

DISTORSIONI NEI REGISTRATORI DEL PAESAGGIO SONORO: L'EQUALIZZAZIONE COME RIMEDIO

Andrea Potenza (1), Valentina Zaffaroni-Caorsi (2)

1) Università degli Studi di Milano-Bicocca, Milano, a.potenza@campus.unimib.it

2) Università degli Studi di Milano-Bicocca, Milano, valentina.zaffaronicaorsi@unimib.it

SOMMARIO

Il monitoraggio acustico passivo è ampiamente utilizzato dai ricercatori del paesaggio sonoro anche grazie alla vasta disponibilità di registratori. Tuttavia, l'utilizzo di dispositivi diversi può introdurre distorsioni nell'analisi comparativa delle registrazioni. In questo studio abbiamo testato un protocollo di elaborazione delle registrazioni utilizzando tre tipologie di registratori di paesaggi sonori, con l'obiettivo di ridurre il bias nella comparazione degli indici eco-acustici.

1. Introduzione

Gli studi sull'ecologia del paesaggio sonoro (soundscape ecology) hanno mostrato un rapido sviluppo negli ultimi decenni [1] grazie all'avvento di nuove tecnologie che hanno consentito la produzione di diversi registratori passivi autonomi (PAM) [2]. Questi dispositivi permettono di monitorare una vasta gamma di ambienti e gruppi tassonomici grazie ad un'ampia variabilità nelle specifiche tecniche di campionamento, tra cui la curva di sensibilità e i limiti della larghezza di banda.

Tuttavia, l'impiego di dispositivi diversi può introdurre distorsioni nell'analisi comparativa delle registrazioni (ad esempio, il calcolo dei parametri acustici e degli indici eco-acustici) a causa delle loro variabilità tecniche. Tale gap nella ricerca è stato precedentemente esposto in [3,4], nei quali vengono proposte delle metodologie per una parziale risoluzione. In questo studio, è stato proposto e testato un protocollo di elaborazione dei file audio per ridurre i bias derivanti dall'utilizzo di differenti strumenti di registrazione nell'elaborazione degli indici eco-acustici.

Questo protocollo denominato "equalizzazione" prevede la registrazione di un segnale audio identico con un fonometro di classe 1 e con registratori del paesaggio sonoro. L'obiettivo è garantire una maggiore coerenza nell'analisi acustica, generando una curva di equalizzazione attraverso il confronto dei segnali. Questa curva viene poi utilizzata per elaborare le registrazioni del paesaggio sonoro incrementandone così l'uniformità con quelle acquisite tramite il fonometro.

2. Materiali e metodi

2.1 Strumentazione

- Per questo studio sono stati considerati i seguenti sensori:
- il Song Meter Micro (SMM) prodotto dalla Wildlife Acoustic. Questo dispositivo economico di registrazione passiva ha una sensibilità (riferita all'intera catena di trasferimento del segnale) di $2 \text{ dBV} \pm 4 \text{ dBV}$ relativa a 1 Pa alla frequenza di 1 kHz misurato con un gain di +18dB. Tale sensibilità non è lineare su tutto lo spettro acustico.
 - il Soundscape Explorer Terrestrial (SET) prodotto dalla Lunitronik, il quale presenta una sensibilità del microfono pari a $-28 \text{ dBV} \pm 3 \text{ dBV}$ relativa a 1 Pa alla frequenza di 1 kHz. Tale sensibilità risulta costante fino a circa 6 kHz.
 - l'Audiomoth 1.2.0 (AM) prodotto dalla Open Acoustic Devices. Tale dispositivo economico di registrazione presenta una sensibilità del microfono pari a 94 dBV relativa a 1 Pa alla frequenza di 1 kHz. La sensibilità del microfono è lineare nel

range 200-6.000 Hz ma subisce una variazione a seguito dell'equipaggiamento dello strumento con l'involucro di protezione. In questo studio è stato impiegato con l'involucro di protezione fornito dalla Open Acoustic Devices.

- il fonometro di classe 1 "LD-831C" (di seguito riferito come "LD") impiegato come strumento di riferimento. Esso presenta una sensibilità pari a -26.19 dBV relativa a 1 Pa alla frequenza di 251.2 Hz ed è certificata costante nel range 20-20.000 Hz. Tale modello permette di ottenere registrazioni audio in formato WAV necessarie per svolgere confronti con i registratori.

2.2 Metodi

2.2.1 Procedura di equalizzazione

La procedura si articola in due fasi: il calcolo delle curve di equalizzazione e l'applicazione di tali curve alle registrazioni in campo.

Il calcolo di tale curva è stato eseguito misurando un segnale di riferimento e confrontandone la registrazione ottenuta tramite il fonometro e il registratore del paesaggio sonoro. Nello specifico, la creazione della curva è avvenuta tramite il software MATLAB, utilizzando le Densità Spettrali di Potenza (PSD) dei segnali del fonometro e del registratore del paesaggio sonoro.

Le registrazioni sul campo vengono equalizzate applicando tramite la funzione "filter" la curva precedentemente creata.

2.2.2 Misure in camera anecoica

Le registrazioni del segnale di riferimento sono state svolte in una camera anecoica al Politecnico di Milano (Italia) a Giugno 2023. Il segnale impiegato è un rumore bianco con frequenza di campionamento pari a 48 kHz, generato tramite il programma Audacity 3.0.2 e riprodotto tramite l'altoparlante TD508 Mk3 della Denso Ten. Le registrazioni sono state effettuate singolarmente per ogni strumento posizionandolo ad 1 m dalla cassa e centrando il microfono rispetto all'altoparlante.

La frequenza di campionamento è stata impostata a 48 kHz in modo tale da rilevare l'intero intervallo spettrale occupato dalle vocalizzazioni dell'avifauna. I guadagni di ampiezza sono stati impostati conformemente all'utilizzo dei registratori in campo: i SMM a +18 dB, i SET a +18 dB e +20 dB e gli AM a +15 dB. Il guadagno del fonometro è stato impostato a +0 dB; durante le elaborazioni è stato impostato a +18 dB tramite Audacity.

2.2.3 Misure presso un parco urbano

Al fine di validare il processo di equalizzazione del segnale con dati reali, è stata svolta una misura presso un parco urbano di Milano, il Vivaio-Bicocca.

Gli strumenti di registrazione del paesaggio sonoro e il fonometro sono stati collocati nel medesimo sito di misura e impostati come in camera anecoica.

Da ciascun dispositivo sono state ottenute 9 registrazioni simultanee di 1 minuto ciascuna. Su tali registrazioni sono stati calcolati 4 indici eco-acustici (ACI, ADI, NDSI e DSC) al fine di valutare l'efficacia del processo. Infine, la procedura è stata validata confrontando gli indici ottenuti dal fonometro con quelli dei registratori del paesaggio sonoro utilizzando i test statistici di Student e Wilcoxon per campioni dipendenti. Quest'ultimo è stato impiegato quando le assunzioni del test di Student (normalità e omoschedasticità dei dati) non erano soddisfatte. L'ipotesi nulla (H_0) di entrambi i test afferma che la differenza tra le osservazioni appaiate nella popolazione sia nulla. Tale ipotesi viene rifiutata quando il p-value è inferiore al livello di significatività 0,05.

3. Risultati e discussione

3.1 Misure in camera anecoica

In questa sezione sono riportati gli spettri medi del segnale di riferimento (rumore bianco) registrato dai diversi strumenti, prima (Fig. 1a) e dopo (Fig. 1b) il processo di equalizzazione.

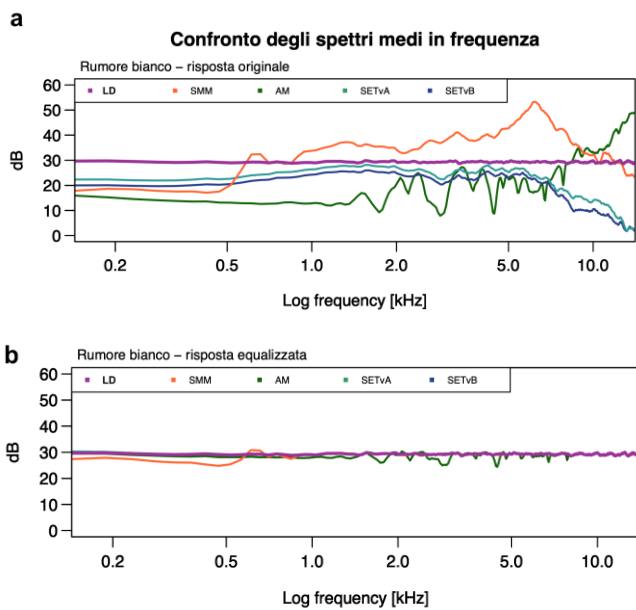


Figura 1 - Spettri medi del rumore bianco acquisito dai diversi strumenti di misura in camera anecoica: (a) spettri originali; (b) spettri delle medesime registrazioni dopo essere equalizzate.

Lo spettro superiore della figura 1 evidenzia la differenza tra il fonometro e i registratori del paesaggio sonoro. In particolare, il SMM presenta una ridotta sensibilità fino a 600 Hz e un picco a circa 6 kHz. Il segnale registrato dall'AM presenta uno spettro estremamente oscillatorio e con un'intensità inferiore al riferimento (fonometro "LD") fino a circa 7 kHz. Infine, i segnali dei SET presentano un andamento abbastanza lineare fino a circa 6 kHz. Osservando invece il grafico inferiore della figura 1, è manifesto il miglioramento introdotto dall'equalizzazione in termini di similitudine rispetto al segnale del fonometro, ovvero una risposta piatta alle diverse frequenze.

3.2 Misure presso il parco urbano

In questa sezione sono riportati i grafici dei quattro indici eco-acustici calcolati sulle misure simultanee eseguite nel parco. Analizzando i boxplot in figura 2 è possibile affermare che:

- ACI (Fig. 2a): i valori originali ed equalizzati calcolati sui registratori del paesaggio sonoro sono simili a quelli del fonometro, probabilmente a causa del metodo di calcolo dell'indice.
- ADI (Fig. 2b): i valori equalizzati del AM presentano una minore deviazione rispetto a quelli del riferimento (LD). Al contrario, i valori originali dei SET sono affini al riferimento e lo scostamento aumenta a seguito del processo. Il SMM non presenta benefici.
- NDSI (Fig. 2c): a seguito dell'equalizzazione si osserva una maggiore uniformità dei valori rispetto al riferimento per tutti i dispositivi, in particolare per gli AM e i SMM.
- DSC (Fig. 2d): ha luogo un miglioramento degli indici eco-acustici nel AM e SMM in seguito dell'equalizzazione mentre i SET traggono un minor beneficio dal processo.

La presenza delle stelle indica che a seguito del processo, il SMM conferma H_0 per NDSI e DSC e l'AM per ADI. I SET non sono concordi nel confermare H_0 , probabilmente a causa dei diversi guadagni di ampiezza.

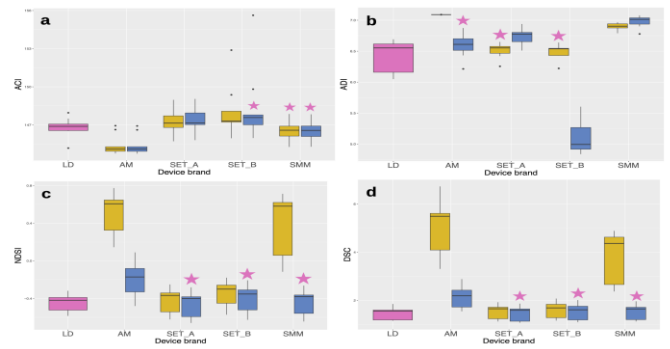


Figura 2 - Boxplot raffiguranti gli indici acustici calcolati prima e dopo l'equalizzazione (rispettivamente in giallo e azzurro). Il riferimento (fonometro) è evidenziato in rosa. All'interno dei grafici, la stella rosa mostra gli indici statisticamente uguali a quello calcolato dal fonometro di classe 1 (confermando l'ipotesi nulla H_0).

4. Conclusione

In questo articolo viene proposta una procedura innovativa per equalizzare i registratori del paesaggio sonoro e ridurre i bias causati dalle diverse specificità tecniche degli strumenti di misura.

Nel caso specifico, abbiamo dimostrato che i benefici introdotti da tale procedura dipendono dalla linearità della curva di sensibilità dei dispositivi e dall'indice considerato: per l'Audio-moth e il Song Meter Micro è necessario eseguire tale procedura mentre non lo è per il Soundscape Explorer Terrestrial. Inoltre, gli indici maggiormente soggetti a bias sono DSC, NDSI e ADI.

Speriamo che questa procedura possa contribuire a migliorare la comprensione della relazione tra biofonia e antropofonia e a valutarne correttamente l'impatto sui paesaggi sonori, fornendo così un aiuto nella sfida della conservazione della biodiversità.

5. Bibliografia

- [1] Sugai L.S.M., Silva T.S.F., Ribeiro J.W., Llusia D., *Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives*, Bioscience, **69** (2019), pp. 5–11.
- [2] Erbe C., Thomas J.A., *Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1*, 2022.
- [3] Mennitt D.J., Fristrup K.M., *Obtaining Calibrated Sound Pressure Levels from Consumer Digital Audio Recorders*. Applied Acoustics, **73** (2012), pp. 1138–1145.
- [4] Merchant N.D., Fristrup K.M., Johnson M.P., Tyack P.L., Witt M.J., Blondel P., Parks S.E., *Measuring Acoustic Habitats*. Methods in Ecology and Evolution, **6** (2015), pp. 257–265.