

«اکو-آکوستیک» ابزاری جدید برای بررسی پیچیدگی اکولوژیکی

چکیده | ظرفیت قابل توجه رویکرد اکو-آکوستیک در دهه‌های اخیر به واسطه نظریه‌ها و اصول جدید و با استفاده از فناوری‌های پیشرفته دیجیتال برای ضبط صدا و با ظرفیت پردازش حجم زیادی از اطلاعات به طور همزمان، در حال تکوین یافتن است. آگاهی امروزی از نفوذ صداهای ناشی از فعالیت انسانی (تکنوفون‌ها^۱) در مناظر طبیعی و تغییر یافته توسط انسان و ضرورت به‌کارگیری فوری ابزارهای پیش‌بینی در کوتاه‌مدت برای جبران تأثیر تغییرات اقلیمی بر روی زمین، اکو-آکوستیک را به عنوان یک رشته مهم در اکولوژی معرفی می‌کند. اکو-آکوستیک که به کاوش در پیچیدگی مناظر شنیداری^۲ می‌پردازد، ابزارهای اکولوژیکی بیشتری را برای بررسی و تفسیر ساختار و دینامیک‌های مناظر بکر و تغییر یافته ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی | اکو-آکوستیک، منظر شنیداری، منظر، تغییرات اقلیمی، نوفه.



آلمو فارینا، دکتری
علوم طبیعی، دانشگاه
اورینو، ایتالیا.
ترجمه: امین حبیبی

farina@uniurb.it

یک «اکوتون آکوستیک»^۱ (Forman and Godron 1986;) یا «سونوتون»^۲ (فارینا، Hansen and di Castri 1992) و یا «سونوتون»^۳ (فارینا، ۲۰۱۴: ۱۹-۲۰) در نظر گرفته می‌شود که در آن یک همپوشانی صوتی ممکن است رخ دهد. نتایج چشم‌انداز منظر شنیداری، در ارزیابی منظر و طراحی اهمیت دارد (Farina, 2014).

چشم‌انداز «جامعه آکوستیک»^{۱۱}

هنر، فن‌آوری صدا، جامعه‌شناسی و همچنین زیست‌شناسی (آکوستیک زیستی^{۱۲})، اکولوژی و به‌ویژه اکو-آکوستیک، از اصطلاح «جامعه آکوستیک» استفاده می‌کنند. از دیدگاه انسانی «ر. موری شافر»^{۱۳} جامعه آکوستیک را می‌توان به این صورت تعریف کرد: «یک نهاد سیاسی، جغرافیایی، مذهبی یا اجتماعی» که در آن صدای انسان به‌عنوان ابزار اصلی برای تعریف حدود جامعه استفاده می‌شود (Schafer, 1977: 215). نویسنده‌ای دیگر، «تراکس» (Truax, 1984: 58) جامعه آکوستیک را به‌صورت «هر منظر شنیداری که در آن اطلاعات آکوستیک نقش فراگیری در زندگی ساکنان ایفا می‌کند» تعریف کرده است.

در قلمرو بیولوژیکی، اصطلاح «جامعه آکوستیک» برای توصیف گروهی از موجودات زنده استفاده می‌شود که از نظر شنوایی با یکدیگر در یک زیستگاه خاص (مانند جنگل، پارک شهری و یا کشت زار، سیستم‌های آب شیرین و دریایی) در تعامل هستند (Drewry and Rand 1983; Price 1984; Sueur et al. 2008; Luther 2009; Gasc et al. 2013; Lellouch et al. 2014).

هر جامعه آکوستیک توسط یک اثر آکوستیک متمایز نشان داده می‌شود که بسامدها و دامنه سیگنال‌های صوتی را توصیف می‌کند و این‌گونه تعریف می‌شود: انگشت نگارهای که از توزیع دسته‌بندی‌های فرکانس

آکوستیک یک موضوع پیچیده است؛ زیرا صداها، نماینده‌هایی فعال در طیفی گسترده از مقیاس‌ها هستند و کشف این موضوع از دیدگاه‌های مختلف قابل اجراست.

چشم‌انداز منظر شنیداری

صداها توسط منابع مستقل تولید می‌شوند که با هم ترکیب شده و در فضا و زمان، منظرهای شنیداری متمایزی ایجاد می‌کنند (Pijanowski et al. 2011a,b). مناظر شنیداری، نهادهای ادراکی هستند که منابع‌شان در منظر است و توسط ویژگی‌های آن شکل می‌گیرند. ارتباط محکمی بین منظر شنیداری و منظر وجود دارد. هنگامی که یک منظر با یک منظر شنیداری مرتبط می‌شود، دو نوع گونه‌شناسی موزاییک در تماس با یکدیگر وارد می‌شوند: موزاییک کاربری زمین یا زیستگاه‌ها و موزاییک نهادهای صوتی که فارینا (Farina, 2014: 17) آن را «سونوتوپ» نامیده است. سونوتوپ‌ها نتیجه ترکیب ژئوفون‌ها، بیوفون‌ها و تکنوفون‌ها هستند که در مقیاس لکه‌های منظر^{۱۴} رخ می‌دهند. با توجه به سهم مختلف سه منبع صوتی، سونوتوپ‌ها به لکه‌های صوتی با کیفیت و دینامیک‌های مختلف حاصل از فرآیندهای اکولوژیکی، تفکیک می‌شوند. تفکیک‌پذیری فضایی سونوتوپ‌ها بهتر از موزاییک زمین بوده و به همین دلیل محیط صوتی حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به محیط جغرافیایی است. با این حال، سونوتوپ‌ها ممکن است در بردارنده اطلاعات آکوستیک زیادی با منشأ زیستی نیز باشند. در این صورت در داخل یک سونوتوپ، ممکن است زیرواحدها یا «ساوندتوپ»^{۱۵} های (Farina, 2014: 19) هدایت شده توسط فرآیندهای رفتاری تشخیص داده شود. در مرزهای سونوتوپ‌ها، همانند موزاییک زمین، یک منطقه حاشیه‌ای وجود دارد. این منطقه بوم‌مرز یا

طبیعت پر از صداهایی است که توسط اتمسفر، آب و جامدات منتقل می‌شوند. صدا شکلی از انرژی است که به واسطه ارتعاش اشیاء در اثر یک نیروی حاصل از رخدادهای طبیعی (ژئوفون‌ها^{۱۶} و بیوفون‌ها^{۱۷}) و یا منابع انسانی (تکنوفون‌ها) تولید می‌شود (Farina, 2014). اکثر گونه‌های جانوری یا به صداها حساس هستند یا خود مولد صوت هستند. همچنین مشاهده شده است که برخی از گیاهان در واکنش به ارتعاشات آکوستیک، ساختار سلولی‌شان را تغییر می‌دهند (Appel & Cocroft, 2014). اخیراً صداها طبیعی و انسانی، به عنوان اجزای فعال دینامیک‌های اکولوژیکی در سیستم‌های آبی و خشکی شناخته شده‌اند و در نتیجه تمایل رو به رشدی در استفاده از صداها محیطی، برای بررسی مکانیسم‌هایی که در محیط زیست پیچیدگی اکولوژیکی ایجاد می‌کنند، وجود دارد (Farina 2014; Towsey et al. 2014). شواهد تجربی متعددی وجود دارد که صداها زیستی و غیرزیستی، عوامل دقیقی برای بررسی و تفسیر فرآیندهای مختلف اکولوژیکی هستند (Towsey et al. 2014). با رویکرد اکوآکوستیک، توصیف پدیده‌های پیچیده‌ای که توسط ارتباطات آکوستیک (صوتی) حیوانات و مکانیسم‌های ادراکی آنها فعال می‌شوند، امکان پذیر است (Sueur et al. 2014). منابع صدا، استفاده از صداها برای اهداف رفتاری و اکولوژیکی، و صداها به عنوان نماینده‌هایی از واکنش‌های زیست محیطی به محرک‌های داخلی و خارجی، در این مقاله، با هدف نشان دادن اهمیت استفاده از صداها برای تفسیر بهتر پیچیدگی محیط زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند. به علاوه، برخی از ظرفیت‌های استفاده از صدا در زمینه کاربردی مدیریت پایدار زمین و استفاده اخلاقی از منابع در مقیاس منظر بیان می‌شود.

اصوات منتشرشده توسط گونه‌های دربرگیرنده یک جامعه آکوستیک پدید می‌آید؛ و «معادل یک کد بیولوژیکی در نظر گرفته می‌شود» (Barbieri, 2015) و برای هرگونه و جامعه خاص، منحصر به فرد است» (Farina and Pieretti 2014; Malavasi et al. 2014). تعیین حدود فضایی یک جامعه، یک نقطه کانونی در اکولوژی اجتماعی و جغرافیای زیستی است (MacArthur and Wilson 1967). معمولاً جوامع با توجه به کارکردهای مختلفی تعریف می‌شوند که یک تجمع را، به عنوان مثال «جوامع تغذیه^۴»، «جوامع زیستگاه^۵»، یا «جوامع لکه‌ها^۶» توجیه می‌کند.

یک جامعه آکوستیک نتیجه صداهای حاصل از تجمع موقت موجودات زنده است که زودگذر و بسیار متغیر در فضا و زمان هستند؛ اما با وجود این ویژگی‌های ناپایدار نقش مهمی در بخش بندی اجتماعی موجودات زنده ایفا کرده و به ندرت با سایر نمادهای جوامع سازگار است. رابطه‌ای محکم بین ساوندتوپ و جوامع آکوستیک وجود دارد. زمانی که اجزای ژئوفون و تکنوفون در نظر گرفته نشوند، این نهاد آخر ممکن است به عنوان یک ساوندتوپ در نظر گرفته شود. به طور قطعی، یک جامعه آکوستیک یک واحد کارکردی از گونه‌هایی است که با استفاده از مکانیسم‌های آکوستیک ارتباط برقرار می‌کنند و نشان دهنده بخش مهمی از تاریخ طبیعی برای مطالعات در مقیاس منظر است.

زودگذر و بسیار متغیر در فضا و زمان هستند؛ اما با وجود این ویژگی‌های ناپایدار نقش مهمی در بخش بندی اجتماعی موجودات زنده ایفا کرده و به ندرت با سایر نمادهای جوامع سازگار است. رابطه‌ای محکم بین ساوندتوپ و جوامع آکوستیک وجود دارد. زمانی که اجزای ژئوفون و تکنوفون در نظر گرفته نشوند، این نهاد آخر ممکن است به عنوان یک ساوندتوپ در نظر گرفته شود. به طور قطعی، یک جامعه آکوستیک یک واحد کارکردی از گونه‌هایی است که با استفاده از مکانیسم‌های آکوستیک ارتباط برقرار می‌کنند و نشان دهنده بخش مهمی از تاریخ طبیعی برای مطالعات در مقیاس منظر است.

چشم‌انداز کاربردی
فرضیه سازگاری آکوستیک: سازگاری آکوستیک (Morton 1975, Marten and Marler 1977, Cosens and Falls 1984, Ey and Ficher 2009) برای باور است که ویژگی‌های آکوستیک زیستگاه‌هایی که نتیجه مورفولوژی زمین، ساختارهای گیاهی و اتمسفر هستند، با صداهای تعامل‌اند. این تداخل اثر مستقیمی بر روی ویژگی‌های صداهای حیوانات دارد که با به حداکثر رساندن انتشار صدا تغییر می‌یابند. به عنوان مثال، ساختار زیستگاه، بر عملکرد آکوستیک برخی از گونه‌های چکاوک به گونه‌ای تأثیر می‌گذارد (Badyaev & Leaf, 1997) که در زیستگاه‌های بسته از هجاهای کمتر و بلندتر، با فواصل بزرگ‌تر استفاده می‌کنند، اما در زیستگاه‌های باز، از سیگنال‌های سریع از تلفیق هجاهای زیربوم استفاده می‌کنند. با توجه به انعطاف‌پذیری بالای عملکرد آکوستیک حیوانات، تغییرات کوچک در محیط (به عنوان مثال تغییر در درجه حرارت روزانه) ممکن است تغییر آشکاری در سیگنال صوتی ایجاد کند. بدیهی است که هرگونه دست‌کاری موزاییک زمین ممکن است پیامدهایی بر عملکرد صدای گونه‌های آوازی با اثرات بی‌شمار داشته باشد.

مطالعه همسرایی‌ها پدیده‌های وابسته را نشان می‌دهد؛ زیرا امکان ارزیابی دامنه سیگنال‌های آکوستیک تمام جوامع آکوستیک حاضر در یک منظر، در زمان هم‌سرایی، ایجاد می‌شود و استفاده از این اطلاعات به عنوان عاملی در وضعیت فیزیولوژیکی گونه‌های فردی برای کشف تغییر احتمالی در ترکیب جوامع در اثر عوامل خارجی مانند تغییرات اقلیمی ممکن است (Farina et al., 2015).

فنولوژی (پدیده‌شناسی) آکوستیک: پدیده‌شناسی یا فنولوژی، «مطالعه زمان بندی وقایع بیولوژیکی متناوب، علل زمان بندی آن‌ها با توجه به نیروهای زنده و غیرزنده، و اثر متقابل میان مراحل گونه‌های یکسان و یا متفاوت» است (Lieth 1974, 4). پدیده‌شناسی آکوستیک، به تحقیق در الگوهای فصلی عملکرد آکوستیک گونه‌های فردی با گاه‌شمار متناوب، و همچنین جوامع آکوستیک، به کار می‌رود. پدیده‌شناسی آکوستیک ممکن است برای ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر گونه‌های فردی و جوامع با پویایی آکوستیک روزانه و فصلی مورد استفاده قرار گیرد.

نوآوری‌های جدی در رقابت آکوستیک بین گونه‌ها ایجاد کند.
فضای فعال آکوستیک: فضای فعال آکوستیک به عنوان فاصله از منبع صوت تعریف می‌شود که در آن دامنه سیگنال بالاتر از آستانه تشخیص یک گیرنده، باقی می‌ماند

اکو-آکوستیک کاربردی

رویکرد اکو-آکوستیک راهی نوین برای نفوذ به حیات نهفته طبیعت و برای مواجهه با

ارتباط محکمی بین منظر شنیداری و منظر وجود دارد. هنگامی که یک منظر با یک منظر شنیداری مرتبط می‌شود، دو نوع موزاییک در تماس با یکدیگر وارد می‌شوند: موزاییک کاربری زمین و موزاییک نهادهای صوتی که فارینا آن را «سونوتوپ» نامیده است. تفکیک پذیری فضایی سونوتوپ‌ها بهتر از موزاییک زمین بوده و به همین دلیل محیط صوتی حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به محیط جغرافیایی است.

مختلف و همچنین در مکان‌های بسیار دور برخوردار است. منابع نوبه، توسط طبیعت (ژئوفون‌ها: مانند باد و باران سنگین؛ بیوفون‌ها: مانند همسرایی حیوانات) و یا فرآیندهای ساخته بشر (تکنوفون‌ها: مانند موتورهای احتراقی یا اصطکاک چرخ‌دنده) ایجاد می‌شوند. نوبه آکوستیک پیامدهای مهمی در عملکردهای مختلف حیوانات مانند انتخاب زیستگاه، شکل‌گیری جفت، ردیابی منابع و مکانیسم‌های شکار دارد. اثرات آلودگی صوتی بر روی انسان‌ها متعدد، پراکنده و مداوم بوده و همچنین به‌تازگی از لحاظ پزشکی و اجتماعی نیز اخیراً توسط «گوئینز» و «هاگلر» (Goines & Hagler, 2007) مورد بحث قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری | نقش صدا اهمیت وافری برای بسیاری از فرآیندهای اکولوژیکی دارد و ابزار جدید و نوینی را برای تجزیه و تحلیل پدیده‌هایی ارائه می‌دهد که تاکنون در تحقیقات اکولوژیکی توسط فناوری سنجش از راه دور نادیده گرفته شده‌اند. شکل‌گیری جامعه بین‌المللی اکوآکوستیک^{۲۳}، نشانه‌ای مهم از توجه رو به رشد جهان نسبت به اکولوژی صدا است. انتظار می‌رود که در آینده نزدیک، اکوآکوستیک، به‌عنوان رشته‌ای که با دیدگاه اکولوژیکی به بررسی صدا می‌پردازد، سهم بزرگی را در پژوهش‌های اکولوژیکی به خود اختصاص داده و پژوهش در مورد گونه‌های فردی، جمعیت‌ها، جوامع و مناظر را ارتقاء دهد. به‌ویژه در محیط‌های دریایی استفاده از اکوآکوستیک، به دلیل دشواری در مطالعه منظر دریا با دستگاه‌های دیگر، بسیار حائز اهمیت است. کاربرد اکوآکوستیک در مطالعه تغییرات اقلیمی و نوبه‌های با منشأ انسانی، نمونه‌هایی است که اهمیت این رشته نوظهور را در زمینه‌های نظری و کاربردی نشان می‌دهد. اکوآکوستیک همچنین ابزاری مهم برای بررسی فرآیندهای پیچیده‌ای که در مقیاس مناظر طبیعی و دست‌کاری شده انسانی رخ می‌دهند، به شمار می‌رود.

مشکلات زیست محیطی در مقیاس منظر می‌گشاید. این رویکرد می‌تواند به شیوه‌ای گسترده به‌عنوان نوع جدیدی از حس‌گرهای نوآورانه آکوستیک «مجاور»^{۲۴} برای بررسی تنوع اشکال زندگی، ارزیابی میزان دخالت بشر در سیستم‌های طبیعی و انسان‌ساخت و بررسی اثر تغییرات اقلیمی در زیست‌بوم‌های مختلف، در کنار دیگر تکنیک‌های سنجش از راه دور، به کار رود. به لطف روش‌های ثبت و ضبط غیرفعال، مشاهده پدیده‌هایی که بسیار فراتر از ادراک انسان رخ می‌دهند؛ مانند دینامیک صدا، تعاملات بین‌گونه‌ای، بخش‌بندی جایگاه آکوستیک و رقابت ایجاد شده با ورود گونه‌های جدید، امکان‌پذیر است.

اکوآکوستیک می‌تواند برای بررسی حیات در تفکیک‌پذیری‌های مختلف از «اکولوژی فردی»^{۲۵} تا «اکولوژی جمعی»^{۲۶} به کار رود. زمینه کاربرد آن در مطالعه گونه‌های فردی، جمعیت، جامعه و منظر، به تفکیک روشن شده است.

اکوآکوستیک و تغییرات اقلیمی: حساسیت عملکردهای صوتی حیوانات بررسی اثرات تغییر اقلیمی را با کیفیت بالایی، حتی در تغییرات حداقلی پارامترهای فیزیکی محیط زیست (مثلاً دما، رطوبت، اسیدیته محیط آبی) امکان‌پذیر می‌کند.

اطلاعات به دست آمده از بررسی‌های اکوآکوستیک (مانند حضور گونه‌ها، مدت زمان، فرکانس و تغییر دامنه آهنگ‌ها، مدت زمان و پیچیدگی همسرایی، سطح هم‌پوشانی جایگاه جوامع آکوستیک، تناوب رویدادهای آکوستیک) می‌تواند به‌عنوان ابزار پیش‌بینی برای پیشنهاد اقدامات فوری و ایجاد نشانه‌های ارزشمند برای ذینفعان و سیاست‌گذاران قبل از رخ دادن تغییرات زیست محیطی غیرقابل برگشت بکار رود که در زمان و منابع اقتصادی صرفه جویی می‌کند.

کشف تغییرات اولیه ایجاد شده در زیستگاه و جوامع حیوانات، کمک بزرگی برای کاهش خسارت‌های زیست محیطی، اقتصادی و پیامدهای اثرات انسانی خواهد بود.

اکوآکوستیک و نوبه^{۲۷}: در طی دو قرن گذشته، بسیاری از صداهای طبیعی با صداهای جدید با منشأ انسانی پوشانیده و یا جایگزین شده‌اند (Pivato, 2011). نوبه، می‌تواند به‌عنوان صدایی که حاوی اطلاعات اندک است (با سطح بالایی از بی‌نظمی ارتعاشی) تعریف شود، که دیگر منابع صوتی را می‌پوشاند و همچنین بر فضای فعال مورد استفاده توسط حیوانات خشکیزی و آبی برای برقراری ارتباط تأثیرگذار است. از نظر اجتماعی یا روان‌شناختی، نوبه به‌عنوان هر صدایی که ایجاد دلخوری می‌کند و سلامت افراد را هدف می‌گیرد، تعریف می‌شود. در سال ۱۹۷۱، سازمان بهداشت جهانی اعلام کرد که نوبه یک تهدید بزرگ برای رفاه انسان است.

از دیدگاه نشانه‌شناسی، نوبه، به هر صدایی که اطلاعات درونی کمی دارد گفته می‌شود و بر اساس رویکرد اکوآکوستیک (Sueur & Farina, 2015)، نوبه، بخشی از طیف‌های صوتی است که به‌خودی‌خود اطلاعاتی را ارائه نمی‌کند. باین‌حال، نوبه و توزیع زمانی و مکانی آن را می‌توان برای شناسایی رویدادهای اکوآکوستیک و ارزیابی کیفیت آکوستیک مکان‌ها در سراسر منظر با فرض پیامدهای اقتصادی مرتبط، مورد استفاده قرار داد. این زمینه از تحقیق، از اهمیت رو به رشدی به دلیل افزایش نفوذ انسان در محیط‌های

پی‌نوشت

- | | | | |
|--|--|--------------------------|----------------------|
| ۱۸. Cacophonous | ۱۵. habitat communities | ۸. Soundtope | ۱. Ecoacoustics |
| ۱۹. Neighbor | ۱۶. patch communities, به‌طور خاص فورمن | ۹. Acoustic Ecotone | ۲. Technophonies |
| ۲۰. Autoecology | و گوردون (Forman and Godron, ۱۹۸۱: ۷۳۴) | ۱۰. Sonotone | ۳. Soundscapes |
| ۲۱. Sinecology | : «جامعه لکه» را به‌صورت زیر تعریف می‌کنند: | ۱۱. Acoustic Community | ۴. Geophonies |
| ۲۲. Noise | «جوامع و یا مجموعه گونه‌های احاطه شده توسط | ۱۲. Bioacoustics | ۵. Biophonies |
| ۲۳. https://sites.google.com/site/ecoacousticsociety | یک ماتریس یا ساختار و یا ترکیب جامعه متفاوت» | ۱۳. R. Murray Schafer | ۶. Sonotopes |
| | ۱۷. Acoustic Niche | ۱۴. foraging communities | ۷. Landscape Patches |

sive acoustic morning activity in a Mediterranean landscape. *Bioacoustics*, doi.org/10.1080/09524622.2015.1070282.

- Forman, R.T.T., Godron, M. (1981). Patches and structural components for a landscape. *BioScience* 31(10): 733–740.
- Forman, R.T.T., Godron, M. (1986). *Landscape ecology*. Wiley, New York, US.
- Frisk, G.V. (2012). Noiseconomics: the relationship between ambient noise levels in the sea and global economic trends. *Nature*, doi: 10.1038/srep00437.
- Gasc, A., Sueur, J., Pavoine, S., Pellens, R., Grandcolas, P. (2013). Biodiversity amplifying using a global acoustic approach: contrasting sites with microendemics in New Caledonia. *PlosOne*, 8(5) e65311: 1-10.
- Goines, L., Hagler, L. (2007). Noise pollution: A modern plague. *Southern Medical Journal*, 100: 287-294.
- Green D.M., Swets, J.A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. New York Wiley.
- Greenfield, M.D. (1994). Synchronous and alternating choruses in insects and anurans: Common mechanisms and diverse functions. *American Zoologist*, 34:600-615.
- Hansen, A.J., di Castri, F. (eds.) (1992). *Landscape boundaries, Consequences for biotic diversity and ecological flows*. Springer-Verlag, New York.
- Henwood, K., Fabrick, A. (1979). A quantitative analysis of the dawn chorus: temporal selection for communicatory optimization. *American Naturalist*, 114: 260-274.
- Hoi-Leitner, M., H. Nechtelberg, Hoi, H. (1995). Song rate as a signal for nest site quality in blackcaps (*Sylvia atricapilla*). *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 37: 399-405.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22: 415–427.
- Hutchinson, G.E. (1978). *An introduction to population ecology*. Yale University Press, New Haven, CT.
- Kacelnik, A. (1979). The foraging efficiency of great tits (*Parus major*) in relation to light intensity. *Animal Behaviour*, 27: 237-242.
- Klinck, H., Nieukirk, S.L., Mellinger, D.K., Klinck, K., Matsumoto, H., Dziak, R.P. (2012). Seasonal presence of cetaceans and ambient noise levels in polar waters of the North Atlantic. *J Acoust Soc Am* 132(3): 176-181.
- Krause, B. (1987). Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance. *Whole Earth Review*, 57:14-18.
- Krause, B. (1993). The niche hypothesis. *Sound-scape Newsletter*, 6:6–10.
- Krause, B., Farina, A. (2016). *Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity*. Bio. Conservation (in press).
- Lellouch, L., Pavoine, S., Jiguet, F., Glotin, H., Sueur, J. (2014). Monitoring temporal change of bird communities with dissimilarity acoustic indices. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 495-505.
- Lieth, H. (1974). *Phenology and seasonality modeling*. Berlin, Germany, Springer.
- Luo, J., Koselj, K., Zsebok, S. Siemers, B.M., Goerlitz, H.R. (2013). Global warming alters sound transmission: differential impact on the prey detection ability of echolocating bats. *Journal of the Royal Society*, doi: 10.1098/rsif.2013.0961.
- Luther, D. (2009). The influence of the acoustic community on songs of birds in a neotropical rain forest. *Behav. Ecol.*, 20: 864–871.
- Luther, D., Gentry, K. (2013). Sources of background noise and their influence on vertebrate acoustic communication. *Behaviour*, 150: 1045–1068.
- MacArthur, R.H., Wilson, E.O. (1967). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: Princeton University Press.
- Malavasi, R., Farina, A. (2013) Neighbours' talk: Interspecific choruses among songbirds. *Bioacoustics* 22(1): 33–48.
- Malavasi, R., Kull, K., Farina, A. (2014). The acoustic codes: how animal sign processes create sound-topes and consortia via conflict avoidance. *Biosemiotics* 7(1): 89–95.
- Marten, K., Marler, P. (1977). Sound transmission and its significance for animal vocalization. I. Temperate habitats. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 2:271–290.
- Moller, A.P. (2010). When climate change affects where birds sing. *Behavioural Ecology*, 22: 212-217.
- Morse, D.H. (1989). Song patterns of warblers at dawn and dusk. *Wilson Bulletin*, 101(1): 26-35.
- Morton, E.S. 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *Am. Nat.* 109: 17–34.
- Ortega, C.P. (2012). Effects of noise pollution on birds. *Ornithological Monographs*, 74(1): 6-22.
- Pijanowski, B.C., Farina, A., et al. (2011). What is soundscape ecology? *Landscape Ecology*, 26(9): 1213–1232.
- Pijanowski, B.C., Villanueva-Rivera, et al. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *Bioscience*, 61: 203–216.
- Pivato S. (2011). *Il secolo del rumore*. Il Mulino, Milano.
- Price, P.W. (1984). *Insect Ecology*, 2nd edn. New York: Wiley Interscience.
- Richards, D.G., Wiley, R.H. (1980). Reverberations and Amplitude Fluctuations in the Propagation of Sound in a Forest: Implications for Animal Communication. *The American Naturalist*, 115 (3): 381-399.
- Schafer, R.M. (1977). *The Soundscape*. Destiny Books, Rochester, VT.
- Sueur, J., Farina, A. (2015). Ecoacoustics: the ecological investigation and interpretation of environmental sound. *Biosemiotics*, DOI 10.1007/s12304-015-9248-x.
- Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., Duvail, S. (2008). Rapid acoustic survey for biodiversity appraisal. *Plos One*, 3: 12 e4065.
- Sueur, J., Farina, A., et al. (2014). Acoustic indices for biodiversity assessment and landscape investigation. *Acta Acustica united with Acustica*, 100: 772–781.
- Thomas, R.J. (1999). The effect of variability in the food supply on the daily singing routines of European robin: a test of a stochastic dynamic programming model. *Animal Behaviour*, 57: 365-369.
- Thomas, R.J., Cuthill, I.C. (2002). Body mass regulation and the daily singing routines of European robins. *Animal Behaviour*, 63: 285-295.
- Thomas, R.J., Szekely, T., Cuthill et al. (2002). Eye size in birds and the timing of song at dawn. *Proc. R. Soc. London B*, 269: 831-837.
- Tobias, J.A., R., Planqué, D.L. Cram, Seddon, N. (2014). Species interactions and the structure of complex communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(3): 1020-1025.
- Towsey, M., Parsons, S., Sueur, J. (2014). Ecology and acoustic at large. *Ecol. Inform.*, 21: 1–3.
- Truax, B. (1984). *Acoustic Communication*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, NJ.
- Wahlberg, M., Westerberg, H. (2005). Hearing in fish and their reactions to sounds from offshore wind farms. *Marine Ecology Progress Series*, 288: 295-309.
- Wiley, R.H. (1991). Association of song properties with habitats for territorial oscine birds of eastern North America. *The American Naturalist*, 138(4): 973-993.
- Wiley, R.H., Richards, D.G. (1978). Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: implications for the evolution of animal vocalization. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 3: 69-94.

Ecoacoustics: A New Tool to Investigate the Ecological Complexity

Almo Farina
Professor of Ecology, Urbino University, Urbino, Italy
almo.farina@uniurb.it
Translated from English by Amin Habibi

Abstract | The great potentiality of the ecoacoustics approach is emerging in these last decades thanks to new theories and principles and by the use of advanced digital technologies to recording sound, and by the capacity to process large amount of data at time. The contemporary awareness of the intrusion of anthropogenic sounds (technophonies) into natural and human-modified landscapes and the urgent necessity to adopt short-term predictive tools to compensate for the impact of climate change on the Earth appoint ecoacoustics as an important ecological discipline.

In the near future we expect a great contribution of the ecoacoustics, to promote ecological research on individual species, populations, communities and landscapes. Especially in marine environment the use of ecoacoustics is really important due the difficulty to explore the submerged seascape with other devices.

Ecoacoustics, exploring the complexity of the soundscapes offers additional ecological tools to investigate and to interpret structure and dynamics of pristine and modified landscapes.

Keywords | Ecoacoustics, Soundscape, Landscape, Climate change, Noise.

Reference list

- Appel, H. M. & Cocroft, R. B. (2014). Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing. *Oecologia*, 175:1257–66.
- Badyaev, A.V., Leaf, E.S. (1997). Habitat associations of song characteristics in Phylloscopus and Hippolais warblers. *Auk*, 114: 40–46.
- Barbieri, M. (2015). *Biological Codes*. Springer, Dordrecht.
- Barnett, C.A., Briskie, J.W. (2007). Energetic state and performance of dawn chorus in silvereyes (*Zosterops lateralis*). *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 61:579–587.
- Berg, K.S., Brumfield, R.T., Apanius, V. (2006). Phylogenetic and ecological determinants of the neotropical dawn chorus. *Proceedings Royal Society B*, 273:999–1005.
- Brenowitz, E. A. (1982). The active space of red winged blackbird song. *J. Comp. Physiol.*, 147: 511–522.
- Brown, C. H. (1989). The active space of monkey and grey cheeked managabey vocalizations. *Anim. Behav.*, 37:1023– 1034.
- Burt, J.M., Vehrencamp, S.L. (2005). 15. Dawn chorus as an interactive communication network. In: *Animal Communication Networks*, edited by P.K. McGregor, PP. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Cosens, S. E., Falls, J. B. (1984). A comparison of sound propagation and song frequency in temperate marsh and grassland habitats. *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 15: 161–170.
- Crutzen, P., Stoermer, E. (2000). The Anthropocene, Global Change. *IGBP Newsletter*, 41: 17–18.
- Cuthill, I.C., MacDonald, W.A. (1990). Experimental manipulation of the dawn and dusk chorus in the blackbird *Turdus merula*. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 26:209–216.
- Dabelsteen, T., Mathevon, N. (2002). Why do songbirds sing intensively at dawn? A test of the acoustic transmission hypothesis. *Acta Ethologica*, 4: 65–72.
- Drewry, G.E., Rand, S. (1983). Characteristic of an acoustic community: Puerto Rican frogs of the genus *Eleutherodactylus*. *Copeia*, 1983(4): 941–953.
- Ey, E., Fischer, J. (2009). The “acoustic adaptation hypothesis” – a review of the evidence from birds, anurans and mammals. *Bioacoustics*, 19: 21–48.
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology*. Springer, Dordrecht.
- Farina, A., Pieretti, N. (2014). Acoustic codes in action in a soundscape context. *Biosemiotics* 7(2): 321–328.
- Farina, A., James, P. (submitted). Acoustic community structure and dynamics: a fundamental component of ecoacoustics. *Biosystems*.
- Farina, A., Ceraulo, et al. (2015). Spatial and temporal variation of bird dawn chorus and succes-