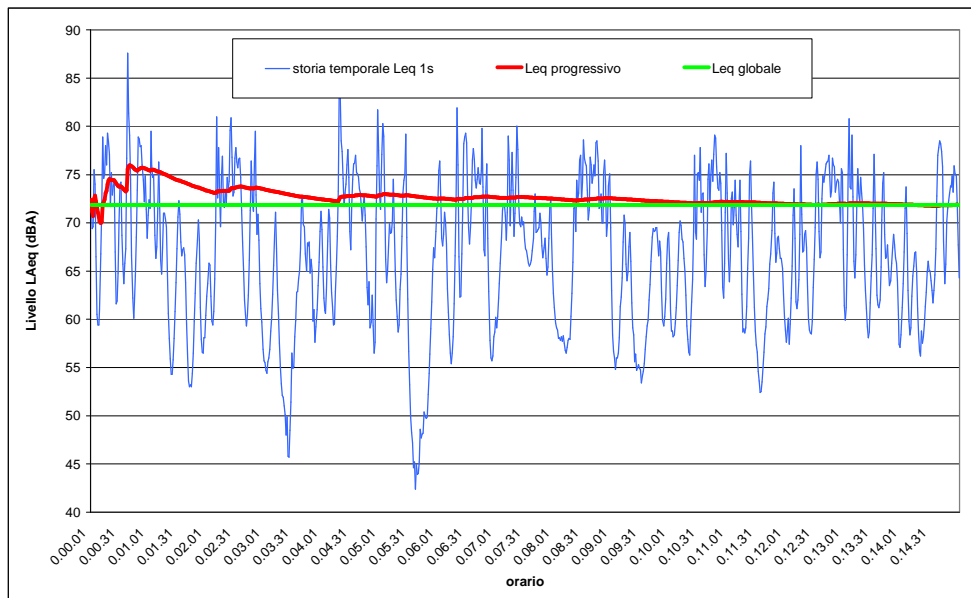


Figura 2 - Storia temporale (2°giorno)



L'acquisizione del primo giorno ha condotto ad un livello equivalente pari a 70.0 dBA; quella del secondo ad un livello di 72.0 dBA. Sulla base delle possibili fluttuazioni del numero degli eventi spot, gli errori massimi associati ai livelli equivalenti sono

$$70.0^{+2.0}_{-3.0} \text{ dBA} \quad 72.0^{+1.5}_{-3.0} \text{ dBA}$$

L'entità degli errori è tale da rendere compatibili i risultati delle due misure, ovvero non significativa la differenza di 2 dBA sui livelli globali di fine misura per tempi di integrazione pari a 900 s.

## CONCLUSIONE

Per mezzo del procedimento descritto, si quantificano le possibili fluttuazioni del numero degli eventi *spot*, sulla base delle quali si calcola l'intervallo di probabile variazione del livello equivalente di fine misura.

Si è applicato il metodo alla misurazione del rumore derivante da un'arteria stradale caratterizzata da traffico intenso e scorrevole. Misurazioni condotte in due giorni differenti, ma in condizioni "al contorno" analoghe, hanno condotto a livelli equivalenti fra loro differenti di 2 dBA su tempi di integrazione di 900 s. Tale differenza, a priori non trascurabile, è tuttavia contenuta nell'ambito dell'incertezza prevista dal metodo descritto ed evidenzia che l'incertezza associata alla variabilità intrinseca del clima acustico, nell'esperienza proposta, è predominante rispetto all'errore strumentale.

## Bibliografia

- [1] Andolfato Franco, *Calcolo dell'incertezza nelle misure di rumore ambientale*, 2004, Atti 31° Convegno Nazionale AIA
- [2] Sepulcri Daniele, *La qualità del dato in acustica ambientale*, 2004, Atti 31° Convegno Nazionale AIA
- [3] Garai Massimo, *Espressione dell'incertezza in acustica applicata: stato dell'arte e prospettive*, 2008, Atti 35° Convegno Nazionale AIA
- [4] Radaelli Simone, Quaja Edoardo, Zambon Giovanni, *Incetenza delle misurazioni acustiche in ambiente esterno*, 2008, Atti 35° Convegno Nazionale AIA
- [5] Taylor John R., *Introduzione all'analisi degli errori*, Zanichelli