QANTIFICAZIONE DEL RUMORE ANTROPICO NELL' AMP DELLE 5-TERRE

Relazione intermedia della campagna 2020

Autore della relazione

Lucia Di Iorio
Institut CHORUS

lucia.diiorio@chorusacoustics.com
+33 (0)6 50 81 30 57

CHORUS

PARCO NAZIONALE DELLE CINQUE TERRE
Area Marina Protetta delle Cinque Terre

13/11/2020

Indice

In breve 4
Contesto 5
Obbiettivi 6
Quantificazione del rumore nelle zone A e in zona C 6
Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni 7
Metodologia 8
Le campagne in cifre 8
Le registrazioni 9
Svolgimento 10
Analisi 14
Frequentazione e quantificazione del rumore nelle zone A e C 14
Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni 16
Risultati 17
Frequentazione e quantificazione del rumore nelle zone A e C 17
Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni 24
Discussione 28
Quantificazione del rumore nelle zone A e in zona C 28
Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni 31
Ringraziamenti 31

Suivi de rédaction

Date	Action	Qui	Versione
13/11/2020	redazione	L. Di Iorio	1
15/11/2020	rilettura	L. Bramanti	1
16/11/2020	Consegna elettronica a C. Valendani del Parco Nazionale delle 5 Terre	L. Di Iorio	5Terre_Relazione_Intermedia_Rumore_V1

In breve

Il Parco Nazionale delle 5 Terre, l'Università della Sorbonne (F) e l'istituto Chorus (F) hanno sottoscritto una convenzione C20/0173 per svolgere dei progetti di ricerca e monitoraggio di habitat sensibili nell' area marina protetta (AMP) del Parco Nazionale che si sono svolti a maggio e a luglio del 2020. I progetti sono condotti dal Dr. Lorenzo Bramanti (LECB- CNRS) e la Dr. Lucia Di Iorio (Institut Chorus) in stretta collaborazione con la direzione del Parco.
I lavori si dividono in due parti principali:

1) Una ricerca innovativa per studiare la funzione delle foreste di gorgonie (aumento biodiversità) ascoltando le impronte sonore create dalle specie che vivono nelle foreste di gorgonie
2) La quantificazione del rumore antropico nell'AMP e la valutazione dei possibili effetti per sostenere la promozione di misure sulla riduzione dell'impatto del rumore antropico subacqueo su organismi e habitat sensibili.
3) *Extra: La valutazione dell'effetto lockdown sugli habitat e le specie dell'AMP.*

Questa relazione intermedia è relativa alla parte 2, cioè alla quantificazione della frequentazione dell'AMP e del livello di rumore antropico costituito dall'attività nautica motorizzata, al possibile impatto sulla fauna e alla valutazione delle misure di riduzione dell'impatto prese dal Parco.

Contesto

Il suono ha un ruolo essenziale nel funzionamento degli ecosistemi perché utilizzato da molteplici specie marine, che vanno da invertebrati, pesci e mammiferi. I suoni servono per comunicare, difendersi, orientarsi, cacciare, riprodursi… e vengono addirittura usati dagli stadi giovanili (larve) di pesci, crostacei e coralli, come repere per la navigazione durante la fase di insediamento per la scelta di habitat propizi. L'ascolto dei suoni d'origine biologica funziona come uno stetoscopio delle attività o comportamenti animali fornendo informazioni sul ciclo vitale di diversi organismi marini.

Il rumore di origine antropica, particolarmente presente sul litorale mediterraneo (Fig. 1), può compromettere le funzioni vitali di numerosi organismi. E noto, infatti, che il rumore antropico può influenzare o addirittura impedire la comunicazione intra-specifica, interferire con i processi vitali, influenzando la fisiologia (i.e., aumento dello stress), comportamenti (attenzione ai predatori o difesa dei nidi), sviluppo embrionale, riproduzione, stato di salute, dinamiche di gruppo, interazioni intra- e interspecifiche. Benché sia difficile da dimostrare, questi impatti individuali possono avere effetti negativi al livello delle popolazioni e degli habitat. Per questo motivo, il monitoraggio dell'inquinamento acustico è iscritto nella Direttiva UE strategia marina. Il descrittore 11 infatti riguarda l'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine per il quale bisogna mantenere livelli al di sotto dei limiti che potrebbero effetti negativi sull'ambiente marino.

I provvedimenti a livello istituzionale e internazionale per ridurre l'inquinamento acustico e preservare le specie ed i loro habitat cominciano ad essere presi in considerazione ma sono ancora scarsi. In relazione alle esigenze di tutela ambientale e relativo contenimento dell'impatto delle attività di navigazione turistica (emissione di rumore subacqueo), principalmente durante il periodo estivo, il Parco Nazionale delle 5 Terre ha interdetto la navigazione in zona protetta A e, per l'annualità 2020, ha limitato a 5 nodi (in assetto dislocante) la velocità di navigazione da diporto nelle zone B e C del parco entro 600m dalla costa. Dei criteri di premialità ambientali sono inoltre previsti per le imbarcazioni con emissioni gassose e acustiche moderate.

Il progetto descritto in questo documento, relativo alla convenzione C20/0173 tra il Parco Nazionale delle 5 Terre, l'Università della Sorbonne (F), e l'istituto Chorus (F), si iscrive nella dinamica del Parco di promuovere misure sulla riduzione dell'impatto del rumore antropico subacqueo su organismi e habitat sensibili nell' area marina protetta.

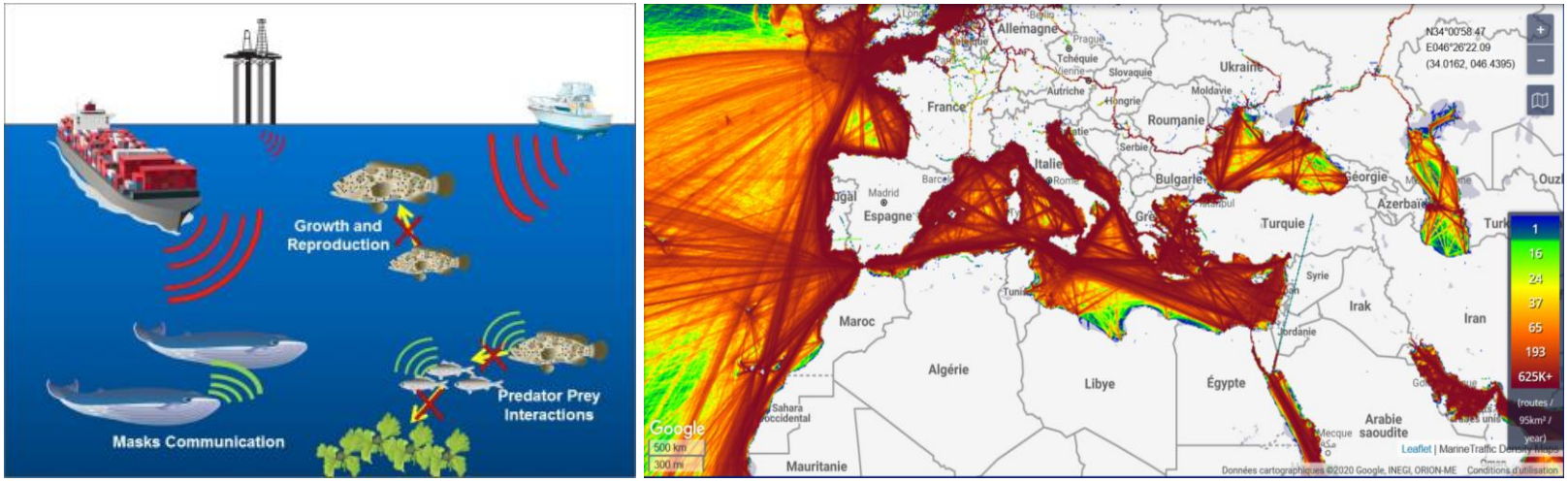


*Figura 1. **Sinistra**: Impatto del rumore di imbarcazioni sulla fauna marina (c.f. Di Franco et al. 2020 , Slabbekoorn et al. 2010). Destra: Mappa del traffico marittimo annuale nel Mediterraneo reale basato su dati AIS (imbarcazioni di più di 20m). Credit: www.martinetraffic.com*

Obbiettivi

Quantificazione del rumore nelle zone A e in zona C

Il primo obbiettivo è quello di quantificare il rumore ambientale e in particolar modo la parte antropica (traffico marittimo) del paesaggio sonoro delle zone A, e C dell'AMP delle 5-Terre durante il lockdown primaverile del 2020 e in estate.

Questo confronto permetterà di stabilire l'effetto del turismo sul rumore ambientale in ognuna delle zone e stimarne l'aumento dovuto alle attività estive. Inoltre, le registrazioni effettuate in zona A e C, serviranno ad identificare e quantificare l'effetto "riserva rumore" della zona A con divieto di transito rispetto alle altre zone, in particolar modo in estate. Questo dato e la differenza fra inverno ed estate servirà a mettere in valore il "guadagno" di una riduzione del traffico o della velocità per l'ecosistema, affinché il fattore "rumore" possa essere considerato nelle misure di gestione e così contribuire alla Direttiva UE strategia marina.

I risultati verranno valutati in relazione ai tipi di impatti sugli organismi. Questi includeranno una stima della riduzione dello spazio di comunicazione che subiscono le specie residenti, tra cui specie indicatrici e vulnerabili (lista rossa dell'IUCN) come cernie e corvine in estate. Altri possibili impatti verranno inoltre stimati basandosi sulla bibliografia scientifica.

Nello specifico si pongono le seguenti domande riguardo al rumore ambientale:

1. Quali sono le differenze tra periodo di lockdown (con poco traffico) e periodo estivo?
2. Quanto sono frequentate le zone A e C e che tipi di traffico marittimo sono presenti e quanto influiscono sui paesaggi sonori ?
3. Quale potenziale impatto sulla fauna comporta l'aumento estivo?
4. Esistono differenze di rumore tra le zone, ed esiste un effetto "riserva rumore" delle zone A ?

Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni

Il Parco Nazionale delle 5 terre sta mettendo in atto delle misure per contenere l'impatto dell'emissione di rumore subacqueo all'interno dell'area marina protetta. Tra queste misure c'è il divieto di transito nelle zone A e la limitazione della velocità di navigazione da diporto a 5 nodi (in assetto dislocante) nelle zone B e C del parco entro 600m dalla costa. Inoltre, per favorire l'utilizzo di imbarcazioni ad impatto limitato, il Parco prevede delle premialità ambientali.

Il confronto tra le registrazioni effettuate nelle zone A e C permette di quantificare il beneficio di un divieto di transito nelle zone di maggiore protezione e delle limitazioni di velocità. Inoltre, grazie a delle misurazioni mirate del rumore emesso da diversi tipi di imbarcazioni a velocità definite, si possono emettere classifiche, utili per sostenere i criteri di premialità e stimare la riduzione del rumore emesso limitando la navigazione a 5 nodi e quindi il suo impatto benefico sugli ecosistemi.

Nello specifico si pongono le seguenti domande:

1) Quali sono le differenze di rumore da traffico da diporto tra le zone A e il sito monitorato in zona C di fronte a Manarola?
2) Qual è il rumore emesso da diversi tipi di imbarcazioni da diporto a 5, 10, 15 e 20 nodi di velocità di navigazione?

Metodologia

Le campagne in cifre

Due campagne sono state effettuate, una a metà maggio (fine lockdown) e una a metà luglio del 2020.

Date delle registrazioni	**17/06/20– 27/05/20 e dal 22/07/19 – 02/08/20**
CHORUS	Lucia Di Iorio (responsabile)
LECOB-CNRS	Lorenzo Bramanti (responsabile) & Bruno Hesse
Parco Nazionale delle 5 Terre	Claudio Valerani, Beppe Rollandi & Massimo Andreoli
Numero e tipo di materiale acustico usato	6 EA-SDA14 (RTSYS®), 16 hydrophones HTI-92-WB (High Tech. Inc.)
Mezzi nautici usati	1 gommone del Parco
Numero globale di siti di ascolto	11
Numero globale di gironi di registrazione	59
Dati raccolti	2.5 To (terabites)

Le registrazioni

MATÉRIALE ACUSTICO

6 registratori di tipo EA-SDA14 de RTSYS® (F) e 16 idrofoni HTI-92-WB (High-Tech Inc, USA), sistemi di alta qualità capaci di registrare lo stato 0 del moto ondoso, sono stati messi a disposizione da CHORUS per entrambe le campagne con le caratteristiche seguenti:

EA-SDA14 avec HTI-92 : Sensibilità di -155 dB re 1 V/µPa, Amplificazione : 0 dB, bits : 24, Dinamica : 2.5V

La frequenza di campionamento per lo studio sul rumore ambientale era di 78 kHz o di 156 kHz (Mesco estate). La frequenza di campionamento più elevata al Mesco è dovuta a un altro studio concomitante focalizzato sull'impronta acustica delle foreste di gorgonie rosse (*Paramuricea clavata*). Il ciclo di registrazione era di 20 minuti con intervalli di 20 minuti in estate e 40 minuti durante il periodo di lockdown. In etsate è stato possibile effettuare registrazioni ad intervalli inferiori perché la logistica permetteva di eseguire rotazioni dei registratori per effettuare la ricarica delle batterie, cosa che non era possibile durante il periodo del lockdown nel quale i registratori sono stati immersi all'inizio della campagna e recuperati alla fine, senza rotazione.

SISTEMA DI FISSAZIONE

Per i sistemi ad un idrofono usati per l'ascolto dei paesaggi sonori e l'antropofonia, i registratori erano fissati a blocchi di cemento di 25kg ca. L'idrofono invece era fissato a una cima mantenuta verticale da una piccola boa di sub-superfice (non -comprimibile) di 1L ca. In questo modo, l'idrofono si posizionava tra 1 e 2 m dal fondo (Fig.2).

Il materiale veniva preparato e programmato a terra e installato e repertato in immersione. Un sistema di posizionamento senza intervento di subacquei è stato usato per le misure dei rumori emessi dalle imbarcazioni di diporto (Fig. 2).

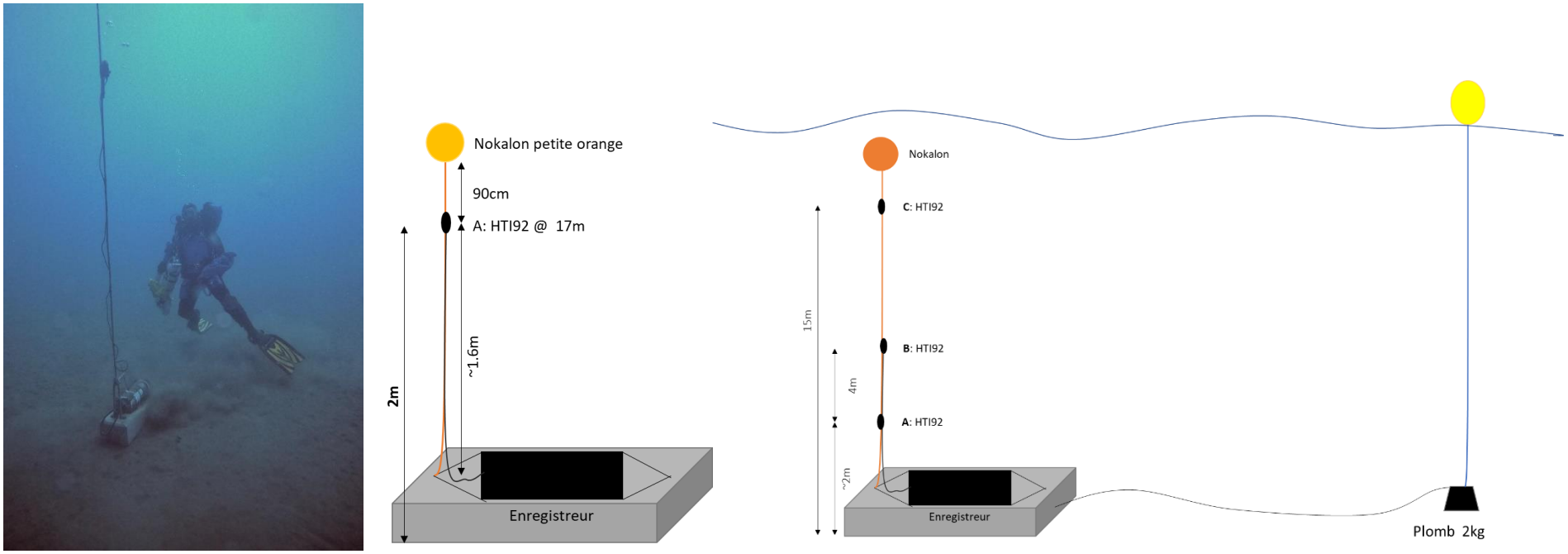


Figura 2: Foto del sistema. Al centro: Tipo di sistema usato per le registrazioni dei paesaggi sonori e il rumore antropico (quesito 2). Destra: Sistema con antenna di 3 idrofoni usato per misurare il rumore delle imbarcazioni (quesito 2).

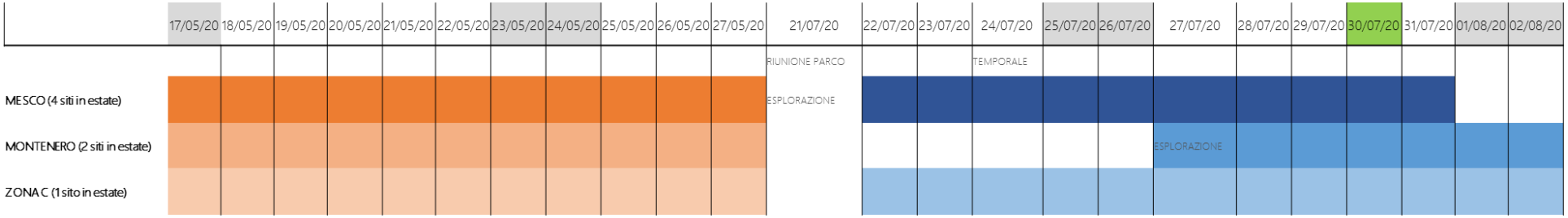
Svolgimento

FREQUENTAZIONE E QUANTIFICAZIONE DEL RUMORE NELLE ZONE A E IN ZONA C

I dati sono stati analizzati e confrontati singolarmente per ognuna delle campagne e confrntati tha le due campagne. Le registrazioni durante il lockdown, infatti offrono la rara possibilità di raccogliere informazioni su uno stato di "silenzio" di riferimento.

Come indicato nel calendario, la campagna "lockdown" si è svolta dal 17/05/2020 al 27/05/2020 e quella estiva dal 22/07/2020 al 03/08/2020.

Calendario



Siti di ascolto

Le registrazioni sono state effettuate nelle stesse zone di ascolto durante le due campagne. Due siti di ascolto sono stati utilizzati a Montenero in estate per motivi legati ad un altro studio di tipo biologico. Le registrazioni nei due siti sono state effettuate consecutivamente ed i dati sono stati uniti per le analisi del rumore ambientale (Fig. 3).

Sito	Zona	Lat	Long	Prof (m)	Temp	FC (kHz)	Ciclo
Manarola	C	44.1007	9.7280	21	17	78kHz	20'/40'
Mesco	A	44.1329	9.6347	25	17	78kHz	20'/40'
Montenero	A	44.0905	9.7399	27	17	78kHz	20'/40'
Manarola	C	44.1007	9.7280	21	17	78kHz	20'/20'
Mesco	A	44.1328	9.6352	28.6	16	156kHz	20'/20'
Montenero 1	A	44.0923	9.7375	29	18	78kHz	20'/20'
Montenero 2	B	44.0904	9.7397	29	17	156kHz	20'/20'
Barche	C	44.1014	9.7218	30		78kHz	continue

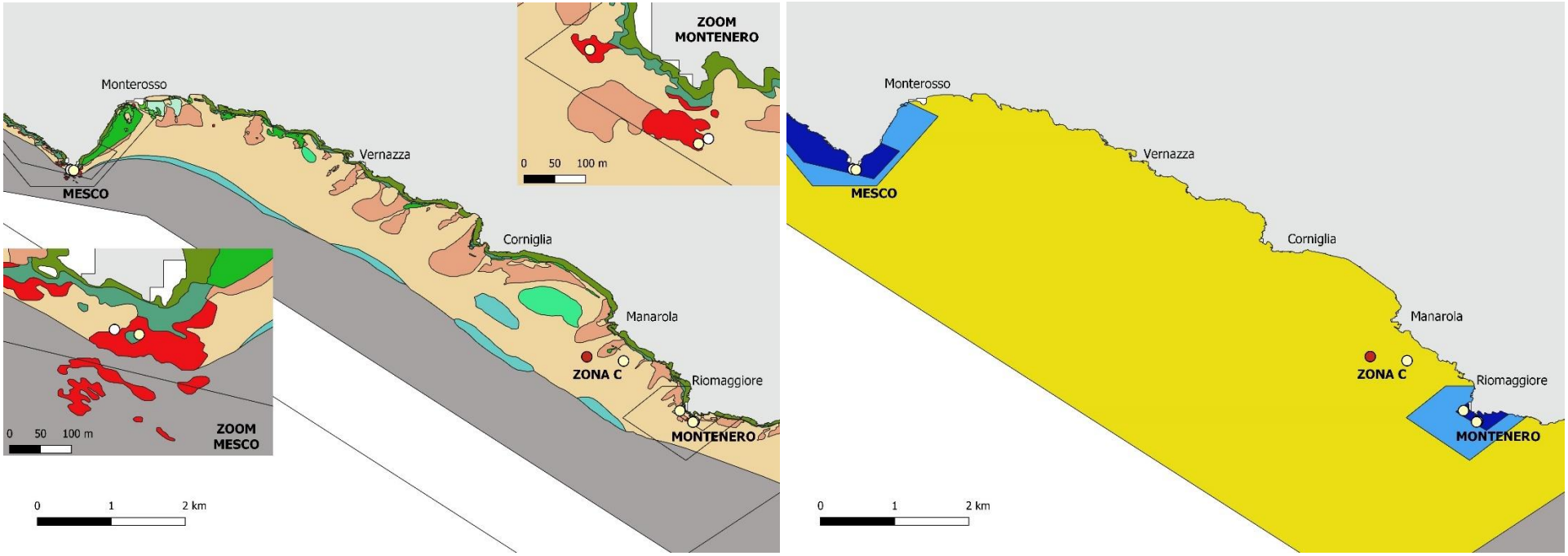


*Figura 3: **Sinistra**: Mappa biocenotica dell'AMP con zoom sui siti protetti della zona A, dominati da coralligeno (rosso). **Destra**: Mappa delle zone di protezione: blu scuro= zona A (riserva integrale), celeste = zona B (riserva parziale), giallo = zona C (area di protezione). I siti in cui sono state effettuate le registrazioni sono simbolizzati dai cerchi: bianco: siti di registrazione lockdown, giallio chiaro: siti di registrazione estivi, rosso: punto di ascolto per le misure del livello del rumore di imbarcazioni.*

QUANTIFICAZIONE DEL RUMORE DI DIVERSI TIPI DI IMBARCAZIONI

La mattina del 30 luglio mattina è stata dedicata alle misurazioni dei livelli di rumore emessi da diversi tipi di imbarcazioni. Per queste misurazioni è stata scelta una zona con poco rilievo batimetrico situata di fronte a Manarola (Fig. 3, cerchio rosso). Le registrazioni sono state effettuate seguendo il protocollo dell'American National Standard (ANSI) (ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1: *Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships - Part 1: General Requirements*). Il protocollo prevede la registrazione in 3 punti della colonna d'acqua (Fig. 2 destra) e delle

traiettorie delle barche prestabilite (Fig. 4). Per evitare saturazioni dovute a rumori troppo forti, i passaggi si effettuavano a circa 100m di distanza dal punto di ascolto. Un passaggio misurava ca. 1500m di lunghezza.

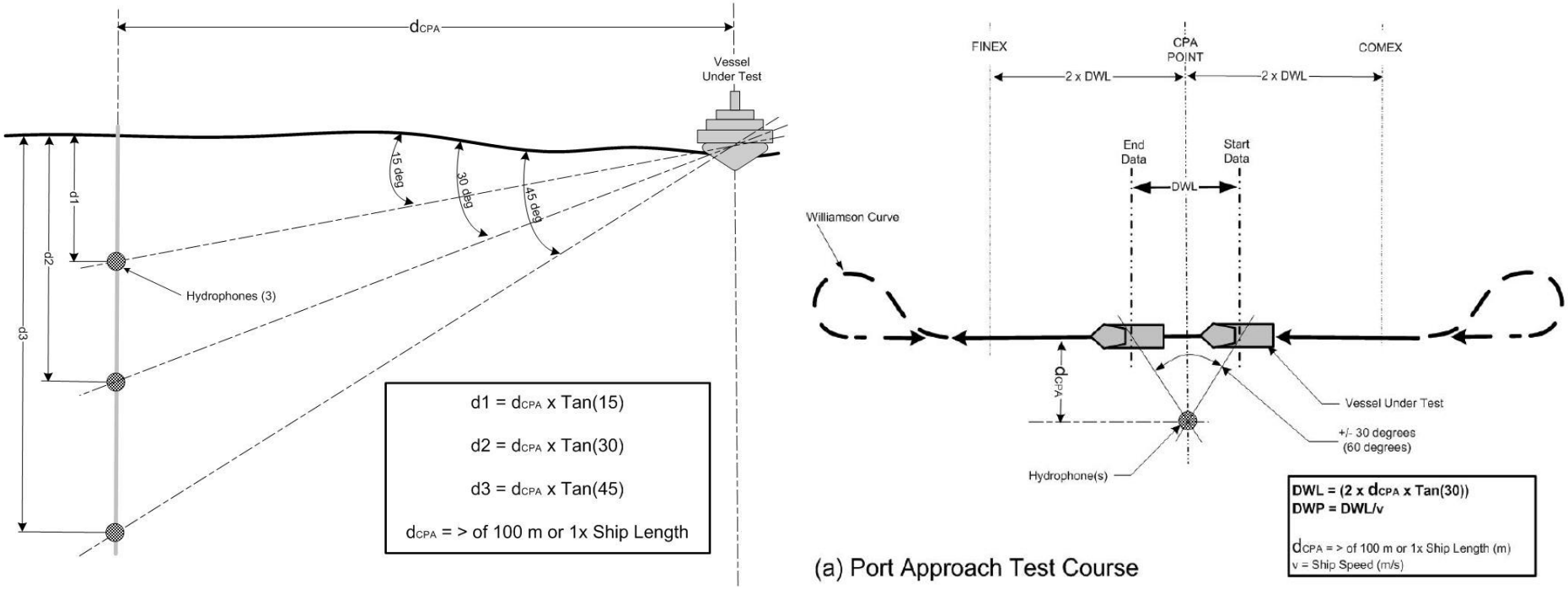


Figura 4. Estratto del protocollo ANSI. A sinistra: l'antenna con i 3 sensori posizionati a distanze pre-calcolate. A destra illustrazione delle traiettorie dei passaggi da effettuare per le misure del livello di fonte. d_{CPA} è la distanza tra la traiettoria del passaggio e il registratore (~100m).

Ognuna delle barche che hanno partecipato alle misurazioni doveva effettuare 4 passaggi a diverse velocità: 5 nodi, 10 nodi, 15 nodi e 20 nodi mantenendo la stessa rotta ad ogni passaggio. Un operatore a bordo registrava le traiettorie su un GPS e segnava la velocità di ogni passaggio e il tempo e la posizione al momento della virata.

Analisi

Frequentazione e quantificazione del rumore nelle zone A e C

QUANTIFICAZIONE SPETTRALE DEL RUMORE ANTROPICO DEI PAESAGGI SONORI

I dati sono stati analizzati con algoritmi sviluppati dall'istituto Chorus con il software Matlab®. Per ogni sito e per ogni periodo di registrazione sono stati generati degli spettrogrammi che permettono di visualizzare i dati ed esplorare i pattern generali. Poiché l'energia del rumore antropico è principalmente concentrata nelle basse frequenze, i dati sono stati sotto-campionati a 8kHz, cosa che permette di accelerare i processi di calcolo. Le registrazioni sono state segmentate in bin di 10 secondi sui quali sono stati applicati i calcoli spettrali (LFFT 1024, overap 0.75, Kaiser window). Gli spettri di potenza del 25° e 50° percentile sono stati calcolati per confrontare il rumore di fondo (25° percentile) fra siti e il rumore mediano. Gli spettri di potenza rappresentano la distribuzione dell'energia acustica sulla banda di frequenza registrata. Il rumore mediano incluso tra i 50 e 1000 Hz è poi stato confrontato fra periodi e siti. Questa banda è stata scelta perché 1) dominata dal rumore antropico ed esente da rumori biologici forti di crostacei (in particolar modo dei gamberi pistola) superiori a 1000Hz, e 2) perché è anche la banda principale di comunicazione di pesci e grandi cetacei particolarmente sensibili al rumore antropico.

CONTAGGIO DEI PASSAGGI DI BARCHE E RUMORE E RUMORE ASSOCIATO

La frequentazione è stata stimata in base al passaggio di imbarcazioni a motore in ogni sito. Le registrazioni sono state divise in segmenti di 5 minuti. Un algoritmo di elaborazione automatica sviluppato da Chorus basato sulla binarizzazione di uno spettrogramma descritto in Dadouchi et al. 2013 e adattato ai segnali di barche a motore, è stato applicato per identificare i passaggi di imbarcazioni. Dopo la messa a punto e la verifica mediante la visualizzazione dei rilevamenti su un database di prova, sono state stabilite le impostazioni ottimali e applicate a tutti i dati acustici acquisiti. Gli spettrogrammi con le detezioni (Fig. 5) sono stati in seguito verificati manualmente da un operatore per evitare false detezioni. Dal resto degli spettrogrammi sono stati inoltre estratti i segmenti contenenti rumori continui di imbarcazioni, spesso dovuti a barche in sosta con motori o generatori accesi o al traffico marittimo più al largo (Fig. 5).

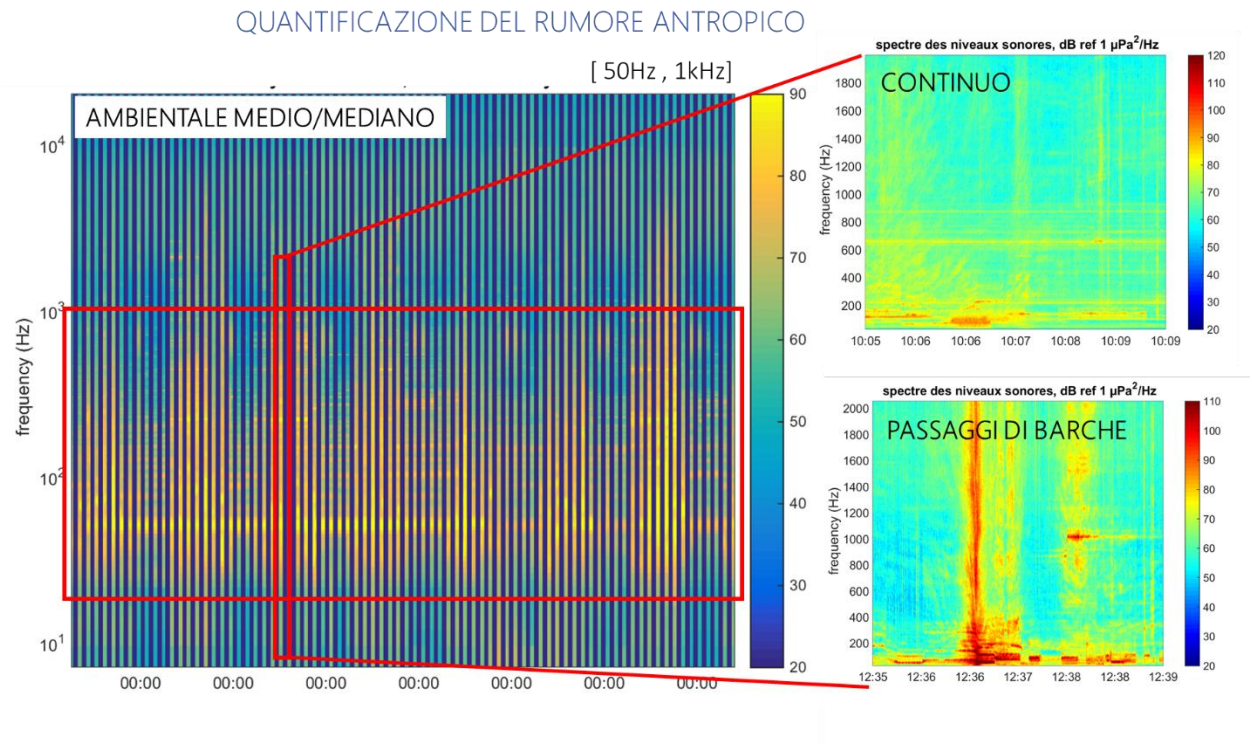


Figura 5. ***Sinistra****: Spettrogramma su una settimana con in giallo i periodi di eventi energetici prodotti da fonti antropiche, principalmente da barche.* ***Destra****: Zoom su due segmenti di spettrogramma da 5min con in alto la rappresentazione di un rumore continuo e in basso di un passaggio in prossimità del registratore.*

Per goni evento (i.e., passaggio), il livello di pressione sonora SPL rms (root mean square Sound Pressure Level) registrato è stato calcolato all'interno della banda tra i 50 e 1000 Hz. Il livello sonoro del rumore continuo è invece stato calcolato sulle bande di terza ottava centrate a 125 Hz, 250 Hz e 500 Hz.

Il traffico costiero da diporto, il rumore associato ed il livello di rumore antropico continuo sono poi stati confrontati fra periodi e siti per poter rispondere ai quesiti posti. Dei polar plot sono stati usati per visualizzare le frequentazioni in ogni sito.

Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni

L'analisi si riferisce agli standard dell'ANSI. Senonché, essendo in bassi fondali, non si può applicare una legge di propagazione sferica, tipicamente adottata al di sopra dei 60m di profondità, per stimare il livello sonoro di fonte. Per calcolare le perdite di trasmissione e risalire al livello di fonte (Recieved Level= Source Level - Transmission Loss) è stata quindi applicata l'integrazione sul numero di onde, descritta in Simard et al. 2016, e adatta alla propagazione in fondali bassi. Le posizioni delle barche sono state estratte grazie alle tracce GPS come anche le distanze d_{CPA} (c.f. Fig. 4). Dal tempo percorso sulla traccia sono poi stati stimati i raggi in metri per poter risalire alle perdite di trasmissione usate per calcolare il rumore di fonte:

raggio = sqrt($d_{cpa}^2 + (v(t-t_{cpa})^2)$)

v= velocità, t = tempo, t_{cpa} = tempo al quale si è estratta la distanza d_{cpa} (c.f. Fig. 4).

Usando il tempo necessario per percorrere una radiale, si è poi risaliti alla velocità reale di navigazione.

Ogni traccia sonora può essere divisa in una parte relativa all'avvicinamento dell'imbarcazione al punto di ascolto fino a t_{cpa} (c.f. Fig 4 CPA point, DWL) e una parte relativa a l'allontanamento (Fig. 6). Per ogni parte in avvicinamento e in allontanamento su ognuno dei 3 idrofoni si calcola poi uno spettro di potenza sonora di fonte. Lo spettro sonoro medio (sui 6 spettri) è poi stimato e usato per i confronti.

Tutto il procedimento matematico per calcolare il rumore di fonte è descritto nel protocollo ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1.

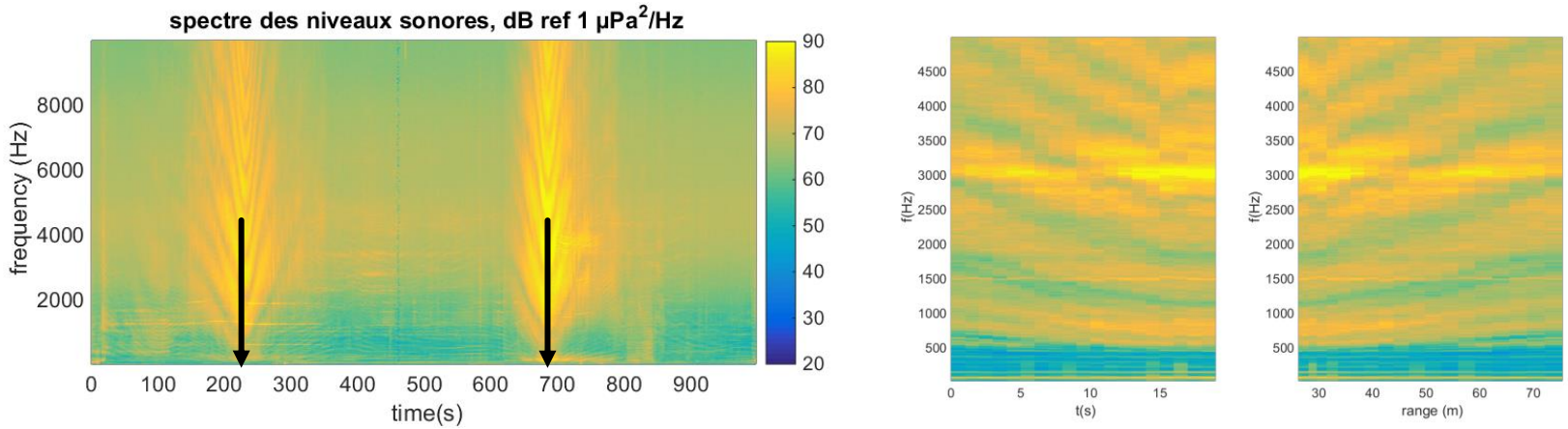


Figura 6. ***Sinistra*** *spettrogramma con due passaggi di barche. Il tempo t_{CPA} è indicato dalle frecce.* ***Destra****: Spetrrograma della parte d'avvicinamento e di allontanamento in un caso indicata nel tempo (sinistra), nell'altra tradotta in raggio (i.e. distanza in metri).*

Risultati

Frequentazione e quantificazione del rumore nelle zone A e C

QUALI SONO LE DIFFERENZE TRA SITI E TRA LOCKDOWN E PERIODO ESTIVO?

Rumore ambientale

Dagli spettrogrammi delle registrazioni effettuate durante il lockdown, si evince che l'unico sito praticamente esente da rumore antropico era la zona A del Mesco (Fig. 7). Infatti, in zona C a Manarola ed in zona A a Montenero le registrazioni erano "inquinate" da attività umane legate ai lavori dei pontoni sulla diga frangiflutti del porto di Riomaggiore. La presenza di rumore antropico in particolar modo a Montenero durante il lockdown si rispecchia anche nelle analisi spettrali (Fig. 8). Il livello di rumore tra i 50 e 1000Hz è infatti è molto più elevato a Montenero. Di giorno in particolar modo, il rumore legato allo spostamento di massi rocciosi, dei lavori in corso, dei rimorchiatori e delle motovedette della Guardia Costiera in transito tra Manarola e Monterosso, hanno perturbato il "silenzio" del lockdown nella zona interessata, anche di notte (generatori). Per

il confronto tra lockdown e periodo estivo quindi, sono stati usati esclusivamente i dati raccolti nella zona A del Mesco, che funge da riferimento per il "silenzio" da lockdown.

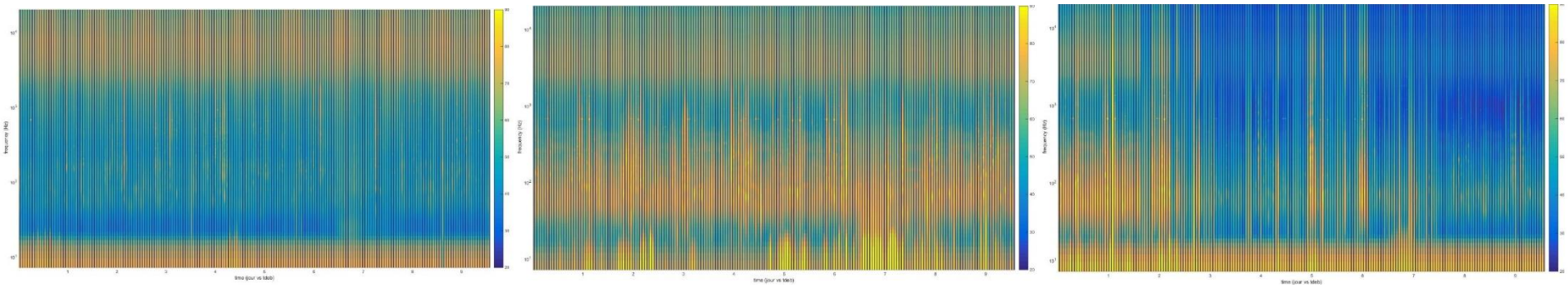


Figura 7. Spettrogrammi delle registrazioni effettuate durante il lockdown (FFT = 1024, overlap = 0.75, Kaiser window, [50, 4000Hz] al Mesco (sinistra), Montenero (centro), Manarola (destra). A Montenero in particolar modo si nota la presenza di attività umana ciclica nelle frequenze tra i 50 e 1000 Hz dovute ai lavori sulla diga frangiflutti del porto di Riomaggiore.

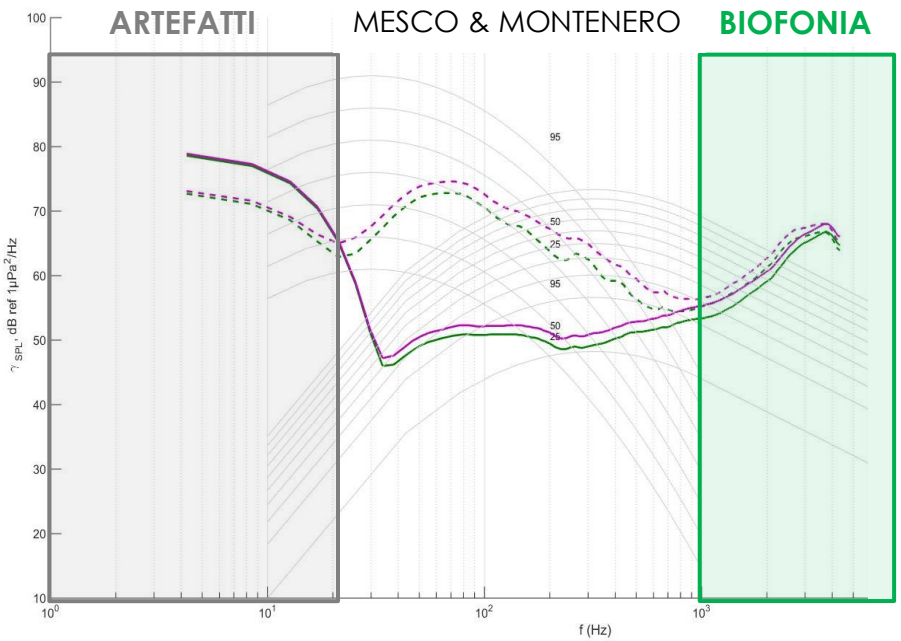


Figura 8. Spettri di potenza del 25° (curve verdi) e 50° percentile (curve fuxia) del rumore ambientale. Le linee tratteggiate indicano gli spettri di Montenero durante il lockdown, le altre quelli del Mesco. Si nota che Montenero è molto più rumoroso del Mesco poiché le curve tra i 50 e 500 Hz sono molto distanti. Le differenze sono dovute alle attività del pontone. Invece, sopra i 1000Hz, si ricongiungono e rispecchiano la contribuzione dei gamberi pistola al paesaggio sonoro.

La differenza di rumore ambientale nella fascia dell'antropofonia è in media di 10 dB ma con picchi di 20dB di differenza (Fig.9)! Se si tiene conto che la scala dei decibel è logaritmica, l'aumento di rumore ambientale estivo è considerevole. Un suono emesso nelle basse frequenze (< 1000 Hz) si trasmetteva almeno 4 volte meglio e dunque più lontano durante il lockdown che in estate. Ciò può avere forti implicazioni per la fauna, in particolar modo per numerose specie di pesci e cetacei (c.f. discussione). La differenza tra il rumore ambientale di riferimento durante il lockdown ed il rumore estivo è risultata statisticamente significativa (F=1290, df=898, p< 0.0001) (Fig 10).

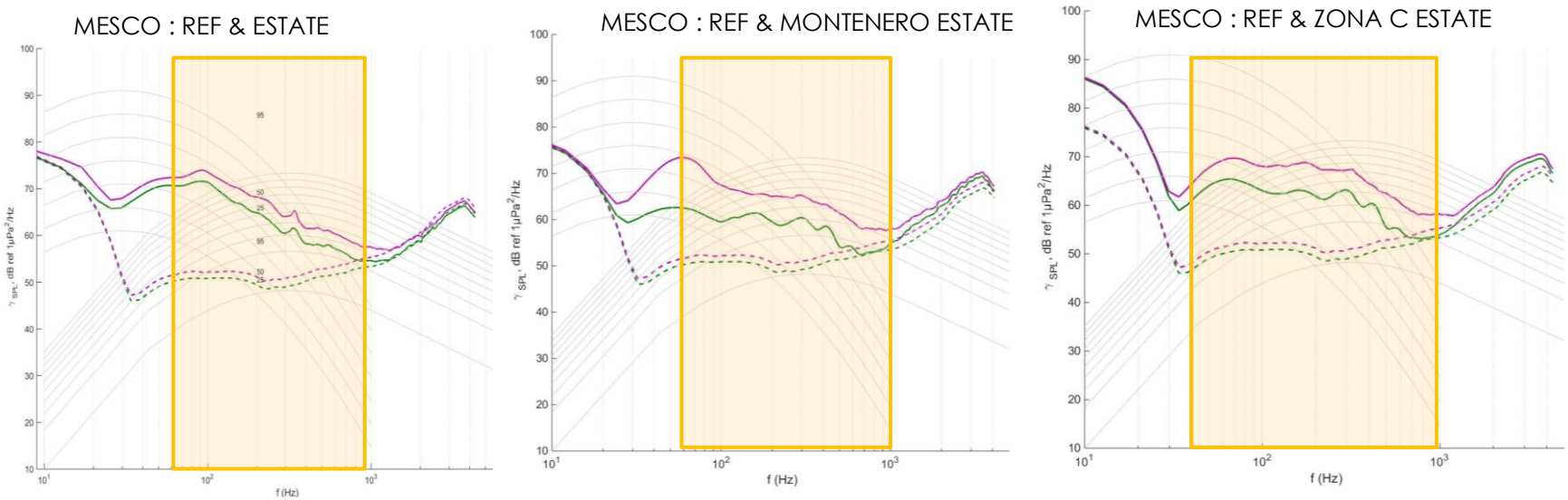


Figura 9. Spettri di potenza del 25° (curve verdi) e 50° percentile (curve fuxia) del rumore ambientale. Le linee tratteggiate indicano gli spettri del Mesco durante il lockdown. La zona gialla indica la parte del rumore ambientale dominata dall'antropofonia.

Durante il periodo estivo, il rumore ambientale nella fascia dell'antropofonia non mostra differenze significative fra i tre siti (Fig. 10). In zona C, il rumore è più elevato su tutta la banda rispetto a Montenero e Mesco (Fig. 9).

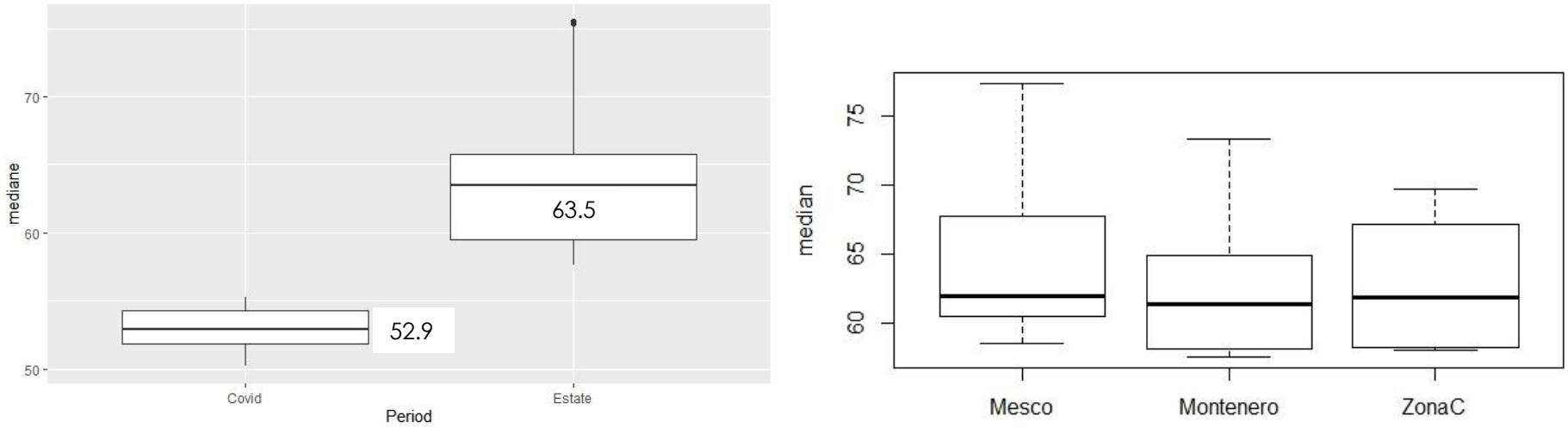


Figura 10. ***Sinistra****: Boxplot del livello del rumore ambientale tra 50 e 1000Hz al Mesco durante il lockdown in tutti e tre i siti di ascolto in estate. I numeri indicano i valori mediani del rumore ambientale in dB re 1μPa²/Hz.* ***Destra****: Boxplot del livello del rumore ambientale estivo nei tre siti studiati.*

Rumore del traffico marittimo e frequentazione

Il rumore di imbarcazioni a motore può essere di due nature. Le imbarcazioni di passaggio nella zona di registrazione emettono rumori intensi ma relativamente brevi. Le barche più distanti, con velocità da crociera o generatori accesi, generano invece rumori meno intensi ma continui (Fi. 11). Le analisi del rumore continuo nelle bande in terzi d'ottava (125, 250 e 500Hz) mostrano che non ci sono differenze significative tra le zone. Il rumore continuo è dunque simile nelle zone A e C (Fig. 12). Ciò significa che la contribuzione delle barche più distanti o in navigazione da crociera al rumore antropico è simile in tutta l'AMP.

Anche il rumore emesso dalle imbarcazioni di passaggio non mostra differenze fra siti. L'intensità del rumore emesso dalle barche dipende dalla distanza fra la barca e il registratore, la velocità di navigazione, il tipo e la potenza del motore ecc. ma non dal numero di barche. L'assenza di differenza indica che in linea di massima le barche attraversavano le zone in prossimità del registratore. Dagli spettrogrammi dei passaggi (Fig. 11), si può anche dedurre che le velocità erano generalmente superiori ai 5 nodi consentiti. Non c`è qindi un effetto "riserva rumore" delle zone A con divieto di transito.

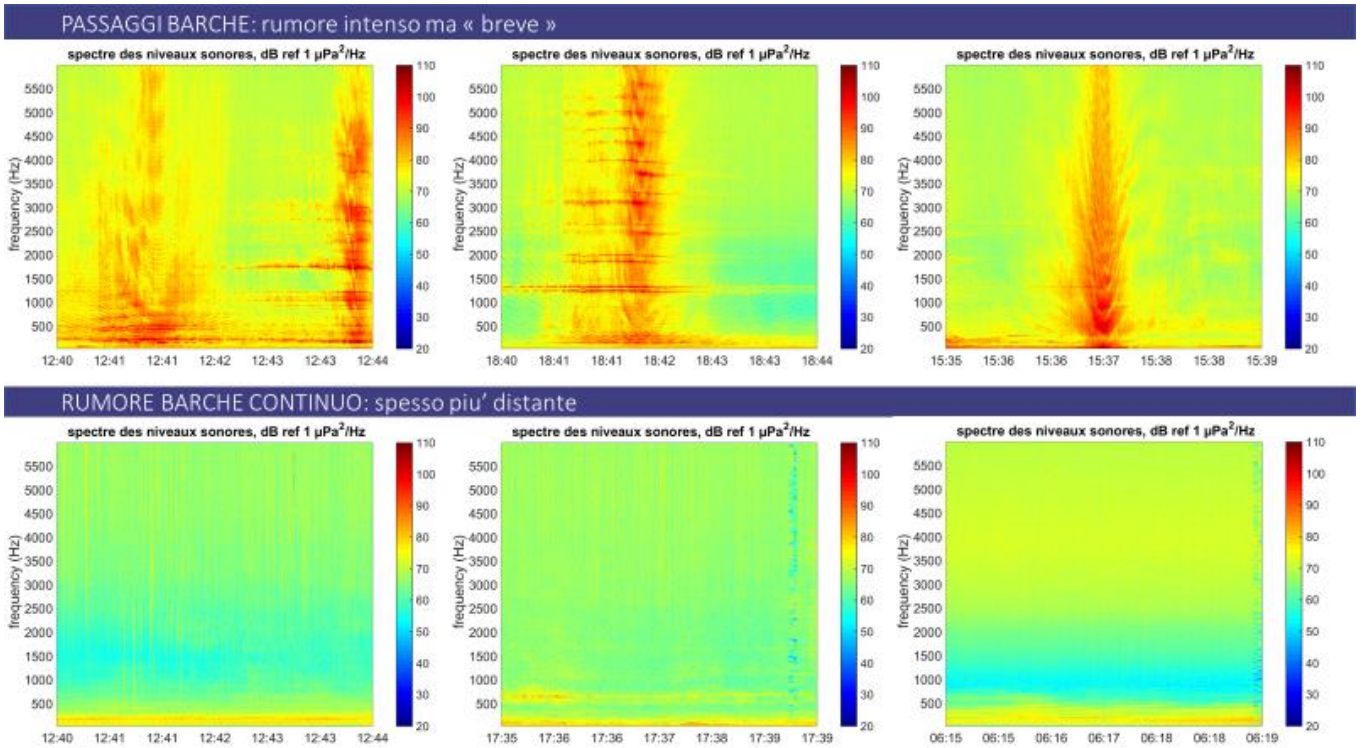


Figura 11. Illustrazioni dei due tipi di rumore generati da imbarcazioni a motore. In alto: spettrogrammi con passaggi di barche (più è rosso, più il rumore è intenso). In basso: spettrogrammi di rumore continuo meno intenso e spesso più lontano.

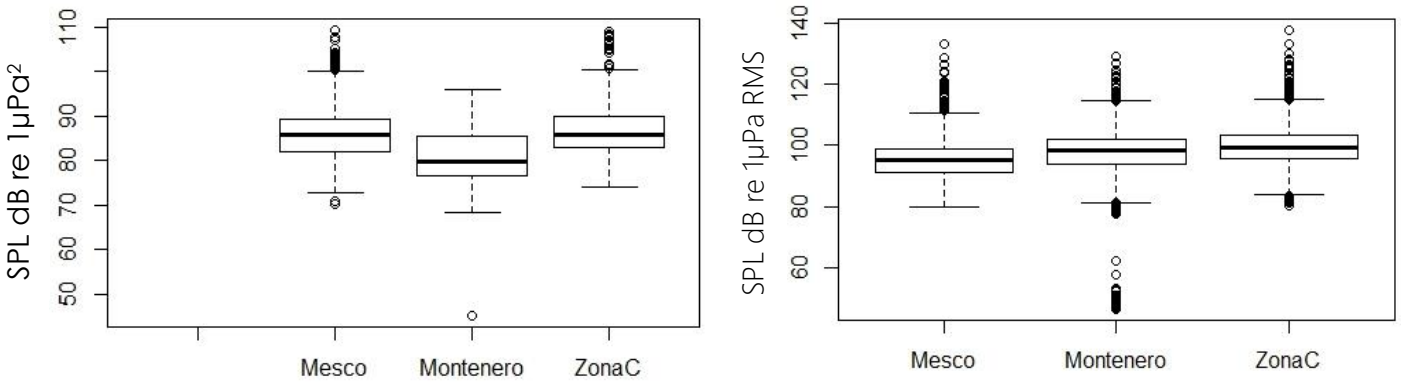


*Figura 12. **Sinitra**: Livello del rumore nella banda in terzi d'ottava centrata a 250 Hz [223,280] nei tre siti. **Destra:** Livello del rumore RMS nella banda tra 50 e 1000 Hz creato dai passaggi delle imbarcazioni.*

Il fatto che il rumore emesso dal passaggio di imbarcazioni non dipenda dal numero, si vede dai risultati di frequentazione, cioè dai conteggi dei passaggi di imbarcazioni (gli stessi usati per calcolare il livello di rumore) nei tre siti (Fig. 13).

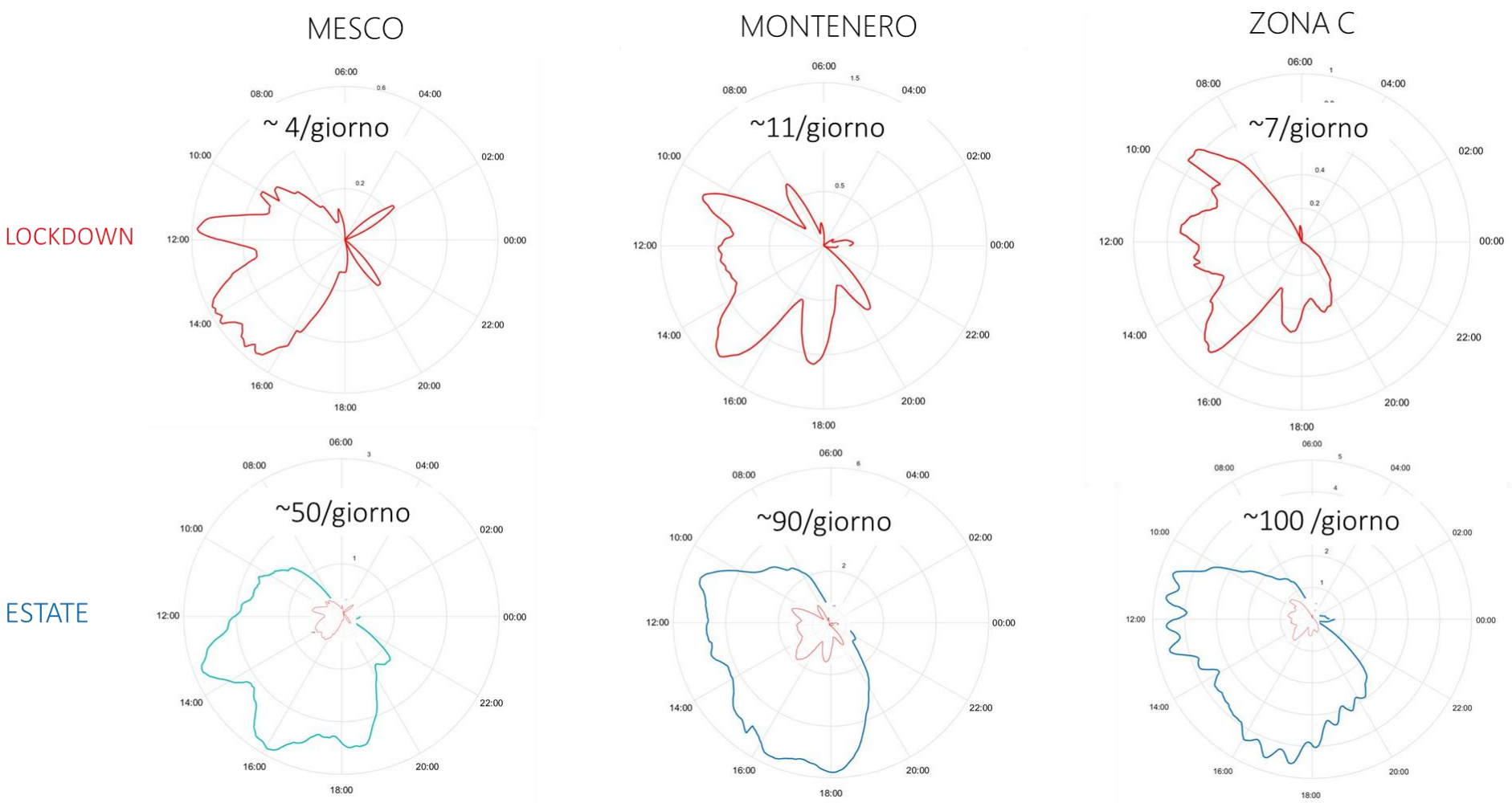


Figura 13. Polarplot da leggere in senso antiorario, che illustrano la frequentazione giornaliera durante il lockdown (in alto) e in estate (in basso). Le scale di misura tra i grafici delle due campagne non sono le stesse. Per rappresentare meglio le differenze di intensità di traffico, nei grafici estivi sono stati sovrapposti quelli del lockdown. I numeri di barche giornalieri sono approssimazioni perché le registrazioni non erano continue ma seguivano un ciclo di campionamento.

In entrambi i periodi l'attività nautica è principalmente diurna. Durante il lockdown però, la frequentazione era minima, contava ca. 4 passaggi al giorno al Mesco, ca. 7 in Zona C e ca. 11 a Montenero e almeno10 volte inferiore a quella estiva. Inoltre, durante il lockdown, il traffico era molto più variabile con alcuni picchi. A Montenero ad esempio, il picco alle 8:00 e alle 18:00 è probabilmente dovuto all'arrivo e alla partenza del pontone. In estate, la frequentazione più alta è stata registrata nella Zona C seguita da Montenero e Mesco. In Zona C e a Montenero, il traffico era sempre elevato dalle 10:00 alle 18:00 con una leggera inflessione poco dopo l'ora di pranzo. Il Mesco è il sito meno transitato, con quasi la metà di passaggi registrati rispetto a Montenero e alla Zona C e una fascia oraria di frequentazione minore rispetto agli altri due siti (Fig. 13/14).

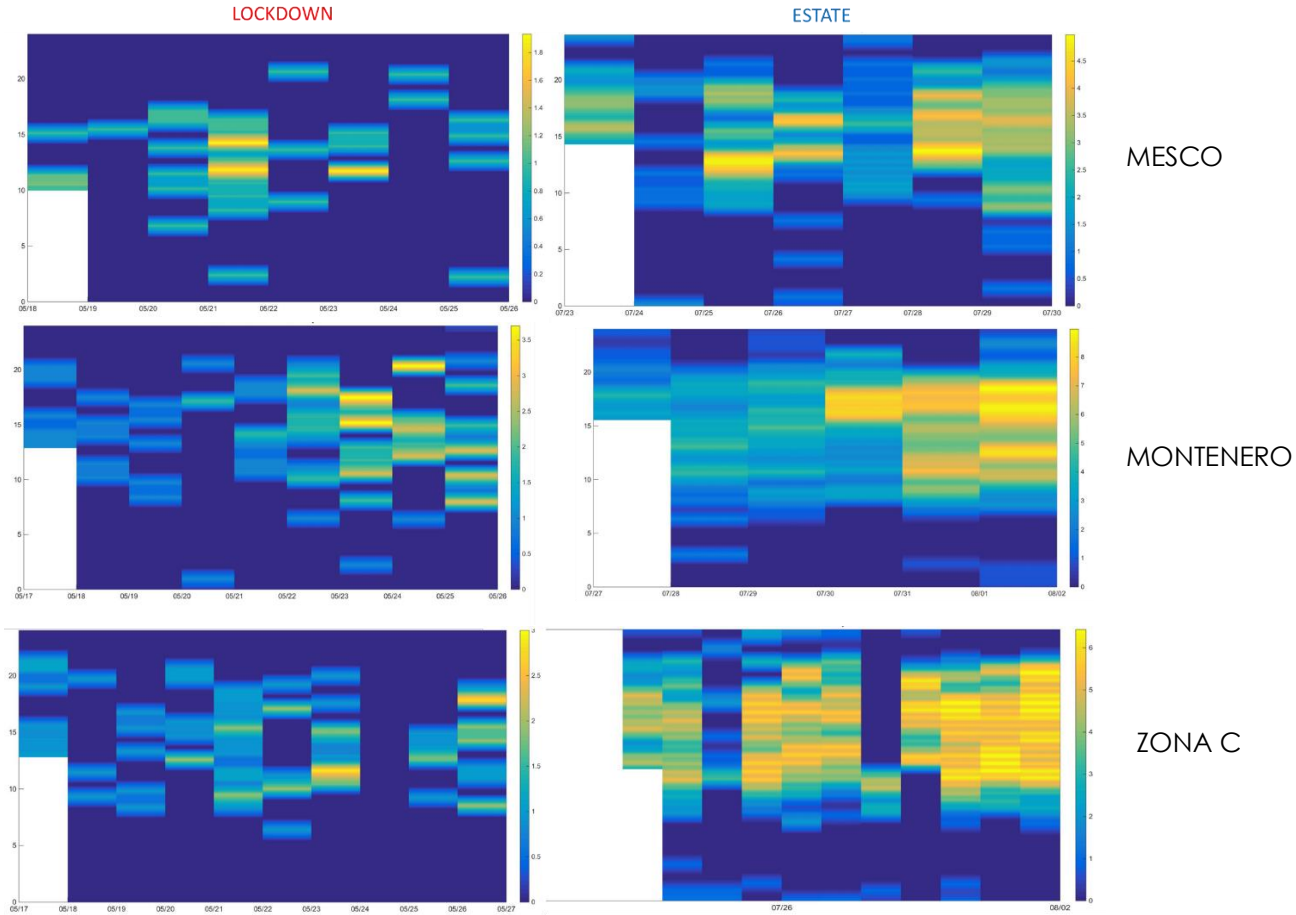


Figura 14. Frequentazione giornaliera per fascia oraria per ogni girono di registrazione durante il lockdown (sinistra) e in estate. Il numero di barche è dato dalla scala di colore.

La zona C è la più transitata (Fig. 14) in estate con una densità di passaggi superiore agli altri siti. Dai grafici della Fig. 14 si nota inoltre un aumento generale in estate alla fine del periodo di registrazione che coincideva con il primo weekend di agosto. Si nota inoltre la differenza di periodi di silenzio (zone blu) tra il lokdown e l'estate ma anche tra siti in estate. Durante il lockdown i periodi di tregua sonora prevalevano in tutti e tre i siti e in particolar modo al Mesco mentre in estate, i periodi di tregua sono ridotti quasi unicamente alle ore notturne, con qualche eccezione come quella dovuta alle avverse condizioni meteo 24 luglio. Anche in questo caso, tra i tre siti, il Mesco è chiaramente quello con più periodi di tregua rispetto a Montenero e la zona C di fronte a Manarola.

Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni

In tutto sono state misurate le emissioni sonore di 7 imbarcazioni tra cui 2 gozzi, 1 motoscafo (anche con motore elettrico), 2 gommoni, 1 barca a vela (a motore), e un traghetto (Tab. 1). Le analisi mostrano una variabilità molto ampia, di ca. 50dB!, data dal tipo di barca, dal tipo e la potenza del motore, la velocità ecc., rappresentata dalla zona grigia nelle figure degli spettri sonori che seguono. Anche in questo caso il confronto fra il rumore di fonte è stato effettuato nella banda da 100 Hz e 1000 Hz per evitare di includere fonti di rumore esterne. Quattro dei 27 transetti effettuati non sono stati trattati perché presentavano troppe interferenze dovute al passaggio contemporaneo di altre imbarcazioni nella zona di registrazione.

In linea generale, l'emissione sonora delle imbarcazioni a carena tonda (gozzi, vela) era inferiore. A pari velocità, le barche a carena tonda emettono meno rumore delle barche a carena planante. Il confronto a pari velocità di transetto (calcolata dalle tracce sonore) rivela che il gozzo di 5m con motore da 6 cavalli e un'andatura a ~7 nodi, era il meno rumoroso, seguito dal gozzo con entrobordo da 115 cavalli e la barca a vela con motore entrobordo (Fig. 15). Sempre a velocità equivalenti (10 nodi), il gommone da 5 metri con fuoribordo da 45 cavalli era il meno rumoroso, seguito dal motoscafo con fuoribordo da 115 cavalli, il gommone di 8m con due motori da 80 cavalli ed il traghetto (Fig. 15).

Si osserva anche che per un'imbarcazione, lo spettro del rumore di fonte non aumenta sempre in maniera omogenea con l'aumento della velocità. In generale, un aumento di velocità comporta un aumento globale del rumore di fonte su tutto lo spettro tra i 100 e 1000 Hz, ma le frequenze al di sopra dei 300Hz mostrano un aumento più importante (Fig. 16). Inoltre, nel

Tabella1: Foto delle imbarcazioni che hanno partecipato alle misurazioni.

gozzo, 5m, fuoribordo 6 cavalli
Transetti: 5 nodi

gozzo, entrobordo 115 cavalli
Transetti: 5, ~10 nodi

barca a vela, entrobordo
Transetti: ~8 nodi

gommone, 5m, fuoribordo 45 cavalli
Transetti: 5, 10, 15, 20 nodi

motoscafo, fuoribordo 115 cavalli
Transetti: 5, 10, 15, 20 nodi

gommone, 8m, 2x80 cavalli
Transetti: 5, 10, 15, 20, 30kn

traghetto, 2 entrobordo
Transetti: 10, 15, 20kn

caso di alcune imbarcazioni, il livello di rumore di fonte non aumenta in maniera lineare. Infatti, il livello di rumore di fonte del motoscafo di Davide con fuoribordo da 115 cavalli è più elevato quando naviga a 10 nodi che a 15 nodi. A 10 nodi quel tipo di imbarcazione, non essendo in planata, sforza di più il motore emettendo rumori più elevati che a velocità superiore (Fig. 16).

Le analisi mostrano infine che per tutte le imbarcazioni, l'andatura a 5 nodi è la meno rumorosa. Tra 'altro, c'è da sottolineare che l'aumento maggiore del livello di rumore emesso avviene nel passaggio dai 5 ai 10 nodi di velocità di navigazione. In funzione del tipo di imbarcazione e motore, questo aumento va dai 5dB ai 15dB in media!

Il limite dei 5 nodi all'interno del Parco comporta quindi una riduzione del rumore di imbarcazioni da diporto considerevole e quindi un effetto benefico sulla fauna dell'AMP (c.f. discussione).

CLASSIFICA

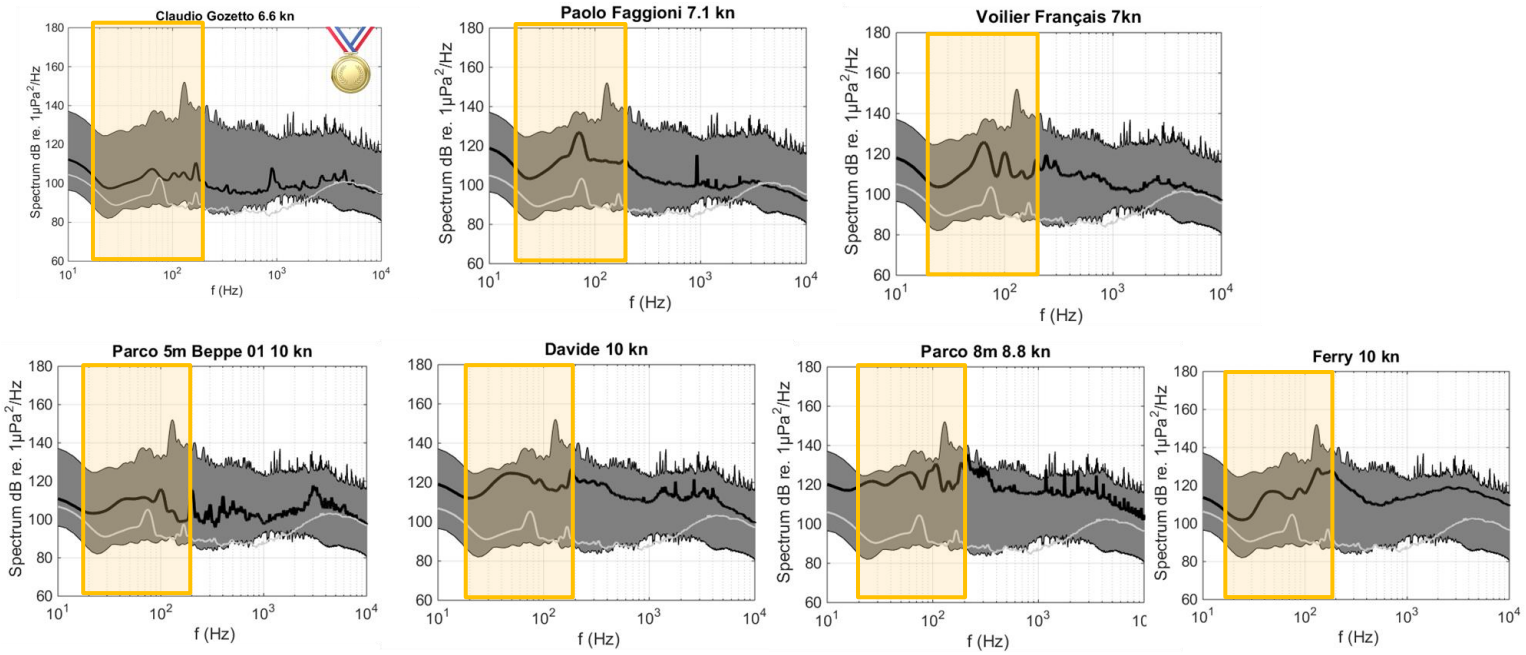


Figura 15. Spettri di potenza media (curva nera) delle imbarcazioni a velocità pari (~7 nodi in alto, ~10 nodi in basso). L'area grigia rappresenta la dispersione di tutti i livelli di rumore di fonte stimati. Tra i livelli più bassi e quelli più alti ci sono ca. 50dB di differenza! La curva bianca indica il rumore di fondo senza passaggi di barche calcolato su 30min di tregua nelle tracce sonore. La bada di frequenze d'interesse (100Hz – 1000kHz) è delimitata dalla zona gialla.

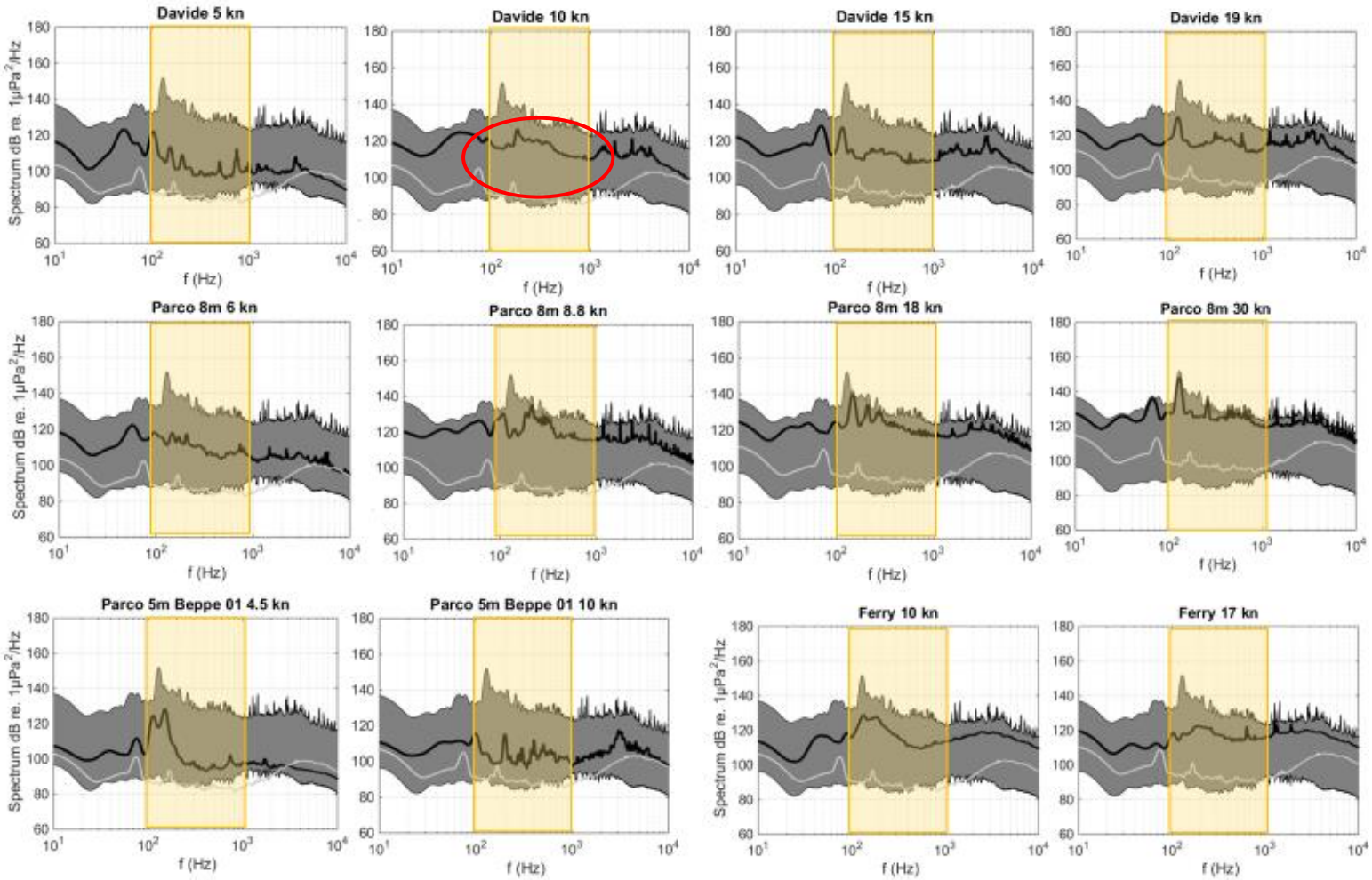


Figura 15. Spettri di potenza media (curva nera) delle imbarcazioni a varie velocità che illustrano l'evoluzione del livello del rumore con l'aumento della velocità. L'area grigia rappresenta la dispersione di tutti i livelli di rumore di fonte stimati. La curva bianca indica il rumore di fondo senza passaggi di barche calcolato su 30min di tregua nelle tracce sonore. La banda di frequenze d'interesse (100Hz – 1000kHz) è delimitata dalla zona gialla. Il cerchio rosso indica l'aumento del livello del rumore più importante a 10 nodi che a 15 nodi del motoscafo.

Discussione

Quantificazione del rumore nelle zone A e in zona C

1. QUALI SONO LE DIFFERENZE TRA LOCKDOWN E PERIODO ESTIVO?

L'aumento del rumore ambientale estivo nella banda dell'antropofonia (50-1000 Hz) era in media di 10 dB con picchi di 20dB di differenza! Inoltre, il traffico durante il periodo estivo (seconda metà di luglio) era almeno 10 volte superiore a quello durante il lockdown in ogni sito. Però, prendendo il Mesco come sito di riferimento durante il lockdown, l'aumento era di un fattore 12 al Mesco, 22 a Montenero e 25 nella zona C ! . Ciò significa che la percentuale di tempo durante il quale la fauna era esposta a rumore antropico ha subito lo stesso tipo di aumento tra il lockdown e il periodo estivo!

2. QUANTO SONO FREQUENTATE LE ZONE A E C E QUAL E QUANTO IL TRAFFICO MARITTIMO INFLUISCE SUI PAESAGGI SONORI?

Durante il periodo estivo, il rumore ambientale medio nella banda dell'antropofonia, composto dal rumore di fondo e dal rumore di passaggi di barche, non mostrava differenze significative tra siti, e quindi tra zone. Ciò significa che il traffico marittimo contribuisce in maniera simile all'aumento dei paesaggi sonori nei 3 siti. Infatti, i livelli di rumore continuo erano simili fra siti e anche i livelli di rumore dovuti ai passaggi di imbarcazioni in prossimità del registratore. È importante però considerare che il livello del rumore delle imbarcazioni di passaggio non dipende dal numero di barche ma dalla distanza di registrazione, velocità, tipo di motore ecc.

Benché i siti non si distinguessero in termini di livelli di rumore, si distinguono in termini frequentazione. La zona C è la più frequentata con una media di circa 100 passaggi di barche al giorno seguita da Montenero con circa 90 passaggi di barche al giorno ai quali contribuisce in gran parte il picco del primo weekend di agosto. Il Mesco è la zona meno transitata con

meno della metà di barche in transito rispetto a Montenero e alla zona C. Ciò significa che la fauna del Mesco gode di almeno il doppio di periodi di silenzio rispetto alle altre due zone indagate.

3. COSA COMPORTA L'AUMENTO ESTIVO RIGUARDO AL POTENZIALE IMPATTO SULLA FAUNA?

Questa parte verrà trattata in maniera più approfondita nella relazione finale centrata sulla biofonia del Parco delle 5 Terre. Qui ci limitiamo a mettere in relazione i risultati ottenuti sul rumore antropico con le conoscenze sull'impatto del rumore di imbarcazioni sulla fauna marina della comunità scientifica.

Gli effetti causati dal rumore di imbarcazioni non sono di natura acuta, cioè traumatica come lo possono essere le esplosioni o i segnali di prospezione sismica. Esiste però un'ampia varietà di effetti su invertebrati marini (principalmente molluschi e crostacei) e sui vertebrati (pesci e mammiferi) che comprendono alterazioni comportamentali legati al nuoto, alle dinamiche di gruppo, alle risposte anti-predatore, alla riproduzione o alla protezione dei nidi. Il rumore può anche interferire con la comunicazione tra individui ed impedire l'ascolto di segnali biologici importanti (comunicazione, caccia, orientamento). Il rumore delle imbarcazioni induce anche risposte fisiologiche legate allo stress e può alterare lo sviluppo embrionale(c.f., Di Franco et al. 2020). Queste risposte non dipendono soltanto dal livello sonoro ma anche dalla durata di esposizione a un rumore, la frequenza di occorrenza, l'incisività del rumore, lo stato e il comportamento dell'animale. Tutti questi effetti legati al rumore, benché non letali, possono avere conseguenze su specie e popolazioni. Ad oggi non esistono studi che dimostrino gli effetti a livello di habitat o popolazioni in mare. Anche in habitat terrestri, fino a pochi giorni fa non esistevano prove scientifiche che dimostrassero che il rumore antropico (non acuto) avesse un effetto al livello delle popolazioni. Un recentissimo studio mostra per la prima volta che il rumore ha un impatto negativo su popolazioni di uccelli negli Stati Uniti (Snzaki et al. 2020). Benché difficile da provare, non è da escludere che ciò sia il caso anche in mare, dove tra l'altro il suono si propaga cinque volte più veloce e più lontano che in aria.

Benché la maggior parte dei pesci comunichino principalmente di notte, durante le prime ore della sera, prima del tramonto il traffico può ancora essere presente. In Adriatico è stato mostrato che la corvina, *Sciaena umbra*, specie iscritta sulla lista rossa dell'IUCN e considerata come specie sentinella degli habitat marini, smette di cantare durante il passaggio di imbarcazioni a motore (Picciulin et al. 2012). Come gli uccelli, anche le corvine maschi cantano all'imbrunire e nella prima

parte della notte per riprodursi (Parmentier et al 2019) e per formare siti di aggregazione riproduttive. La presenza di rumore può dunque compromettere il raggio di detezione del suono e diminuire l'efficienza della funzione del canto riproduttivo. Una riduzione di 10dB del rumore ambientale, come osservata durante il lockdown, permetterebbe ai maschi di questa specie di farsi sentire a distanze almeno 4 volte superiori che in presenza di rumore, cioè ad almeno 1km di distanza! Limitare il raggio di comunicazione significa quindi limitare il numero di femmine che possono percepire i richiami dei maschi rendendoli dunque meno efficienti. Montenero si è rivelato essere un'area di aggregazione riproduttiva delle Corvine importante ma è anche uno dei siti più esposti al traffico.

Questo studio mostra anche differenze notevoli di frequentazione fra siti. E noto che siti più frequentati possono alterare comportamenti di difesa da predatori o di difesa dei nidi con conseguenze importanti per individui e successo di sopravvivenza degli embrioni (Simpson et al. 2016, Nedelec et al. 2017). Inoltre, una riduzione della velocità di navigazione a 5 nodi comporta una riduzione del rumore tra i 5 e 15 dB ca! Il passaggio di barche a velocità bassa dura di più ma ha una minore incisività. Rumori improvvisi e forti suscitano una cosiddetta "startle response", una reazione di "spavento" che altera brevemente la fisiologia ed il comportamento. Questa risposta è ben conosciuta nei mammiferi marini ma è stat riportata anche nei pesci Weilgart et al. 2007, McCormick et al. 2018). E stato in fatti dimostrato che diversi tipi di motori incidono in maniera e intensità diversa su questo tipo di risposte (McCormick et al. 2018). Se un animale non riesce ad adattarsi al passaggio di imbarcazioni, un alto tasso di passaggi può compromettere lo svolgimento normale delle attività diurne. La gestione delle velocità e dei motori in un AMP può dunque contribuire a migliorare la qualità dell'l'habitat per le specie residenti.

4. ESISTONO DIFFERENZE DI RUMORE TRA LE ZONE, EFFETTO "RISERVA RUMORE" DELLE ZONE A?

Dal punto di vista del livello di rumore ambientale, di barche di passaggio e rumore continuo, i tre siti non mostrano differenze significative. Non si vede dunque un effetto del divieto di transito nelle zone A nei livelli di rumore misurati. Il Mesco però è la zona meno transitata con almeno il doppio di periodi di tregua per la fauna rispetto a Montenero e la zona C di fronte a Manarola. Anche dal punto di vista dell'impatto del traffico, il Mesco rispecchia più le condizioni di una zona A che Montenero. Il fatto che non si siano rilevate differenze nel livello del rumore fra le zone A e la zona C, dipende principalmente dal mancato rispetto delle regolamentazioni. Che il rumore continuo di barche spesso più lontano sia equivalente fra i tre siti

non è sorprendente, ma la delimitazione delle zone A indicata dalle boe e la riduzione delle velocità si sarebbe dovuta vedere nei dati raccolti. La mancanza di differenze è probabilmente dovuta al fatto che i conducenti non rispettano le regole di distanza e di velocità. Un'estensione del divieto di transito anche in zona B potrebbe avere un effetto positivo sulla riduzione del rumore, perché si ingrandirebbe l'area di tregua della zona A. Come accennato, se tutte le imbarcazioni rispettassero il limite di 5 nodi, il rumore nell'AMP diminuirebbe di almeno 5 a 10 dB! Inoltre, benché non sia stato ancora provato in situ, potrebbe ridurre le interruzioni comportamentali e le alterazioni fisiologiche. Le misure prese dal Parco sono senza dubbio fondate da un punto di vista biologico e di tutela della natura!

Quantificazione del rumore di diversi tipi di imbarcazioni

I livelli di fonte dei diversi tipi di imbarcazione misurati confermano le misure di premialità previste dal parco per alleviare l'impatto sonoro sugli ecosistemi dell'AMP. Le barche a carena tonda emettono livelli di rumore inferiori a imbarcazioni con carene plananti. Benché ci fossero pochi esemplari per ogni tipo di imbarcazione, i risultati sono chiari. Ulteriori misure potrebbero essere prese in funzione della potenza e tipo di motore, un fattore che bisognerebbe quantificare con misurazioni simili.

Ringraziamenti

Ringraziamo tutta la direzione del Parco Nazionale delle 5 Terre e il team! Un grazie particolare a Beppe e Massimo per la loro disponibilità, professionalità e aiuto logistico in mare e a terra. Un grazie particolare va anche a Bruno Hesse dell'Observatoire Oceanologique di Banyuls sur mer che insieme a Lorenzo Bramanti ha assicurato il buon svolgimento delle operazioni subacquee. Ringraziamo anche l'Hotel Marina Piccola per aver messo a disposizione la cantina per depositare parte del materiale.