

Riflessioni sul rumore intrusivo da sorgente specifica

Giovanni Brambilla

CNR-STEMS, Sede di Ferrara
Via Canal Bianco, 28, 44124 Ferrara
giovanni.brambilla@stems.cnr.it

Ricevuto: 31/8/2023

Accettato: 11/10/2023

DOI: 10.3280/ria2-2023oa16408

ISSN: 2385-2615

La specifica tecnica UNI/TS 11844:2022, pubblicata a marzo 2022, propone una metodologia di determinazione dell'intrusività di una immissione sonora da sorgente identificata che si basa sui principi della "Signal Detection Theory" (SDT). L'entità dell'intrusività è quantificata mediante il parametro "Detectability Level" D'L, calcolato comparando gli spettri, a 1/3 di ottava o in Bark per tenere conto del mascheramento uditivo, della stimata immissione sonora della sorgente specifica, ovvero il "segnale", e della immissione sonora residua misurata a sorgente inattiva, ovvero il "rumore".

Con la presente nota si intende contribuire al dibattito in corso durante la sperimentazione triennale della specifica tecnica, proponendo alcune riflessioni riguardanti la stima dello spettro della sorgente specifica oggetto di accertamento e la determinazione del parametro "detectability" d' per ciascuna banda di frequenza, nonché un approccio probabilistico sulla variabilità di D'L conseguente alla scelta dei parametri impiegati per determinare gli spettri del segnale e del rumore da comparare.

Parole chiave: rumore intrusivo, valutazione dell'intrusività, sorgente specifica

Remarks on intrusive noise from specific source

The technical specification UNI/TS 11844:2022, published on March 2022, provides a method to determine the intrusiveness of a sound immission from an identified source, based on the "Signal Detection Theory" (SDT). The amount of intrusiveness is quantified by the "Detectability Level" D'L, a parameter obtained by comparing the spectra, at 1/3 octave band or in Bark to account for the hearing masking, of the sound immission by the specific source, namely the "signal", with that of the residual sound, namely the "noise", measured when the intrusive sound is absent.

The present communication offers some remarks to the ongoing discussion during the three-year test phase of the technical specification, dealing with the estimate of the spectrum of the specific source and the determination of the detectability parameter d' in each frequency band, as well as a probabilistic approach on the D'L variability due to the chosen type of parameters used to compare the signal and the noise spectra.

Keywords: intrusive noise, intrusivity evaluation, specific source

1 | Introduzione

Il rumore intrusivo è oggetto di attenzione da molti anni e numerosi sono gli studi e le ricerche reperibili in letteratura, si veda ad es. [1-3], anche per le sue ripercussioni nella legislazione [4] e nei contenziosi ove è richiesto di accertare invocati effetti di disturbo da parte della persona esposta.

A marzo 2022 è stata pubblicata la specifica tecnica UNI/TS 11844:2022 "Procedure per la misurazione e l'analisi del rumore intrusivo" [5], che propone una metodologia di determinazione dell'intrusività di una immissione sonora basata sulla "Signal Detection Theory" (SDT), teoria psicofisica che analizza la risposta di un osservatore alla esposizione a un segnale in presenza di rumore, ovvero la sua capacità (sensibilità) di distinguere il segnale rispetto al rumore interferente [6].

La metodologia è stata proposta come specifica tecnica piuttosto che come norma onde permettere un triennio di sperimentazione applicativa e di approfondimenti ritenuti ne-

cessari al momento della sua pubblicazione. Come esplicitamente indicato nel testo, infatti, la procedura considera solo gli aspetti fisici del rumore intrusivo, limitandosi a comparare gli spettri della stimata immissione sonora della sorgente specifica oggetto di accertamento e della immissione sonora residua misurata a sorgente inattiva, e non considera i complessi meccanismi, non solo acustici, che concorrono a determinare la percezione dell'intrusività e del disturbo indotto. Ciò nonostante, la procedura può costituire un ulteriore strumento per l'accertamento tecnico in sede di procedimento contenzioso al fine di determinare l'intrusività, nel contesto acustico in esame, della immissione sonora prodotta dalla sorgente specifica.

A distanza di più di un anno dalla sua pubblicazione, sono state pubblicate alcune esperienze sull'applicazione della UNI/TS 11844:2022 [7-9] che hanno evidenziato l'utilità della specifica tecnica in contesti molteplici e diversi [7], un sufficiente accordo tra percezione sonora del contesto acu-

stico da parte degli operatori ed entità della intrusività ottenuta [9], ma anche una accentuata variabilità dei valori di quest'ultima (D'L) conseguente alle impostazioni di misura e ai parametri caratterizzanti gli spettri da comparare (spettri medi e/o livelli percentili di banda) scelti dall'operatore [8]. A questo riguardo, pur nella consapevolezza dell'impossibilità di gestire compiutamente l'infinita casistica riscontrabile nella realtà, si auspica l'emanazione di linee guida più dettagliate per orientare l'operatore nelle scelte da eseguire [8].

In considerazione di quanto sopra esposto, con la presente nota si intende contribuire alle esperienze in corso con alcune riflessioni e approfondimenti in merito ai seguenti aspetti:

- a) procedura per la stima dello spettro della sorgente oggetto di accertamento;
- b) approccio probabilistico all'intrusività (D'L), ottenibile solo con l'acquisizione dei multispettri del suono residuo e di quello ambientale al fine di determinare l'intervallo di variabilità di D'L.

I due sopra elencati aspetti sono discussi e illustrati anche con l'ausilio di due casi studio di misurazioni reali.

2 | Materiali e metodi

2.1 | Stima dello spettro della sorgente specifica

La UNI/TS 11844:2022 propone una procedura per la stima dello spettro della sorgente specifica oggetto di accertamento che si riferisce ai metodi descritti nella norma UNI 10855:1999 per la misura e la valutazione del contributo acustico di singole sorgenti [10]. Poiché i rilevamenti del suono ambientale e di quello residuo si riferiscono necessariamente a intervalli temporali diversi, eventualmente anche con tempi di misura differenti, ne consegue che non è possibile comparare istante per istante gli spettri misurati del suono ambientale e di quello residuo per stimare lo spettro della immissione sonora della sorgente specifica. È necessario, pertanto, determinare spettri raggruppati su base temporale descritti con parametri concisi, ritenuti rappresentativi delle due immissioni sonore. Nel caso che entrambi i suoni ambientale e residuo siano costanti nel tempo, situazione presa in esame nell'appendice A della UNI/TS 11844:2022 ma difficilmente riscontrabile nella realtà, è sufficiente considerare gli spettri medi (L_{Aeq}). Per suoni variabili nel tempo, i più frequenti, dai multispettri acquisiti con cadenza temporale breve (ad es. 100 o 125 ms) si possono considerare gli spettri dei livelli minimi o massimi, oppure i livelli percentili di banda. Ad esempio, gli spettri dei livelli minimi di banda sia del suono ambientale che di quello residuo, essendo presenti durante l'intera durata dei rispettivi tempi di misura, sono rappresentativi della componente stazionaria di entrambi i suoni.

È opportuno evidenziare che la stima della immissione sonora della sorgente specifica si basa sull'ipotesi che il suono residuo sia rappresentativo del rumore di fondo, costituito dall'insieme delle immissioni sonore diverse da quella oggetto

di accertamento e contemporaneamente presenti a quest'ultima. Al riguardo, la UNI/TS 11844:2022 specifica di verificare che il contesto acustico oggetto di indagine rimanga il più possibile inalterato nelle due condizioni, rispettivamente, di inattività e attività della sorgente specifica, ad esclusione ovviamente del contributo di quest'ultima. A tale scopo i rilevamenti acustici nelle due suddette condizioni, necessariamente relativi a tempi diversi, dovrebbero essere eseguiti in prossimità o analogia temporale tra loro. In linea generale, stante la casistica praticamente infinita dei contesti acustici riscontrabili nella realtà, non è possibile dare indicazioni ulteriori rispetto a quelle specificate nella UNI/TS 11844:2022 in merito alla rappresentatività del suono residuo relativamente al rumore di fondo, che dovrà essere accertata di volta in volta con le metodiche ritenute più idonee dall'operatore.

La stima dello spettro della immissione sonora della sorgente specifica, a bande di 1/3 di ottava tra 25 e 10000 Hz o in Bark per tenere conto del mascheramento uditivo, è ottenuta dagli spettri misurati del suono ambientale e di quello residuo facendo riferimento al "Metodo C" di cui al punto 5.3 della UNI 10855:1999, articolato per ciascuna banda f come segue:

- c) per le bande di frequenza f ove la differenza algebrica Δ_f tra livello del suono ambientale (L_{fa}) e quello del suono residuo (L_{fr}) risulti:

$$(1) \quad \Delta_f = L_{fa} - L_{fr} \geq 3 \quad [\text{dB}]$$

il livello stimato della sorgente specifica (L_{fs}) è determinato mediante la relazione:

$$(2) \quad \Delta_f = L_{fa} - L_{fr} \geq 3 \quad [\text{dB}]$$

in ciascuna delle restanti bande di frequenza f , per la stima del livello L_{fs} si assume:

$$(3) \quad L_{fs} = 10 \lg [10^{(L_{fa}/10)} - 10^{(L_{fr}/10)}] \quad [\text{dB}]$$

ovvero si ipotizza che il livello sonoro della sorgente specifica abbia lo stesso valore del rumore di fondo.

Il testo pubblicato della UNI/TS 11844:2022 non contempla il caso, non impossibile, in cui in una o più bande di frequenza f si verifichi:

$$(4) \quad \Delta_f = L_{fa} - L_{fr} \leq 0 \quad [\text{dB}]$$

In tali circostanze non è possibile stimare il livello della sorgente specifica L_{fs} che, pertanto, risulta indeterminato. Conseguentemente, in dette bande di frequenza f il valore del parametro "detectability" è da considerare nullo e, pertanto, non contribuisce all'entità del valore complessivo della "detectability" che tiene conto dei contributi di tutte le bande di frequenza f .

Nelle misurazioni a bassi livelli sonori, abbastanza frequenti in presenza di suono intrusivo, onde evitare che i risultati siano inficiati da artefatti metrologici introdotti dal

rumore autogenerato dalla strumentazione, è necessario verificare che in ogni banda di frequenza f i livelli misurati sia per il suono ambientale che per quello residuo siano superiori di almeno 10 dB rispetto al rumore autogenerato dalla strumentazione. Al riguardo può essere utile quanto emerso da uno studio sperimentale condotto su sei fonometri, di differenti marche e modelli tra i più diffusi, per determinarne il rumore autogenerato [11]. Nella Fig. 1 è riportato lo spettro medio dei livelli sonori minimi e \pm lo scarto tipo (area in grigio) rilevati in camera anecoica. Un approccio cautelativo potrebbe configurarsi nel considerare come rumore autogenerato dalla strumentazione il valore medio dei livelli sonori minimi maggiorato dello scarto tipo (linea superiore dell'area in grigio in Fig. 1). Le bande di frequenza f ove non vi è conformità con il suddetto criterio dell'eccedenza di 10 dB del livello sonoro rilevato rispetto al rumore autogenerato dalla strumentazione dovrebbero essere escluse dalla stima del livello della sorgente specifica L_{Ts} e il corrispondente valore del parametro "detectability" dovrebbe essere nullo.

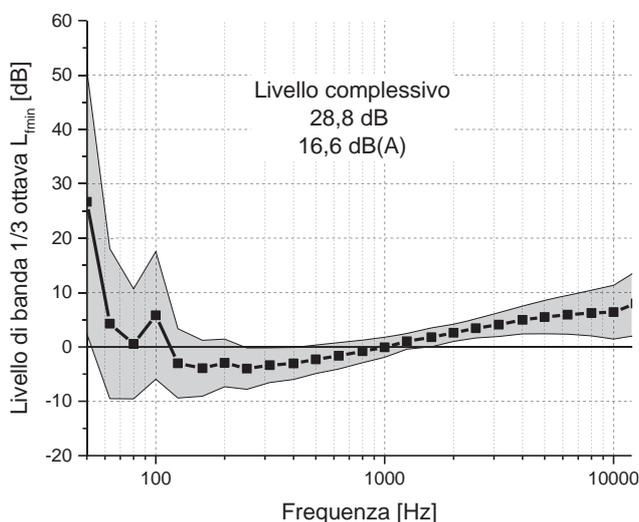


Fig. 1 – Spettro medio, sui sei fonometri, dei livelli minimi del rumore ambientale rilevato in camera anecoica (area grigia pari a \pm lo scarto tipo)
Average spectrum, across the six sound level meters, of the minimum SPL measured in the anechoic chamber (grey area corresponding to \pm standard deviation)

2.2 | Approccio probabilistico per il "Detectability Level" D'L

Il valore del parametro "Detectability Level" D'L in dB utilizzato per quantificare l'intrusività dipende da vari fattori, tra i quali molto importanti sono i tempi di misura prescelti per il suono ambientale e quello residuo, nonché la differenza algebrica $\Delta L = L_a - L_r$ tra i livelli dei due suoni. A questi fattori si aggiunge anche la variabilità di D'L conseguente alla non stazionarietà dei suoni ambientale e residuo che richiede la scelta dei parametri da utilizzare per determinare gli spettri da comparare (ad es. spettri medi e/o percentili di banda). Qualora si disponga solo degli spettri medi (L_{Aeq}) per entrambi

i suoni ambientale e residuo si ottiene, ovviamente, un unico valore di D'L calcolato mediante:

$$(5) \quad D'L = 10 \lg(d'_c) \quad [\text{dB}]$$

ove è il valore complessivo della "detectability" che tiene conto dei contributi di tutte le N bande di frequenza f , calcolato con:

$$(6) \quad d'_c = \sqrt{d'_{f1}{}^2 + d'_{f2}{}^2 + \dots + d'_{fN}{}^2}$$

Altrettanto utile è determinare la banda di frequenza f ove si registra il valore massimo di d' (d'_{max}), essendo questa banda a richiedere la maggiore attenzione in un'ottica di risanamento acustico.

Una valutazione più dettagliata è, invece, possibile qualora si acquisisca la serie temporale degli spettri del suono ambientale e del suono residuo con l'intervallo di memorizzazione prescelto (ad es. 100 o 125 ms). L'acquisizione di tali multispettri, infatti, consente non solo di determinare lo spettro dei livelli di banda minimi o massimi, ma anche dei percentili di banda, fornendo così informazioni utili sulla variabilità di D'L conseguente alla variabilità nel tempo dei suoni ambientale e residuo e ai parametri scelti dall'operatore per caratterizzare gli spettri da comparare.

Questo approccio consente di determinare il valore massimo e quello minimo di D'L, rispettivamente corrispondenti alle due seguenti configurazioni:

- spettro stimato dei livelli massimi della sorgente specifica (SM) comparato con lo spettro misurato dei livelli minimi del suono residuo (Rm) in corrispondenza dei quali si ottiene il valore massimo $D'L_{max}$;
- spettro stimato dei livelli minimi della sorgente specifica (Sm) comparato con lo spettro misurato dei livelli massimi del suono residuo (RM) in corrispondenza dei quali si ottiene il valore minimo $D'L_{min}$.

All'interno di questo intervallo, la cui ampiezza già fornisce una chiara indicazione della variabilità di D'L, si collocano gli altri valori di D'L ottenibili considerando per entrambi i suoni i percentili di banda, oppure confrontando gli spettri medi o quelli dei livelli minimi o massimi. Si ottiene così una distribuzione empirica di valori di D'L, confrontabile anche con quella teorica che meglio interpola i dati empirici, mediante la quale determinare la probabilità che uno specifico valore di D'L sia superato, ovvero il valore di D'L che non sia superato per un prefissato valore di probabilità. La Fig. 2 illustra una distribuzione cumulativa empirica ottenuta dai valori di D'L determinati per confronto tra coppie di spettri della sorgente specifica S (stimato) e del suono residuo R (misurato ed equiparato al rumore di fondo) secondo alcuni indicatori (ad es. M = spettro dei massimi, m = spettro dei minimi, valori numerici corrispondenti a specifici percentili). Ad esempio, un approccio cautelativo potrebbe configurarsi nel determinare il valore di D'L che sia superato solo nel 5% del proprio intervallo di variabilità ($D'L_{05}$, linee tratteggiate in Fig. 2).

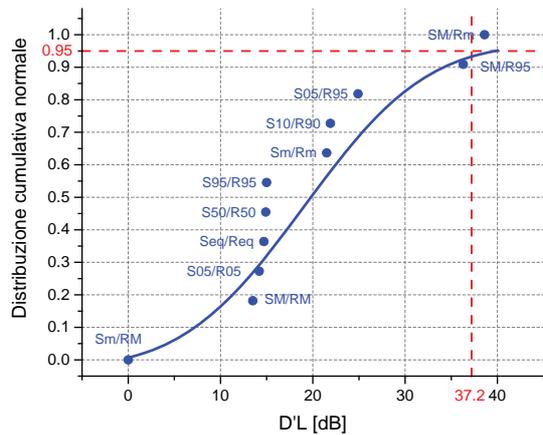


Fig. 2 – Distribuzione empirica e sua interpolazione con funzione di distribuzione cumulativa normale (linea blu) dei valori D'L ottenuti per alcune coppie di spettri della sorgente S e del suono residuo R. La linea tratteggiata rossa indica il valore di D'L che non è superato per il 95% del suo intervallo di variabilità in funzione dei parametri usati per il calcolo degli spettri
Empirical distribution and its fitting with normal cumulative distribution function (blue line) of D'L values determined for some couples of spectra of source S and residual sound R. The dash line shows the D'L value not exceeded by 95% of its variability range determined by the parameters used for spectra calculation

Per i suoni costanti nel tempo, come quelli considerati nella appendice A della UNI/TS 11844:2022, si osserva che i valori di D'L ottenuti per le varie combinazioni di tipologie degli spettri sono ben interpolabili con curve gaussiane, come illustrato nella Fig. 3 ove i numeri accanto ai dati di D'L ottenuti per il confronto degli spettri BF/AF indicano il valore della differenza algebrica $\Delta L = L_a - L_r$,

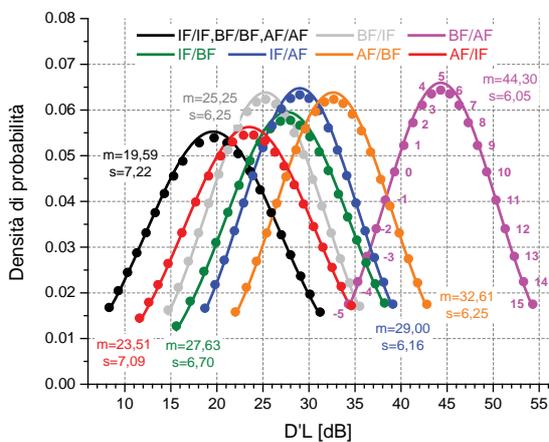


Fig. 3 – Distribuzione empirica (simboli cerchio) e sua interpolazione con funzione di distribuzione normale (linea continua) dei valori D'L ottenuti per diversi valori $DL = L_a - L_r$ per i suoni costanti di cui nell'appendice A della UNI/TS 11844:2022. IF = spettro con livello di banda costante in frequenza; BF = spettro con livello di banda decrescente di -1 dB per 1/3 ottava all'aumentare della frequenza; AF = spettro con livello di banda crescente di +1 dB per 1/3 ottava all'aumentare della frequenza
Empirical distribution (dot symbols) and its fitting with normal distribution function (solid line) of D'L values determined for some values of $DL = L_a - L_r$ for the constant sounds considered in the appendix A of UNI/TS 11844:2022. IF = spectrum with constant band level; BF = spectrum with band level decreasing -1 dB for 1/3 octave with frequency increasing; AF = spectrum with band level increasing +1 dB per 1/3 octave with frequency increasing

I parametri sintetici delle 7 curve normali, ossia media m e scarto tipo s , sono riportati sempre nella Fig. 3, mentre nella Fig. 4 per ciascuna di esse è mostrato il valore medio e l'intervallo di ampiezza ± 1 volta lo scarto s , entrambi comparati con la scala orientativa proposta nella UNI/TS 11844:2022 (Prospetto 3) per stimare l'entità dell'intrusività in base ai valori di D'L, escludendo quindi gli aspetti connessi con la percezione. È evidente che al crescere della intrusività diminuisce lo scarto s della distribuzione dei valori di D'L che, pertanto, interessa un minore numero di intervalli della scala di intrusività sopra citata, come evidenziato nella Fig. 4 per ciascuna delle 7 distribuzioni normali.

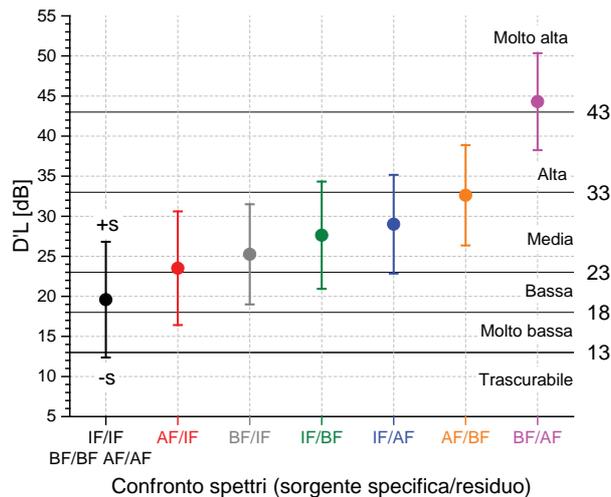


Fig. 4 – Parametri sintetici (media e ± 1 scarto tipo) delle distribuzioni normali dei valori D'L per i suoni costanti di cui nell'appendice A della UNI/TS 11844:2022 e confronto con la scala orientativa proposta per la stima dell'entità dell'intrusività

Synthetic parameters (mean and ± 1 standard deviation) of normal distributions of D'L values determined for the constant sounds considered in the appendix A of UNI/TS 11844:2022 and their comparison with the tentative scale proposed for the estimate of intrusivity

Si ricordi, inoltre, che i parametri sintetici caratterizzanti la distribuzione normale (valore medio m e scarto tipo s) sono stimabili a partire dai valori minimo $D'L_{min}$ e massimo $D'L_{max}$ corrispondenti rispettivamente alle configurazioni sopra citate a) e b). In particolare, valgono le relazioni seguenti per il valore medio m e lo scarto tipo s :

$$(7) \quad m = \frac{D'L_{max} + D'L_{min}}{2} \quad [\text{dB}]$$

$$(8) \quad s = \frac{D'L_{max} - D'L_{min}}{4} \quad [\text{dB}]$$

ove s è stimato considerando un'ampiezza di variabilità di D'L pari a 4 volte lo scarto tipo per comprendere approssimativamente il 95% dei valori.

Applicando le regole decisionali per il giudizio di conformità esposte nella UNI/TS 11326-2:2015 [12] è quindi possibile una stima probabilistica dell'entità dell'intrusività, almeno relativamente al fenomeno acustico.

Nella realtà frequentemente si è in presenza di suoni con livelli variabili nel tempo per cui il valore di D'L dipende anche dai parametri scelti per determinare gli spettri da comparare. Per illustrare questo aspetto vengono descritti due casi studio di misurazioni reali.

2.3 | Casi studio esemplificativi

I due casi studio di misurazioni reali considerati si riferiscono a:

- a) una sorgente sonora specifica costituita da impianti HVAC in funzionamento continuo nel periodo diurno, alloggiati in due vani tecnici al piano terra di un palazzo e ambienti residenziali prevalentemente interessati da tali immissioni situati al primo piano;
- b) il rintocco di una campana in un contesto acustico non rumoroso.

Nel caso a) la misurazione è in ambiente confinato mentre nel caso b) è all'aperto, in assenza di superfici riflettenti ad esclusione del suolo.

In entrambi i casi sono stati acquisiti i multispettri a bande di 1/3 di ottava sia del suono ambientale che di quello residuo con intervallo di memorizzazione di 0,1 s (livelli di banda in short L_{Aeq} dB Fast) e i valori complessivi dei livelli in dB e dB(A). I rilevamenti del suono ambientale e di quello

residuo sono stati eseguiti in prossimità temporale tra loro per ritenere verosimile che l'alterazione del contesto acustico dipendesse prevalentemente dal rumore intrusivo e, quindi, che il rumore di fondo, non misurabile, potesse essere plausibilmente rappresentato dal rumore residuo.

Dall'andamento nel tempo del livello complessivo in dB(A), riportato in Fig. 5, si osserva che in entrambi i casi il suono residuo presenta fluttuazioni ($L_{A05} - L_{A95}$) più accentuate (12,1 dB(A)) per il caso a) che per il caso b) (4,4 dB(A)) e l'immissione sonora della sorgente specifica oggetto di accertamento altera il contesto acustico preesistente. In entrambi i casi tale alterazione è abbastanza contenuta in termini di livello L_{Aeq} ($DL_{Aeq} = +1,6$ dB(A) nel caso a) e $DL_{Aeq} = +1,3$ dB(A) nel caso b). Da notare che in entrambi i casi il valore di DL_{Aeq} è inferiore a 3 dB(A) per cui, secondo il criterio della accettabilità prescritto nella legislazione [13], "ogni effetto del rumore è da ritenersi trascurabile".

Una indicazione sulle caratteristiche più ricorrenti nel tempo dei suoni ambientale e residuo è ricavabile dagli spettri dei percentili di banda corrispondenti a livelli superati per alte percentuali del tempo di misura (ad es. L_{95}). Per entrambi i casi studio, nella Fig. 6 sono riportati gli spettri dei livelli percentili di banda L_{95} del suono ambientale e di quello residuo. Nel caso a) si osserva la presenza di due componenti tonali, una nella banda centrata a 315 Hz per il suono ambientale e un'altra nella banda centrata a 500 Hz per il suono residuo.

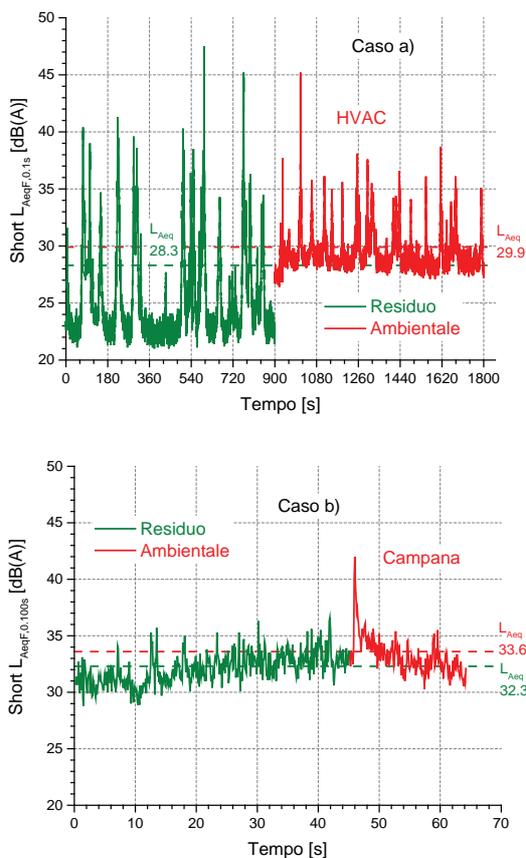


Fig. 5 – Andamento nel tempo del livello complessivo in dB(A) per i casi studio
Time history of the overall sound pressure level in dB(A) for the case studies

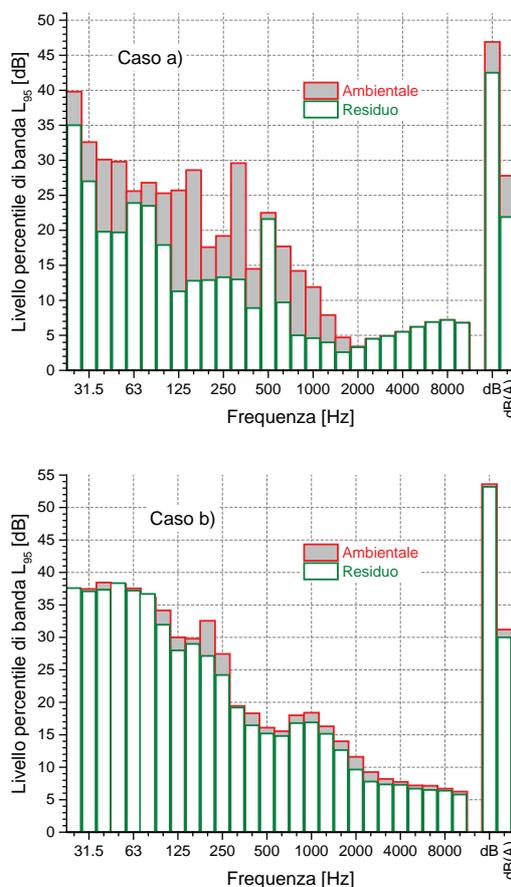


Fig. 6 – Spettri dei livelli percentili di banda L_{95} del suono ambientale e di quello residuo per entrambi i casi studio
 L_{95} percentile band level spectra for the case studies

Per le frequenze superiori a 2000 Hz, inoltre, l'andamento dello spettro è sintomatico della presenza di rumore auto-generato dalla strumentazione (si confronti con la Fig. 1) e quindi queste bande non dovrebbero essere considerate nella stima dello spettro della sorgente specifica oggetto di accertamento. Nel caso b), invece, si osserva che nelle bande centrate a 25, 50 e 80 Hz il suono residuo è maggiore del suono ambientale e, pertanto, queste bande non sono da considerare nella stima dello spettro della sorgente specifica e nel calcolo della "detectability" d'.

In merito alla variabilità dei valori di D'L, per gli spettri da comparare sono stati considerate le 11 coppie di parametri elencate nella Tab. 1, ove con S è indicato lo spettro stimato della sorgente specifica e con R quello del suono residuo.

Tab. 1 – Coppie di parametri utilizzati per la determinazione degli spettri da comparare (S=sorgente specifica, R=suono residuo, m=spettro dei minimi, M=spettro dei massimi, eq=spettro media logaritmica)

Pairs of parameters used to determine the spectra to be compared (S=specific source, R=residual sound, m= spectrum of minima band levels, M=spectrum of maxima band levels, eq=equivalent band level spectrum)

Coppie di parametri	
S_m/R_M	S_{05}/R_{05}
S_m/R_m	S_{05}/R_{95}
S_{95}/R_{95}	S_M/R_M
S_{eq}/R_{eq}	S_M/R_{95}
S_{50}/R_{50}	S_M/R_m
S_{10}/R_{90}	

È stata determinata anche la distribuzione teorica corrispondente alla migliore interpolazione dei valori di D'L così ottenuti utilizzando il package "fitdistrplus" [14] in ambiente "R" [15]. Considerata la ridotta dimensione campionaria dei dati sperimentali (11 valori di D'L) per la stima dei parametri statistici delle distribuzioni dei valori di D'L si è proceduto al ricampionamento con il metodo bootstrap [16], generando 10000 sottocampioni. Per la scelta della distribuzione teorica con il migliore "fitting" dei dati sperimentali è stato utilizzato lo "Aikake Information Criterion, AIC" [17].

3 | Risultati e discussione

Nella Tab. 2 sono riportati i valori di D'L e della differenza algebrica $\Delta L = L_a - L_r$ ottenuti per le varie coppie di parametri prescelti per la definizione degli spettri del suono della sorgente specifica (spettro stimato) e del suono residuo (spettro misurato) per il calcolo della "detectability" d' in ciascuna banda di frequenza f.

Tab. 2 – Valori di D'L e di $\Delta L = L_a - L_r$ in dB ottenuti per le varie coppie di parametri usati per la comparazione degli spettri nei due casi studio

D'L and $\Delta L = L_a - L_r$ values in dB obtained for the pairs of parameters used for spectra comparison in the two case studies

Coppie di parametri	Casi			
	a)*		b)	
	D'L	ΔL	D'L	ΔL
S_m/R_M	0,0	-38,7	0,0	-20,9
S_m/R_m	23,2	5,5	15,0	2,0
S_{95}/R_{95}	22,9	5,6	14,2	0,4
S_{eq}/R_{eq}	17,0	-2,0	14,9	0,0
S_{50}/R_{50}	22,0	2,6	13,5	0,4
S_{10}/R_{90}	28,1	19,0	21,9	9,2
S_{05}/R_{05}	11,5	-3,0	14,7	-0,4
S_{05}/R_{95}	31,5	23,6	24,9	11,7
S_M/R_M	10,8	-2,3	21,5	-2,1
S_M/R_{95}	45,1	35,9	36,3	14,6
S_M/R_m	50,5	41,8	38,6	20,8

* intervallo 25-2000 Hz per la presenza di rumore autogenerato dalla strumentazione a frequenze superiori

* 25-2000 Hz frequency range to exclude self-generated instrumentation noise observed at higher frequencies

Per entrambi i casi la migliore distribuzione teorica interpolante i dati empirici di D'L è risultata quella normale, come illustrato nella Fig. 7 e con i principali parametri statistici delle distribuzioni riportati in Tab. 3.

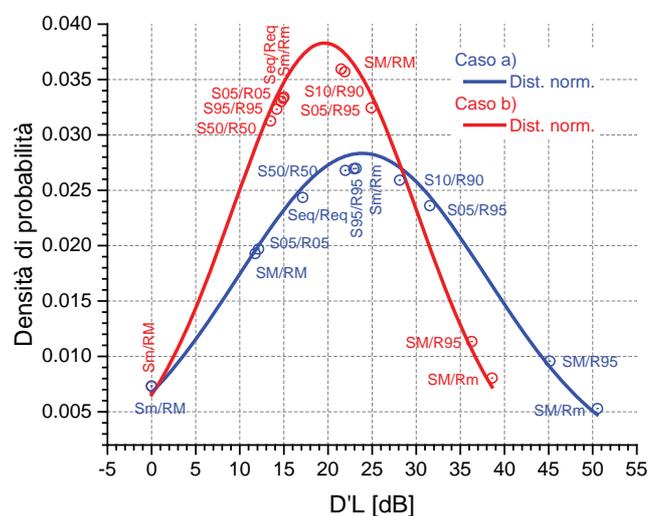


Fig. 7 – Distribuzione empirica (simboli cerchio) e sua interpolazione con funzione di distribuzione normale (linea continua) dei valori D'L ottenuti per le coppie di parametri in Tab. 2 per entrambi i casi studio
Empirical distribution (dot symbols) and its fitting with normal distribution function (solid line) of D'L values obtained for the parameter pairs in Tab. 2 for both the case studies

Tab. 3 – Principali parametri statistici della distribuzione dei valori di D'L per entrambi i casi studio
Main statistical parameters of D'L value distribution for the two case studies

Parametri statistici	Casi	
	a)	b)
Media	23,87	19,59
Scarto tipo	14,77	10,93
Mediana	22,90	15,00
Skewness	0,41	0,33
Kurtosis	3,03	3,46
Scarto tipo stimato da distribuzione normale con ricampionamento bootstrap	14,08	10,42
Scarto tipo stimato da relazione (8)	12,62	9,65

Si può notare l'ottimo accordo tra distribuzione empirica e distribuzione reale in entrambi i casi studio dalla Fig. 8 che riporta la densità di probabilità empirica confrontata con quella prevista dalla distribuzione normale e il corrispondente coefficiente di correlazione di Pearson r.

La Tab. 2 evidenzia che il valore della differenza $\Delta L = L_a - L_r$ dipende dalla coppia dei parametri scelti per la determinazione degli spettri da comparare. Questo comporta il diverso posizionamento dei dati sperimentali di D'L per i singoli casi studio rispetto alla corrispondente distribuzione normale di interpolazione (Fig. 7), prevalentemente per i valori intermedi dell'intervallo di variabilità di D'L.

La Fig. 9 mostra per entrambi i casi studio i dati sperimentali di D'L in funzione della differenza $DL = L_a - L_r$ e la loro interpolazione con regressione lineare. I coefficienti di correlazione di Pearson r sono buoni e la diversa pendenza delle rette di regressione dipende dalla differenza dei parametri statistici delle due distribuzioni.

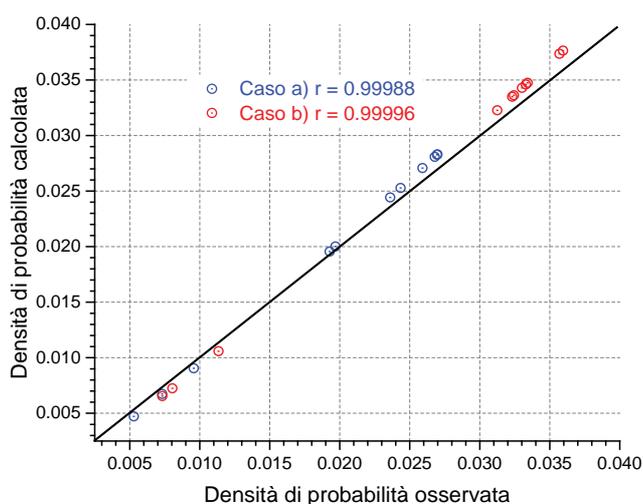


Fig. 8 – Densità di probabilità empirica dei valori D'L confrontata con quella calcolata dalla distribuzione normale per entrambi i casi studio
Probability density of D'L values compared with that computed by normal distribution function for both the case studies

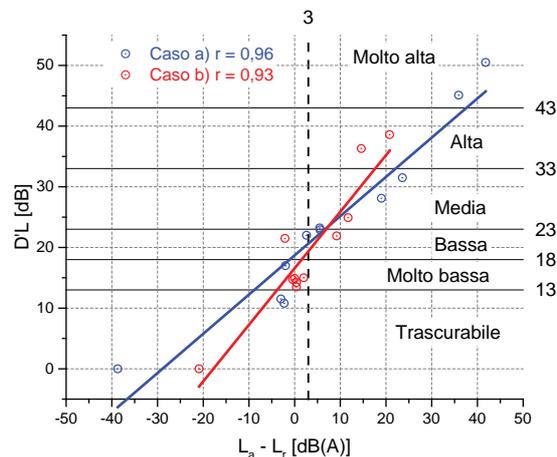


Fig. 9 – Dati sperimentali di D'L in funzione della differenza $\Delta L = L_a - L_r$, loro interpolazione con regressione lineare e confronto con la scala orientativa dell'entità dell'intrusività
Experimental data of D'L as function of the difference $\Delta L = L_a - L_r$, their linear regression fitting and comparison with the tentative scale proposed for the estimate of intrusivity

Nel grafico sono riportati anche i valori di $\Delta L = 3$ dB (linea verticale tratteggiata) utilizzato per la verifica di conformità della accettabilità nel periodo notturno e quelli della scala di intrusività proposta a titolo orientativo nei prospetti A1 e 3 della UNI/TS 11844:2022 che individuano sei intervalli per l'entità della intrusività espressa in termini di D'L la cui ampiezza è stata determinata sulla base di considerazioni statistiche descritte nell'appendice A della specifica tecnica.

La distribuzione normale standard dello z score, ottenuto con la relazione:

$$(9) \quad z = \frac{(x - \mu)}{\sigma}$$

e illustrata nella Fig. 10, permette di stimare con intervallo unilaterale di confidenza di ampiezza pari a una prefissata probabilità $(1 - \alpha)$ il corrispondente valore di D'L che risulta superato. Ad esempio, nella Fig. 10 l'area grigia corrisponde a z score pari a 1,65 per intervallo unilaterale di confidenza $\alpha = 95\%$ e sono riportati i corrispondenti valori di $D'L_{05}$ ottenuti per entrambi i casi studio.

In presenza di suoni ambientale e residuo variabili nel tempo, una possibile indicazione generale è quella di determinare l'intrusività D'L in corrispondenza almeno a condizioni molto ricorrenti (quasi permanenti) nell'intervallo di misura sia per lo spettro della sorgente specifica, stimato da quello del suono ambientale, che per quello misurato del suono residuo. Ad esempio, si possono confrontare gli spettri dei livelli minimi della sorgente specifica con quelli del suono residuo, ovvero i livelli percentili di banda superati per il 95% dei rispettivi tempi di misura del suono ambientale e di quello residuo.

Questo tipo di approccio probabilistico aggiunge ulteriori informazioni, più o meno cautelative in base al valore di a prescelto, che possono contribuire ad una valutazione più dettagliata della intrusività, anche se sempre limitatamente alle sole caratteristiche fisiche dei suoni con esclusione degli aspetti percettivi, altrettanto, se non addirittura, più rilevanti.

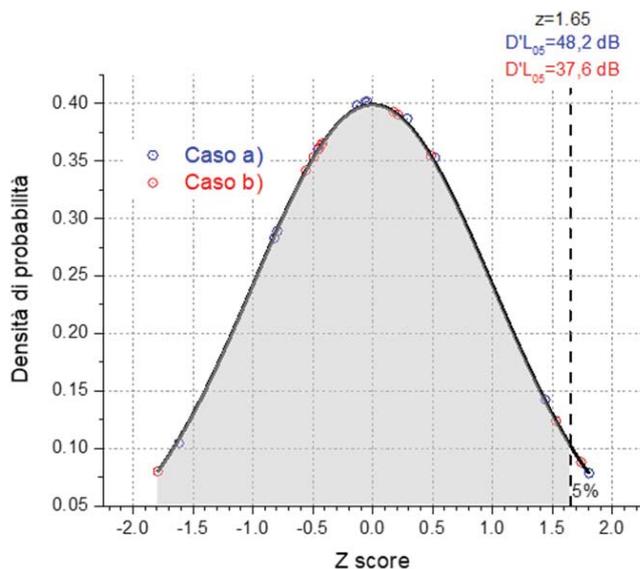


Fig. 10 – Distribuzione normale standard dello z score per entrambi i casi studio

Standard normal distribution of z score for both the case studies

4 | Conclusioni

A distanza di più di un anno dalla pubblicazione della UNI/TS 11844:2022, la presente nota propone alcune riflessioni e approfondimenti, derivanti anche dalla sperimentazione triennale in corso. In particolare è stata rielaborata la procedura per la stima dello spettro della sorgente specifica, introducendo l'omissione dal calcolo della "detectability" d' delle bande di frequenza f nelle quali il livello del suono residuo è maggiore di quello del suono ambientale e di quelle affette dal rumore autogenerato dalla strumentazione. Viene proposto, inoltre, un approccio probabilistico all'intrusività $D'L$, derivante dalla variabilità di questo parametro dipendente dalla scelta dei tempi di misura, dalla differenza algebrica $\Delta L = L_a - L_r$, dall'andamento nel tempo dei suoni ambientale e residuo e dalla coppia di parametri prescelti per la definizione dei loro spettri.

In presenza di suoni ambientale e residuo variabili nel tempo, una possibile indicazione generale cautelativa è quella di determinare l'intrusività $D'L$ utilizzando percentili di banda bassi (ad es. L_{95}) per lo spettro misurato del suono residuo e percentili alti (ad es. L_5) per quello della sorgente specifica, stimato dal suono ambientale.

I due casi studio esaminati illustrano gli aspetti sopra elencati insieme alle proposte metodologiche descritte in questa nota.

Conclusions

More than a year after the publication of the UNI/TS 11844:2022, this note describes some remarks and insights, also derived from the ongoing three-year trial phase. In particular, the procedure for estimating the spectrum of the specific source has been modified, omitting from the calculation of the "detectability" d' those frequency bands f where the residual sound level is higher than that of the ambient sound, and those affected by the self-generated noise from the instrumentation. Moreover, a probabilistic approach to in-

trusiveness ($D'L$), due to the variability of this parameter depending on the choice of the measurement times, the algebraic difference $\Delta L = L_a - L_r$, the time pattern of the ambient and residual sounds and from the pair of parameters chosen for determining their spectra.

When the environmental and residual sounds vary over time, a possible cautionary guideline would be to determine the intrusiveness ($D'L$) using low frequency band percentiles (i.e., L_{95}) for the measured spectrum of the residual sound, and high frequency band percentiles (i.e., L_5) for the spectrum of the specific source spectrum, estimated by that of the ambient sound.

The two case studies illustrate the aspects listed above, together with the methodological proposals described in this note.

Bibliografia

- [1] Preis A., "Intrusive sounds". Applied Acoustics, 20(2), 101-127, 1987, doi: 10.1016/0003-682X(87)90057-0.
- [2] Fidell S., Pearsons K.S., Bennett R., "Prediction of Aural Detectability of Noise Signals". Human Factors, 16(4), 373-383, 1974.
- [3] Fidell S., Teffeteller S., "Scaling the annoyance of intrusive sounds". J. Sound Vib. 78(2), 291-298, 1981.
- [4] Dutilleux G., Gjestland T., Licitra G., "Challenges of the Use of Sound Emergence for Setting Legal Noise Limits". Int. J. Environ. Res. Public Health, 16(22), 4517, 2019, doi: 10.3390/ijerph16224517.
- [5] UNI/TS 11844:2022 "Procedura per la misurazione e l'analisi del rumore intrusivo".
- [6] Macmillan N.A., Creelman C.D., "Detection Theory. A User's Guide". 2nd edition, Lawrence Erlbaum Associates Inc., Mahwah, New Jersey, USA, 2005.
- [7] Luzzi S., Colucci G., Pulella P., "Valutazione del rumore intrusivo a un anno dalla pubblicazione della UNI/TS 11844:2022". Atti 49° Convegno Nazionale AIA, Ferrara, 7-9 giugno 2023.
- [8] Serpilli F., Lori V., Di Loreto S., Montelpare S., "Applicazione della nuova norma UNI/TS 11844: analisi della metodologia, potenzialità e criticità". Atti 49° Convegno Nazionale AIA, Ferrara, 7-9 giugno 2023.
- [9] Tombolato A., Bonomini F., Casarotti Todeschini S., "Applicazione della UNI TS 11844:2022 a immissioni di livello basso e tono puro". Atti 49° Convegno Nazionale AIA, Ferrara, 7-9 giugno 2023.
- [10] UNI 10855:1999 "Misura e valutazione del contributo acustico di singole sorgenti".
- [11] Cerniglia A., Brambilla G., "Indagine sperimentale sul rumore intrinseco della strumentazione per misurazioni fonometriche". Atti 49° Convegno Nazionale AIA, Ferrara, 7-9 giugno 2023.
- [12] UNI/TS 11326-2:2015 "Valutazione dell'incertezza nelle misurazioni e nei calcoli di acustica - Parte 2: Confronto con valori limite di specifica".
- [13] DPCM 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore". G.U.R.I. serie generale n. 280, 1 dicembre 1997.
- [14] Delignette-Muller M.L., Dutang C. "fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions". Journal of Statistical Software, 64(4), 1-34. doi:10.18637/jss.v064.i04.
- [15] R Core Team, "R: A language and environment for statistical computing." R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- [16] Efron B., "Bootstrap methods: Another look at the jackknife". The Annals of Statistics, 7, 1-26, 1979. doi:10.1214/aos/1176344552.
- [17] Akaike, H., "A new look at the statistical model identification". IEEE Transactions on Automatic Control, 19 (6), 716-723, 1974. doi:10.1109/TAC.1974.1100705.