

## **CLIMA ACUSTICO DELLE AREE NATURALI: ACCETTABILITA' DEI LIMITI DI LEGGE AI FINI DELLA TUTELA DELL'AVIFAUNA PRESENTE NEL PARCO DEL TICINO**

Marco Masoero (1), Carlo Alessandro Bertetti (2)

1) Dipartimento di Energetica, Politecnico di Torino, Torino

2) Studio Progetto Ambiente s.r.l., Torino

### **1. Premessa**

La normativa italiana ed europea sul rumore sottolinea la necessità di assumere provvedimenti per la difesa degli ambienti sonori delle aree naturali. Le prescrizioni normative in termini di limiti ammissibili, le mappature sullo stato dei luoghi e le conseguenti azioni di controllo sono ad oggi basate su una visione antropocentrica dell'ambiente [1]. Ciò emerge chiaramente dal tipo di indicatori di rumore utilizzati dal DPCM 14.11.1997 (livelli equivalenti continui di rumore, scala di pesatura A, periodi di riferimento giorno/notte, ecc.) o dalla Direttiva EU 2002/49/CE (livelli equivalenti di rumore  $L_{den}$ ,  $L_{night}$ ).

Se si concorda sul fatto che le azioni di pianificazione acustica dovrebbero essere indirizzate alla tutela delle specie biotiche residenti e alla riduzione dell'aggressione del rumore antropico alle aree naturali, è necessario chiedersi, in primo luogo, se la produzione di suoni e le capacità uditive degli animali siano simili a quelle umane. Sarà in questo modo possibile verificare se è corretto utilizzare gli indicatori ad oggi proposti dalla normativa di settore basati sulla sensibilità uditiva umana.

Esiste una ampia differenziazione nella capacità uditiva e nella produzione di suoni da parte delle specie biotiche. La trattazione dell'argomento è stata focalizzata sull'avifauna, la componente biotica in grado di produrre la più ampia varietà di suoni vocali che spaziano da brevi richiami monosillabici a lunghi e complessi canti. L'avifauna, per problematiche legate ai flussi migratori, può inoltre essere fortemente penalizzata da un ambiente sonoro ostile tale da determinare variazioni comportamentali (variazioni del tempo destinato alla ricerca di cibo o "time budget", ecc.).

## 2. Generalità

### 2.1 Produzione di suoni

La produzione dei suoni avviene tramite un organo denominato siringe (syrinx), l'analogo della laringe umana, che contiene speciali membrane vibranti che generano onde sonore quando l'aria dei polmoni viene spinta su di essa. La presenza di una membrana timpaniforme situata nella parte mediana dei bronchi permette di emettere suoni separatamente da ciascun bronco che vengono poi "mixati" quando entrano nella trachea. Questo spiega la straordinaria complessità del canto degli uccelli (secondo la teoria delle due voci nella produzione dei suoni degli uccelli confermata a livello sperimentale).

La qualità tonale dei suoni emessi è ottenuta dalla produzione di suoni puri entro un ristretto campo di frequenze, relativamente privo di armoniche o "overtones". Il tratto vocale viene utilizzato, in analogia all'uomo, come filtro selettivo per modificare il suono finale emesso che è tipicamente compreso nel campo di frequenze 2-8 kHz.

In molte specie la produzione di suoni è esclusiva del sesso maschile, con massima intensità in primavera dove si colloca l'inizio del periodo riproduttivo. Gli uccelli cantano secondo ritmi prestabiliti: di più all'alba dove il canto è di gruppo (coro) con decrescendo verso le ore centrali della giornata più calde e un secondo picco in prossimità del tramonto, al quale segue il silenzio nelle ore notturne che precedono l'alba. Dopo l'accoppiamento alcune specie smettono totalmente di cantare mentre altre continuano ad evidenziare i due picchi all'alba e al tramonto. I cori all'alba intervengono in una condizione generalmente favorevole alla propagazione, con maggiore estensione dell'area coperta dai richiami a parità di emissione, e sfavorevole all'alimentazione.

In generale c'è un buon accordo tra massima produzione di suoni e massima percezione dei suoni. La Figura 1 compara a titolo di esempio le curve di udibilità di due specie di passeri con lo spettro di potenza dei loro richiami [2].

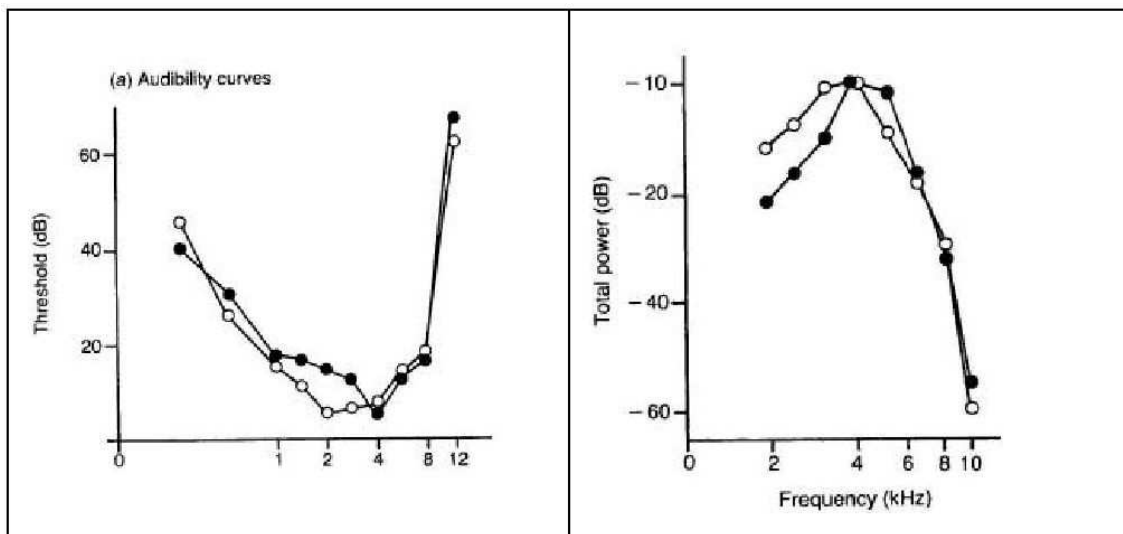


Figura 1 – Curve di udibilità e spettro di potenza dei richiami [2]

## 2.2. Percezione dei suoni

La produzione di suoni rappresenta un aspetto del sistema di comunicazione, il restante è determinato dalla capacità di rilevare e identificare la provenienza dei suoni. L'orecchio esterno degli uccelli è rappresentato da due fori, coperti da piume protettive, che sono in comunicazione con le cavità timpaniche. Le vibrazioni del timpano vengono trasmesse all'orecchio interno da un singolo osso (columella) che viene mantenuto a contatto con la coclea per mezzo di un complesso sistema di legamenti.

I metodi utilizzati per determinare i valori di pressione sonora minimi udibili dagli uccelli (audiogramma) sono due: il metodo neurofisiologico (si fa ascoltare un suono, variandone la frequenza, ad un uccello anestetizzato e si registra direttamente dai neuroni uditivi del nucleo cocleare la risposta) e il metodo comportamentale (si condiziona l'uccello a reagire, ad es. colpire con il becco un tasto, quando sente un suono). I risultati raccolti nei test svolti negli ultimi 50 anni su 49 specie di uccelli [3] hanno permesso di costruire la curva di udibilità media dei tre principali gruppi di uccelli (passeriformi, strigiformi, altri non passeriformi) nel campo di frequenze compreso tra 0.5 Hz e 10 kHz (Figura 2). Gli aspetti caratterizzanti sono:

- gli uccelli non sentono bene alle alte o basse frequenze, sentono meglio nel campo di frequenze tra 1-5 kHz dove la soglia di udibilità varia tra - 10 dB a 20 dB di livello di pressione sonora. I predatori notturni (strigiformi: allocco, civetta, gufo, barbagianni, assiolo o chiù, ...) hanno una soglia uditiva traslata di circa 20 dB al di sotto di quella media dei passeriformi (corvi, ghiandaia, picchio, cinciarella, cinciallegra, lui piccolo, fringuello, ...);
- la regione di massima sensibilità è compresa tra 2-3 kHz;
- la sensibilità uditiva decresce ad un tasso di 15 dB/ottava al di sotto di 1 kHz e circa 35-40 dB/ottava oltre 3 kHz.

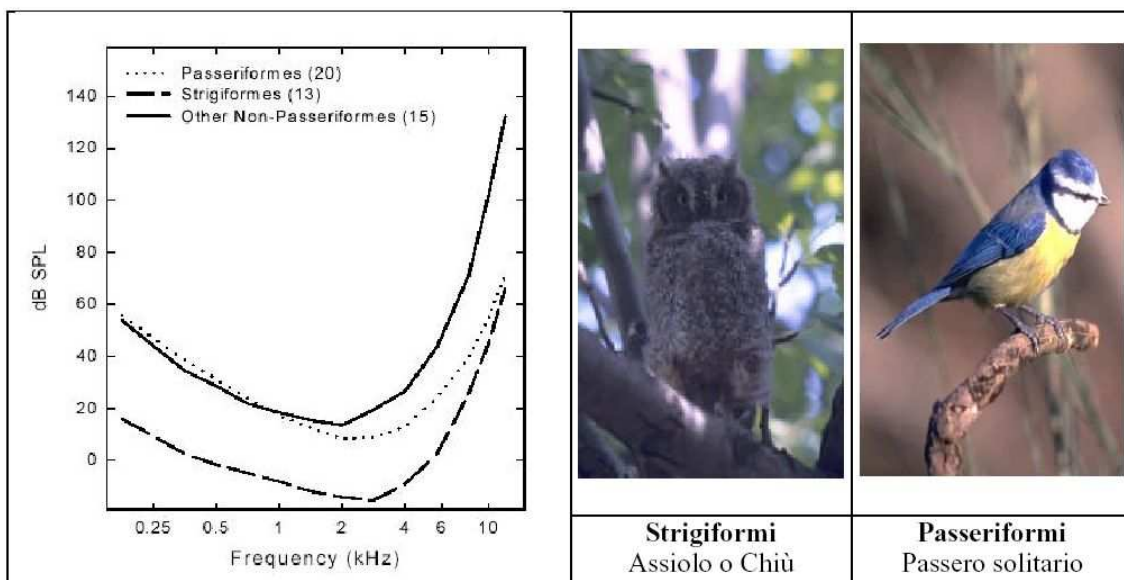


Figura 2 – Curve di udibilità media avifauna (strigiformi, passeriformi e non passeriformi) [3]

Nella media il limite spettrale dello spazio uditivo disponibile all'avifauna per la comunicazione vocale si estende da 500 Hz a 6 kHz (la larghezza di banda 30 dB oltre il punto più sensibile dell'audiogramma). Lo spettro medio di potenza della maggioranza delle vocalizzazioni degli uccelli è contenuto entro questo campo di frequenza e si rileva una buona correlazione tra sensibilità uditiva, massima alle alte frequenze, e spettro di emissione dei richiami e del canto.

La frequenza centrale e l'estensione alle alte frequenze in molte specie di uccelli sono inversamente correlate a parametri biologici quali il peso e le dimensioni (diminuisce il peso, aumenta l'estensione alle alte frequenze).

Il confronto tra sensibilità uditiva umana e dell'avifauna (figura 3) ben evidenzia una minore sensibilità uditiva alle alte frequenze (> 5 kHz) e, per tutti gli uccelli non predatori notturni, una generalizzata minore sensibilità compresa tra un minimo di circa -10 dB a 1-2 kHz e un massimo di -90 dB a 10kHz e circa -30 dB a 125 Hz

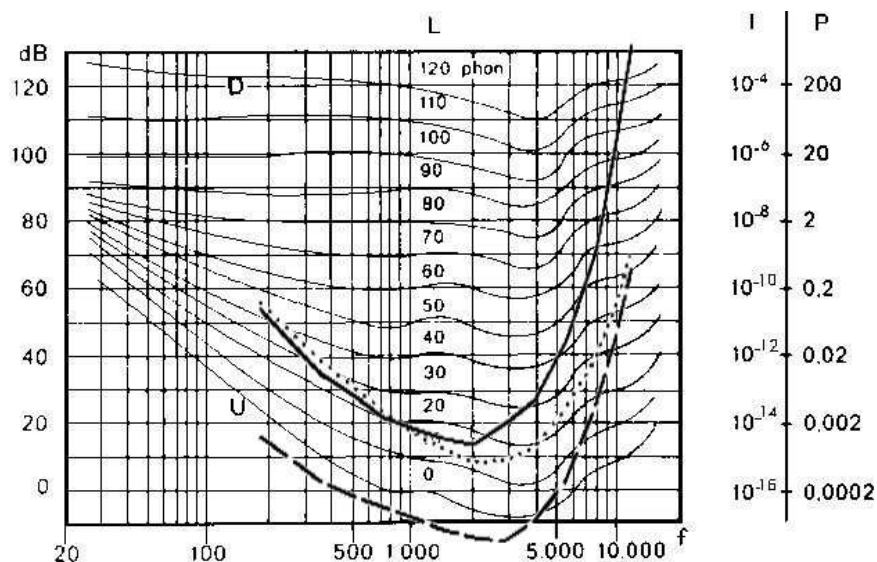


Figura 3 – Confronto tra sensibilità uditiva dell'uomo e dell'avifauna

### 2.3. Localizzazione dei suoni

Le dimensioni della testa degli uccelli sono troppo piccole per determinare un effetto di ombra acustica sulle onde sonore riflesse e la distanza tra le due orecchie rendono difficile la comparazione dei tempi di arrivo delle onde dirette. Nonostante ciò l'evidenza sperimentale mostra una considerevole abilità nella localizzazione dei suoni.

Ciò deriva dalla struttura fisica degli uccelli che sono dotati di una cavità che mette in comunicazione i tubi di Eustachio e che rende possibile la trasmissione interaurale dei suoni: i suoni che provengono ad un orecchio vengono trasmessi, con un certo ritardo, all'altro. Questo differenziale di pressione viene compensato dagli uccelli orientando la testa in direzione della provenienza del suono.

## 2.4. Spazio attivo e rapporto critico

La capacità di comunicare è limitata dalla distanza entro la quale un segnale può essere percepito da un ricevitore in presenza di un certo rumore di fondo: questa distanza viene definita “*spazio attivo*” di un segnale. L’attenuazione geometrica delle emissioni vocali dell’avifauna segue la legge sferica con un decremento di 6 dB per ogni raddoppio di distanza: un suono di 65 dB misurato a 10 m dall’uccello si riduce a 53 dB a 40 m di distanza. Le attività antropiche possono innalzare il rumore di fondo naturale ed essere causa di un riduzione dello spazio attivo, rendendo difficile o impossibile la percezione del segnale.

Il canto e i richiami dell’avifauna si attenuano naturalmente in funzione della distanza, della copertura vegetazionale arborea e arbustiva presente, delle condizioni meteorologiche: per la frequenza di 4 kHz tipica di molte specie la maggiore attenuazione si verifica quando l’umidità è bassa e la temperatura è alta (parte centrale della giornata). In termini di propagazione dei richiami sono avvantaggiate le specie che hanno delle coloriture tonali alle basse frequenze mentre sono sfavorite quelle in cui prevalgono tonalità alte.

La differenza, espressa in dB, tra un suono di interesse ed un suono di disturbo è definita rapporto segnale/rumore. Negli esperimenti di mascheramento si definisce *rapporto critico* il rapporto tra la potenza di un tono puro e il livello spettrale di potenza di un rumore in grado di mascherare (rendere non più udibile) il tono puro. La figura 4 mostra il rapporto critico di 14 specie di uccelli inclusi uccelli canterini, non canterini e predatori notturni: 10 specie di uccelli seguono approssimativamente un aumento di 2-3 dB/ottava nel rapporto segnale/rumore che è tipico dei mammiferi incluso l’uomo. In termini pratici queste curve descrivono il livello in dB oltre il livello spettrale del rumore di fondo che un tono puro deve avere per essere percepito.

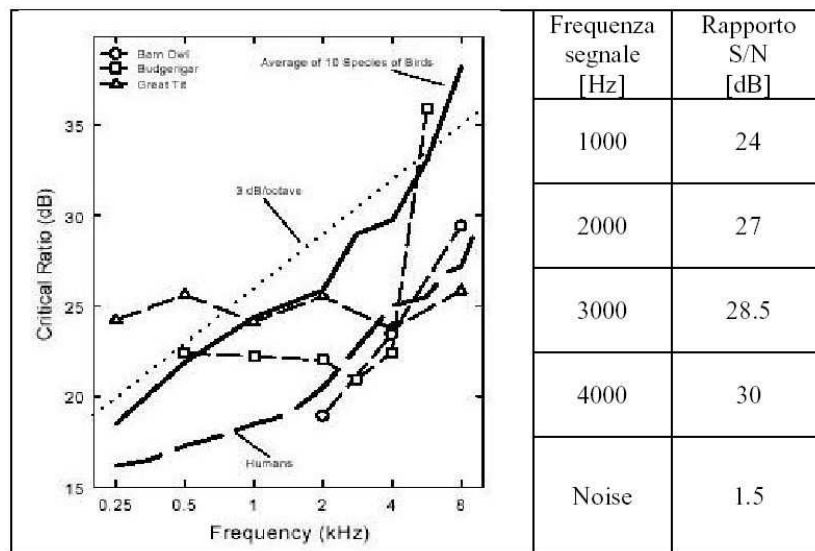


Figura 4 – Rapporto critico di 14 specie di uccelli [3]

Per l’uccello medio un tono puro a 3 kHz per essere percepito deve essere almeno 28 dB oltre il livello spettrale del rumore di fondo. Per l’uomo, lo stesso tono puro può essere sentito già a partire da 22 dB oltre il livello spettrale del rumore di fondo. Questa

differenza di 6 dB nella soglia di mascheramento è significativa se la si considera in termini di decremento di pressione sonora in funzione della distanza, perché corrisponde approssimativamente un raddoppio di distanza. In presenza dello stesso rumore di fondo un uomo può rilevare un suono al doppio della distanza rispetto ad un uccello.

La rilevabilità di un rumore da parte degli uccelli in presenza di rumore di fondo a banda larga, in base ad esperimenti, richiede che il rumore immesso sia di 1-1.5 dB superiore al fondo. Ancora una volta si dimostra la migliore abilità dell'uomo nel discriminare i suoni, essendo sufficiente all'uomo un livello superiore di 0.5 dB rispetto al rumore di fondo.

### 3. Casi applicativi

#### 3.1 Caso 1: sorvoli aerei nel Parco Naturale del Ticino

L'area naturale del Parco del Ticino è interessata dalle rotte di decollo e di atterraggio dell'Aeroporto Internazionale di Malpensa. Il Parco del Ticino, il primo parco regionale d'Italia, accoglie 107 specie di uccelli nidificanti e importanti rotte migratorie.

La Figura 5 mostra un campionamento temporale di 600" in short Leq [dB] svolto all'alba a circa 25 m dall'area boscata ospitante l'avifauna. Il decorso temporale contiene 6 sorvoli: la sequenza dei sorvoli mantiene questa cadenza negli intervalli orari di massimo traffico aereo che coincidono con le prime ore della mattina e il tardo pomeriggio, periodi in cui il canto degli uccelli nella stagione primaverile ed estiva è molto accentuato. L'impatto dei sorvoli potrebbe pertanto essere considerato, in assenza di altri elementi di valutazione, potenzialmente rilevante in termini di disturbo per l'avifauna.

Al contrario le evidenze di campo mostrano che gli uccelli continuano a cantare anche al passaggio degli aerei e non manifestano modificazioni di comportamento, come se il rumore aereo non venisse percepito. Non si verificano trasferimenti dell'avifauna in aree più silenziose: lo spazio attivo del segnale non viene sostanzialmente modificato.

Sempre in Figura 5, nella parte inferiore, vengono evidenziati gli spettri in lineare del rumore di fondo in presenza di canto di uccello1, con sorvolo e con sorvolo+uccello2 estratto dal decorso temporale della misura. Si può notare che il rumore dei propulsori degli aerei è dominato dalle basse frequenze, la maggioranza dei contributi sono relativi a frequenze minori di 1-2 kHz, lontane dalla massima sensibilità uditiva dei passeriformi.

L'impatto sul paesaggio sonoro di un aereo in fase di sorvolo consiste nell'innalzamento dei livelli di fondo in misura variabile tra 3 e 32 dB tra 50 Hz e 2.5 kHz, con valore massimo a 160 Hz. Sulle frequenze di massima sensibilità uditiva per l'avifauna (2-4 kHz) l'impatto è di 3-6 dB mentre risulta praticamente assente per frequenze superiori a 3 kHz.

L'effetto di mascheramento è inferiore a quello di un rumore a banda larga a parità di livello globale di pressione sonora: la maggiore porzione di energia è localizzata in "canali" più bassi di quelli occupati dal segnale. In sintesi:

- Il rumore determinato dai sorvoli è scarsamente avvertito dall'avifauna
- Il rapporto segnale/rumore delle frequenze di banda che caratterizzano la massima potenza del segnale (3,15÷6.3kHz) è solo parzialmente alterato.

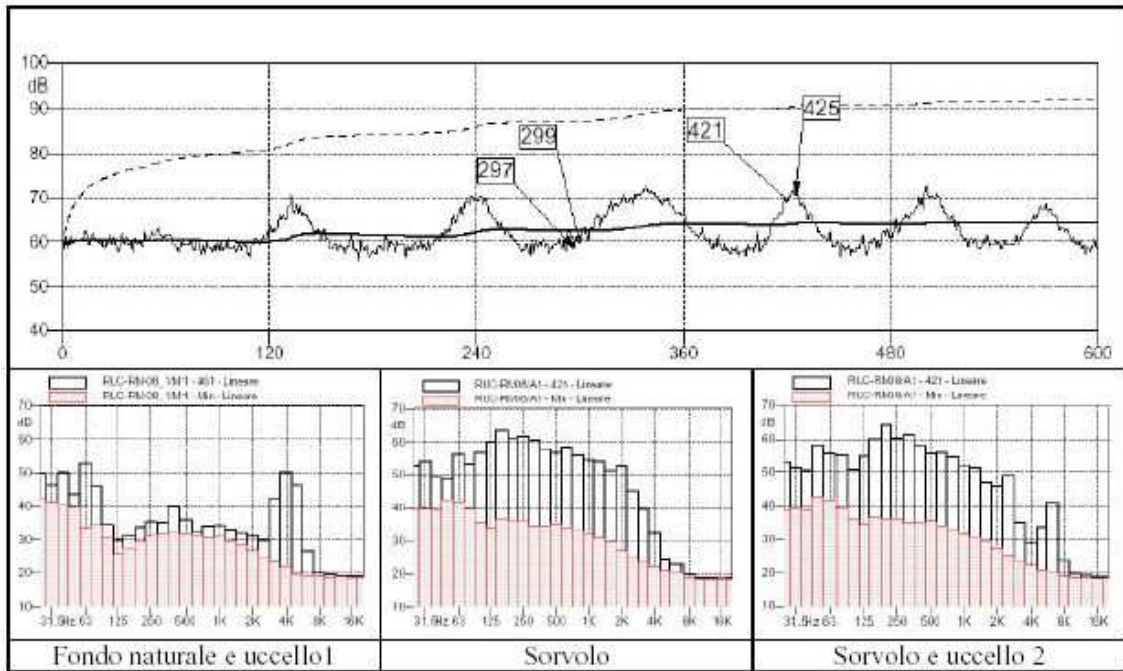


Figura 5 – Decorso temporale 600’’ in short Leq dei sorvoli e spettri caratteristici fondo naturale e uccello1, sorvolo, sorvolo e uccello 2

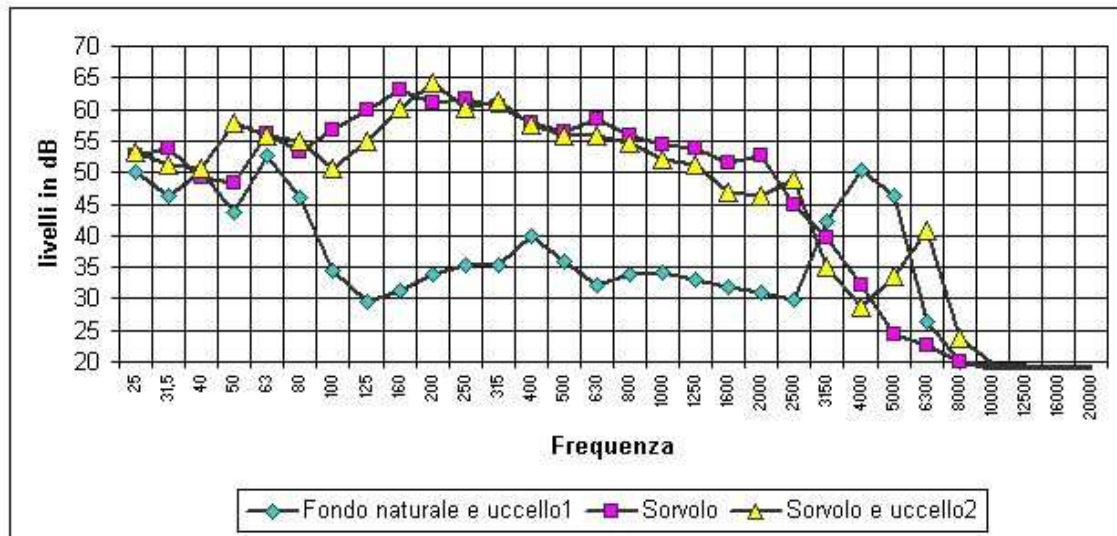


Figura 6 – Confronto spettri in dB relativi a fondo naturale e uccello1, sorvolo, sorvolo e uccello 2

### 3.2 Caso 2: attività di cantiere nel Parco Naturale del Ticino

L’attività antropica, limitata al periodo diurno, riguarda la costruzione di una linea ferroviaria nella zona di attraversamento del Parco Naturale del Ticino. La fascia boscata prossima al fronte avanzamento lavori risente delle attività di costruzione del rilevato

e viadotto ferroviario che richiedono l'uso continuo di macchine movimento terra, rulli compressori, dozer, gru, betoniere, ecc.

Le osservazioni di campo svolte in periodo primaverile e autunnale durante l'attività di cantiere hanno evidenziato l'assoluta assenza di segnali biotici entro la prima fascia di area boscata, di ampiezza 75-100 m dal fronte avanzamento lavori. Il ripopolamento aveva inizio solo in periodo pre-serale, al termine dell'attività lavorativa e proseguiva fino all'alba alla riapertura dei cantieri.

L'estrazione dal decorso temporale della misura degli spettri tipici in assenza e in presenza di attività di cantiere (figura 6) e il loro confronto (Figura 7) evidenzia che l'impatto sul paesaggio sonoro consiste nell'innalzamento dei livelli di fondo in misura variabile tra 4 e 14 dB tra 25 Hz e 6.3 kHz. Sulle frequenze di massima sensibilità uditiva per l'avifauna (2-4 kHz) l'impatto è di 10-14 dB.

Valori simili sono evidenziati dallo spettro dei livelli equivalenti. In termini uditivi umani i Leq in assenza/presenza di cantiere a 25 m dal tracciato ferroviario erano compresi tra 54-57/ 65-69dBA.

Considerando la legge di propagazione da sorgente puntiforme e una riduzione di 6 dB per ogni raddoppio di distanza, si può stimare che 12 dB di innalzamento del fondo determini una riduzione del 75% dello spazio attivo del segnale. I richiami hanno una bassa probabilità di essere sentiti e di avere successo in termini riproduttivi: i maschi si allontanano.

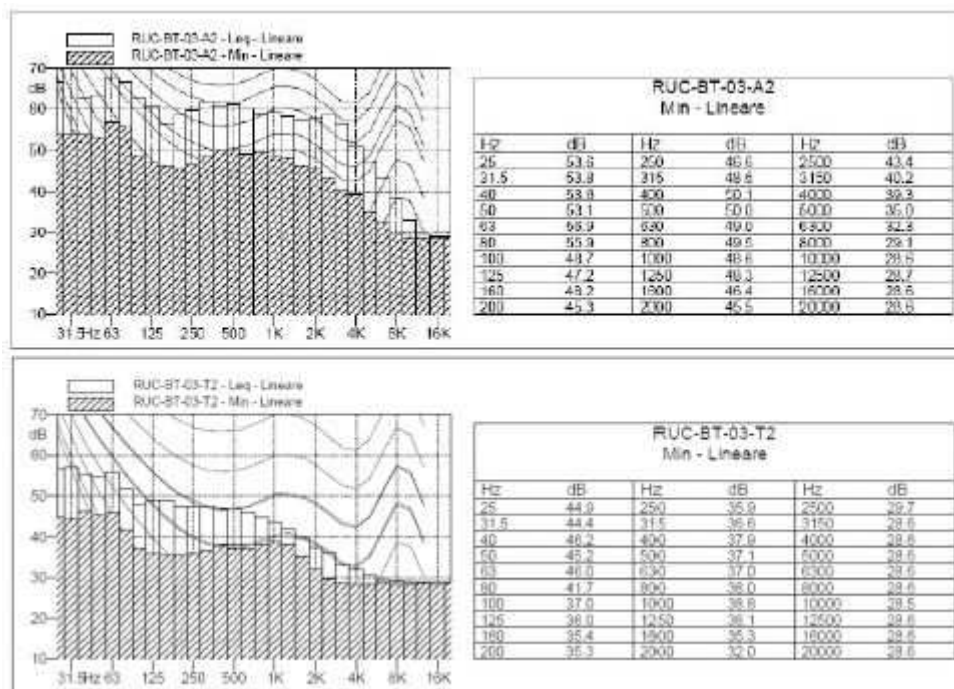


Figura 6 – Spettro dei minimi e del Leq in dB in presenza (in alto) e in assenza (in basso) di attività di cantiere



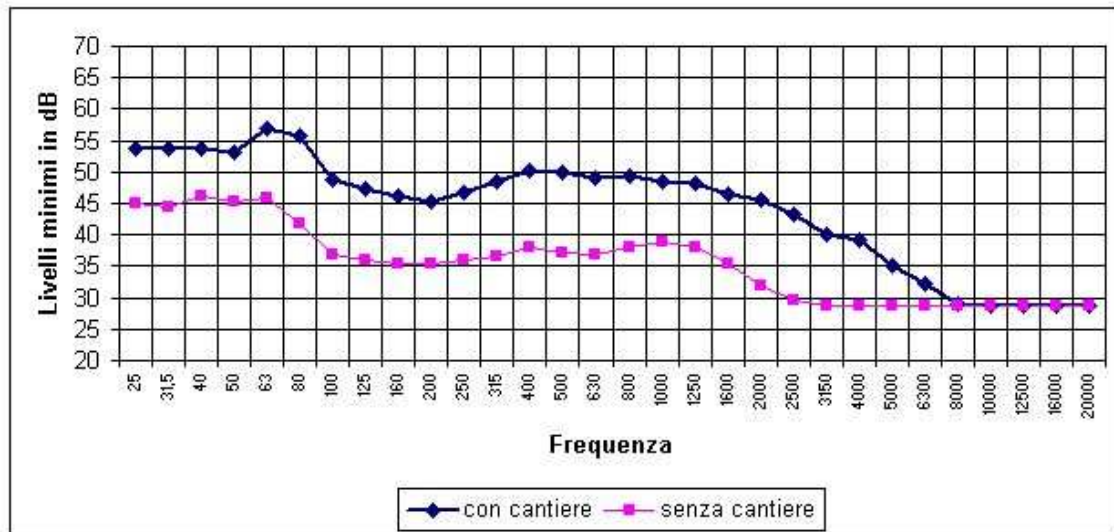


Figura 7 – Confronto tra spettro dei minimi in dB in presenza (in alto) e in assenza (in basso) di attività di cantiere

#### 4. Conclusioni

La convinzione di molti che gli uccelli sentano meglio alle alte frequenze e che abbiano un udito molto sensibile è falsa: mediamente gli uccelli sentono meno degli altri mammiferi e dell'uomo. Il confronto tra soglie uditive dell'uomo e dell'avifauna dimostra differenze sostanziali e il limite di una politica di tutela delle aree naturali basata su indicatori di rumore sintetici espressi in dBA.

L'azione di protezione deve essere focalizzata sulla "finestra" spettrale che caratterizza il sistema di comunicazione dell'avifauna, perlopiù compresa tra 1-2/6-8 kHz, e deve essere indirizzata alla conservazione di un rapporto segnale/rumore soddisfacente.

In termini temporali la massima attenzione deve essere posta agli intervalli orari in cui è massima l'attività di interazione vocale (cori). In periodo primaverile si manifesta all'alba (ore 4-6) e al tramonto (ore 20-22).

In base a quanto ad oggi noto si può affermare che sorgenti di rumore antropico ad alta o bassa frequenza (impianti di ventilazione, trasformatori, ecc.) non vengono percepite dall'avifauna. Quindi, a titolo di esempio, la presenza di impianti di ventilazione usati in fase di cantiere per la ventilazione delle gallerie e localizzati all'imbocco non sono un problema per l'avifauna.

Viceversa elevati livelli di rumore emessi con continuità determinano, in conseguenza della forte riduzione dello spazio attivo, l'abbandono del territorio da parte dei maschi residenti. Questo comportamento è stato constatato in prossimità dei fronti di avanzamento lavori di cantieri ferroviari e ai margini delle infrastrutture di trasporto stradali primarie. Vari studi bibliografici documentano la riduzione di densità delle specie in funzione del livello di rumore immesso dal traffico stradale: l'analisi di correlazione log-lineare di Poisson su dati sperimentali ha permesso di stabilire che in generale livelli

di rumore superiori a 50 dBA determinano una riduzione di densità delle specie residenti [4], [5], [6], [7].

Tanto più il rumore ha una caratteristica spettrale “centrata” sul segnale, quanto più aumenta l’impatto sull’avifauna. Rumori transienti caratterizzati da prevalenza di basse frequenze, come ad esempio quelli originati dai sorvoli aerei, non modificano significativamente lo “spazio attivo” e il rapporto critico. In effetti nessuna evidente alterazione di comportamento è stata notata, anche nelle ore di massimo traffico aereo e con frequenze di sorvoli molto intense.

Viceversa rumori transienti in grado di introdursi in modo più invasivo nello spazio uditivo dell’avifauna, e in particolare, nella regione di massima sensibilità compresa tra 2-3 kHz, possono risultare maggiormente disturbanti. Questo può essere il caso del rumore derivante da infrastrutture ferroviarie.

## Bibliografia

- [1] A.C.Bertetti, S.Garavoglia, M.Masoero, “Acustica Biocentrica: un nuovo percorso per la verifica di impatto acustico nelle aree naturali”, 31° Convegno Nazionale AIA 2004 Venezia
- [2] C.K.Catchpole, P.J.B.Slater, “Bird Song, biological themes and variations”, Cambridge University Press, 2003
- [3] R.Dooling, “Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines”, National Renewable Energy Laboratory, 2002
- [4] R.Reijnen, R.Foppen, G.Veenbaas, “Disturbance by traffic of breeding birds: evaluation of the effect and considerations” in planning and managing road corridors. *Biodiversity and Conservation* 6, 567-581, 1997
- [5] R.Reijnen, R.Foppen, H.Meeuwssen, “The effects of traffic on the density of breeding birds in dutch agricultural grasslands”. *Biological Conservation* 75 (1996) 255-260, 1995
- [6] F.D.Meunier, C.Verheyden, P.Jouventin, “Bird communities of highway verges: influence of adjacent habitat and roadside management”, *Acta Oecologica* 20 (1) 1-13, 1999
- [7] I.F. Spellerberg, “Ecological effects of roads and traffic: a literature review”, 1998