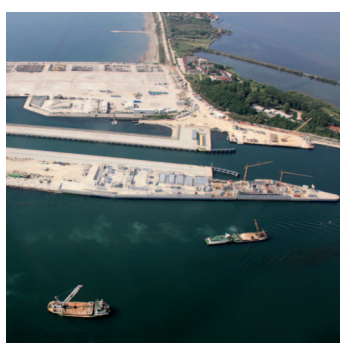
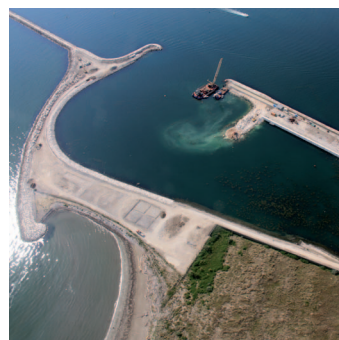
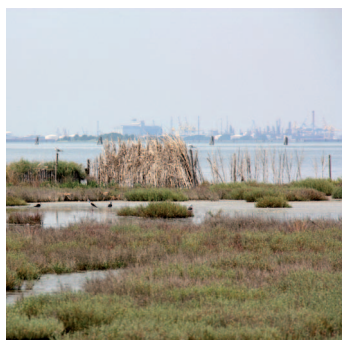


IL CONTROLLO AMBIENTALE DELLA COSTRUZIONE DEL MOSE

10 anni di monitoraggi
tra mare e laguna di Venezia
2004 - 2015



Editors

P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi



Questo volume riassume i principali risultati dei "Monitoraggi degli effetti dei cantieri prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari" condotti a partire dal 2004 nell'ambito degli Studi B.6.72 B/1 - B/11 del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto - Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle Acque di Venezia), affidati al Consorzio Venezia Nuova e sviluppati da CORILA.

Alta sorveglianza

Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto
- Trentino Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (già Magistrato alle
Acque)

Ufficio Salvaguardia di Venezia
*Giampietro Mayerle, Fabio Riva,
Valerio Volpe, Maria Adelaide Zito*

A cura di

CORILA
*Editors: Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà,
Paola Del Negro, Luigi Tosi*

Con i contributi specialistici di

CORILA
Pierpaolo Campostrini, Caterina Dabalà, Chiara Dall'Angelo
Dipartimento di Biologia, sezione di Etologia, Università di Pisa
Natale Emilio Baldaccini

Dipartimento di Georisorse e Territorio, Politecnico di Torino
Alessandro Casasso, Antonio Di Molfetta, Rajandrea Sethi

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale,
Università degli Studi di Padova (DICEA-UNIPD)
Giampaolo Di Silvio

Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara
*Renzo Cremonini, Patrizio Fausti, Maria Carmen Guerra,
Andrea Santoni, Giuliano Scalpelli Quiqueto,
Nicolò Zuccherini Martello*

Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica,
Università Ca' Foscari di Venezia (DAIS-UNIVE)
*Marco Anelli Monti, Francesco Cavarero, Francesca Coccon,
Piero Franzoi, Vyron Georgalas, Elisa Morabito, Fabio Pranovi,
Simone Redolfi Bristol, Giovanni Sburlino, Patrizia Torricelli,
Matteo Zucchetto*

Coordinamento generale

Consorzio Venezia Nuova
*Fabio Beraldin, Giovanni Cecconi, Claudia Cerasuolo,
Massimo Gambillara*

Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima,
Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR)
Franco Belosi, Daniela Cesari, Daniele Contini

Istituto di Scienze Marine, Consiglio Nazionale delle Ricerche
(ISMAR-CNR)
*Giuliano Lorenzetti, Giorgia Manfè, Marco Sigovini,
Davide Tagliapietra, Luca Zaggia*

Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali,
Consiglio Nazionale delle Ricerche (IDPA-CNR)
Andrea Gambaro

Museo di Storia Naturale di Venezia
Luca Mizzan, Marco Uliana, Cecilia Vianello

SELC soc. coop.
*Isabelle Cavalli, Emiliano Checchin, Daniele Curiel,
Daniele Mion, Chiara Miotto, Andrea Rismondo, Francesco Scarton*

Università IUAV di Venezia
Marco Della Puppa, Marco Mazzarino

*Francesco Barbieri, Elena Elvini, Leonardo Ghirelli,
Lorenzo Zanella*

© Copyright CORILA
Consorzio per il Coordinamento delle Ricerche
inerenti al sistema Lagunare di Venezia

S. Marco 2847, Palazzo Franchetti
30124 Venezia

Tel. +39-041.2402511 - pec: corila@pec.it

direzione@corila.it

www.corila.it

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution 4.0 International License.
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



*Tutti i rapporti relativi ai monitoraggi dei cantieri del MOSE sono
a disposizione al sito web www.monitoraggio.corila.it.*

*La presente relazione scientifica è parte delle attività finanziate
dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato
Interregionale per le Opere Pubbliche del Veneto - Trentino
Alto Adige - Friuli Venezia Giulia (PROVV.OO.PP.), già
Magistrato alle Acque di Venezia (MAG.ACQUE), tramite il
concessionario Consorzio Venezia Nuova (CVN).*

*Tutte le figure, salvo quelle di cui è indicata esplicitamente la
fonte, sono di proprietà di CORILA e degli autori.*

*Le affermazioni qui riportate sono di responsabilità degli autori
e non necessariamente sono condivise dal Provveditorato
o dal Concessionario.*



Il rumore prodotto dalle attività di cantiere durante la realizzazione del MOSE

Noise produced by the construction sites activities of the MOSE

Patrizio Fausti, Renzo Cremonini,
Maria Carmen Guerra, Giuliano Scalpelli Quiqueto,
Andrea Santoni, Nicolò Zuccherini Martello

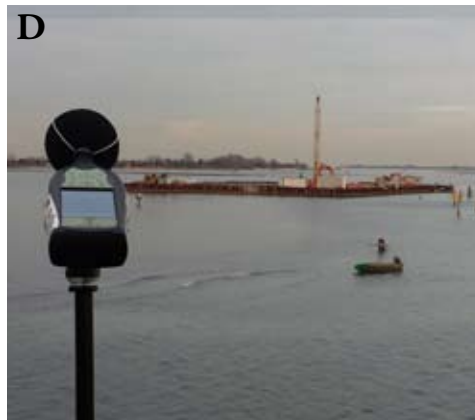
Introduzione

Il rumore prodotto dalle attività di cantiere è generalmente considerato come un'attività temporanea ed è regolamentato in maniera diversa da quello di altre sorgenti. Per i cantieri, la legislazione italiana prevede la possibilità di ottenere deroghe rispetto ai valori limite previsti per le situazioni consuete, con applicazione di vincoli specifici ai livelli sonori e alla loro durata. In alcune situazioni, in particolare per cantieri di lungo periodo e per aree molto estese, è difficile trovare procedure semplici per applicare le deroghe. Nei casi in cui le aree di cantiere siano vicine ad aree naturali protette, con possibile impatto sull'avifauna e altri animali, è auspicabile individuare altre procedure per garantire che i livelli sonori rimangano inferiori alle soglie potenzialmente critiche.

Nel caso della costruzione del sistema di barriere mobili per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna dalle acque alte, il rumore prodotto dai cantieri è una componente dell'impatto delle attività di costruzione che richiede un'accurata analisi. Tra le operazioni di cantiere necessarie per la realizzazione del MOSE che possono indurre un significativo inquinamento acustico si possono annoverare: battitura pali di consolidamento dei fondali, anche in considerazione del numero di pali battuti (circa 1500 per ogni canale di bocca); trivellazione orizzontale nei pressi dell'oasi di Alberoni, alla bocca di porto di Malamocco; dragaggio; preparazione di calcestruzzo, in particolare presso l'impianto di betonaggio di Ca' Roman, bocca di Chioggia; lavorazioni varie e di compattazione degli argini; movimentazione di materiali e pietrame nella piarda di Alberoni; realizzazione e successivo smantellamento dell'isolotto artificiale per l'esecuzione della teleguidata Lido-Arsenale, nei pressi del Forte Sant'Andrea (bocca di porto di Lido); circolazione di betoniere in ognuna delle bocche di porto, ecc.

Per questo motivo, nell'ambito del Piano di monitoraggio sono state inserite le misurazioni delle emissioni del rumore sia per valutare l'inquinamento acustico negli edifici residenziali situati in prossimità dei cantieri che per segnalare livelli sonori critici, così da ridurre il rischio di potenziali impatti sull'avifauna presente nelle aree naturalistiche circostanti, e mantenere un effetto sentinella nei confronti dei cantieri. Il monitoraggio del rumore ha avuto quindi i seguenti obiettivi:

- verifica dei livelli sonori giornalieri, confronto con i limiti consentiti dalla legislazione ed eventuale emissione dei Rapporti di Anomalia;
- valutazione della propagazione del rumore dei cantieri nelle aree circostanti per l'individuazione delle sorgenti specifiche responsabili dei superamenti delle soglie;
- verifica delle attività rumorose nella fascia oraria protetta relativa al periodo di nidificazione e riproduzione degli uccelli;



1. Postazioni di lungo periodo e per misure brevi.
 A) San Nicolò, postazione lungo periodo; B) San Nicolò, vista aree cantieri e postazione per misure brevi; C) Forte San Andrea, postazione lungo periodo; D) Forte San Andrea, vista isola provvisoria e postazione per misure brevi; E) Santa Maria del Mare, postazione lungo periodo; F) Santa Maria del Mare, vista Piarda di Alberoni e postazione per misure brevi; G) Ca' Roman, postazione lungo periodo; H) Ca' Roman, postazione per misure brevi.

- verifica dei livelli sonori su intervalli temporali brevi, per migliorare il processo di identificazione delle situazioni critiche che potrebbero creare disturbo all'avifauna o mascheramento del canto;
- indicazione delle possibili misure di mitigazione.

Nella fase iniziale del monitoraggio è stata effettuata la valutazione del clima acustico esistente nelle aree oggetto degli interventi in assenza di attività cantieristica ("stato zero") e, con l'inizio delle attività di costruzione delle barriere mobili del Sistema MOSE, a fine 2004 è stato avviato il monitoraggio vero e proprio delle emissioni di rumore. Esso è stato effettuato per lunghi periodi (minimo una settimana) con campionamento in continuo in concomitanza dello svolgimento delle attività di cantiere più rumorose. La battitura pali e la trivellazione orizzontale delle canalizzazioni di cavi sono due esempi di attività particolarmente impattanti (la prima per intensità e durata, la seconda per durata e vicinanza alle aree naturali protette) per le quali sono stati eseguiti monitoraggi ripetuti negli anni ed analisi dettagliate.

Oltre alle misure in continuo, le misurazioni di breve durata hanno permesso la creazione di un database di sonogrammi attraverso cui, durante gli anni di monitoraggio, è stato possibile riconoscere facilmente la maggior parte delle lavorazioni effettuate dai cantieri. Per far fronte alle incertezze nelle rilevazioni (nuove lavorazioni, di attività contemporanee, o di eventi estranei al cantiere che generano livelli sonori significativi) queste misurazioni sono state corredate con la registrazione dell'audio; la registrazione sonora permette anche di effettuare ulteriori analisi in post processing, che hanno contribuito per esempio a investigare più approfonditamente il fenomeno di mascheramento delle attività di cantiere sul canto dell'avifauna.

La trattazione delle pagine seguenti riporta dapprima una descrizione di materiali e metodi con una breve sintesi delle apparecchiature utilizzate, l'indicazione della metodica di analisi dei dati e la descrizione della procedura per la valutazione del possibile mascheramento del canto degli uccelli. Nella seconda parte si riportano alcune considerazioni sui risultati del monitoraggio ambientale del rumore e delle verifiche fatte, facendo riferimento ad alcuni casi e lavorazioni specifiche, alla caratterizzazione di sorgenti sonore e di interventi di mitigazione. In appendice sono stati riportati i riferimenti normativi e legislativi principali, a livello europeo e nazionale.

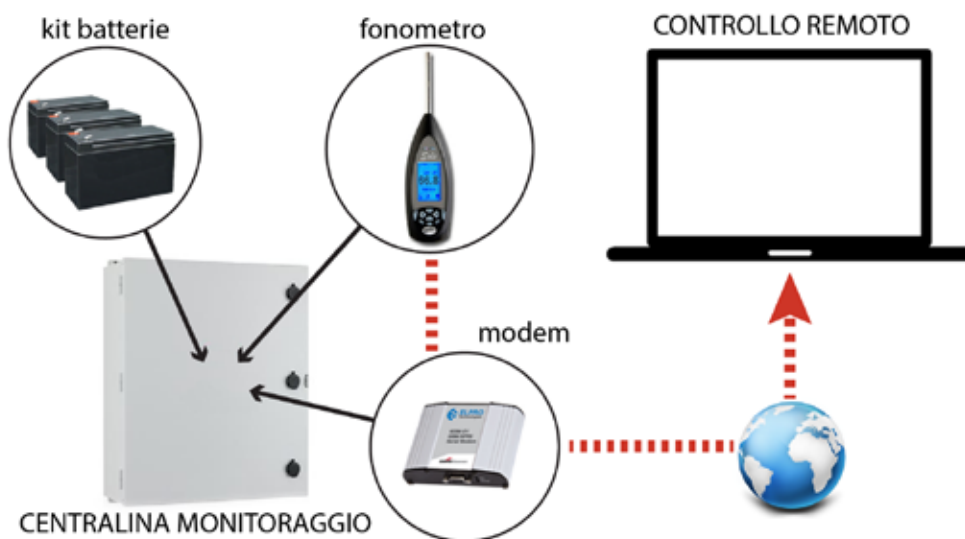
Materiali e metodi

Strumentazione di misura

L'acquisizione dei dati acustici è stata effettuata impiegando dei fonometri, strumenti per la misurazione dei livelli di pressione sonora e degli spettri, con l'espressione dei risultati nella scala dei decibel (dB). Il microfono rappresenta il trasduttore fonometrico in grado di convertire la pressione acustica in un segnale elettrico. Il microfono è collegato a un preamplificatore che adatta l'impedenza in uscita minimizzando le perdite di segnale.

Tali strumenti permettono di rilevare sia i livelli sonori istantanei (con le varie costanti di tempo fast, slow, impulse, ecc.) che i livelli sonori equivalenti, cioè basati su una media energetica in un intervallo di tempo. I livelli sonori equivalenti sono quelli che si utilizzano generalmente per il confronto con i limiti di legge (per la descrizione della normativa vigente, si veda APPENDICE – Quadro normativo e legislativo).

La strumentazione deve essere calibrata, con apposito calibratore acustico, prima dell'inizio e al termine di ogni misurazione. Inoltre è necessario tarare il sistema di misura



2. Schema della catena di misura allestita per i monitoraggi di lungo periodo.

ogni due anni presso un laboratorio accreditato.

Per monitorare la rumorosità del cantiere sono stati effettuati rilievi in continuo, in periodi che presentavano particolari criticità. Sin dalla prima campagna di misurazione, avvenuta alla fine del 2004, per intervenire tempestivamente al verificarsi di rumori eccedenti i limiti o altre anomalie della strumentazione, è stato implementato un sistema di monitoraggio con la possibilità di accedere da remoto alla *time history* del livello di pressione sonora misurato in tempo reale (figura 2).

L'unità di monitoraggio utilizzata per il cantiere del Sistema MOSE è costituita da un fonometro integratore collegato a un modem di trasmissione dati, entrambi alimentati da un kit di batterie al piombo che garantiscono un'autonomia fino a 2 settimane. Il tutto è inserito all'interno di un box in materiale plastico, adatto all'esposizione di eventi climatici e dotato di sistema di allacciamento a palo e un'asta di sostegno per unità microfonica da esterno (figura 2). Sono stati utilizzati fonometri integratori modello SOLO della 01dB, di classe I, con campionamento al secondo e analizzatore di spettro in bande di terzi di ottava. Il fonometro analizzatore è dotato di trasduttore microfonico da campo libero modello 212 della MCE e di unità per misure in ambiente esterno composta da uno schermo anti-vento e anti-pioggia e da un sistema para-uccelli. I dati misurati vengono trasmessi in tempo reale ad un server dedicato, attraverso il protocollo GPRS, utilizzando la rete GSM. È possibile accedere al server on line per visualizzare i profili temporali misurati in tempo reale oppure definendo *query* su specifici periodi (figura 3). È inoltre possibile scaricare i dati per una successiva elaborazione che permette di ottenere gli spettri sonori e i sonogrammi. Gli stessi dati vengono inviati dal sistema giornal-

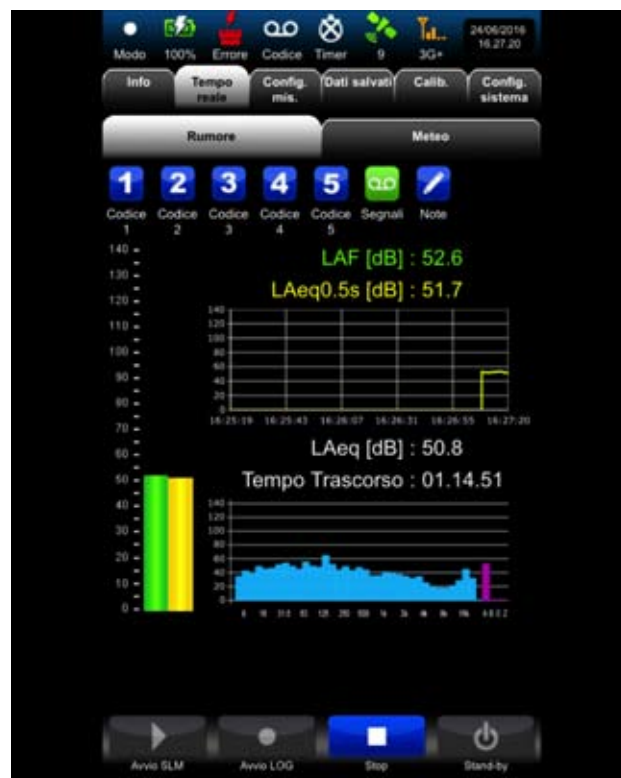


3. Esempio di visualizzazione da remoto della *time history* del livello di pressione sonora misurato da una centralina di monitoraggio in tempo reale.

mente a una serie di indirizzi e-mail predefiniti.

In affiancamento al monitoraggio in continuo sono state effettuate misurazioni di breve durata, generalmente tra i 15 e i 30 minuti, con lo scopo di individuare le caratteristiche della rumorosità indotta da certe lavorazioni di cantiere e successivamente essere in grado di riconoscere tali attività dai sonogrammi forniti dalle centrali di monitoraggio di lungo periodo. Nel caso delle misurazioni di breve durata, infatti, è sempre presente un operatore sul luogo di monitoraggio che può annotare ogni singolo evento che influenza i livelli di pressione misurati. Facendo affidamento solo ai dati accessibili da remoto, invece, può essere difficile associare in modo inequivocabile un sonogramma a una specifica attività. Per le misurazioni di breve durata è stato generalmente utilizzato un fonometro B&K modello 2250, in grado di acquisire tutti i parametri acustici necessari per eseguire qualsiasi tipo di analisi dei dati acustici e di eseguire contestualmente la registrazione audio del segnale.

Nell'ultimo periodo di monitoraggio è stato utilizzato anche un fonometro di ultima generazione, modello DUO della 01dB, che integra, all'interno della scocca protettiva, una centralina di monitoraggio completa. L'innovazione principale introdotta in questa nuova generazione di strumenti per il monitoraggio del rumore ambientale è rappresentata dai sistemi di connettività integrati nello strumento, che implementa 3G e Wi-Fi, permettendo un totale controllo dello strumento da remoto (figura 4). Utilizzando un computer, un tablet o uno smartphone, oltre alla visualizzazione in tempo reale dei parametri misurati è possibile controllare diverse funzioni, come l'accensione e lo spegnimento dello strumento, così come attivare o disattivare le diverse opzioni. Inoltre, quando la registrazione sonora è attiva, l'audio può essere ascoltato in tempo reale telefonando al numero della SIM inserita nello strumento. L'autonomia degli strumenti, grazie alle batterie integrate, è stata notevolmente migliorata, garantendo 50-60 ore di misurazioni. Tuttavia, in caso di monitoraggi più estesi, e in assenza di allaccio alla rete elettrica, è necessario utilizzare kit di batteria aggiuntivi che devono essere alloggiati all'interno di un apposito box per esterno.



4. Esempio di una delle schermate di controllo online di una stazione di monitoraggio integrata nel fonometro (modello DUO della 01dB).

Metodica di analisi dei dati

I risultati del monitoraggio di rumore hanno permesso di eseguire diversi tipi di verifiche ed elaborazione dei dati.

La prima verifica, eseguita per ogni giornata di monitoraggio, ha riguardato i livelli sonori nei periodi di riferimento diurni e notturni che sono stati confrontati con i limiti previsti dalla legislazione vigente (riportata in appendice). Nei casi di valori dei livelli sonori superiori a quelli previsti dalla legislazione, è stata fatta innanzitutto una analisi dei profili temporali e dei sonogrammi degli interi periodi rilevati per individuare gli eventi rumorosi principali (attività di cantiere intensa, eventuali passaggi di aerei o imbarcazioni rumorose, ecc.) e di eventuali fenomeni meteorologici con influenza sulla rumorosità misurata (vento, pioggia, mareggiate, ecc.). Allo scopo di valutare il contributo delle attività dei cantieri sui livelli sonori equivalenti dei periodi diurni e notturni, è stata quindi eseguita la separazione dei contributi delle attività di cantiere rispetto agli altri eventi e sono stati ricalcolati i livelli sonori determinati dalle sole attività di cantiere; questi ultimi sono stati confrontati con i limiti di legge. Le elaborazioni sono state eseguite per ciascuna giornata di monitoraggio e i risultati sono stati inseriti nelle schede giornaliere con i dati orari e nelle tabelle riepilogative dei valori dei periodi diurni e notturni, unitamente alle informazioni relative ai dati meteo.

Un altro tipo di verifica, correlata con la legislazione vigente, è stata quella del criterio differenziale (vedere APPENDICE). Questa verifica è stata eseguita occasionalmente e solo quando sono state eseguite misurazioni in prossimità di ricettori residenziali.

Una ulteriore verifica è stata l'elaborazione dei dati di rumorosità delle attività di cantiere eseguite negli intervalli di tempo stabiliti per la protezione del periodo di nidificazione e riproduzione degli uccelli (15 Aprile - 30 Giugno); sono state infatti previste delle fasce orarie, indicate alla Direzione Lavori, nelle quali dovevano essere sospese le attività rumorose. Tali fasce orarie sono state così ripartite: dalle 05:00 alle 09:00 nel periodo 15 - 30 Aprile; dalle 04:30 alle 08:30 per il periodo 1 - 31 Maggio; dalle 04:00 alle 08:00 per il periodo 1 - 30 Giugno.

È stata inoltre introdotta una specifica verifica per migliorare il processo di identificazione di situazioni critiche che potrebbero creare disturbo o impatto sugli uccelli. La procedura è stata strutturata in due fasi. Nella prima fase sono stati controllati e misurati i livelli di rumore dovuti al cantiere in intervalli di 30 minuti, calcolando il corrispondente livello in dB(A), per verificare l'eventuale superamento di un valore di soglia, pari a 60 dB (A), concordato con gli esperti dell'avifauna. La seconda fase è stata prevista per le sole situazioni di superamento del valore di soglia; in questi casi, lo spettro sonoro delle attività di cantiere che hanno determinato il superamento della soglia e lo spettro sonoro del canto degli uccelli sono stati confrontati, al fine di verificare i possibili effetti di mascheramento di intelligibilità del canto. Ulteriori dettagli sono riportati nel paragrafo successivo.

Procedura per la verifica del potenziale mascheramento del canto degli uccelli

Uno degli effetti più critici dell'elevata rumorosità è il mascheramento dei toni e la successiva riduzione dell'intelligibilità del messaggio sonoro tra gli uccelli. Eppure l'attuale normativa ambientale, sia italiana che europea, non prevede specifici riferimenti in merito ai fenomeni di disturbo arrecabili alle componenti faunistiche dell'ambiente; per le aree naturali, quali quelle delle Oasi di Alberoni e Ca' Roman, vengono generalmente adottati i limiti di Classe I proposti dal D.P.C.M. 14/11/97, pari a 50 dB(A) nel periodo diurno e 40 dB(A) nel periodo notturno (limiti di immissione) e 45 dB(A) nel pe-

riodo diurno e 35 dB(A) nel periodo notturno (limiti di emissione) ma non vi è alcuna relazione comprovata che tali limiti possano essere effettivamente adeguati per l'avifauna presente.

Non essendoci dei veri limiti normativi, allo scopo di poter dare un'indicazione dell'impatto antropico sull'integrità sonora delle aree protette, la WHO (World Health Organization, 1999) nella "Guidelines for Community Noise" raccomanda un valore basso del parametro R, definito dal rapporto "soundscape/noise"

$$R = 20 \log(\text{noise/soundscape})$$

R rappresenta il rapporto tra le immissioni di rumore all'interno di un'area protetta ed il rumore di fondo. Tale parametro indica che un ambiente naturale indisturbato, lontano da qualunque manifestazione sonora di origine antropica, è sicuramente integro; ma la stessa cosa si può dire di un ambiente naturale in cui la presenza antropica assume caratteri storici formando così una componente stabile del paesaggio sonoro. Questo implica che l'habitat tipico di una determinata specie avicola potrebbe diventare anche quello in cui un rumore di origine antropica è una presenza costante (Berretti *et al.*, 2004). È il caso del rumore continuo prodotto dal traffico a ridosso di ambienti naturali, in cui possono verificarsi fenomeni di adattamento degli habitat presenti; d'altra parte, l'effetto del rumore generato dal traffico nel tempo può sicuramente essere meno dannoso dei danni che si possono arrecare invece durante la fase cantieristica di costruzioni delle strade stesse. Questo perché, mentre la presenza continua del rumore tipico da traffico stradale può comunque diventare un disturbo a cui abituarsi, l'attività cantieristica, connotata da rumore maggiore rispetto a quello stradale e spesso di natura impattiva e vibratoria, può non creare le stesse condizioni di adattamento.

Uno degli effetti più critici dell'elevata rumorosità è il mascheramento dei toni, che determina riduzione dell'intelligibilità del messaggio sonoro tra gli uccelli. Tale fenomeno dipende da numerosi fattori, tra cui:

- caratteristiche della sorgente;
- tipo ed intensità del segnale emesso dall'uccello;
- distanze d'influenza.

La distanza d'influenza dipende in primo luogo dall'attenuazione dovuta alla distanza (pari in campo libero a 6 dB per ogni raddoppio della distanza); oltre a ciò, si può avere un eccesso di attenuazione sonora dovuto alla fonoassorbimento della vegetazione, e in funzione dell'umidità e della temperatura dell'aria.

Per una corretta valutazione del potenziale mascheramento del canto degli uccelli a causa del rumore prodotto dalle attività di cantiere, a partire dal 2011 sono state adottate delle procedure valutative specifiche, allo scopo di migliorare il metodo di identificazione delle criticità che potrebbero creare eventuale disturbo o impatto sulla comunicazione tra uccelli. Questi criteri, però, non permettono di quantificare direttamente l'impatto del rumore sull'avifauna, cioè non correlano direttamente la rumorosità delle attività di cantiere e i dati di abbondanza e distribuzione delle singole specie target.

Nella procedura specifica per l'avifauna, fermo restando la validità dei limiti di legge previsti in base alla classificazione acustica del territorio (cfr APPENDICE "Quadro normativo e legislativo"), sono state sviluppate in maniera più dettagliata le analisi temporali e spettrali, impostando le seguenti due fasi di verifica::

- fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali specifici, di 30 minuti, calcolando il corrispondente livello equivalente in dB(A) e confrontando il valore ottenuto con valori di soglia;
- fase 2: confronto tra lo spettro sonoro delle attività di cantiere e lo spettro sonoro del

canto degli uccelli. Questo confronto può essere eseguito sia sugli spettri in terzi di ottava ottenuti dalle apparecchiature normalmente utilizzate per il monitoraggio, sia utilizzando eventuali registrazioni audio.

Fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali specifici

Sulla base di considerazioni qualitative è stato individuato, in collaborazione con gli esperti dell'avifauna del Piano di monitoraggio, l'intervallo di 30 minuti come quell'intervallo per il quale la persistenza di un livello sonoro elevato può determinare una effettiva interferenza per l'intelligibilità del canto tra gli uccelli; si ritiene che eventi sonori di durata inferiore a 30 minuti non vadano a modificare sostanzialmente il meccanismo di scambio delle informazioni tra gli animali. Ovviamente rumori di breve durata ma di elevati livelli sonori, come i rumori impulsivi, possono determinare altri effetti di disturbo, ma non comportano un persistente mascheramento del segnale sonoro.

Il valore di soglia del livello complessivo in dB(A), da utilizzare in presenza di una sorgente sonora di durata pari ad almeno 30 minuti, dovrebbe tenere conto di diversi fattori come il rumore di fondo, le specie di uccelli, la distanza reciproca, l'attenuazione sonora del canto determinata da vegetazione, terreno, ostacoli, ecc. Per quanto riguarda le diverse specie di uccelli si deve considerare la diversa potenza sonora del canto, la posizione del canto (da terra, dagli alberi e in volo), l'area di influenza e altri fattori. In considerazione di tutti questi aspetti la scelta di un valore di soglia non può essere che approssimata. Per questo motivo il superamento di un eventuale valore di soglia del livello complessivo in dB(A) è utilizzato solo per individuare potenziali situazioni critiche per l'avifauna.

Per individuare un valore di soglia appropriato per questo scopo si riportano alcune considerazioni preliminari basate sul significato di alcuni livelli sonori di riferimento.

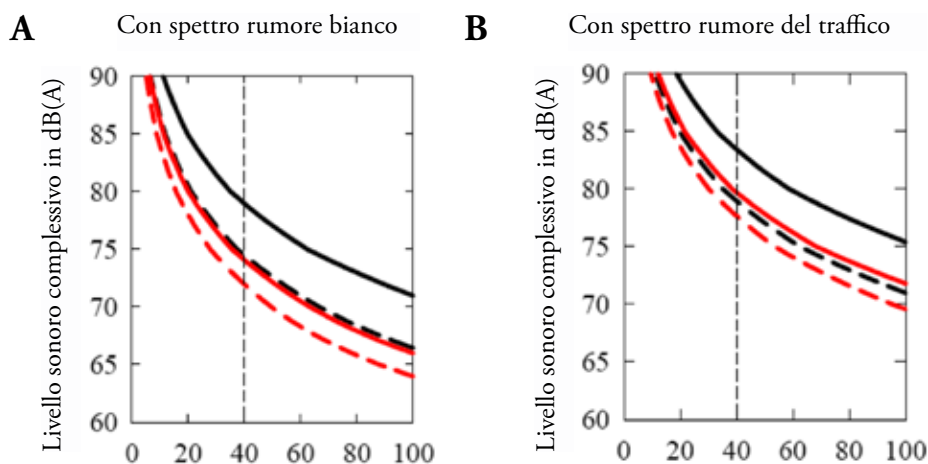
Come prima considerazione si riporta il seguente esempio: un valore del livello sonoro di 50 dB(A) ottenuto mediando energeticamente su 16 ore è equivalente ad un livello sonoro di 65 dB(A) ottenuto mediando su 30 minuti quando nelle restanti 15 ore e 30 minuti il rumore è trascurabile. Questo significa che il valore di soglia di 65 dB(A) su 30 minuti è un valore massimo che, in caso di superamento, determina anche il superamento del valore limite di immissione di 50 dB(A), che, si ricorda, è utilizzato come soglia dalla legislazione vigente per le aree protette collocate in Classe I. Inoltre, sulla base della stessa considerazione si può osservare che il valore di soglia di 60 dB(A) su 30 minuti determinato da una specifica sorgente, in caso di superamento, determina anche il superamento del valore limite giornaliero di emissione di una specifica sorgente di rumore, pari a 45 dB(A).

Una ulteriore considerazione riguarda il rumore residuo presente nelle aree SIC (Siti di Importanza Comunitaria ai sensi della Direttiva 92/43/CEE) in assenza di attività di cantiere. Sulla base delle attività di monitoraggio pluriennale si è visto che il rumore residuo è variabile mediamente tra 40 e 45 dB(A) durante il periodo notturno e tra 45 e 50 dB(A) durante il periodo diurno.

Si deve pertanto assumere il valore di 50 dB(A) come valore della rumorosità delle attività di cantiere che non determina impatti aggiuntivi rispetto alle attività antropiche presenti nell'area, visto che questo valore viene frequentemente raggiunto anche in assenza di attività di cantiere.

Per individuare valori di soglia appropriati per il monitoraggio del rumore prodotto dai cantieri MOSE, oltre alle considerazioni preliminari sopra esposte che determinano il campo di livelli sonori nel quale individuare le soglie specifiche, sono stati utilizzati dati di letteratura che correlano la massima distanza di comunicazione efficace tra gli uccelli ed il livello complessivo in dB(A). Nei grafici di figura 5 (Lohr *et al.*, 2003) sono ripor-

5. Distanze massime teoriche di comunicazione (linea continua: soglie di rilevamento; linea tratteggiata: soglie di discriminazione) per pappagallini (linee nere) e alcune specie di fringuelli (linee rosse), con rumore bianco (spettro piatto, A) e rumore da traffico (B). La linea tratteggiata verticale rappresenta la distanza tipica di influenza (40 metri) per molte specie di passeriformi (Lohr *et al.*, 2003).



tati due esempi delle correlazioni qui utilizzate, effettuate per due specie di uccelli (pappagallini e fringuelli) con due diversi tipi di rumore ambientale.

Nei grafici si può osservare come, per le due specie di uccelli citate, per le quali è stato rilevato un livello sonoro del canto piuttosto elevato, livelli di rumore ambientale anche superiori a 60 dB(A) non interferiscano con la comunicazione per distanze fino a 100 metri ed oltre.

Tali grafici, essendo riferiti solo a due specie di avifauna, non possono essere generalizzati per tutte le altre specie. I valori riportati permettono però di poter assumere il valore di 60 dB(A) come idoneo alla discriminazione del canto, per molti contesti e molte specie anche se dotate di potenza sonora del canto inferiore a quella delle due specie considerate nello studio suddetto.

Nel caso dei cantieri del MOSE, il rumore descritto come spettro piatto da Lohr *et al.* (stessa energia per ciascuna frequenza) può essere rappresentativo di rumori tipo vibroinfissione pali o palancole, mentre il rumore da traffico, con maggiori componenti a bassa frequenza, risulta simile a quello prodotto da escavatori, draghe o apparecchiature a motore.

Sulla base delle considerazioni su esposte è stato pertanto assunta come soglia per il livello complessivo, in dB(A), in presenza di una o più sorgenti sonore relative all'attività di cantiere di durata pari ad almeno 30 minuti, il valore di 60 dB(A).

Il superamento di tale soglia a causa delle attività di cantiere è stato considerato come situazione critica, ed ha portato alla esecuzione delle analisi ed elaborazioni descritte nella successiva fase 2.

Fase 2: analisi in frequenza e confronto tra gli spettri delle attività di cantiere e del canto degli uccelli

Il canto degli uccelli si può manifestare in un campo di frequenza che va solitamente da 1000 a 10000 Hz. La maggior parte delle attività di cantiere ha invece uno spettro molto più ricco alle frequenze medio-basse, soprattutto per la presenza di motori o ventole. A parità di livello sonoro complessivo, i due spettri potrebbero essere completamente diversi e quindi il mascheramento del canto potrebbe essere trascurabile.

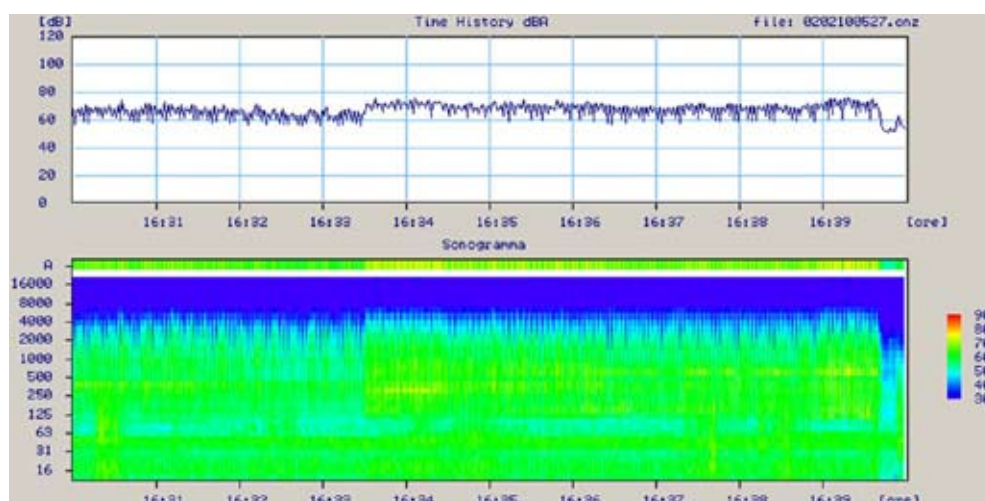
Per determinare un potenziale effetto di mascheramento dei toni, determinato sia da interferenze in termini di frequenza che da sovrapposizioni in termini di livelli sonori, si sono analizzati e confrontati gli spettri sonori e i profili temporali del canto degli uccelli e delle specifiche attività di cantiere.

La procedura proposta tiene anche in considerazione le indicazioni utilizzate in letteratura in situazioni analoghe (Dooling and Popper, 2007).

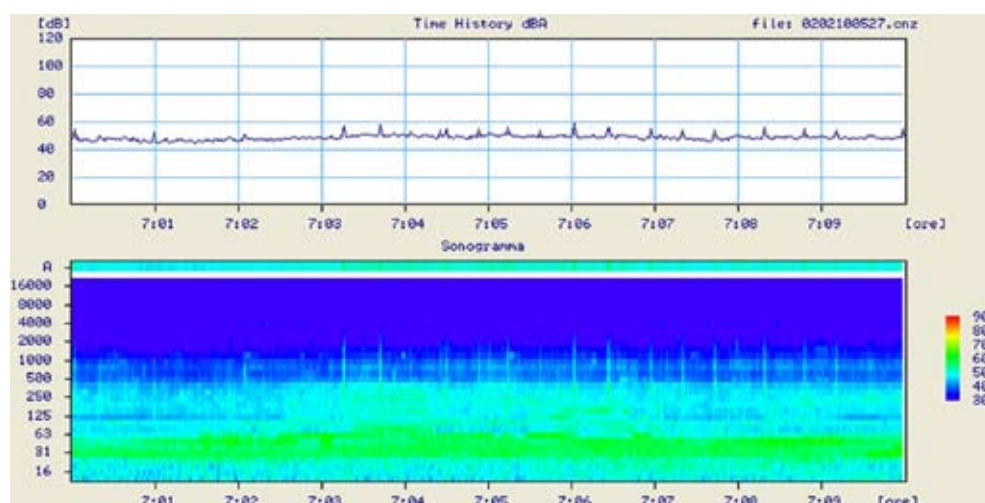
Risultati

Il monitoraggio acustico condotto durante il susseguirsi delle varie attività nei cantieri del MOSE ha dato indicazioni fondamentali per una programmazione delle lavorazioni più rumorose, mirata alla limitazione delle criticità relative agli orari e ai siti sensibili, con riferimento sia ai ricettori residenziali che alla salvaguardia dell'avifauna.

Complessivamente sono state eseguite misurazioni di lungo periodo in 38 diverse postazioni, di cui 8 per la valutazione ante operam e 30 per il monitoraggio delle varie attività di cantiere. La maggior parte di queste postazioni sono state utilizzate solo nei primi anni, per una valutazione della propagazione del rumore nelle aree circostanti ai cantieri, mentre alcune, considerate maggiormente significative, sono state usate come riferimento permanente per i dieci anni del monitoraggio, anche per una valutazione dell'andamento dei livelli sonori nel tempo. Di queste 38 postazioni di misura, 20 sono ubicate nell'area della bocca di Lido (Punta Sabbioni, San Nicolò e Baccan), 10 nella bocca di Malamocco (Alberoni, Santa Maria del Mare e San Pietro in Volta) e 8 nella bocca di Chioggia (Ca' Roman e Sottomarina). Complessivamente sono state eseguite circa 1900 giornate di monitoraggio da novembre 2004 ad aprile 2015, inviando circa 50 Rapporti di Anomalia relativi a circa 150 giornate in cui si sono verificati soprattutto superamenti di limiti assoluti di immissione diurni oppure lavorazioni rumorose nella fascia mat-

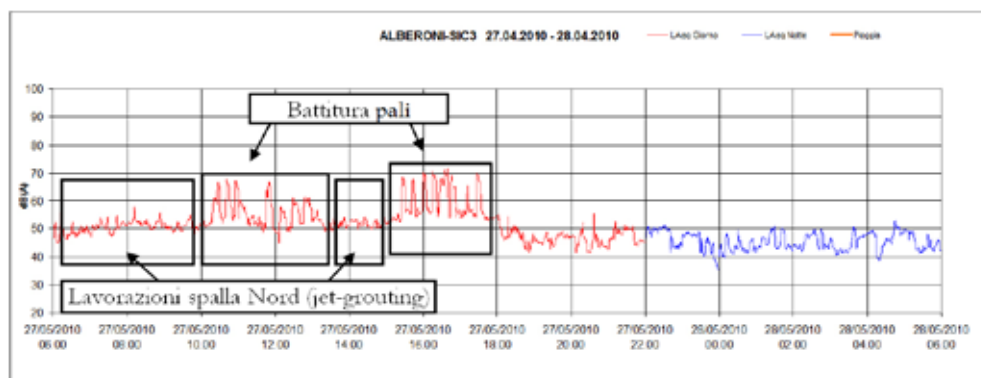


6. Profilo temporale e sonogramma rilevati in data 27 maggio 2010, estratto di 10 minuti relativo all'operazione di battitura pali.



7. Profilo temporale e sonogramma rilevati in data 27 maggio 2010, estratto di 10 minuti relativo al rumore prodotto da una fase del jet-grouting.

8. Profilo temporale tipo dei livelli al minuto con gli eventi più significativi, postazione ALBERONI-SIC3, giornata del 27 maggio 2010, bocca di porto di Malamocco.



tutina di sospensione per la protezione dell'avifauna (Campostrini e Dabalà, in questo volume, 2017).

Tra tutte le misurazioni effettuate durante le lavorazioni, quelle più impattanti in termini di rumorosità sono state la battitura dei pali, la vibro-infissione delle palancole, le movimentazioni del pietrame e la realizzazione dei diaframmi plastici. La criticità non è dipesa soltanto dalla potenza sonora generata dai macchinari ma anche dalla distanza tra le sorgenti di rumore e le aree o i ricettori sensibili dove venivano collocate le centraline di monitoraggio.

In alcune occasioni, in concomitanza con la rilevazione del rumore prodotto dai cantieri, si sono verificati degli eventi non attinenti alle specifiche lavorazioni che hanno determinato una rumorosità elevata nelle postazioni di misura. Si tratta, ad esempio, dell'entrata in funzione dei nautofoni in giornate particolarmente nebbiose, presenti nella bocca di Chioggia e nella bocca di Malamocco, le esercitazioni dei vigili del fuoco nei pressi dell'aeroporto Nicelli a San Nicolò, alcuni eventi sportivi o turistici, ecc.

Nelle figure 6 e 7 si riportano alcuni esempi di sonogrammi, mentre in Figura 8 si riporta un report giornaliero tipico, con gli eventi che hanno caratterizzato in maniera più significativa la giornata di riferimento, nel caso specifico battitura pali e jet-grouting, presso il lato nord della bocca di porto di Malamocco.

Caratterizzazione dell'attività di setacciatura a Punta Sabbioni, in vicinanza di un ricettore residenziale

L'attività di setacciatura, rilevata in maniera persistente in quasi tutte le giornate di monitoraggio tra il 15 e il 25 febbraio 2011 (figura 9) presso il lato nord della bocca di porto d Lido, veniva eseguita scuotendo la benna dell'escavatore. Questo generava rumori impulsivi ripetuti.



9. Postazione di misura breve (A) e particolare dell'attività di setacciatura (B) presso Punta Sabbioni.



10. Individuazione della postazione di misura breve di fronte ai ricettori residenziali e dell'attività di setacciatura a Punta Sabbioni.

Nella postazione di monitoraggio denominata SABBIO1 (figura 10) la rumorosità dovuta a questa attività era risultata facilmente percepibile ma di intensità piuttosto limitata (livelli inferiori a 50 dB(A)), data la distanza di circa 250 m dall'escavatore. Per questo motivo il 25 febbraio era stata effettuata una misurazione di breve durata (circa 10 minuti) con acquisizione del segnale audio di fronte alla residenza più vicina a tale attività (figura 10). La distanza tra la postazione di misura e l'attività era di circa 40 m, mentre tra la postazione di misura e il ricettore residenziale più vicino era di circa 20 m.

In figura 11 è riportato il profilo temporale della misurazione di breve durata, con indicate le fasi di setacciatura e il passaggio dei veicoli nella strada antistante e, in figura 12, un sonogramma ricavato dal segnale audio e riferito a circa 2 minuti di misura. Riguardo a questo sonogramma, l'acquisizione di dati audio era stata effettuata utilizzando una frequenza di campionamento di 24 kHz, che aveva permesso di rilevare valori fino a 10 kHz; i segnali audio registrati erano stati elaborati in modo da ottenere dei sonogrammi caratterizzati da una risoluzione temporale e in frequenza più fitta rispetto ai sonogrammi rilevati dalle centraline di lungo periodo; le centraline di lungo periodo infatti rilevano uno spettro in terzi di ottava, mentre il sonogramma calcolato per la misura breve ha una risoluzione in frequenza costante pari a 11.7 Hz.

Dal profilo temporale era risultato che l'attività di setacciatura, epurata da eventi estranei come il passaggio di automobili, era caratterizzata da un livello equivalente compreso tra 65 e 67 dB(A). Il livello di rumore residuo, cioè in assenza di attività, rilevato poco prima delle 10:19:00, si attestava invece sui 45 dB(A).

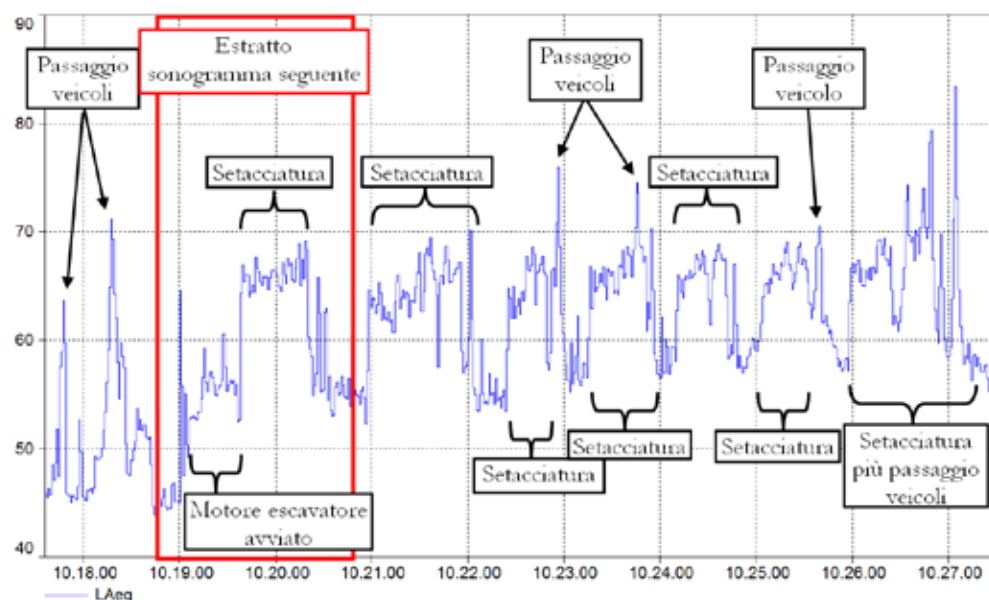
Inoltre, l'attività di setacciatura era caratterizzata da rumori impulsivi con frequenze comprese tra 500 e 4000 Hz, dovuti al movimento delle parti meccaniche della benna. Era presente anche un forte rumore a bassa frequenza, dovuto al funzionamento del motore dell'escavatore.

La misurazione di breve durata aveva evidenziato che l'attività di setacciatura effettuata nel cantiere di Punta Sabbioni era tale da arrecare disturbo alle residenze più vicine. Dal punto di vista legislativo, inoltre, tale attività determinava sicuramente il superamento del limite differenziale all'interno dei ricettori residenziali, pari a 5 dB(A) di giorno e 3 dB(A) di notte (vedere APPENDICE).

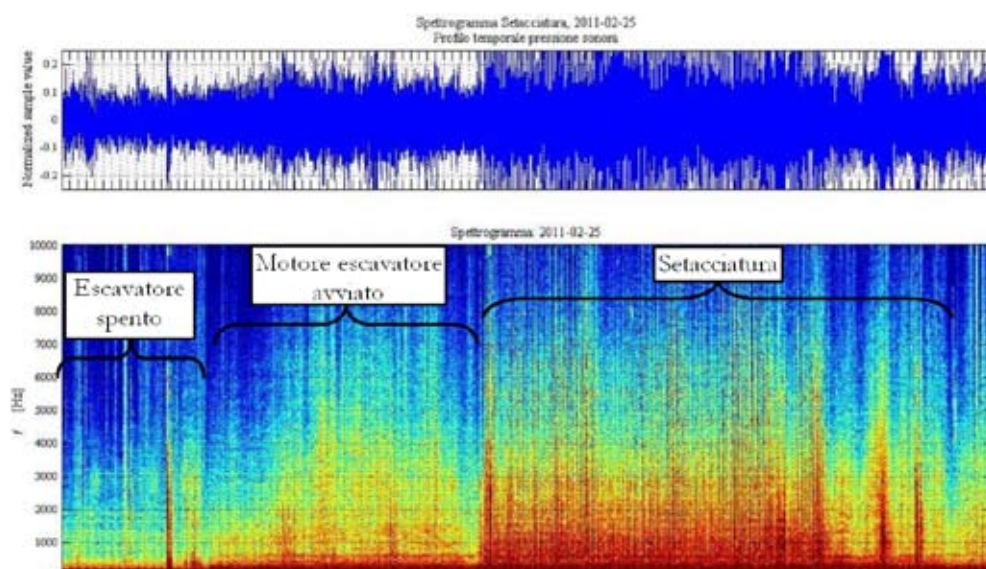
Per questi motivi era stato consigliato di trovare soluzioni meno rumorose per effettuare tale attività o prevedere interventi di schermatura. In alternativa era stato proposto di spostare l'attività in aree meno problematiche, lontane da ricettori residenziali o da aree SIC.

A partire dal mese di aprile l'attività di setacciatura era stata effettivamente spostata sulla piarda di Alberoni, presso la bocca di porto di Malamocco. Nonostante nell'area fosse

11. Profilo temporale al secondo della misura breve eseguita il 25 febbraio 2011 a Punta Sabbioni, con evidenziato il periodo relativo al sonogramma seguente (figura 12) e con indicate le attività di setacciatura e il passaggio di veicoli di fronte allo strumento.



12. Sonogramma e profilo temporale della durata di 2 minuti registrati il 25 febbraio 2011 tra le 10:18:48 e le 10:20:48 nella postazione di misura breve a Punta Sabbioni, relativi all'attività di setacciatura.



presente un ricettore sensibile, cioè la casa di riposo di S. Maria del Mare, e un'oasi protetta, ad Alberoni, la rumorosità di tale attività era stata rilevata con livelli estremamente bassi e tali da non arrecare disturbo nelle due aree citate, sia per la distanza elevata verso la casa di riposo (oltre 400 m) che per la protezione acustica svolta dai cumuli di pietra-me verso l'oasi.

Valutazione del possibile mascheramento sull'avifauna

Il periodo di monitoraggio 26-29 aprile 2010 (figura 13), in presenza di attività di battitura pali, era finalizzato ad ottenere un riscontro della rumorosità per l'avifauna: erano stati analizzati e confrontati gli spettri sonori e i profili temporali del canto degli uccelli e delle attività di cantiere per determinare un potenziale effetto di mascheramento dei toni, determinato sia da interferenze in termini di frequenza che da sovrapposizioni in termini di livelli sonori.



13. Individuazione della postazione di misura ALBERONI-SIC3 e delle zone in cui sono presenti le attività di cantiere, alla bocca di porto di Malamocco.

La battitura di ciascun palo aveva una durata variabile da 5 a 8 minuti; tra due battiture consecutive intercorrevano circa 10-20 minuti. Per la battitura pali era stato impiegato un dispositivo con due gru battipalo posizionate rispettivamente su un carrello che corre su binari che percorrono i lati lunghi del motopontone (figura 14). Ogni gru battipalo era in grado di infiggere fino a 14 pali in un giorno, pertanto durante una giornata lavorativa potevano essere battuti fino a 28 pali. Considerando un numero di 28 pali battuti in un giorno per una durata media di 7 minuti l'uno, si era osservato che l'attività di battitura poteva occupare al massimo il 20% del periodo diurno.

Per ogni giornata di misura erano stati analizzati i profili temporali al minuto (fase 1: controllo dei livelli sonori su intervalli temporali di 30 minuti) ed erano stati individuati gli intervalli di tempo di 30 minuti in cui le attività di cantiere avevano comportato un superamento del livello equivalente di soglia, pari a 60 dB(A).

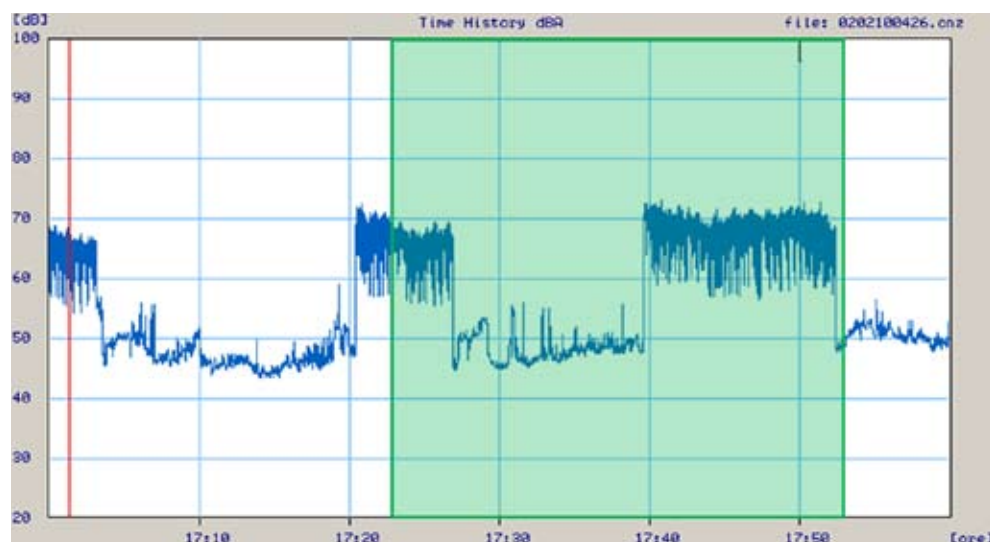
Nel periodo considerato, il livello soglia di 60 dB(A) su 30 minuti era stato frequentemente superato anche con livelli molto elevati, fino a circa 69 dB(A). A titolo di esempio si riporta, in figura 15, un intervallo di tempo con livello sonoro superiore a 60 dB(A) ed un sonogramma (figura 16) riferito ad un estratto di 10 minuti dove si può già osservare che il campo delle frequenze del canto degli uccelli rilevato in questo caso ha componenti in frequenza che vengono chiaramente schermate dallo spettro dell'attività di cantiere considerata.

Successivamente (fase 2: analisi in frequenza e confronto tra spettro attività di cantiere e canto degli uccelli) erano state analizzate le diverse tipologie di canto degli uccelli rilevate durante il periodo considerato, al fine di confrontarle con lo spettro dell'attività di battitura pali che determinava il superamento del livello soglia su 30 minuti. Nelle fi-



14. Macchina battipalo utilizzata nella bocca di Malamocco.

15. Profilo temporale al secondo del giorno 26 aprile 2010, bocca di porto di Malamocco: si osserva un intervallo di 30 minuti (17:23 – 17:53, evidenziato dalla finestra verde) con livello sonoro di 66.2 dB(A).



16. Sonogramma con spettro in terzi di ottava di una fase di battitura pali del 26 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, con individuazione in rosso del canto degli uccelli alle bande centrate tra 1600 e 2500 Hz; il canto degli uccelli, nel campo di frequenze di interesse, risulta schermato dalle attività di cantiere.

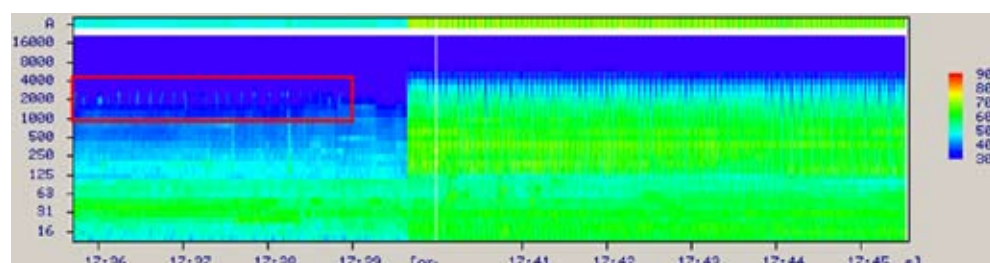
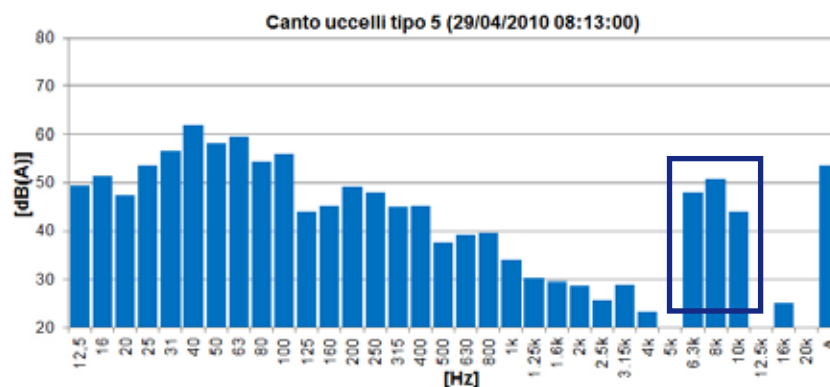
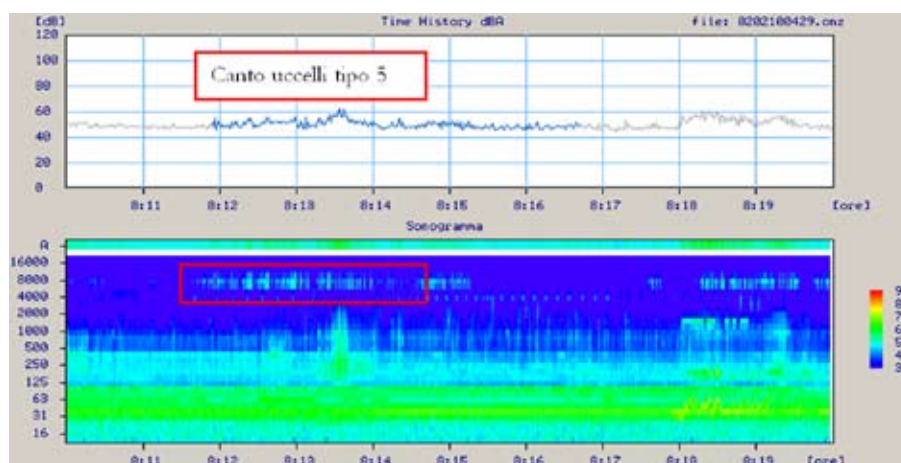
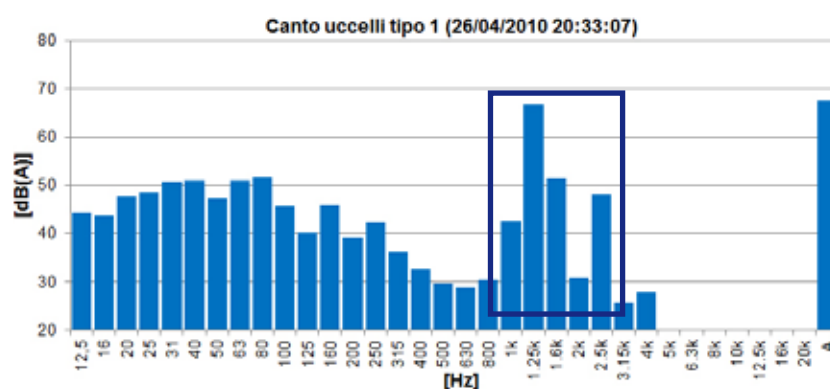
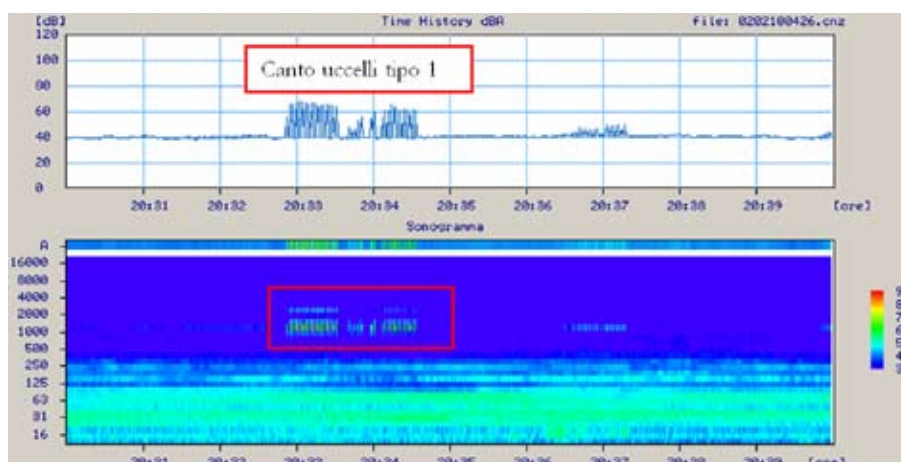


figure 17-20, a titolo di esempio, si riportano i sonogrammi e gli spettri di 2 tipologie di canto degli uccelli, rispetto alle 6-7 tipologie individuate nell'arco delle quattro giornate monitorate, e lo spettro dell'attività di battitura pali (figura 21).

Le figure 22 e 23 riportano i grafici di confronto tra gli spettri delle due diverse specie di uccelli e lo spettro della battitura pali. Nella prima figura è riportato un esempio in cui il canto uccelli viene quasi totalmente schermato dal rumore della battitura pali ad esclusione della banda a 1250 Hz, dove però il maggior livello sonoro non è sufficiente a garantire intelligibilità. Nella figura 23, invece, si osserva come il canto uccelli venga marginalmente mascherato dal rumore della battitura pali; alle frequenze di vocalizzo degli uccelli (da 6300 a 10000 Hz), in particolare, è presente una differenza di livello tra canto uccelli e rumore battitura compresa tra 15 e 25 dB, sufficiente a garantire l'intelligibilità del canto. Ovviamente questo confronto è influenzato dalla distanza reciproca tra gli uccelli e tra questi e la sorgente di rumore.

La procedura di verifica dell'eventuale disturbo del rumore sull'avifauna, applicata al periodo di monitoraggio dal 26 al 29 aprile 2010 nella postazione di ALBERONI-SIC3, aveva quindi evidenziato che l'attività di battitura pali era in grado di determinare frequentemente il superamento del livello equivalente soglia di 60 dB(A) su 30 minuti.

Dai dati analizzati, l'attività di battitura pali aveva uno spettro tipico che interessava le bande da 12.5 a 5000 Hz. Il canto degli uccelli, a seconda della specie, variava da 1000 a 10000 Hz; di conseguenza le tipologie di canto con frequenze pari o inferiori al 5000 Hz potevano essere parzialmente o completamente mascherate dalla rumorosità della battitura pali.



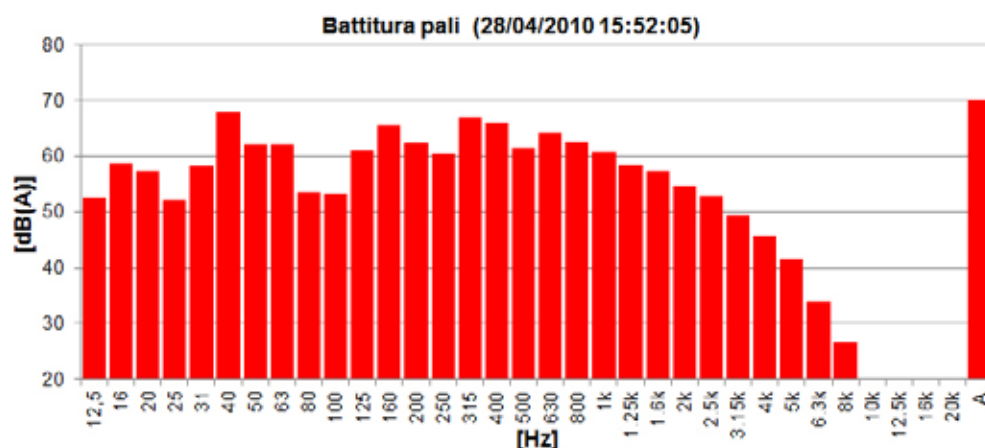
17. Profilo temporale al secondo e sonogramma di 10 minuti rilevati il 26 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, riferiti al canto degli uccelli di tipo 1, in un periodo in cui non era presente l'attività di cantiere (alle 20:33 circa). Il canto di tipo 1 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava con frequenze centrali comprese tra 800 e 2500 Hz.

18. Spettro in terzi di ottava del canto degli uccelli di tipo 1 riportato nel sonogramma di figura 17. Il canto di tipo 1 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava con frequenze centrali comprese tra 800 e 2500 Hz (nel rettangolo).

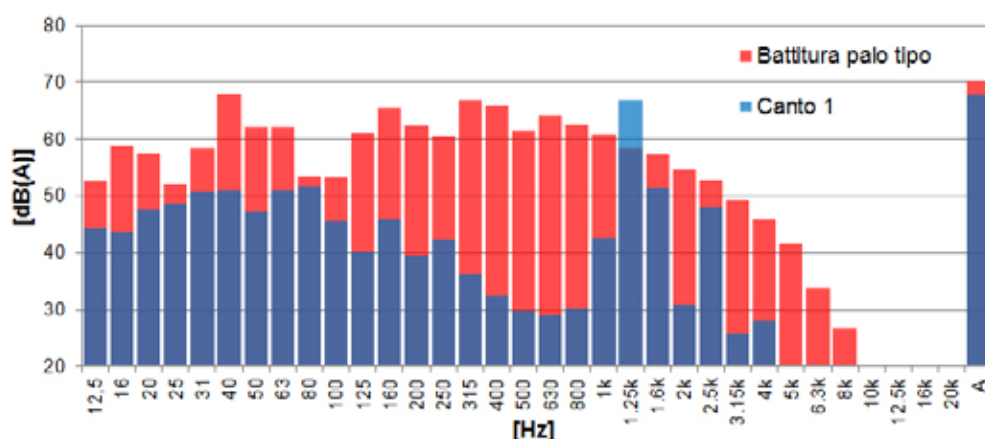
19. Profilo temporale al secondo e sonogramma di 10 minuti rilevati il 29 aprile 2010, presso la bocca di porto di Malamocco, riferiti al canto degli uccelli di tipo 5, in un periodo in cui era presente attività di cantiere (alle 08:12 circa). Il canto di tipo 5 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava tra 5000 e 12500 Hz, con picco a 8000 Hz.

20. Spettro in terzi di ottava del canto degli uccelli di tipo 5 riportato nel sonogramma di figura 19. Il canto di tipo 5 è caratterizzato dalle bande in terzi di ottava tra 6300 e 10000 Hz (nel rettangolo).

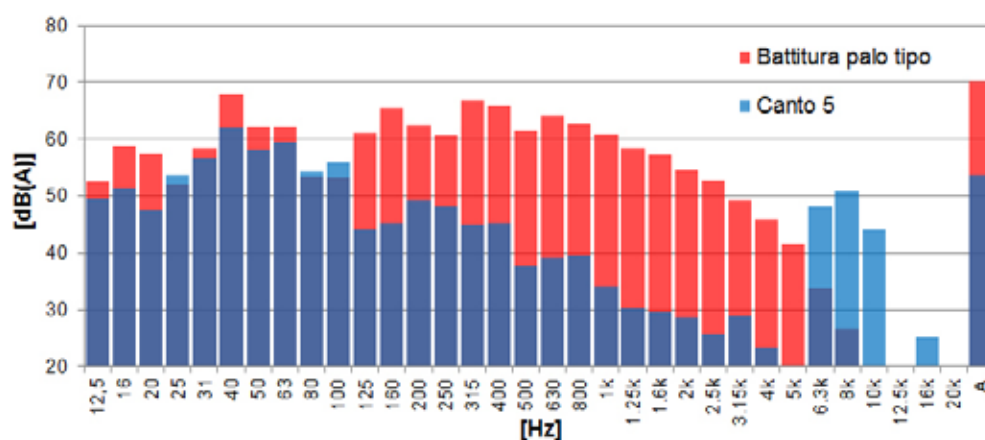
21. Spettro in terzi di ottava della battitura palo tipo, rilevato alla bocca di porto di Malamocco il 28 aprile 2010.



22. Confronto tra lo spettro del canto uccelli di tipo 1 e quello della battitura pali. Il canto degli uccelli, in blu, viene quasi totalmente schermato dal rumore della battitura palo, in rosso, ad esclusione della banda a 1250 Hz, dove però il rapporto segnale rumore è comunque insufficiente.



23. Confronto tra lo spettro del canto uccelli di tipo 5 e quello della battitura pali. In questo caso il canto degli uccelli, in blu, non viene mascherato dal rumore della battitura pali, in rosso; alla frequenze di vocalizzo degli uccelli (da 6300 a 10000 Hz), in particolare, è visibile una differenza di livello sonoro compresa tra 15 e 25 dB.



Ad ogni modo, secondo una serie di studi presenti in letteratura (Dooling and Popper, 2007), per la discriminazione del canto gli uccelli hanno bisogno di un elevato rapporto segnale-rumore, detto “rapporto critico”, pari a 15-25 dB, a seconda delle specie. Occorre però considerare che gli uccelli sono in grado di impiegare strategie per migliorare la percezione del segnale; queste strategie includono la rotazione della testa per la scansione dell’ambiente, l’aumento del livello della voce (Wood and Yezerinac, 2006), il prolungamento della comunicazione e lo spostamento. Ognuno di questi fattori può da solo migliorare la comunicazione in ambiente rumoroso di 10-15 dB. Pertanto, pur tenendo conto dei probabili effetti di mascheramento del canto durante

l'attività di battitura pali ad Alberoni, con durata di circa 8 minuti per un palo, si ritiene che gli uccelli siano in grado di mettere in atto strategie per mantenere la comunicazione tra di loro.

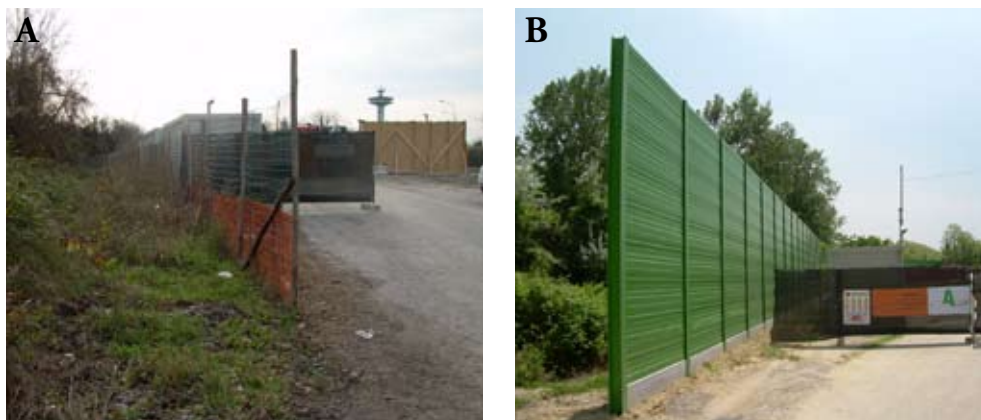
A seguito dei risultati delle misurazioni eseguite nel periodo 26-29 aprile 2010, l'attività di battitura pali nel recesso di spalla nord presso la bocca di Malamocco, inizialmente programmata per la primavera 2012, era stata spostata all'autunno successivo in quanto nei mesi aprile-giugno, periodo di nidificazione e riproduzione dell'avifauna, erano da evitare attività rumorose.

Valutazione dell'efficacia della barriera acustica realizzata ad Alberoni per mitigare il rumore delle trivellazioni orizzontali

La barriera (figura 24), la cui posizione è indicata in figura 25, era stata realizzata per proteggere l'avifauna presente all'interno dell'area SIC di Alberoni, nei pressi della bocca di Malamocco, dal rumore generato dalle attività di trivellazione orizzontale teleguidata presenti all'interno dell'area di cantiere.

La valutazione dell'efficacia fonoassorbente della barriera era stata effettuata prendendo in considerazione i valori misurati nel periodo di tempo antecedente alla realizzazione della barriera, tra il 22 novembre e il 22 dicembre 2007, e nel periodo di tempo successivo alla realizzazione della stessa, tra il 6 e il 22 maggio 2008. In entrambi i periodi erano state rilevate le attività di trivellazione orizzontale.

L'attività di trivellazione era caratterizzata da componenti in frequenza comprese tra 20 e 3000 Hz circa, con i livelli più elevati fino a 125 Hz. Nelle figure 27 e 28 si possono notare i sonogrammi tipici delle fasi di trivellazione più rumorose, rilevati nella postazione di misura prima e dopo la realizzazione della barriera.



24. Foto della zona di ingresso al cantiere ad Alberoni, alla bocca di Malamocco, prima (A) e dopo (B) la realizzazione della barriera.

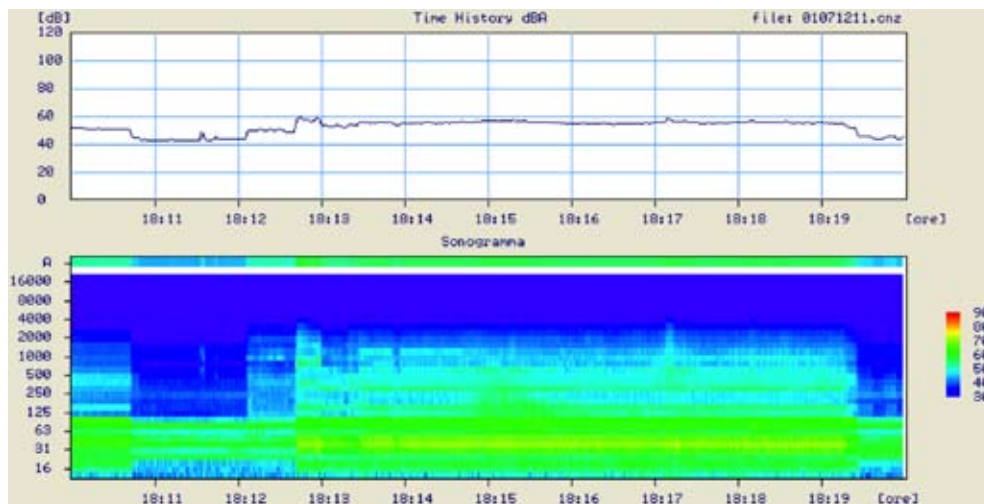


25. Individuazione postazione di misura ALBERONI-SIC1 e posizione indicativa della barriera, alla bocca di porto di Malamocco.

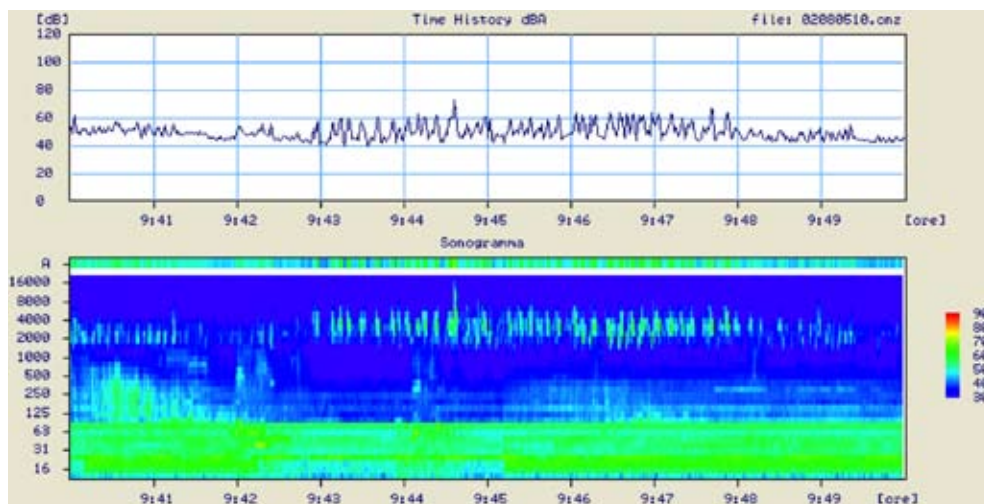
26. Foto della zona di cantiere del cavidotto ad Alberoni. Si possono notare la macchina per la trivellazione orizzontale (al centro), il gruppo idraulico schermato dalla pannellatura fonoassorbente (sulla sinistra) e la barriera acustica (in verde sullo sfondo).



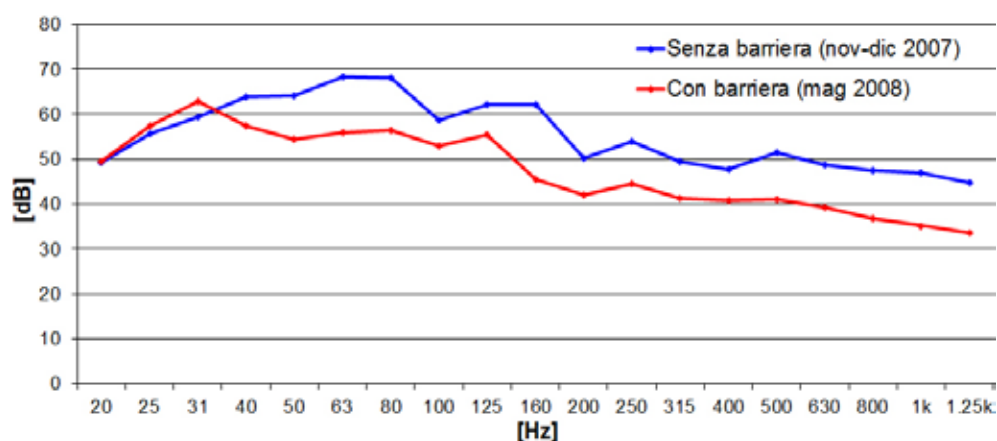
27. Profilo temporale e sonogramma rilevati ad ALBERONI-SIC1 in data 11 dicembre 2007, prima della realizzazione della barriera. Si può notare la fase più rumorosa dell'attività di trivellazione orizzontale tra le 18:13 e le 18:19 circa.



28. Profilo temporale e sonogramma rilevati ad ALBERONI-SIC1 in data 10 maggio 2008, dopo la realizzazione della barriera. Si può notare la fase più rumorosa dell'attività di trivellazione orizzontale, a partire dalle 09:45 circa, e la presenza del canto degli uccelli, caratterizzato da componenti in frequenza comprese tra 1600 e 10000 Hz.



Il confronto era stato effettuato considerando, per ognuna delle giornate monitorate, un intervallo di tempo di 5 minuti rappresentativo della fase di trivellazione più rumorosa, da cui erano stati estrapolati i valori dei livelli sonori al secondo per le frequenze tra 20 e 1250 Hz, escludendo dunque le frequenze superiori, così da rendere le condizioni al contorno il più possibile omogenee. Era stato poi calcolato il livello medio di ogni frequenza dell'intero periodo antecedente



29. Spettro dei livelli medi rilevati nella postazione ALBERONI-SIC1, alla bocca di Malamocco, in assenza (in blu) e in presenza (in rosso) della barriera.

e dell'intero periodo successivo alla realizzazione della barriera, in modo tale da ottenere uno spettro medio (tra 20 e 1250 Hz) dei livelli rilevati nella postazione ALBERONI-SIC1 sia in assenza che in presenza della barriera. I risultati, riportati in figura 29, avevano evidenziato che la realizzazione della barriera aveva comportato un'attenuazione dei livelli sonori di circa 10 dB(A); le attenuazioni più evidenti si erano avute alle bande di 63, 80 e 160 Hz e per le bande tra 500 e 1250 Hz.

Pur non avendo esaminato le frequenze superiori, per la contemporanea presenza del canto degli uccelli, considerando che una barriera acustica ha prestazioni ottimali soprattutto alle frequenze medio-alte, era prevedibile che l'attenuazione per le bande superiori a 1250 Hz fosse stata ancora più elevata.

Valutazione dell'efficacia degli schermi acustici del dispositivo di battitura pali utilizzato nella bocca di Chioggia

Le misurazioni brevi, effettuate in data 29 agosto, 11 settembre e 23 settembre 2008, e le misurazioni di lungo periodo, eseguite nella postazione CAROMA1 dal 29 agosto al 21 settembre 2008, erano volte a valutare l'efficacia delle schermature acustiche installate nel dispositivo di battitura pali utilizzato nel cantiere operativo presso la spalla nord della bocca di porto di Chioggia, in prossimità dell'Oasi di Ca' Roman (Figura 30).



30. Individuazione delle posizioni di misura "A", "B" e della zona in cui era presente la battitura dei pali, presso la bocca di porto di Chioggia. L'immagine è relativa al periodo in cui era stata effettuata la valutazione, agosto-settembre 2008.

Per le misure brevi effettuate in data 29 agosto e 11 settembre 2008 erano state utilizzate due postazioni di misura, come indicato in Figura 30. Le misure brevi del 23 settembre erano state eseguite in parte nelle stesse postazioni di misura del 29 agosto ed in parte in postazioni diverse, questo perché la macchina battipali era stata spostata verso il centro della bocca di Chioggia di circa 60 m.

Nelle tre giornate in cui sono state eseguite misurazioni brevi il dispositivo di battitura pali si trovava in condizioni acusticamente diverse:

- 29 agosto: la macchina battipali non presentava nessuna schermatura acustica;
- 11 settembre: alla macchina battipali era stata applicata una schermatura acustica (Figura 31);
- 23 settembre: la macchina battipali era stata spostata dalla posizione iniziale e la schermatura presentava una piccola apertura (Figura 32).

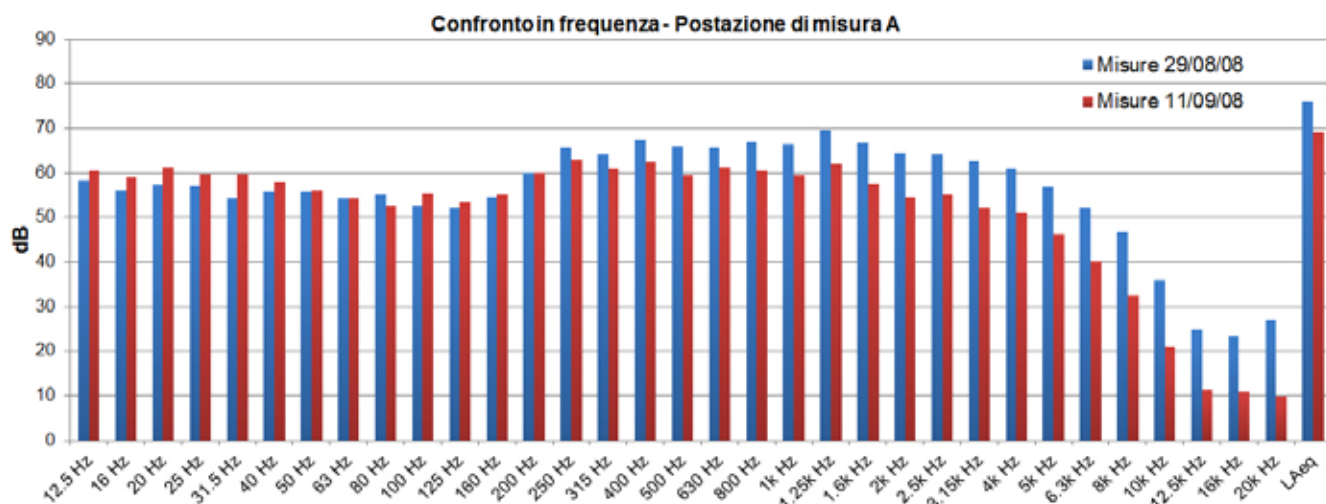
Tra le misure del 29 agosto e quelle del 11 settembre 2008, a parità di distanza, la riduzione del livello equivalente nell'intervallo di battitura risultava piuttosto elevata: tra 6 e 9 dB(A) rispettivamente per le postazioni "A" e "B". Lo stesso effetto della schermatura non era stato invece riscontrato confrontando le misure il 23 settembre, quando era stato osservato un certo peggioramento. Queste differenze erano state determinate sia dalla variabilità delle singole battiture che dalla presenza di un'apertura quadrata sulla schermatura durante le misurazioni del 23 settembre 2008 (figura 32).

31. Foto della macchina battipalo prima (A) e dopo (B) l'installazione della schermatura acustica. Foto scattate, rispettivamente, in data 29 agosto e 11 settembre 2008 presso la bocca di porto di Chioggia.

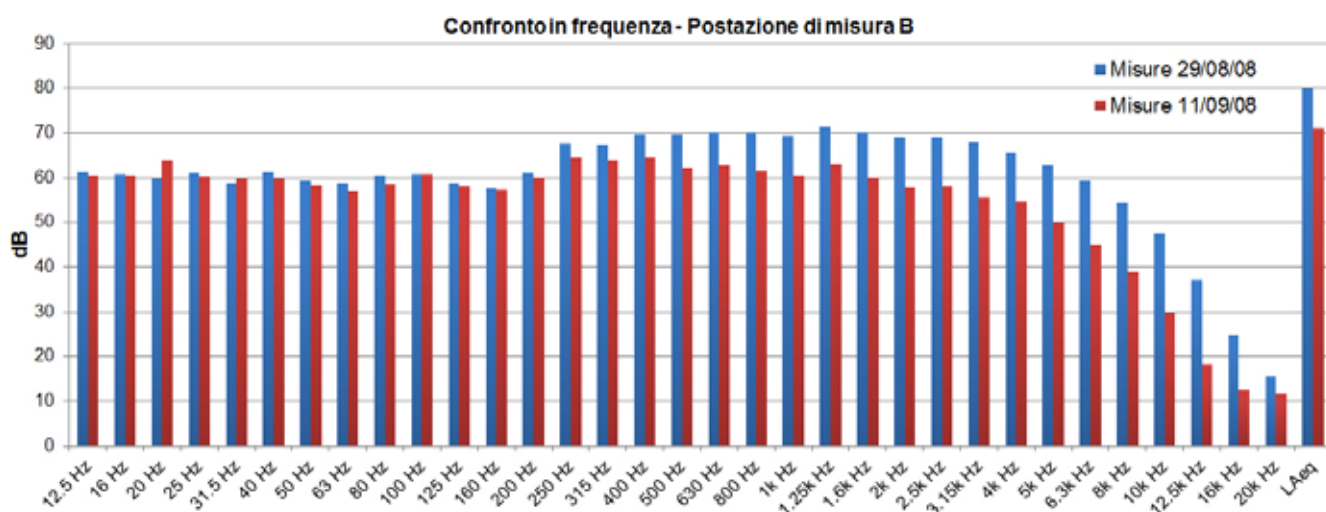


32. Foto della macchina battipalo scattata in data 23 settembre 2008 presso la bocca di Chioggia. Si nota la presenza di un foro di forma quadrata, evidenziato in rosso, sulla schermatura acustica. Il foro era stato inserito per problemi di sicurezza e necessità di controllo visivo.





33. Confronto in frequenza dei livelli misurati nella postazione “A” i giorni 29 agosto (in blu) e 11 settembre (in rosso) 2008 alla bocca di porto di Chioggia.



34. Confronto in frequenza dei livelli misurati nella postazione “B” i giorni 29 agosto (in blu) e 11 settembre (in rosso) 2008 alla bocca di porto di Chioggia.

Eseguendo inoltre un confronto in frequenza sulle misure brevi eseguite il 29 agosto e l'11 settembre 2008 era stato possibile notare come la schermatura avesse avuto un'efficacia molto ridotta alle basse frequenze e via via maggiore verso le alte frequenze (figura 33 e figura 34).

Considerazioni conclusive

Il monitoraggio del rumore è stato messo in atto fin dall'inizio delle attività di costruzione del MOSE, collocandosi all'interno di una valutazione più completa, che comprende tutte le varie matrici ambientali.

Negli oltre dieci anni di monitoraggio le risorse coinvolte sono state indirizzate soprattutto all'analisi e al controllo delle attività di cantiere più rumorose tenendo conto anche della vicinanza con i ricettori residenziali sensibili e con le aree naturalistiche. Nei primi anni le misurazioni sono state eseguite in un elevato numero di postazioni distribuite su un territorio piuttosto vasto, così da poter valutare sia l'eventuale superamento delle soglie prefissate che l'estensione dell'area impattata, al variare della distanza dalle sorgenti di rumore. Negli anni successivi il numero di postazioni utilizzate è stato ridotto a quelle ritenute maggiormente significative, sia per quanto riguarda i ricettori residenziali che per quanto riguarda le aree naturalistiche, tenendo conto, in quest'ultimo caso, sia della ubicazione dei cantieri che della distanza dalle altre sorgenti; in alcuni casi, per tenere conto della variabilità sul territorio delle principali sorgenti di rumore, sono state aggiunte nuove postazioni di misura.

Nel corso degli anni l'attività di monitoraggio si è sempre più concentrata sulla tutela delle aree naturalistiche di pregio, e meno sulla verifica del superamento delle soglie nei ricettori residenziali. Questa scelta è stata dettata da varie motivazioni che tengono conto sia della progressiva diminuzione delle attività più rumorose eseguite in vicinanza dei ricettori residenziali che come conseguenza della procedura di infrazione da parte dell'Unione Europea, in merito alla tutela dell'avifauna e degli habitat comunitari..

L'evoluzione del monitoraggio del rumore nel corso degli anni, oltre che sulla distribuzione e scelta delle postazioni, si è espletato quindi anche sulla tipologia di verifiche eseguite. Nei primi anni del monitoraggio queste riguardavano principalmente l'applicazione dei criteri previsti dalla legislazione sul rumore ambientale, in particolare il controllo sui *limiti assoluti di immissione ed emissione* per tutti i tipi di ricettori, sulla base della classificazione acustica del territorio, nonché le considerazioni e la stima basate sul *criterio differenziale* per i ricettori residenziali. Negli anni successivi è stato aggiunto dapprima il controllo delle attività rumorose nel momento del "dawn chorus", cioè nella fascia oraria mattutina immediatamente successiva all'alba nel periodo della nidificazione dell'avifauna (15 aprile - 30 giugno), e successivamente (a partire dal 2011) la procedura per la stima di eventuali mascheramenti sul canto degli uccelli determinati dalle attività di cantiere più impattanti.

Nel corso del monitoraggio del rumore sono state eseguite anche valutazioni per la caratterizzazione acustica di specifiche sorgenti sonore e la valutazione dell'efficacia di interventi di mitigazione attuati.

Il monitoraggio acustico di lungo periodo ha permesso un controllo in tempo quasi reale dei livelli di rumore dovuti alle fasi di lavorazione ed ha determinato, nei casi di mancato rispetto delle soglie e degli accordi, l'invio di Rapporti di Anomalia. Come conseguenza le imprese di costruzione hanno spesso modificato l'intensità e gli orari di lavorazione di alcune attività, così da limitare il disturbo ambientale. D'altro canto si è frequentemente riscontrato che le attenzioni da parte delle imprese scattavano solo in presenza delle centraline di monitoraggio del rumore e pertanto si è avuto un importante effetto sentinella e di stimolo.

In conclusione, il monitoraggio ha consentito da una parte di stimolare gli interventi di riduzione del rumore alla fonte, modulando ad esempio le attività giornaliere, dall'altra di inserire delle vere e proprie opere di mitigazione atte a salvaguardare i ricettori sensibili.

Inoltre, partendo dalle registrazioni audio in affiancamento alle misure di lungo periodo e alle misure brevi, sono state caratterizzate sia le attività di cantiere sia gli eventi estranei (come eventi meteo, passaggi di imbarcazioni o sorvoli di aerei) normalmente presenti nelle aree di studio. Le analisi successive hanno permesso di ottenere un database di sonogrammi e spettri in frequenza cui far riferimento per il riconoscimento delle varie attività lavorative e sorgenti estranee.

Alla luce delle analisi condotte in questi dieci anni è emerso che il rumore prodotto dai cantieri del MOSE non sembra aver determinato effetti permanenti rilevanti sulla riduzione della comunità ornitica della zona lagunare (vedere anche Coccon e Baldaccini, 2017).

Per quanto riguarda l'impatto sui ricettori residenziali, il rumore ha sicuramente avuto un effetto di disturbo soprattutto nei primi anni di attività di cantiere, specialmente in prossimità della zona residenziale di Punta Sabbioni. Tale effetto si è anche manifestato con lamentele e proteste da parte della popolazione, dovute sia al rumore che ad altre problematiche come l'emissione di polveri, la perdita di attività turistica, ecc. La realizzazione di una barriera acustica su un tratto del lungomare di Punta Sabbioni, unitamente alla riduzione delle attività più rumorose e alla messa in atto di misure di compensazione, hanno determinato un riequilibrio di posizioni e una riduzione dell'esigenza di eseguire monitoraggi.

In conclusione non si può fare a meno di riconoscere l'assoluta unicità di questa lunga esperienza, con una così corposa quantità di dati raccolti e di analisi prodotte e con una collaborazione scientifica con un così ampio gruppo di esperti, con l'obiettivo comune di ridurre i rischi per l'ambiente e l'ecosistema lagunare determinati dalla realizzazione di una così "grande opera".

Ringraziamenti

Il monitoraggio è stato svolto dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, con il supporto della società spin-off Materiacustica srl, nell'ambito delle attività di monitoraggio coordinate dal CORILA.

Durante i dieci anni di attività, numerosi colleghi e consulenti hanno collaborato; in particolare, oltre agli autori, si vogliono ringraziare (scusandomi per eventuali dimenticanze): Miguel Ausejo Prieto, Federica Bettarello, Paolo Bonfiglio, Andrea Cerniglia, Andrea Farnetani, Alice Feletti, Nicola Verdolin, Matteo Michelacci, Francesco Pompoli, Nicola Prodi, Massimo Zambello, Sara Zanella, Marco Zanetti.

Un ringraziamento particolare alla direzione e al personale amministrativo e tecnico del Dipartimento di Ingegneria.

Appendice - Quadro normativo e legislativo

L'attività di controllo del rumore prodotto dalle diverse fasi di cantiere si inserisce in un contesto ben strutturato sia dal punto di vista legislativo che dal punto di vista delle metodologie e strumentazione, sebbene, per alcune specifiche attività di controllo non previste dalla legislazione vigente, le soglie di riferimento e le procedure di attuazione siano state concordate successivamente all'avvio delle attività.

Sintesi legislazione europea

Con la Direttiva 2002/49/CE del 25 giugno 2002 il Parlamento Europeo ha evidenziato l'importanza della tutela delle persone dal rumore ambientale, in particolare nelle zone edificate, nei parchi pubblici, nelle aree rilevanti dal punto di vista storico e naturalistico, nei pressi delle scuole, degli ospedali e di altri edifici e aree particolarmente sensibili al rumore.

L'obiettivo della Direttiva è quella di definire un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell'esposizione al rumore ambientale, fornendo inoltre una base per lo sviluppo di misure comunitarie di contenimento del rumore generato dalle principali sorgenti di disturbo (traffico e infrastrutture, attrezzature utilizzate all'aperto, macchinari mobili, ecc.).

Nel testo viene sottolineata la necessità di fissare metodi comuni di valutazione del rumore ambientale e una definizione dei valori limite, in base a descrittori armonizzati atti alla determinazione dei livelli sonori. Agli Stati membri è demandato il compito di stabilire concretamente tali valori limite tenendo conto tra l'altro della necessità di applicare il principio della prevenzione per preservare zone silenziose negli agglomerati.

Tra le novità che apporta la Direttiva Europea spiccano la definizione di nuovi parametri descrittori acustici (L_{den} e L_{night}) e l'imposizione della mappatura acustica strategica in determinate zone di interesse, la cui priorità dovrebbe essere oggetto di piani di azione elaborati dalle autorità competenti previa consultazione con il pubblico. In attuazione alla Direttiva Europeo lo Stato Italiano ha promulgato il Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n° 194.

Per quanto riguarda i macchinari in funzione presso i cantieri in cui sono previste le attività alle bocche lagunari, gli stessi sono regolamentati da normativa europea, ovvero devono possedere i requisiti di conformità previsti dalla Direttiva 2000/14/CE e dall'attuario Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262. Tale Decreto disciplina i valori di emissione acustica, le procedure di valutazione della conformità, la marcatura, la documentazione tecnica e la rilevazione dei dati sull'emissione sonora relativi alle macchine ed alle attrezzature destinate a funzionare all'aperto, al fine di tutelare sia la salute ed il benessere delle persone che l'ambiente.

Sintesi legislazione nazionale e regionale

La legislazione nazionale sul controllo dell'inquinamento acustico fa riferimento sostanzialmente alla legge quadro n° 447 del 26-10-95 e ai suoi decreti attuativi, in particolare al DPCM 14-11-97 sui limiti delle sorgenti sonore.

La legge quadro sull'inquinamento acustico stabilisce “i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico”, stabilendo le competenze di Stato, Regioni, Province e Comuni in termini di determinazione dei criteri e attuazione degli stessi tramite provvedimenti e normative.

La legislazione si basa sul concetto di *classificazione acustica del territorio*, cioè la suddivi-

sione in zone omogenee a diversa destinazione d'uso, a ciascuna delle quali competono diversi valori dei limiti di rumorosità ammissibile.

In presenza di classificazione acustica del territorio sono previsti due diversi tipi di valori limite da applicare:

- *valori limite di emissione*: i valori massimi che possono essere emessi da una sorgente sonora, misurati nell'area circostante la sorgente stessa ed in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità;
- *valori limite di immissione*: i valori massimi emessi dal complesso delle sorgenti sonore considerate, misurate in prossimità dei ricettori. I valori limite di immissione sono distinti in:
 - a) *valori limite assoluti di immissione*, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
 - b) *valori limite differenziali di immissione*, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo; si applicano soltanto all'interno degli ambienti abitativi.

Vengono inoltre definiti anche i seguenti valori dei livelli di rumore:

- *valori di attenzione*: il valore del livello di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente;
- *valori di qualità*: i valori del livello di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla presente legge.

I valori limite di emissione, quelli assoluti di immissione, così come i valori di attenzione e qualità sono tabellati in funzione della classe di destinazione d'uso del territorio ed in funzione del periodo diurno o notturno.

I valori limite differenziali di immissione, che si applicano esclusivamente all'interno degli ambienti abitativi, valgono 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno. Tali limiti non si applicano quando il livello di immissione, misurato a finestre aperte, è inferiore a 50 dB(A) di giorno ed a 40 dB(A) di notte, ovvero quando, a finestre chiuse, tali valori sono inferiori rispettivamente a 35 dB(A) diurni e 25 dB(A) notturni. I limiti differenziali non si applicano, tra l'altro, al rumore prodotto dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime.

Le attività di cantiere e tutte le *attività temporanee* sono trattate dalla legislazione in maniera diversa dalle altre sorgenti specifiche. La Legge Quadro prevede, infatti, che per le attività temporanee rumorose siano previste autorizzazioni in deroga ai limiti di immissione previsti dal DPCM 14-11-97. Alle Regioni spetta il compito di fornire le modalità mentre ai comuni compete il rilascio delle autorizzazioni in deroga. In materia di attività temporanee, la Circolare 6 settembre 2004 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, pubblicata sulla G.U. n.217 del 15-9-2004, prevede che: "Premesso che spetta alle Regioni, ai sensi dell'art. 4 della legge n. 447/1995, disciplinare le modalità di rilascio delle autorizzazioni comunali per lo «svolgimento di attività temporanee e di manifestazioni in luogo pubblico o aperto al pubblico qualora comportino l'impiego di macchinari o di impianti rumorosi», si ritiene tuttavia opportuno, ai fini di un più omogeneo trattamento della questione, che per quanto riguarda tali attività, la richiesta di deroga all'autorità competente sia effettuata sulla base di apposita valutazione di impatto acustico dei seguenti valori limite assoluti di immissione: diurni, notturni (qualora, ai fini della tutela della popolazione nella condizione che risulta essere la più fastidiosa, non sia possibile sospendere l'attività temporanea notturna), nonché dei valori limite differenziali, fatta salva comunque la verifica del rispetto dei limiti previsti dalla deroga stessa".

La circolare del 6-9-2004 prevede, quindi, che la deroga debba essere richiesta sia per i limiti assoluti che per i limiti differenziali.

La deroga va richiesta al Sindaco del comune in cui si svolge l'attività temporanea.

La richiesta di autorizzazione in deroga non è un atto obbligatorio ma diventa indispensabile quando si prevede che l'attività di cantiere determini un superamento dei limiti. La richiesta va effettuata in anticipo rispetto all'apertura del cantiere.

Le modalità di richiesta delle autorizzazioni in deroga, come visto, dipendono dalle regioni e dai comuni interessati. La concessione della deroga ai limiti previsti dal DPCM 14-11-97, non significa che l'attività del cantiere può essere svolta senza limiti sulle emissioni rumorose. Saranno i comuni a stabilire le modalità, i tempi, gli orari, e i livelli sonori da rispettare.

La legge regionale Veneto n. 21 del 10 maggio 1999 "Norme in materia di inquinamento acustico", in merito alle emissioni sonore da attività temporanee (articolo 7) prevede che:

1. "Il comune può, ai sensi dell'articolo 6, comma 1, lettera h) della legge n. 447/1995, autorizzare deroghe temporanee ai limiti di emissione, qualora lo richiedano particolari esigenze locali o ragioni di pubblica utilità. Il provvedimento autorizzatorio del comune deve comunque prescrivere le misure necessarie a ridurre al minimo le molestie a terzi e i limiti temporali di validità della deroga."
2. "Nei cantieri edili i lavori con macchinari rumorosi sono consentiti dalle ore 8.00 alle ore 19.00, con interruzione pomeridiana individuata dai regolamenti comunali, tenuto conto delle consuetudini locali e delle tipologie e caratteristiche degli insediamenti."

L'articolo 81 della Legge Regionale n. 11 del 13 aprile 2001 stabilisce alla lettera c) del comma 1 che è funzione specifica dell'ARPAV predisporre i criteri da osservare per la predisposizione della documentazione di impatto acustico, ai sensi del l'articolo 4, comma 2, lett. d) della legge regionale 10 maggio 1999, n. 21.

Con la Delibera del Direttore Generale ARPAV, DDG n. 3 del 29.01.2008, sono stati approvati due documenti:

1. "Definizioni ed Obiettivi generali per la realizzazione della documentazione in materia di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della LQ n. 447/1995";
2. "Linee guida per la elaborazione della documentazione di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della LQ n. 447/1995".

Nel primo dei documenti sopra elencati si fa riferimento anche a valutazioni specifiche di impatto acustico su ecosistemi o su singole specie biologiche, prevedendo l'uso di "parametri e metodi di valutazione diversi, basati sulle più aggiornate conoscenze scientifiche in materia".

Il secondo documento indica le modalità della stesura di una relazione di Valutazione di Impatto Acustico per varie tipologie di sorgenti rumorose, tra cui anche attività produttive temporanee o permanenti.

Valori limite per i siti in esame in assenza di deroga

Sulla base della legislazione vigente e della presenza o meno di classificazione acustica al momento dell'esecuzione dei monitoraggi, nelle aree interessate dalla rumorosità prodotta dalle attività cantieristiche alle bocche di porto sono stati considerati i limiti di seguito riportati. All'interno delle abitazioni, a finestre aperte e chiuse, valgono inoltre i limiti differenziali pari a 5 dB(A) per il periodo diurno e 3 dB(A) per il periodo notturno.

Punta Sabbioni, comune di Cavallino-Treporti

In assenza di classificazione, sul suo territorio sono stati considerati i limiti provvisori riportati nel DPCM 1-3-91 e confermati anche nel DPCM 14-11-97.

Zonizzazione Urbanistica	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Tutto il territorio nazionale	70	60

Aree prospicienti le bocche lagunari, comune di Venezia

Il comune di Venezia ha adottato la classificazione acustica e quindi sono stati considerati sia i *limiti di emissione* che i *limiti di immissione* relativi alle diverse classi acustiche. Molte delle aree lagunari sono classificate in *classe I* poiché zone naturalistiche protette o aree di pregio particolare. In queste aree i limiti assoluti sono i seguenti:

CLASSE I	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Limiti di immissione	50	40
Limiti di emissione	45	35

Aree prospicienti la bocca di Chioggia, comune di Chioggia

Il comune di Chioggia ha adottato la classificazione acustica e quindi sono stati considerati sia i *limiti di emissione* che i *limiti di immissione* relativi alle diverse classi acustiche. In prossimità della bocca di Chioggia ci sono aree classificate in *classe I* ed aree classificate in *classe II*.

Per la classe I valgono i seguenti limiti assoluti:

CLASSE I	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Limiti di immissione	50	40
Limiti di emissione	45	35

Per la classe II valgono i seguenti limiti assoluti:

CLASSE II	Limite diurno L_{Aeq} dB(A)	Limite notturno L_{Aeq} dB(A)
Limiti di immissione	55	45
Limiti di emissione	50	40

Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21.12.2001, n. 443), Commissione VIA, rev. 1 del 4 settembre 2003 - rumore

Le Linee Guida per il Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere di cui alla Legge Obiettivo (Legge 21.12.2001, n. 443), predisposte dalla Commissione Speciale di Valutazione di Impatto Ambientale (Rev. 1 del 4 settembre 2003), riportano prescrizioni sulla modalità di esecuzione dei monitoraggi, sulle caratteristiche delle apparecchiature, sui requisiti da controllare, sui tempi di misura e sulla distribuzione spaziale delle postazioni. Per quanto riguarda la fase *ante operam*, le Linee Guida stabiliscono che

il PMA deve prevedere il rilevamento di un adeguato scenario di indicatori acustici atti a rappresentare lo “stato di bianco”, cui riferire l’esito dei successivi monitoraggi. Nella fase in corso d’opera, si prescrive inoltre che il PMA deve prevedere il controllo dell’evolversi della situazione ambientale, al fine di verificare che la dinamica dei fenomeni acustici sia coerente rispetto alle previsioni del SIA, il controllo delle emissioni acustiche delle lavorazioni e dei traffici indotti dal cantiere al fine di evitare il manifestarsi di emergenze specifiche o di adottare eventuali misure integrative di mitigazione degli impatti. Con riferimento alla fase *post operam*, si stabilisce che il PMA deve prevedere la verifica degli impatti acustici intervenuti nelle fasi di pre-esercizio ed esercizio dell’Opera, l’accertamento della reale efficacia degli eventuali provvedimenti posti in essere per garantire la mitigazione dell’impatto acustico sia sull’ambiente antropico circostante, sia sull’ambiente naturale, la predisposizione di eventuali nuove misure per il contenimento del rumore aggiuntive a quelle previste nel SIA. Viene stabilito che il riferimento per tutte le attività di monitoraggio deve essere il rispetto dei limiti imposti dalla normativa vigente e, pertanto, la loro articolazione temporale deve essere orientata a fornire dati confrontabili con i limiti della normativa, diurni e notturni, e in funzione della tipologia dell’Opera. L’individuazione delle aree sensibili in cui realizzare i monitoraggi deve essere effettuata sulla base delle caratteristiche del territorio in cui si propaga il rumore originato dall’Opera (orografia del terreno, presenza di elementi naturali o artificiali schermanti, presenza di condizioni meteorologiche favorevoli), delle caratteristiche geometriche, tipologiche e di emissione della sorgente in esame, della classificazione acustica del territorio interessato, prestando la massima attenzione alla presenza di centri abitati e ai ricettori sensibili di classe I. Le tipologie di postazioni devono quindi permettere la verifica del rispetto dei limiti assoluti di zona in facciata agli edifici, la verifica delle emissioni sonore nei punti di controllo appositamente scelti nell’ambiente esterno e la verifica dei limiti differenziali all’interno delle abitazioni nei casi della loro applicabilità (specie nella fase di cantiere).

Bibliografia

Circolare 6 settembre 2004, “Interpretazione in materia di inquinamento acustico: criterio differenziale e applicabilità dei valori limite differenziali”.

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n° 194.

Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n.262.

Delibera del Direttore Generale ARPAV, DDG n. 3 del 29 gennaio 2008.

Direttiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2000 sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto.

Direttiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 giugno 2002, relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.

Direttiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 novembre 2009 concernente la conservazione degli uccelli selvatici.

Direttiva 92/43/CEE del Consiglio del 21 maggio 1992, relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche.

DPCM 14 novembre 1997 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”.

Legge Regionale 9 dicembre 1993, n. 50 “Norme per la protezione della fauna selvatica e per il prelievo venatorio”.

Legge Regionale Veneto n. 11 del 13 aprile 2001.

Legge Regionale Veneto n. 21 del 10 maggio 1999, “Norme in materia di inquinamento acustico”.

Baldaccini E., Campostrini P., Coccon F., Dabalà C., Fausti P., Santoni A., Soldatini C. (2014) Birds and noise: the Mose yards case (lagoon of Venice, Italy). Proceedings of Fifth International Symposium: Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: problems and measurement techniques, Livorno (Italy) 17-18-19 June 2014, Edited by: Fabrizio Benincasa, published by: CNR-IBIMET December 2014, ISBN: 978-88-95597-19-5.

Berretti C.A., Garavoglio S., Masoero M. (2004) Acustica biocentrica: un nuovo percorso per la verifica di impatto acustico delle aree naturali, Atti del 31° Convegno Nazionale AIA. Venezia, 5-7 maggio 2004.

Campostrini P., Dabalà C. (2017) Una visione olistica, multidisciplinare ed integrata per il Piano di monitoraggio della costruzione del MOSE. In “Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia”, P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA.

Coccon F., Baldaccini E. (2017) Analisi delle variazioni temporali delle comunità ornitiche costiere e lagunari durante i lavori di costruzione del Sistema MOSE. In “Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia”, P. Campostrini, C. Dabalà, P. Del Negro, L. Tosi (editors), CORILA.

Dooling R. J., Popper A. N. (2007) The effects of highway noise on birds. Environmental BioAcoustic LLC.

Fausti P., Campostrini P., Dabalà C., Caniato M., Guerra M. C., Santoni A., Zuccherini Martello N. (2016) Noise generated from large construction sites: Measurements and possible mitigations. Proc. of the 22nd International Congress on Acoustics, Buenos Aires – 5 to 9 September, 2016.

Lohr B., Wright T.F. & Dooling R. J. (2003) Detection and discrimination of natural calls in masking noise by birds: estimating the active space of a signal. Animal Behaviour, 65, 763–777.

Wood W.E., Yezerinac S.M. (2006) Song sparrow (*Melospiza Melodia*) song varies with urban noise. The American Ornithologists' Union.

World Health Organization (WHO) (1999) Guidelines for Community Noise, Birgitta Berglund, Thomas Lindvall, Dietrich H Schwela (eds), Geneva.

Summary

Noise generated from activities in construction sites is usually considered, within environmental noise legislation, as a specific case, together with other temporary activities. The Italian legislation allows for the introduction of a waiver with respect to the standard noise limit values. When the duration of the activities and the areas involved in the construction sites are very large and the type and localisation of the noisiest activities change in time, it is very difficult to find a simple procedure to apply the waiver. It is also important to evaluate differently the situation in which the noisy activities affect the population in residential areas from those cases in which the sites are close to protected natural areas, with a possible impact on birds and other animals. Therefore, it is necessary to carry out specific procedures to guarantee that the noise levels remain below the thresholds adopted for the various situations.

In the case of the construction of a mobile barrier system for the safeguard of the city of Venice from intruding tidal waters, a monitoring plan was organised and performed. The noise problems related to the construction sites has been an important part of the monitoring plan, although smaller with respect to other potential impact.

Since the early beginning of the construction activities, at the end of 2004, noise emission monitoring was conducted in order to evaluate the noise disturbance in some of the residential buildings close to the sites and also to evaluate possible effects on the presence of bird communities in the surrounding areas.

Noise monitoring was carried out during the construction activities considered to be the noisiest and most disturbing. Long term (minimum one week) noise monitoring was undertaken on the most sensitive positions. The measurement stations were equipped with a GSM modem for remote connection, with a data transmission system in order to provide real time visualization of the monitoring.

In addition to the long period surveys scheduled by the agreements, additional measurements were occasionally made at various distances from noise sources, in order to evaluate the noise propagation of the activity and the noise levels induced on the surrounding areas in order to have a better understanding of the sources responsible for exceeding the noise threshold and the dimension of the affected areas.

The results of the long term noise monitoring permitted different types of verifications. The first was related to the reference period levels which were compared with the allowed limits; daily reports were produced and in occurrence of levels above the limit, formal advisory warnings were issued. In those cases in which measurements were made in residential buildings, the differential limits were also evaluated. The second was related to the verification of the noisy activity in the time intervals agreed for the protection of the nesting period of the birds. The third verification was introduced to improve the process of identifying critical situations that could create disturbance or impact on birds. The procedure consisted of two phases; a first checking phase of the noise levels due to the construction site at intervals of 30 minutes, by calculating the corresponding level in dB(A) and comparing the obtained value with the limit value adopted of 60 dB(A). In case this value was exceeded, in the second phase the sound spectrum of construction activities and the sound spectrum of the birdsong were compared in order to verify possible masking effects on intelligibility of the latter.

Many different activities were monitored during more than ten years of construction. The pile driving and the horizontal drilling of cable ducts were arguably among the noisiest, the first for its intensity and duration, the second for its duration and its proximity to the natural protected areas.

Having defined the pile driving activity as the most significant from the standpoint of noise emission and considering the number of piles to be inserted (approximately 1500

for every inlet), an attempt to reduce noise emission was made by the construction company. The dimension of the machinery was very large and the starting height of the hammering did not permit the possibility to reduce the noise on the propagation paths. The only possibility was to intervene directly on the structure of the machinery, very close to the driving hammer, using an enclosure to encapsulate the main impact noise source. The first results were satisfying, considering a noise mitigation of almost 10 dB(A). After the first application, for safety reasons, part of the enclosure needed to be opened, to permit visibility and avoid creating a fire hazard. Therefore, the following experimental measurements show a reduction of 5-6 dB(A).

Regarding the horizontal drilling activity, the realization of a noise barrier gave a noise mitigation of approximately 10 dB(A). This result was considered positive, taking into account that the noise was mainly at the low-medium frequency bands and that the activity was performed using different machineries distributed in quite a large area.