

## Il lavoro della Commissione Acustica dell'UNI con riferimento alla valutazione dell'incertezza nelle misure acustiche

Massimo Garai

Università di Bologna - DIENCA, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, massimo.garai@mail.ing.unibo.it

### INTRODUZIONE

In campo scientifico è ormai un fatto assodato che il risultato di una misurazione o di un calcolo debba sempre essere accompagnato dalla dichiarazione della relativa incertezza. Solo con tale indicazione, infatti, il risultato può essere ragionevolmente confrontato con altri analoghi o con valori di riferimento assegnati da specifiche contrattuali o norme tecniche o leggi. Sull'onda di tale acquisizione scientifica, l'ISO ha lanciato da diversi anni l'aggiornamento di tutte le norme tecniche, sulla scorta anche di una nuova visione del processo di valutazione dell'incertezza (UNI CEI ENV 13005:2000, più nota come "GUM").

Il rinnovamento si è rapidamente esteso anche al CEN e, per quanto riguarda l'Italia, all'UNI (Bich, Cibien 2007), (Buccianti, Gonella 2007). In particolare, la Commissione Acustica e Vibrazioni ha costituito un apposito gruppo di lavoro, coordinato dallo scrivente, che fin dall'inizio del 2006 sviluppa l'ambizioso progetto di dotare il settore di strumenti chiari ed aggiornati per valutare l'incertezza (Garai, 2007).

La tabella 1 riassume la struttura del progetto UNI, articolato in un pacchetto di più norme e rapporti tecnici, aggiornata a fine 2008; ovviamente tale struttura viene periodicamente aggiornata in funzione delle nuove acquisizioni nel settore. Attualmente la parte 1, di inquadramento generale e sintesi dello stato dell'arte, è pronta per la pubblicazione (UNI Progetto U20.00.135.1:2008); la parte 2, forse la più critica in assoluto, sarà affrontata subito dopo la parte 3; quest'ultima sarà la prossima ad essere sviluppata in quanto è urgentemente richiesta per supportare il corretto impiego dei codici di calcolo per la mappatura acustica del territorio e la definizione dei piani d'azione ai sensi del D. Lgs. 194/05.

Nel presente lavoro sono presentate le informazioni essenziali per cogliere la filosofia della parte 1 del progetto, di prossima pubblicazione, ed anticipare alcune idee per le parti 2 e 3.

Tabella 1 – articolazione del pacchetto di norme "Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica"

Parte	Argomento	Stato
Parte 1	Concetti generali (stato dell'arte)	Terminata - All'esame CCT
Parte 2	Confronto di valori affetti da incertezza con valori limite	Da scrivere dopo la parte 3
Parte 3	Incertezza dei modelli di calcolo per l'ambiente esterno	Da scrivere nel 2009
Parte 4	Incertezza dei modelli di calcolo per ambienti chiusi	In attesa
Parte 5	Incertezza nella misura del rumore stradale	In attesa
Parte 6	...	...

### CONCETTI GENERALI

La parte 1 offre una panoramica dello stato dell'arte relativo all'espressione dell'incertezza in acustica, con indicazioni su come applicare al meglio la GUM. La metodologia adottata per l'espressione dell'incertezza si rifà esplicitamente alla guida UNI CEI ENV 13005:2000. L'intento è di fornire linee guida di più facile leggibilità rispetto alle norme di riferimento metrologico ed allo stesso tempo di immediata applicabilità al campo dell'acustica applicata. Infatti per ogni applicazione dell'acustica vengono fornite formule, tabelle o grafici di immediato utilizzo con un linguaggio vicino a quello dell'utilizzatore. Essa approfondisce maggiormente gli argomenti connessi con la misurazione o il calcolo del rumore in ambiente esterno, di origine industriale, stradale, ferroviaria e aeroportuale. Cenni più sintetici sono dedicati all'acustica edilizia, all'acustica degli ambienti chiusi, al rumore in ambiente di lavoro. In futuro, ognuno di questi argomenti potrebbe essere oggetto di una norma dedicata. Si veda in proposito la tabella 2.

### INCERTEZZA STRUMENTALE

La problematica dell'incertezza di misura della strumentazione fonometrica viene risolta fornendo un elenco delle componenti dell'incertezza finale, della modalità con cui è possibile calcolarle a partire dalle norme tecniche dedicate e del valore finale che esse assumono per uno strumento di classe 1 (quello prescritto dalle leggi di settore). Una tabella riassuntiva rende evidente come approcci leggermente differenti, presenti nella letteratura scientifica, alla fine conducano a stime dell'incertezza tipo composta molto simili tra loro. Ciò permette all'utilizzatore di dichiarare un valore ragionevole dell'incertezza della

strumentazione di classe 1, che risulta essere di circa 0,49 dB, sulla base di argomentazioni tecniche comprensibili all'esperto medio di acustica. Va ricordato che la stima sopra riportata dell'incertezza strumentale include quella del calibratore, ma non comprende né l'incertezza dovuta all'influenza dell'operatore, né quella dovuta al posizionamento dello strumento, che devono essere considerate a parte.

Tabella 2 – argomenti trattati dalla parte 1 del pacchetto di norme UNI dedicato all'incertezza in acustica

Argomento	Approccio	Riferimenti
Generalità sull'incertezza	analitico	UNI CEI ENV 13005:2000
Incetezza strumentale	analisi norme e letteratura	CEI EN 60942 CEI EN 61672-1
Misurazioni acustiche in ambiente esterno	analitico	UNI CEI ENV 13005:2000 ISO 1996 D.M. 16 Marzo 1998
Modelli di calcolo per l'ambiente esterno	considerazioni generali	UNI ISO 9613 Harmonoise/Image GPG
Sorgenti sonore industriali	parzialmente analitico	UNI EN ISO 3740 UNI EN ISO 9614
Sorgenti sonore di tipo stradale	parzialmente analitico analisi di sensibilità	sviluppi analitici GPG
Sorgenti sonore di tipo ferroviario	descrittivo	GPG
Sorgenti sonore di tipo aeroportuale	descrittivo analisi di sensibilità	ECAC doc. 29 GPG
Acustica edilizia	sperimentale (ripetibilità, riproducibilità)	ISO/WD 140-2 UNI EN ISO 5725 letteratura scientifica
Acustica degli ambienti chiusi	sperimentale (ripetibilità, riproducibilità)	ISO 3382 letteratura scientifica
Esposizione professionale a rumore	analitico	UNI 9432:2008 prEN ISO/DIS 9612:2007

### INCERTEZZA DELLE MISURAZIONI ACUSTICHE IN AMBIENTE ESTERNO

Per valutare l'incertezza da attribuire a una misurazione acustica in ambiente esterno, effettuata con strumentazione di classe 1, la parte 1 del pacchetto di norme UNI fornisce una procedura che tiene conto, oltre che dell'incertezza strumentale, di quella associata alla distanza sorgente-ricettore, alla distanza del microfono da superfici riflettenti ed all'altezza dello stesso dal suolo.

- Distanza sorgente-ricettore** – Vengono fornite formule per convertire l'incertezza sulla distanza, in metri, in valori in decibel, distinguendo tra sorgenti puntiformi e sorgenti lineari.
- Distanza da superfici riflettenti** – considerando un errato posizionamento di  $\pm 0,20$  m rispetto alla distanza nominale di 1 m, le stime teoriche indicano che:
  - per sorgenti puntiformi, lo scostamento dal valore nominale del livello di pressione sonora dovuto all'errato posizionamento del microfono varia da 0,18 dB a 0,01 dB per distanze dalla superficie riflettente comprese tra 5 m e 200 m;
  - per sorgenti lineari, lo scostamento dal valore nominale del livello di pressione sonora dovuto all'errato posizionamento del microfono varia da 0,11 dB a 0,01 dB per distanze dalla superficie riflettente comprese tra 5 m e 170 m.
- Altezza dal suolo** – L'incertezza associata dipende sostanzialmente da due aspetti: l'effetto del suolo, variabile in funzione dell'altezza, e la distanza sorgente-ricettore, anch'essa variabile in funzione dell'altezza. Per quantificare tali aspetti è stato effettuato uno calcolo teorico per un ricettore posto alle altezze di 1,5 m e 4,0 m, considerando una deviazione massima dal valore nominale di altezza di  $\pm 0,2$  m e di  $\pm 0,5$  m rispettivamente, dal quale risulta che:
  - l'incertezza relativa all'effetto del suolo è significativa (maggiore o uguale di 0,1 dB): a) per un ricettore posizionato a 1,5 m di altezza e per distanze comprese tra 30 m e 160 m; b) per un ricettore posizionato a 4 m di altezza e per distanze comprese tra 50 m e 380 m;
  - l'incertezza relativa alla variazione con l'altezza della distanza sorgente-ricettore, è trascurabile per un ricettore posizionato a 1,5 m di altezza, mentre per un ricettore posizionato a 4 m di altezza è trascurabile dopo i 10 m di distanza.

Nel caso pratico di un livello di rumore in ambiente esterno, soggetto ad una forte variabilità nel tempo, può essere necessario fornire una stima della rappresentatività del campione di livelli sonori rilevati rispetto ad un periodo di riferimento temporale differente da quello del campione in esame (per esempio occorre ricavare un valore di livello equivalente di rumore diurno/giornaliero a partire da un valore rilevato di livello equivalente orario). Occorre, a questo proposito, specificare che l'incertezza di una misurazione acustica è associata esclusivamente al dato rilevato in uno specifico intervallo temporale e in determinate condizioni ambientali (informazioni che devono essere adeguatamente indicate nella stesura di un qualsiasi rapporto di misura); pertanto è consigliabile evitare l'utilizzo del termine "incertezza" per indicare la correzione che si apporta al dato misurato al fine di renderlo rappresentativo di un intervallo temporale più ampio.

### **CONSIDERAZIONI SUI MODELLI DI CALCOLO DEL RUMORE IN AMBIENTE ESTERNO**

Già nella parte 1 del pacchetto di norme UNI è stato necessario affrontare il tema dei modelli di calcolo, anticipando l'impostazione prevista per la parte 3. L'urgenza del tema è connessa alla mappatura acustica strategica del territorio italiano ed alla definizione dei piani d'azione, richieste dal Decreto Legislativo 194/05 in applicazione della Direttiva Europea 2002/49/CE: in teoria, infatti, bisognerebbe associare a ciascuna mappa di rumore una "mappa dell'incertezza" che rendesse evidente quanto è affidabile la rappresentazione della rumorosità calcolata; in pratica non è ancora possibile arrivare a tanto, ma occorre certamente valutare l'affidabilità dei modelli utilizzati per compiti di questa rilevanza.

Dato che i modelli previsionali lavorano secondo uno schema fisso, calcolando il livello di pressione sonora in varie posizioni utilizzando i livelli di potenza sonora delle sorgenti e considerando vari termini di attenuazione lungo il percorso di propagazione, la determinazione dell'incertezza dei livelli sonori calcolati si può schematizzare in cinque fasi:

1. stima delle incertezze sulle grandezze ed i parametri di ingresso (caratterizzazione delle grandezze di ingresso);
2. stima dell'incertezza associata ad una data formulazione matematica della realtà (caratterizzazione dell'incertezza del **modello matematico**);
3. stima dell'incertezza associata ad una data implementazione del modello matematico adottato (caratterizzazione dell'incertezza del **modello software**);
4. stima dell'incertezza dei dati di uscita derivante dall'incertezza di rappresentazione dei risultati mediante mappe con curve isolivello (caratterizzazione dell'incertezza di rappresentazione);
5. caratterizzazione delle incertezze associate a differenti strutture e formulazioni del modello (caratterizzazione dell'incertezza del **modello costruito**).

Per l'incertezza associata ai dati di ingresso si può fare riferimento alla *Good Practice Guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure*, in breve GPG (WG-AEN, 2007), che contiene una serie di "toolkit" sviluppati per effettuare la stima dei parametri occorrenti al calcolo dei livelli di rumore prodotti dalle principali sorgenti: strade, ferrovie, industrie. I "toolkit" proposti dalla guida suggeriscono orientativamente, in funzione delle informazioni disponibili, le metodologie più appropriate per generare i dati necessari all'elaborazione delle stime ed alcune indicazioni di massima sulla loro complessità, accuratezza e costo.

L'incertezza nel modello matematico dipende sia dall'insufficiente rappresentatività del modello matematico di base, sia da procedure ambigue nel documento che descrive il modello matematico. Infatti, un modello matematico non sarà mai perfettamente rappresentativo della realtà, essendo per definizione un'approssimazione della stessa. Per esempio, l'incertezza può essere legata alla rappresentatività delle reali caratteristiche di emissione della sorgente, indipendentemente dall'accuratezza dei dati di ingresso. La validità di un modello matematico in un particolare settore applicativo dipende in ultima analisi dal livello di consenso che esso riscuote nella comunità scientifica. Per alcuni modelli si trovano nella letteratura scientifica valutazioni dell'incertezza attesa in casi tipo rappresentativi. L'altra causa di incertezza per un modello matematico è dovuta al fatto che il documento che lo descrive può contenere passaggi ambigui. Tale ambiguità può essere ineliminabile, poiché derivata da semplificazioni della realtà. Per ovviare a questo inconveniente, gli sviluppatori software adottano particolari interpretazioni, che di fatto sono implementate come varianti del modello base, e che dovrebbero essere dichiarate esplicitamente.

L'incertezza del modello software dipende dal fatto che possono sempre verificarsi errori di implementazione delle equazioni base in un particolare software. Per questa ragione, il programma deve essere sottoposto ad un'attenta procedura di validazione prima di essere reso disponibile agli utilizzatori. Sarebbe auspicabile che i diversi software fossero controllati con casi di prova prestabiliti e che i risultati fossero certificati da una terza parte indipendente dagli sviluppatori e dagli utilizzatori. L'analisi dell'incertezza ed i limiti di validità del modello dovrebbero poi essere forniti dai produttori di software agli utilizzatori. Questa procedura è analoga alla taratura periodica degli strumenti di misura e può quindi essere chiamata "taratura" del modello software.

L'incertezza di rappresentazione di un modello è dovuta alla necessità di rappresentare i risultati mediante mappe, con curve di isolivello ottenute mediante differenti tecniche di interpolazione applicate all'insieme dei valori calcolati su una griglia. Alcune di queste tecniche privilegiano un dato andamento grafico delle curve isolivello, suggerendo valori leggermente alterati del dato fisico sottostante ed introducendo con ciò un contributo di incertezza. Se l'interpolazione grafica fa parte del pacchetto software che implementa il modello matematico, l'incertezza di rappresentazione costituisce uno dei termini da includere nell'incertezza del modello software.

L'incertezza associata al modello costruito dipende sostanzialmente dall'insieme delle approssimazioni, interpretazioni e semplificazioni operate nella fase di costruzione del modello per un caso specifico, anche per aumentarne l'efficienza e rendere disponibili le stime in tempi ragionevoli.

Se sono disponibili valori misurati di livello sonoro riferiti al caso in esame, il modello costruito può essere ottimizzato sulla base di tale riferimento. Questa procedura è analoga alla calibrazione di uno strumento di misura in campo prima di compiere una specifica misurazione e può quindi essere chiamata "calibrazione" del modello costruito. Poiché i dati misurati sono anch'essi affetti da incertezza, nel valutare l'incertezza del risultato prodotto dal modello occorre tenere conto anche dell'incertezza associata alle misure.

### **SORGENTI INDUSTRIALI, STRADALI, FERROVIARIE, AEROPORTUALI**

L'ulteriore dettaglio delle procedure per arrivare a stabilire l'entità numerica dell'incertezza dipende fortemente dalla tipologia di sorgente considerata. Infatti, lo stato dell'arte dell'acustica applicata vede le procedure di misurazione o calcolo molto differenziate in funzione della tipologia di sorgente. Per questa ragione la norma tratta separatamente le sorgenti industriali, stradali, ferroviarie e aeroportuali, mettendo anche in evidenza le differenze esistenti tra normative dedicate ad uno stesso argomento, come capita per esempio confrontando la UNI EN ISO 3745 e la ISO/DIS 3746:2005 per la stima della potenza sonora emessa dai macchinari.

I modelli di calcolo del rumore aeroportuale presentano una struttura peculiare e richiedono un maggior livello di competenza specifica rispetto ai modelli per il rumore stradale e ferroviario; pertanto è stato deciso di dedicare un'appendice alla valutazione dell'incertezza nella calibrazione dei modelli di calcolo del rumore aeroportuale.

### **ACUSTICA EDILIZIA**

Nell'attuale situazione transitoria, vi sono campi nei quali non è ancora possibile giungere ad una modellazione analitica del processo di misurazione, con l'identificazione e la quantificazione di tutti i possibili contributi all'incertezza associabili alla specifica procedura di misura utilizzata, come richiesto dalla GUM. Per garantire comunque un'espressione dell'incertezza consistente con la GUM, la parte 1 del progetto UNI richiama in questi casi un secondo approccio, che è poi quello scelto da ISO e CEN nei medesimi casi, noto come "approccio sperimentale" e basato sul pacchetto di norme UNI ISO 5725, parti da 1 a 6.

Per l'incertezza delle misurazioni di laboratorio, il riferimento fondamentale è la ISO 140-2, attualmente allo stato di working draft. In essa si riconosce che le incertezze dovrebbero preferibilmente essere determinate secondo la UNI CEI ENV 13005, ma si ammette che, allo stato attuale delle conoscenze, ciò non è ancora possibile; pertanto, le valutazioni quantitative dell'incertezza sono ancora basate sull'approccio in termini di ripetibilità e riproducibilità, che fornisce una valutazione globale dell'incertezza tipica di un metodo di misura sulla base di prove inter-laboratorio. Questo approccio risente di alcuni svantaggi: per esempio, mediante lo scarto tipo di riproducibilità viene stimata solo la somma di tutti i contributi all'incertezza; dunque è impossibile valutare quali siano i più importanti tra essi e come sia possibile ridurli.

Per quanto riguarda l'incertezza delle misurazioni in opera, la parte 1 del progetto UNI fa riferimento ai risultati dei lavori pionieristici di alcuni esperti internazionali (si veda per esempio Gerretsen, 2005), e li presenta ai tecnici italiani in una forma facilmente accessibile, in semplici tabelle di facile consultazione (vedere tabella 3).

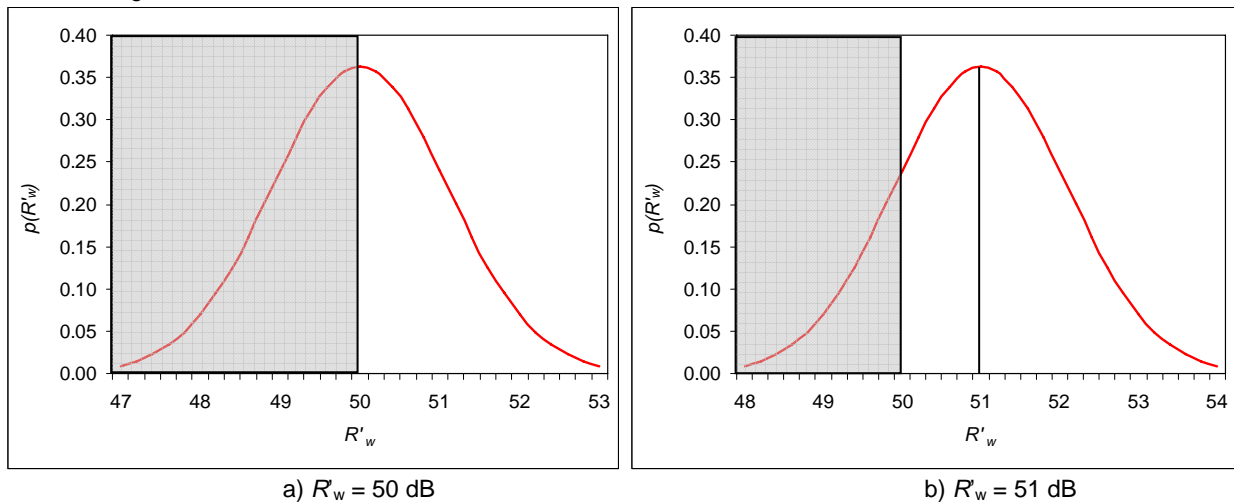
Tabella 3 - Incertezza tipo di riproducibilità dell'indice di valutazione di misurazioni in situ, in dB (Gerretsen, 2005)

<b>Grandezza</b>	<b><math>\sigma_m</math>, dB</b>
Isolamento al rumore aereo tra ambienti	1,1
Isolamento al rumore aereo dall'esterno	0,8
Isolamento al rumore impattivo	1,3
Rumore di impianti di condizionamento	1,1
Rumore di impianti igienico-sanitari	da 1,7 a 2,4

Lo stato dell'arte non completamente soddisfacente di questo settore rende particolarmente acuto il problema del confronto di valori misurati o calcolati affetti da incertezza con valori limite stabiliti senza alcun

marginale di tolleranza. Per fare un esempio, si supponga di volere confrontare il valore misurato durante un collaudo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante in opera,  $R'_w$ , di un divisorio tra differenti unità immobiliari con il classico valore limite di 50 dB imposto dal D.P.C.M. 5/12/97. Posto che la distribuzione dei valori misurati sia gaussiana (ipotesi ottimistica), si assumono come valor medio il valore misurato e come scarto tipo lo scarto tipo di riproducibilità di 1,1 dB (tabella 3). Se il valore misurato è pari a 50 dB, allora la probabilità di non superare il valore limite è del 50% (area grigia in figura 1a). Si deve concludere, contrariamente a quanto comunemente ritenuto, che il collaudo ha dato esito negativo. Se il valore misurato è pari a 51 dB, allora la probabilità di non superare il valore limite è del 18% (area grigia in figura 1b). Si deve concludere che il collaudo indica che una volta su 5 un divisorio di questo tipo probabilmente non supera il valore limite...

Figura 1 – confronto di un valore misurato di  $R'_w$  con il valore limite di 50 dB ex D.P.C.M. 5/12/97



Chiaramente il problema non è generato dalla valutazione dell'incertezza, che esiste anche quando si vuole ignorarla, ma dall'aver prescritto il rispetto di un valore limite senza nessuna tolleranza. Il problema si può risolvere ricordando che in statistica è usuale accettare i risultati al 95% di livello di fiducia. A tal fine si calcola l'incertezza estesa assumendo un fattore di copertura  $k = 1,645$  per un intervallo monolaterale (UNI CEI ENV 13005:2000):

$$U(R'_w) = k \cdot u(R'_w) = 1,645 \cdot 1,1 = 1,8 \text{ dB} \quad (2)$$

e richiedendo che il limite di specifica sia superato dalla differenza tra il valore misurato e l'incertezza estesa. La tabella 4 mostra che sono accettati i valori misurati pari o superiori a 52 dB, al 95% di fiducia.

La sfida che la parte 2 del progetto UNI dovrà affrontare sarà proprio quella di introdurre e giustificare procedimenti di questo tipo, che, seppur usuali in molti settori della tecnica, sono poco presenti nel bagaglio culturale dell'acustico medio.

Tabella 4 – Esempio di confronto tra valori misurati e valore limite tenendo conto dell'incertezza estesa.

$R'_w$ , dB	$R'_w - U$ , dB	Valore limite, dB	Accettazione
50	48,2	50	no
51	49,2	50	no
52	50,2	50	sì
53	51,2	50	sì
54	52,2	50	sì
55	53,2	50	sì

### ACUSTICA DEGLI AMBIENTI CHIUSI

Negli ambienti chiusi la principale misurazione è quella del tempo di riverberazione; per la misurazione di questo parametro due sono i metodi più utilizzati: il metodo del rumore interrotto e quello della risposta all'impulso integrata. La norma riporta le formule per la stima dello scarto tipo del risultato di misura, espresso come  $T_{20}$  o  $T_{30}$ , riprese dalle parti 1 e 2 della ISO 3382.

## ESPOSIZIONE PROFESSIONALE A RUMORE

L'esposizione professionale a rumore è disciplinata in Italia dal D. Lgs. 81/2008 che recepisce la direttiva europea 2003/10/CE. L'art. 190 del D. Lgs. 81/2008 "Nell'applicare quanto previsto nel presente articolo (ovvero nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art. 189) il datore di lavoro tiene conto dell'incertezza delle misure determinate secondo la prassi metrologica" pone esplicitamente in capo al datore di lavoro l'obbligo di tener conto dell'incertezza nel processo di valutazione del rischio. Tuttavia il D. Lgs. 81/2008, come del resto il D. Lgs. 195/2006 che esso sostituisce per quanto riguarda l'esposizione professionale a rumore, è del tutto privo di indicazioni relative sia alle quantità sulle quali si richiede di calcolare l'incertezza, sia alla procedura da seguire per il calcolo dell'incertezza stessa, sia all'uso che di quest'ultima deve essere fatto nel processo decisionale che conduce alla dichiarazione del rispetto ovvero del superamento dei valori indicati dalla legge (valori inferiore e superiore d'azione e valore limite di esposizione).

La parte 1 del progetto di norma UNI fornisce le indicazioni operative richieste per il calcolo dell'incertezza uniformando al linguaggio della GUM le prescrizioni dell'ultima edizione della UNI 9432 e della recentissima revisione della ISO 9612, mantenendo l'accordo ovunque possibile con l'edizione più aggiornata della guida ISPESL di settore. L'utilizzatore è guidato passo per passo alla stima delle diverse componenti dell'incertezza sul livello di esposizione giornaliero e settimanale. Un cenno viene dedicato anche ai più complessi problemi dell'incertezza legata alla presenza di protettori auricolari e alla valutazione dell'esposizione per gruppi acusticamente omogenei.

## CONCLUSIONI

L'attuale evoluzione della scienza e della tecnica richiede che non si possa continuare ad ignorare la valutazione dell'incertezza, un parametro divenuto ormai obbligatorio per la corretta presentazione dei risultati. Per questo il pacchetto di norme UNI sull'incertezza in acustica dovrà divenire un riferimento costante negli anni futuri, contribuendo a migliorare il livello tecnico del settore ed eliminando arbitrarietà e valutazioni erranee nel confronto di valori misurati o calcolati con valori limite di specifica.

## BIBLIOGRAFIA

- Bich W., Cibien M. (2007), *Guida all'espressione dell'incertezza di misura (GUM): il punto della situazione*, Unione & Certificazione, **1**, 9-10.
- Buccianti R., Gonella L. (2007), *Incetezza di misura e terminologia*, Unione & Certificazione, **4**, 55-57.
- Garai M. (2007), *Espressione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica*, Unione & Certificazione, **8**, 45-47.
- Gerretsen E., *Interpretation of uncertainties in acoustic measurements in buildings*, International INCE Symposium "Managing uncertainties in noise measurements and predictions: a new challenge for acousticians", Le Mans, 26-29 June 2005.
- UNI Progetto U20.00.135.1:2008, *Acustica - Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 1: Concetti generali*.
- UNI CEI ENV 13005:2000, *Guida all'espressione dell'incertezza di misura*.
- UNI ISO 5725:2004, *Accuratezza (esattezza e precisione) dei risultati e dei metodi di misurazione - Parti 1-6*.
- CEI EN 60942, *Elettroacustica - Calibratori acustici*.
- CEI EN 61672-1, *Elettroacustica - Misuratori di livello sonoro - Parte 1: Specifiche*.
- UNI EN ISO 3745, *Acustica - Determinazione dei livelli di potenza sonora di sorgenti di rumore mediante pressione sonora - Metodi di laboratorio in camere anecoica e semi-anecoica*.
- ISO/DIS 3746:2005, *Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane*.
- ISO/WD 140-2:2006, *Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Determination and application of uncertainties*.
- ISO/CD 3382-1:2005, *Acoustics — Measurement of the reverberation time — Part 1: Performance rooms*.
- ISO 3382-2:2008, *Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*.
- UNI 9432:2008, *Acustica - Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro*.
- prEN ISO/DIS 9612:2007, *Acoustics — Measurement and calculation of occupational noise exposure — Engineering method*.
- Decreto Ministeriale 16 Marzo 1998, *Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico* (G.U.R.I. n. 76 del 1/4/98).
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.194, *Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale* (G.U.R.I. n. 222 del 23-9-2005).
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), *Good Practice Guide for strategic noise mapping and the production of associated data on noise exposure – Version 2*, 13 August 2007.
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 5 dicembre 1997, *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici* (G.U.R.I. n. 297 del 22-12-1997).
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, N. 81, *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro* (G.U.R.I. n. 108 del 30-04-2008).