

## La determinazione del rumore da infrastrutture di trasporto: incertezza di misura e confrontabilità dei risultati

Andrea Poggi

ARPAT Dipartimento provinciale di Firenze, Via Ponte alle Mosse 211, 50144 Firenze,  
a.poggi@arpat.toscana.it

### INTRODUZIONE

Ad una prima lettura l'incertezza di misura è ciò che determina la confrontabilità dei dati, ed è proprio a questo scopo che è valutata e dichiarata. Tuttavia le due cose spesso non sono sempre così strettamente connesse.

Infatti, riguardo al rumore delle infrastrutture, la confrontabilità dei dati pone il problema di trattare anche la variabilità che può discendere da differenze nella scelta del periodo e del punto di misura che due diversi soggetti possono legittimamente fare; mentre l'incertezza di misura normalmente include solo la prevedibile variabilità di risultato tra due soggetti che hanno effettuato la loro determinazione nello stesso punto e periodo. In particolare, per le infrastrutture, è anche abbastanza frequente che la rumorosità sia determinata "ad una certa distanza da queste" senza specificare in dettaglio il ricettore a cui si fa riferimento. Così si evidenzia un problema preliminare, che spesso è sottaciuto, soprattutto quando parliamo di incertezza di misura: se parliamo di confrontabilità dei dati, infatti, dobbiamo chiederci prima a qual fine li vogliamo confrontare o, meglio, a qual fine sono state svolte queste misure, perché questo determina quanto è necessario che il punto di misura sia proprio quello (e quindi il dato si riferisca solo a quello) e che il periodo di misura sia solo quello (e quindi il dato si riferisca solo a quello). Detto in altri termini è possibile restringere la forchetta ammessa tra dati "legittimamente" diversi pagando il prezzo di ridurre l'ambito di validità, e dall'altro lato si può avere dati di rumorosità utilizzabili in contesti ampi a patto di ammettere (e quindi tenere in conto) una più larga incertezza sul risultato prodotto da soggetti diversi.

Una prima analisi dei differenti fattori che incidono sulla confrontabilità del dato, in relazione al tipo di misura e alla infrastruttura in considerazione, è sintetizzata in tabella 1. Lo spazio disponibile non consente di discutere in dettaglio le motivazioni per le quali, nei diversi casi, ciascun fattore di variabilità è stato incluso o escluso: molte scelte sono ancora opinabili e d'altra parte non disponiamo di una casistica ampia di laboratori di misura che abbiano formalizzato una dichiarazione di incertezza da affiancare ai risultati delle loro misurazioni, sulla base della quale verificare quali componenti siano state prese in esame.

Tabella 1 - Elementi di variabilità nelle diverse tipologie di misure di rumore da infrastrutture

Parametro misurato	obiettivo	Principali fattori di variabilità
Rumore stradale o ferroviario in facciata di edifici	contestazione superamento dei limiti-sanzioni <sup>1</sup>	1. posizione sulla facciata; 2. altre sorgenti interferenti (solo stradale); 3. individuazione degli eventi anomali; 4. incertezza strumentale.
Rumore stradale o ferroviario in facciata di edifici	verifica necessità o efficacia di interventi di risanamento	1. periodo di misura scelto; 2. posizione sulla facciata; 3. altre sorgenti interferenti; 4. individuazione degli eventi anomali; 5. incertezza strumentale.
Rumore stradale o ferroviario all'interno di edifici	Verifica necessità o efficacia di interventi di risanamento	1. periodo di misura scelto; 2. arredamento (unità assorbenti) nel locale scelto; 3. altre sorgenti interferenti; 4. Individuazione degli eventi anomali; 5. incertezza strumentale.
Rumore stradale o ferroviario	Misura della emissività dell'infrastruttura (taratura di modelli) in condizioni di traffico controllate	1. Rappresentatività del tratto scelto; 2. rappresentatività del parco veicolare nel periodo di misura scelto; 3. incertezza strumentale.
Rumore aeroportuale esterno di edifici	Confronto con i limiti e verifica necessità o efficacia interventi di risanamento	1. Incertezza strumentale.
Rumore aeroportuale all'interno di edifici;	Verifica necessità o efficacia interventi di risanamento	1. arredamento (unità assorbenti) nel locale scelto; 2. Incertezza strumentale.

<sup>1</sup> agli effetti della contestazione di una violazione dei limiti ogni settimana di misura è sufficiente ad evidenziare il superamento: la variabilità di livello riscontrata in altre settimane è, a questo fine, irrilevante e dati diversi sono confrontabili solo se riferiti alla stessa settimana.

Possiamo però evidenziare con certezza che:

- ad eccezione della "incertezza strumentale" molti degli altri fattori che condizionano la confrontabilità dei dati sono normalmente esclusi dalla comune accezione di "incertezza di misura" e con tutta probabilità sono stati esclusi dall'analisi del budget di incertezza di quei laboratori che la dichiarano esplicitamente;
- la procedura di misura adottata deve garantire l'assenza di interferenze da parte di altre sorgenti;
- la normativa italiana individua la necessità di eliminare gli eventi anomali, ma la definizione consente molte differenze interpretative riguardo a quali fenomeni rientrino in questa categoria, inoltre le procedure che praticamente si possono adottare per individuarli difficilmente danno luogo a risultati univoci;
- benché la norma fissi in maniera abbastanza rigida la posizione del punto di misura, è frequente, soprattutto nelle misure prolungate, che le prassi adottate per l'esecuzione della misura non consentano di rispettare esattamente le regole di posizionamento;

Da qualche anno, nel tentativo di rendere più rigorosa la nostra procedura di misura prolungata del rumore da traffico stradale, abbiamo ritenuto necessario introdurre formalmente un passaggio che in molti casi era, di fatto, già presente ma non correttamente esplicitato: la misura del livello sonoro nella posizione del ricevitore è effettuata mediante una postazione di misura in continua (postazione fissa) posta nei pressi di questo, accompagnata da una determinazione della differenza di livello sonoro che intercorre tra la postazione in continua e la posizione esatta del ricevitore (posizione spot). In molti casi, nella pratica dell'acustica ambientale, la differenza di posizione tra ricevitore e postazione fissa è piccola e si dà per scontato che si possa trascurare la differenza di livello sonoro. Nella procedura che abbiamo messo a punto, invece, questa differenza deve sempre essere misurata. L'introduzione di questo passaggio consente di risolvere più facilmente anche il problema di garantire l'assenza di interferenze da parte di altre sorgenti: Infatti la maggiore libertà di posizionamento della postazione fissa rende più semplice metterla al riparo dalle numerose interferenze che spesso sono presenti proprio nelle immediate vicinanze del ricevitore. Infine questa procedura rende più semplice, e al tempo stesso rigoroso, confrontare misure prolungate riferite allo stesso periodo e allo stesso punto di misura (Casini D. 2009). Grazie a queste caratteristiche è stato possibile organizzare un interconfronto di misure di rumore stradale tra diversi Dipartimenti provinciali di ARPAT mirato a verificare l'incertezza di misura che si determina con questa procedura e a capirne meglio le diverse componenti. Esaminiamo in dettaglio i risultati conseguiti per ricavarne indicazioni di caratteri più generale.

## **PROTOCOLLO DELL'INTERCONFRONTO**

La prova si è svolta in un contesto di periferia urbana, intorno ad una strada di scorrimento, con una corsia per senso di marcia. Sono stati individuati due diversi recettori: una scuola materna ed elementare, collocata a 40 m dalla mezzera della strada, separata da questa da un prato, e un condominio collocato a 15 m dal centro della strada. In mezzo fra i due, anch'essa a circa 15 m dalla strada, un'area di sosta è stata utilizzata per collocare le postazioni di misura fisse. I partecipanti dovevano determinare il LAeq diurno e notturno di una settimana di misura, sulla facciata più esposta dei ricettori, in conformità alla normativa italiana<sup>2</sup>.

Hanno partecipato all'interconfronto 6 laboratori con 3 diversi modelli di postazione fissa (3 costruttori diversi) e 4 modelli di fonometro per le misure spot (2 costruttori diversi). Tutti gli apparecchi eccetto 1 sono tarati presso centri Sit con regolarità, e al momento della prova il periodo trascorso dall'ultima taratura variava da un minimo di 6 mesi ad un massimo di 24 con certificati emessi da 3 centri Sit diversi. L'età degli strumenti variava da 1 a 16 anni.

Il periodo di misura iniziava per tutti i laboratori lo stesso giorno, e si concludeva quando necessario per acquisire una settimana di dati validi (raccolti in periodi compatibili con le restrizioni meteorologiche poste dalla normativa italiana). I valori ai due ricettori  $L_{r1}$  e  $L_{r2}$  venivano misurati determinando, con due misure di 15 min, la differenza di livello sonoro  $\delta$  tra la postazione fissa e la "posizione spot" presso i ricettori. Occorre notare che in questo modo il livello sonoro al ricevitore eredita dalla postazione fissa l'andamento orario dei livelli sonori, ovvero le differenze di livello sonoro tra un'ora e l'altra, ma è del tutto indipendente dal livello equivalente della postazione fissa. In questo modo l'incertezza di taratura, così come le differenze di posizione, della postazione fissa non contribuiscono all'incertezza del livello sonoro misurato. È rilevante, invece, l'errore di linearità della postazione fissa, così come le sue derivate nel tempo di misura (da qualunque fattore siano determinate).

## **RISULTATI**

Le postazioni fisse erano posizionate a distanze variabili tra circa 11 m e 17 m dal centro strada, pertanto per poter estendere il confronto anche a queste è necessario correggere il valore misurato per tener conto della diversa distanza, lo abbiamo fatto applicando la correzione dovuta alla divergenza geometrica per una sorgente lineare. Possiamo quindi confrontare i valori ricavati per i due ricettori dai sei laboratori, ricavando-

---

<sup>2</sup> DM 16 marzo 1998 "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

ne lo scarto quadratico medio. I risultati sono riportati in tabella 2.

Tabella 2 – scarto tipo tra le misure di LAeq settimanale

periodo	Condominio σ (dB)	Scuola σ (dB)	Fissa σ (dB)
Diurno	0,41	0,62	0,33
Notturmo	0,41	0,66	0,30

Ci possiamo domandare quanto questo scarto cresce se siamo interessati alla determinazione di uno specifico LAeq orario anziché al LAeq settimanale. Per far questo abbiamo confrontato i livelli orari di ciascuna postazione fissa, a meno dello scarto tra le rispettive medie che, come abbiamo detto, è irrilevante ai fini del livello ai ricettori. In pratica abbiamo determinato per ciascuna postazione la seguente quanti-

$$t\grave{a}: \Delta_i(t) = L_i Aeq(t) - \frac{1}{6} \sum_i L_i Aeq(t) - \frac{1}{n} \sum_t \left[ L_i Aeq(t) - \frac{1}{6} \sum_i L_i Aeq(t) \right] \quad 1$$

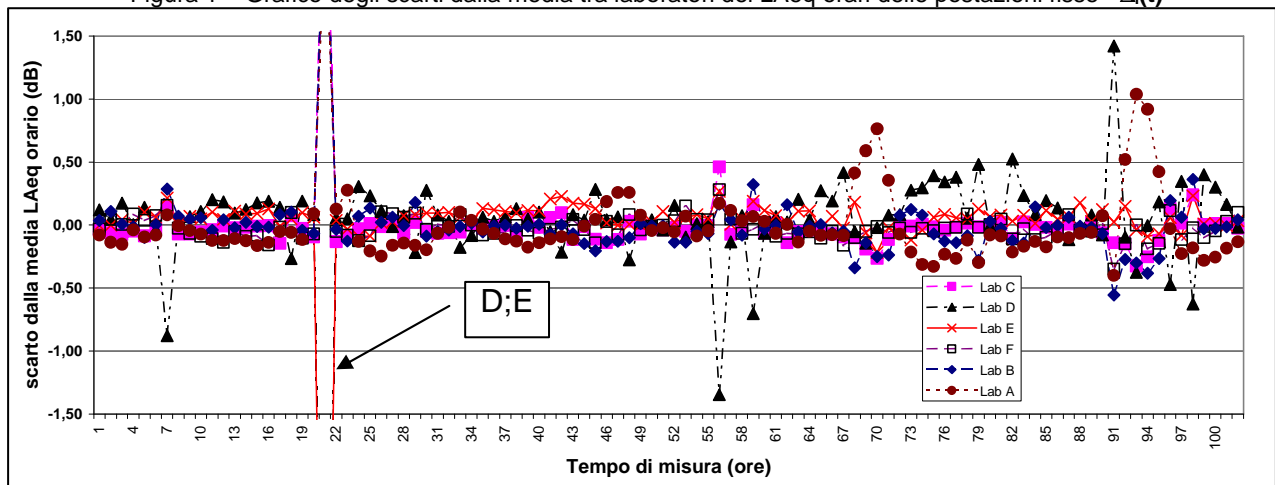
dove

$i$  è l'indice che distingue le 6 postazioni;

$t$  l'indice che distingue gli  $n$  intervalli orari del periodo esaminato

Il grafico di fig.1 ci mostra il risultato di questo confronto per i cinque giorni in cui si sovrappongono le settimane di riferimento elaborate da diversi laboratori, e ci fornisce alcuni interessanti spunti di riflessione. In primo luogo si evidenzia che nella stragrande maggioranza degli intervalli gli scarti sono estremamente contenuti, e non si evidenziano derive significative di nessuno degli strumenti. Tuttavia in alcuni intervalli qualche laboratorio ( D, E) produce dati molto diversi da tutti gli altri. Infine negli ultimi due giorni, in periodo notturno, un laboratorio (A) mostra delle derive in eccesso per periodi di qualche ora.

Figura 1 – Grafico degli scarti dalla media tra laboratori dei LAeq orari delle postazioni fisse -  $\Delta_i(t)$



Si è scoperto che il primo fenomeno dipende dalla diversa procedura di “trattamento” dei dati anomali. Due laboratori, infatti, eseguono una verifica del tracciato livello-tempo, ricercando eventi con livelli sonori anomali che, dopo un ascolto della registrazione audio, possono decidere di escludere dal calcolo del livello sonoro orario. In particolare in quei 5 gg uno di questi (D) ha cancellato 16 periodi interessati dal rumore di sirene (10) e da eventi impulsivi(6), l'altro (E) ne ha cancellati 2, entrambi hanno individuato una sirena che ha apportato una variazione del LAeq orario di 9 dB. Gli altri laboratori si limitano invece a verificare dal sopralluogo e dalle informazioni disponibili (ad esempio gli orari di pulizia delle strade) che l'area occupata dalla postazione non sia stata oggetto di interventi anomali evidenti.

La deriva per alcune ore di uno dei carrelli, invece, si è rivelata essere la conseguenza di un guasto sconosciuto che, innalzando il rumore di fondo di quella catena di misura (in maniera permanente), produceva una alterazione del livello sonoro evidente solo nelle ore meno rumorose delle notti di lunedì e martedì, che sono le più silenziose della settimana.

Tenendo conto anche di queste differenze lo scarto quadratico medio dei livelli orari di un laboratorio rispetto alla media è pari a circa 0,6 dB, e raggiunge il valore di 1 dB se valutato nel solo periodo notturno. Se però si eliminano gli intervalli orari anomali per i diversi motivi sopra indicati questo scarto è per tutti minore di 0,2 dB.

## VALUTAZIONE

Occorre chiedersi quale variabilità sia stata inclusa in una incertezza di misura così valutata.

In primo luogo è stata inclusa tutta l'incertezza strumentale, limitatamente però agli effetti delle condizioni ambientali che si sono manifestate durante il periodo preso in esame. In particolare nella settimana di riferimento scelta dai diversi laboratori si sono registrate escursioni di temperatura da una minima di 11°C ad una massima di 25°C, un intervallo che comporta uno scarto massimo dalla temperatura di riferimento per la calibrazione che è circa la metà di quello ammissibile per fonometri di classe 1, mentre le misure spot si sono svolte tutte entro qualche grado dalla temperatura di riferimento per la loro calibrazione. Sono state certamente incluse anche le differenze derivanti dalla individuazione del punto di misura, che ogni laboratorio ha stabilito liberamente sulla facciata più esposta del numero civico individuato. Abbiamo infine incluso la variabilità possibile, nella differenza di livello sonoro tra postazioni fisse e postazioni di riferimento, dovuta all'influenza della meteorologia sulla propagazione del suono (che in parte giustifica il maggior scarto per le misure alla scuola che aveva un  $\delta$  intorno a 6 dB) e, infine, le differenti scelte fatte sulla tipologia di microfono da usare (pressione/campo libero) ed il suo orientamento. Sia pure includendo questi ulteriori fattori la procedura di misura ha mostrato scarti tipo confrontabili, se non inferiori, con le stime fin'ora accreditate sull'incertezza di misura dei fonometri di classe 1 (Payne R. 2004; Casini D. 2004).

Una certa attenzione la merita la questione della variabilità dell'attenuazione nei due diversi cammini dalla sorgente rispettivamente al ricettore e alla postazione fissa. Questo elemento non è facilmente valutabile e richiede un certo approfondimento che non è possibile fare in questo spazio. Preme tuttavia evidenziare che questa problematica non è peculiare della procedura adottata (che ha solo il pregio di esplicitarla) ma è del tutto equivalente al problema che si pone ogni volta che, sulla base di misure effettuate in condizioni di sorgente controllata (ad esempio conteggio dei volumi di traffico), si voglia ricavare un valore di livello sonoro di più lungo periodo, o semplicemente da confrontarne con altri riferiti alle medesime condizioni di funzionamento della sorgente. Anche in questo caso si fanno necessariamente delle assunzioni (in genere implicite) sul fatto che la propagazione sonora, dalla sorgente al ricettore, segua un determinato comportamento nel periodo di misura e nel periodo a cui si fa riferimento (in genere si assume che sia il medesimo senza apportare correzioni). Si tratta, ad esempio, di tutti i casi in cui si voglia valutare l'efficacia di un intervento di mitigazione mediante il confronto tra misure: il problema della stabilità dell'attenuazione per propagazione si pone infatti sia che si proceda con verifiche ante/post-operam, sia che si proceda post-operam, confrontando posizioni soggette alla mitigazione con posizioni non soggette.

## CONCLUSIONI

L'esecuzione di misure di rumore di infrastrutture di trasporto può essere svolta con procedure che garantiscono una incertezza estesa di poco superiore a 0,5 dB, nei casi ottimali in cui sia possibile effettuare, direttamente sul ricettore, una misura prolungata priva di interferenze significative. Più in generale l'incertezza estesa può essere inferiore a 1,5 dB.

Nell'uso corrente delle misure si fa ancora poca attenzione a chiarire l'ambito di validità del dato raccolto e ad esplicitare gli ulteriori elementi di incertezza di cui tener conto nel confronto con i valori limite a cui sono orientate le misure. In particolare la variabilità dell'attenuazione per propagazione, ed alcuni elementi procedurali non del tutto chiariti dalla normativa, possono avere una influenza ben maggiore delle componenti strumentali normalmente incluse nell'incertezza di misura.

## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro non sarebbe stato possibile senza la collaborazione attiva di tutti i colleghi che hanno partecipato all'interconfronto, che ha consentito di analizzarne i risultati in dettaglio, e senza l'impegno di Tamara Verdolini e David Casini che ne hanno curato anche l'organizzazione materiale.

## Bibliografia

Payne Richard, *Uncertainties associated with the use of a sound level meter*, 2004 NPL Report DQL-AC002  
D. Casini, L. Moran, A. Poggi, *Valutazione dell'incertezza nelle misure di rumore stradale*, 2004, Atti 31° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica, pp. 381-385  
David Casini, Tamara Verdolini, Andrea Iacoponi *La Qualità nelle misure di rumore stradale: l'esperienza di ARPAT*, 2009 ARPA Piemonte (a cura di) atti del Quarto Convegno Nazionale "Controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti".