

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale ex D. Lgs 152/2006

PROGETTO DEFINITIVO E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

HUB ENERGETICO **AGNES ROMAGNA 1&2** UBICATO NEL TRATTO DI MARE ANTISTANTE LA COSTA EMILIANO-ROMAGNOLA E NEL COMUNE DI RAVENNA

Titolo:

RELAZIONE TECNICA SULLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO ACUSTICO MARINO

Codice identificativo:

AGNROM_SIA-R_REL-ACUSTICA-MARE

Proponente:



Agnes S.r.l.
P. IVA: 02637320397



Autori del documento:

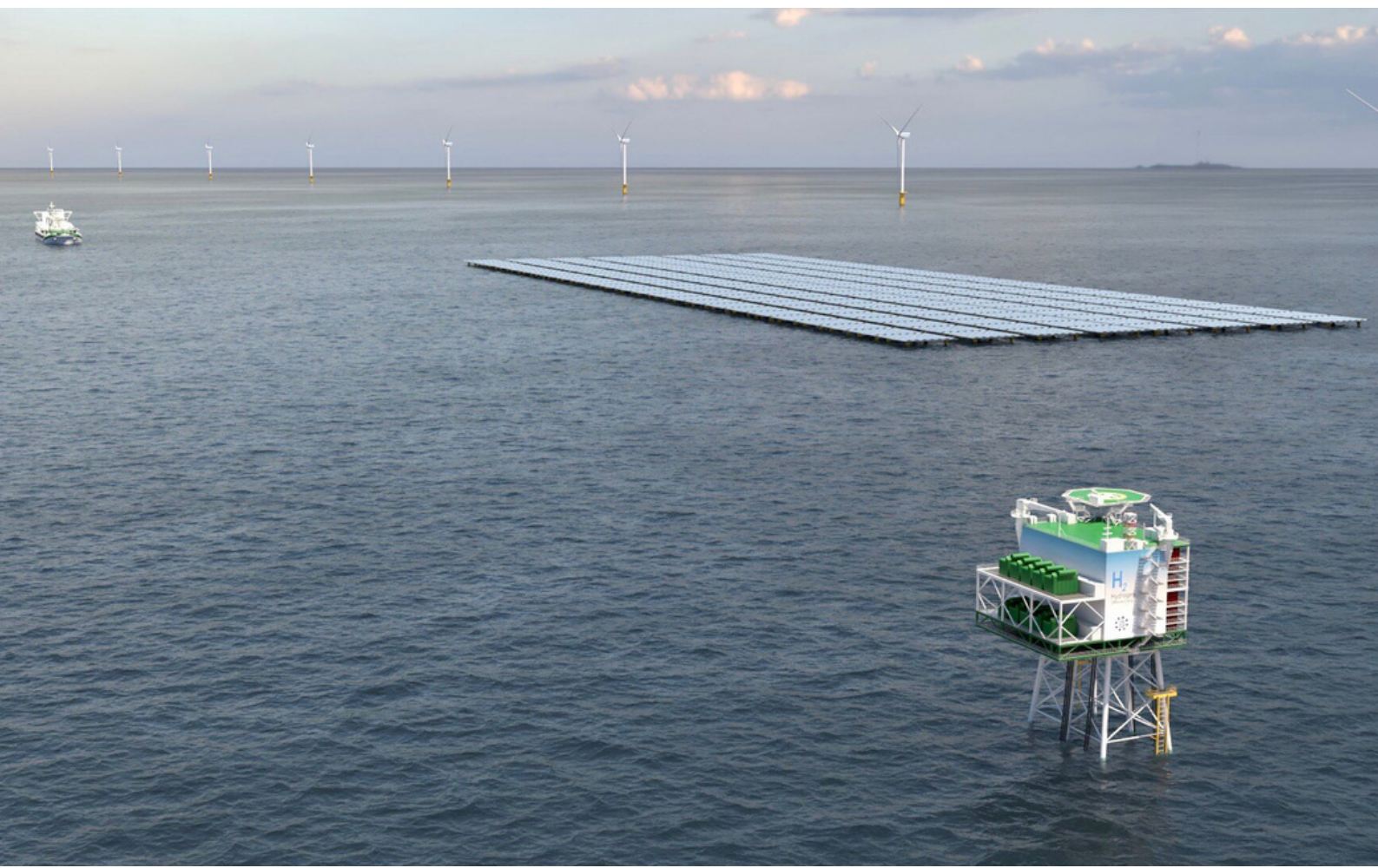


GOLDER

WSP Italia S.r.l.
P. IVA: 3674811011



Università degli Studi di Pavia
CIBRA



DETTAGLI DEL DOCUMENTO

Titolo documento	Relazione tecnica sulla valutazione dell'impatto acustico marino
Codice documento	AGNROM_SIA-R_REL-ACUSTICA-MARE
Titolo progetto	Hub energetico Agnes Romagna 1&2
Codice progetto	AGNROM
Data	25/01/2023
Versione	1.0
Autore/i	P. Burzio; C. Fossati; M. Manghi
Tipologia elaborato	Relazione
Cartella	VIA_3
Sezione	Studio d'Impatto Ambientale
Formato	A4

VERSIONI

Ver.	Rev.	Redazione	Controllo	Emissione	Commenti
1.0	00	P. Burzio; C. Fossati; M. Manghi	G. Torchia; G. Pavan	AGNES	Emissione finale

FIRME DIGITALI



Agnes S.r.l.

Via Del Fringuello 28, 48124 Ravenna (IT)

Questo documento è di proprietà di Agnes S.r.l.
Qualunque riproduzione, anche parziale, è vietata senza la sua preventiva autorizzazione.
Ogni violazione sarà perseguita a termini di legge.



Sommario

1. INTRODUZIONE	4
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	5
3. APPROCCIO METODOLOGICO.....	7
3.1 RACCOLTA DI DATI PRIMARI	8
4. CARATTERISTICHE UDITIVE GENERALI DELLA FAUNA MARINA	13
4.1 CETACEI	13
4.2 TARTARUGHE MARINE	13
4.3 PESCI.....	14
5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE ACUSTICO SOTTOMARINO DELL'AREA DI PROGETTO	16
5.1 CARATTERIZZAZIONE BIBLIOGRAFICA	18
5.1 CARATTERIZZAZIONE TRAMITE DATI PRIMARI	22
5.1.1 CARATTERIZZAZIONE QUALITATIVA	22
5.1.1 CARATTERIZZAZIONE QUANTITATIVA.....	27
6. IMPATTI POTENZIALI E MISURE DI MITIGAZIONE	36
6.1 FASE DI COSTRUZIONE.....	36
6.1.1 MISURE DI MITIGAZIONE E MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE.....	41
6.2 FASE DI ESERCIZIO	42
6.2.1 MISURE DI MITIGAZIONE E MONITORAGGIO IN FASE DI ESERCIZIO	43
7. CONCLUSIONI.....	44
8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	46



Indice delle figure

FIGURA 1: SCHEMA GENERALE DEL PROGETTO	6
FIGURA 2: AREA DI SITO, COSTITUITA DALL'ELETTRODOTTO, I CAMPI EOLICI E UN BUFFER DI 5 KM ESTESO ATTORNO AD ESSO	7
FIGURA 3: UBICAZIONE DELLE STAZIONI DI REGISTRAZIONI ALL'INTERNO DELL'AREA DI SITO	9
FIGURA 4: IMBARCAZIONE JOSHUA, PARTICOLARE DELLA "SPIAGGETTA" DI POPPA	10
FIGURA 5: SCHEDA TECNICA SOUNDTRAP	11
FIGURA 6: SCHEDA TECNICA UREC	12
FIGURA 7: CURVE DI WENZ ILLUSTRANTI I PRINCIPALI RUMORI E SUONI SOTTOMARINI (FONTE: ADATTATA DA DOSITS.ORG)	17
FIGURA 8: HOTSPOT DI RUMORE SOTTOMARINO NEL MEDITERRANEO (RIQUADRI COLORATI). LA LINEA TRATTEGGIATA INDICA I LIMITI DELL'AREA VASTA, MENTRE IL RIQUADRO NERO UNA RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELL'AREA DI SITO (FONTE: LA PRIMA MAPPA ACUSTICA COMPLETA DEL MEDITERRANEO - FOCUS.IT)	18
FIGURA 9: MAPPA DI DENSITÀ DEL TRAFFICO MARITTIMO NEGLI ANNI 2020-2021, CON INDICAZIONE DELLE OPERE OFFSHORE DEL PROGETTO (FONTE: WWW.MARINTRAFIC.COM)	20
FIGURA 10: ALPHEUS GLABER	22
FIGURA 11: CLICK DI ALPHEUS GLABER, 4 SECONDI	23
FIGURA 13: CLICK CON ECO DALLA SUPERFICIE, 2 SECONDI	23
FIGURA 14: CLICK DI DELFINI CON ANDAMENTO REGOLARE	24
FIGURA 15: SERIE DI CLICK CON ENERGIA SOLO SOPRA I 10 KHz	25
FIGURA 16: ESEMPIO DI ASPETTO DI SERIE DI CLICK DI DELFINI IN UNO SPETTRO COMPRESSO (10 MINUTI)	25
FIGURA 17: CLICK DI DELFINI IN UNO SPETTRO COMPATTO DI 30 MINUTI	26
FIGURA 18: RUMORE ASSOCIATO AL PASSAGGIO DI IMBARCAZIONE VELOCE, FRAME DI 10 MINUTI	26
FIGURA 19: PASSAGGIO LONTANO DI UN PESCHERECCIO IN UNO SPETTRO COMPATTO DI 30 MINUTI	27
FIGURA 20: STAZIONE R2. IL RIQUADRO SUPERIORE RAPPRESENTA IL SOUND PRESSURE LEVEL, MENTRE QUELLO INFERIORE ILLUSTRALO SPETTROGRAMMA. NOTARE CHE L'ASSE DELLE ORDINATE, CON LA FREQUENZA, È IN SCALA LOGARITMICA, E RAPPRESENTA QUINDI IN MAGGIOR DETTAGLIO LE BASSE FREQUENZE	28
FIGURA 21: SOUND PRESSURE LEVEL DEL FILE DI "SILENZIO", DURATA 1H E 30 MINUTI CIRCA, INTERVALLO SLOW	29
FIGURA 22: LEQ O LIVELLO EQUIVALENTE DELLO STESSO FILE. LA FINESTRA DI INTEGRAZIONE È DI 60 SECONDI	29
FIGURA 23: PASSAGGIO LONTANO DI UN PESCHERECCIO IN UNO SPETTRO COMPATTO DI 30 MINUTI	30
FIGURA 24: SPL RELATIVO AL PASSAGGIO DI UNA NAVE	31
FIGURA 25: LEQ DEL PASSAGGIO DELLA NAVE; PICCO DI INTENSITÀ DOVUTO PROBABILMENTE AL CPA (CLOSEST POINT O APPROACH)	31
FIGURA 26: GRAFICO IN TERZI D'OTTAVA RELATIVO ALLA DISTRIBUZIONE IN FREQUENZA DEL RUMORE ASSOCIATO ALLA PRESENZA DI UNA NAVE IN TRANSITO	32
FIGURA 27: SPL RELATIVO A PESCHERECCI IN AZIONE	33
FIGURA 28: LEQ RELATIVO AI PESCHERECCI. ANCHE SE IL LIVELLO MEDIO NON È PARTICOLARMENTE ELEVATO, DA NOTARE CHE ESSO È PRESENTE PER PIÙ DEL 50% DEL TEMPO E CHE NEL 90% DELLA REGISTRAZIONE IL LIVELLO È SUPERIORE AI 114dB	33
FIGURA 29: BANDE IN TERZI D'OTTAVA. COME PER LA NAVE, IL RUMORE RISULTA CONCENTRATO ALLE BASSE FREQUENZE, CON UN AUMENTO RISPETTO ALLA CONDIZIONE DI "SILENZIO" DI PIÙ DI 10 DB	34

Indice delle tabelle

TABELLA 1: PRINCIPALI SORGENTI ACUSTICHE DI ORIGINE ANTROPICA PRESENTI NELL'AREA DI INFLUENZA CON RELATIVA FREQUENZA, DURATA E DIREZIONALITÀ (FONTE: PRIDEAUX, 2017)	21
TABELLA 2: INTENSITÀ SONORA MEDIATA REGISTRATA NELLE STAZIONI DI MONITORAGGIO ACUSTICO NELL'AMBITO DEL SURVEY PER I CETACEI	35



ACRONIMI

ACCOBAMS	Accordo sulla Conservazione dei Cetacei del Mar Nero, Mar Mediterraneo e Contigua Area Atlantica
Art.	Articolo
D.lgs.	Decreto legislativo
Dir.	Direttiva
HF	Alta Frequenza
LEQ	Livello Equivalente
LF	Bassa Frequenza
PTS	Spostamento Permanente di Soglia
SIA	Studio di Impatto Ambientale
SNPA	Sistema nazionale protezione ambiente
SPL	Livello di Pressione Sonora
TTS	Spostamento Temporaneo di Soglia
VHF	Altissima Frequenza



1. INTRODUZIONE

L'ambiente acustico è riconosciuto come una componente chiave di qualsiasi ecosistema, sia esso terrestre o marino. La maggior parte delle installazioni industriali in mare, e più in generale tutte le attività che comportano utilizzi di aree marine da parte dell'uomo, porta un innalzamento dei livelli di rumore ambientale. Il comfort acustico, ampiamente studiato in ambito umano, è una delle caratteristiche che influenzano significativamente la qualità della vita di ciascun individuo; la sua mancanza comporta problemi con gravi ripercussioni sulla salute. Questo vale ancora di più per l'ambiente subacqueo, dove i suoni si propagano con maggior efficienza che in ambito atmosferico e in cui molti animali affidano alla comunicazione acustica funzioni fondamentali per la loro vita.

Per questo motivo, il rumore subacqueo è incluso nei Programmi di Monitoraggio per la Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (Dir. 2008/56/CE, ovvero D.lgs. n. 190 del 13 ottobre 2010, o *Marine Strategy*), Art. 11. L'Italia è inoltre firmataria di ACCOBAMS, l'Accordo sulla Conservazione dei Cetacei del Mar Nero, Mar Mediterraneo e della Contigua Area Atlantica, che, tra i vari provvedimenti adottati, prevede l'attuazione di adeguate misure di mitigazione volte a ridurre al minimo gli impatti causati dall'emissione di rumore subacqueo di natura antropogenica.

Sulla base delle premesse qui sopra riportate, quindi, è stata predisposta la seguente Relazione tecnica di Valutazione di Impatto Acustico Marino secondo le Linee Guida SNPA (28/2020) "Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale" al fine di:

- Analizzare l'ambiente acustico subacqueo *ante-operam* nell'area di studio definita sulla base di quanto identificato nello scenario di base descritta nello SIA;
- Prevedere i livelli di rumore emessi nell'area di studio in fase di costruzione ed esercizio del Progetto;
- Identificare i potenziali impatti delle emissioni di rumore sui recettori sensibili identificati durante definizione dello scenario ambientale di base dello SIA e proporre le dovute misure di mitigazione e monitoraggio.

Tale Relazione tecnica è stata predisposta in collaborazione con il Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali (CIBRA) dell'Università degli Studi di Pavia e NAUTA scientific S.r.l.

La presente Relazione tecnica è stata redatta nell'ambito degli studi di approfondimento condotti per lo Studio di Impatto Ambientale (SIA) del Progetto Agnes (di cui al seguente Capitolo 2).



2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il Progetto Agnes Romagna – che si svilupperà tra il mar Adriatico settentrionale (sezione offshore) e l'area corrispondente alla provincia di Ravenna (sezione onshore) – mira ad essere un sistema interconnesso in cui più tecnologie sfruttano in modo sinergico diverse fonti di energia rinnovabile.

Obiettivo del Progetto è la produzione di energia elettrica da impianti solari ed eolici offshore, che potrà successivamente essere trasmessa alla rete nazionale italiana, immagazzinata in batterie o utilizzata per la produzione di idrogeno mediante elettrolisi.

Lo schema generale del Progetto prevede la realizzazione di 5 sistemi principali, di seguito descritte.

1. Turbine eoliche offshore, con una potenza nominale totale di 600 MWp suddivisa in due aree:
 - a) Il Parco Romagna 1, sviluppato a circa 12 miglia (22,22 km) dalla costa di Lido di Classe, una frazione del comune di Ravenna e composto da 25 turbine da 8 MW;
 - b) Il Parco Romagna 2, sviluppato a circa 14 miglia (26 km) dalla costa di Porto Corsini, frazione del comune di Ravenna e composto da 50 turbine eoliche da 8 MW.
2. Un Impianto fotovoltaico galleggiante offshore, con potenza pari a 100 MWp.
3. Un sistema di componenti ausiliari, comprendente i cavi per il trasferimento dell'energia elettrica, una struttura di transizione, 2 sottostazioni offshore e una sottostazione onshore.
4. Un sistema di accumulo dell'energia per una capacità di 50 MW/200 MWh per immagazzinare parte dell'energia elettrica prodotta e utilizzarla in seguito per aiutare il bilanciamento della rete o per alimentare il processo elettrolitico.
5. Un sistema per la produzione onshore di idrogeno verde fino a 60 MW, con annessi sistemi per compressione e stoccaggio del gas
6. L'energia generata potrà poi essere trasportata a terra e alla rete elettrica nazionale mediante l'utilizzo di cavi di esportazione.

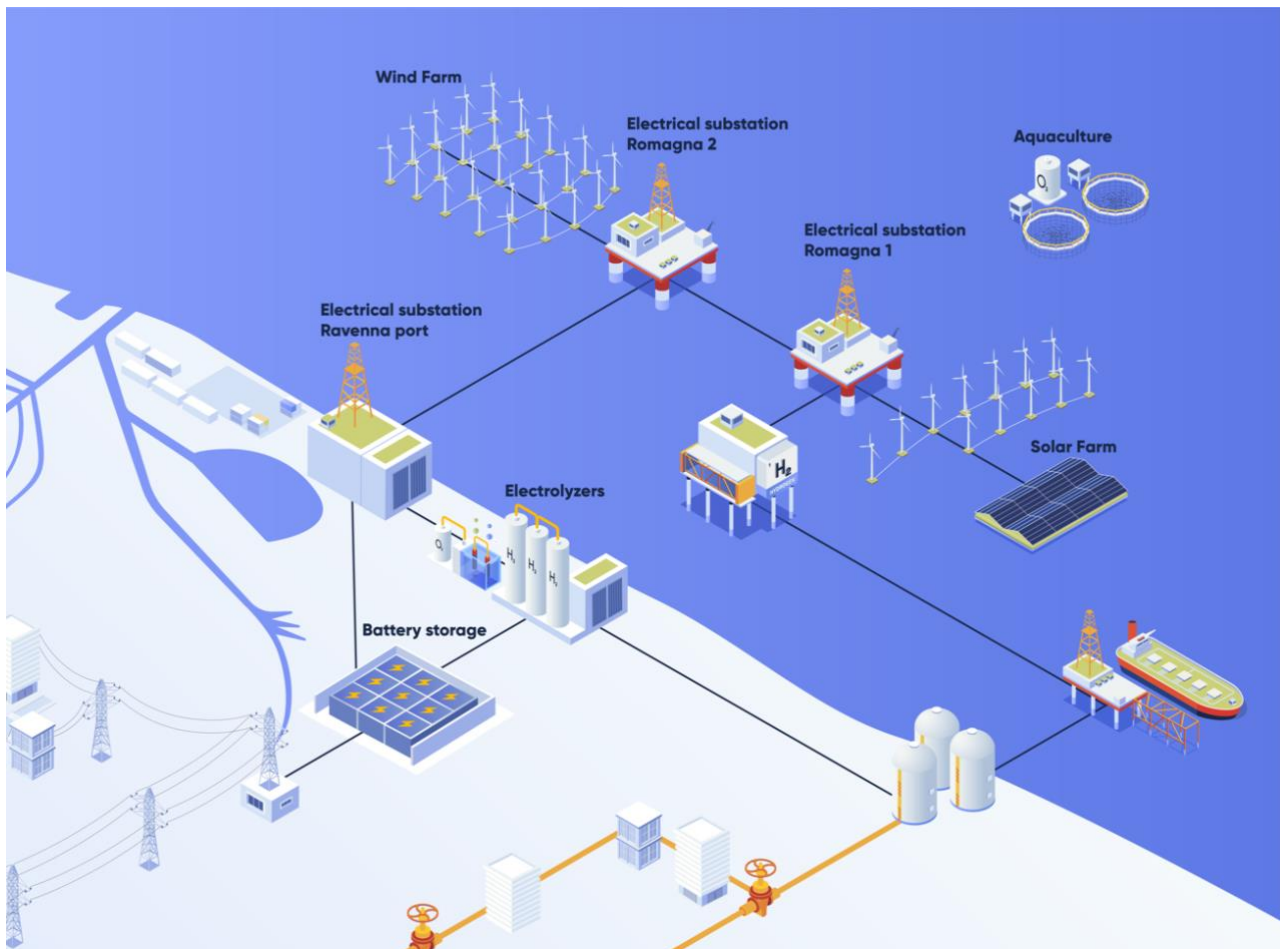


Figura 1: Schema generale del Progetto

Per una trattazione più dettagliata si rimanda ai seguenti documenti:

- Studio di Impatto Ambientale, Volume 1 (AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME1)
- Relazione illustrativa generale (AGNROM_EP-R_REL-GENERALE)
- Relazione tecnica generale (AGNROM_EP-R_REL-TECNICA)



3. APPROCCIO METODOLOGICO

La caratterizzazione dell'ambiente acustico sottomarino è stata eseguita combinando dati secondari (letteratura scientifica e grigia, di cui l'elenco è disponibile al capitolo 8) e dati primari ottenuti da 2 campagne di rilievo eseguite nei mesi di giugno/luglio e settembre 2022 nell'ambito dello Studio di Impatto Ambientale (per maggiori dettagli si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME2").

Al fine dell'indagine, si è considerata come **Area Vasta** l'area corrispondente al settore Adriatico nord-occidentale e come **Area di Sito** l'area corrispondente all'impronta dei parchi e dell'elettrodotto ed un buffer di 5 km attorno a essi (Figura 2).

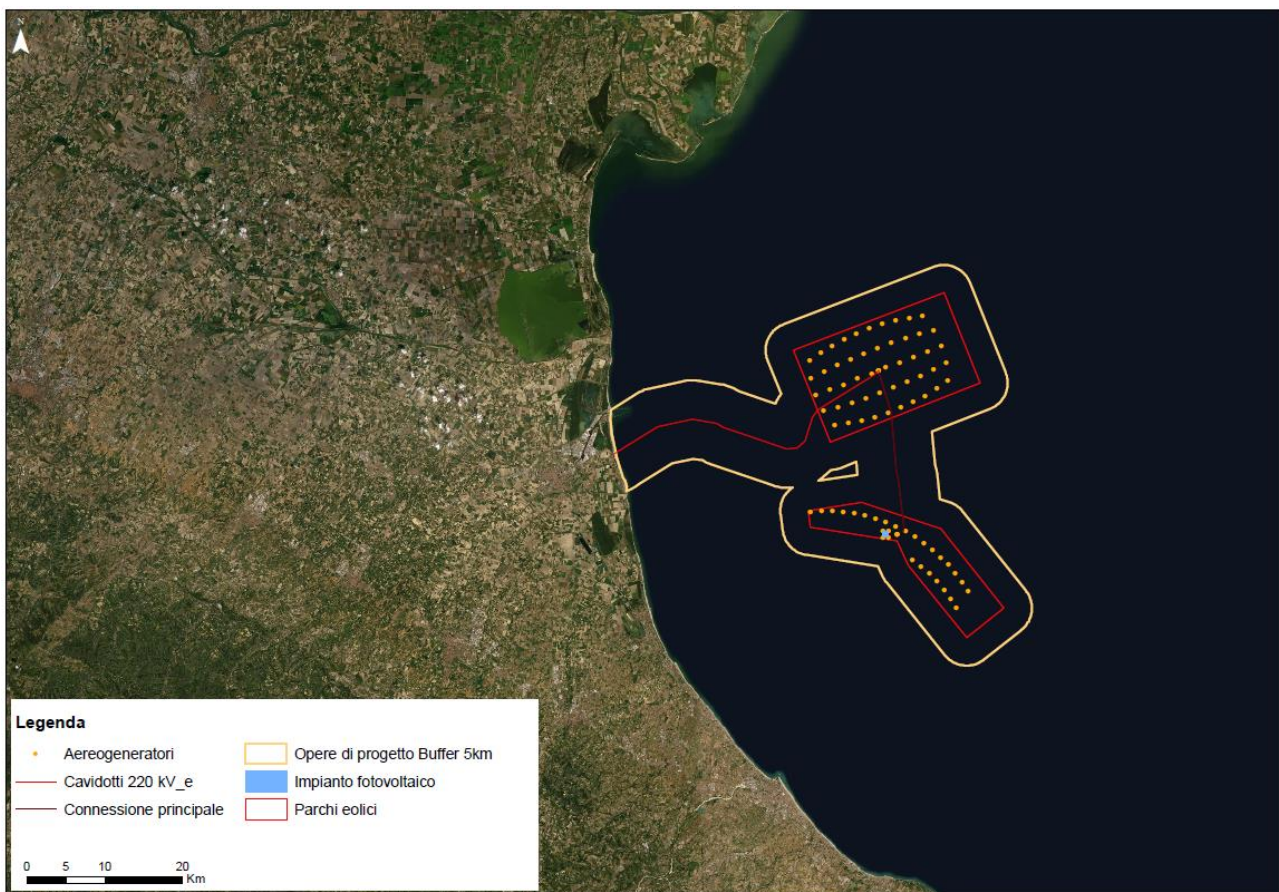


Figura 2: Area di Sito, costituita dall'elettrodotto, i campi eolici e un buffer di 5 km esteso attorno ad esso.

L'estensione dell'area di buffer è stata selezionata tenendo conto delle caratteristiche di propagazione del suono in ambiente marino: la velocità del suono in acqua di mare è circa pari 1.500 m/s (Pierce, 1989), aumentando proporzionalmente a pressione, temperatura, salinità e densità (Mackenzie, 1981). Qualsiasi alterazione dell'acustica ambientale può dunque essere rilevata a diversi km di distanza, in base al livello



sonoro emesso dalla sorgente (Urlick, 1979). Un'area di buffer di 5 km è stata considerata sufficientemente precauzionale per qualsiasi tipo di emissione sonora subacquea artificiale.

L'area di buffer coincide inoltre con quella utilizzata per l'analisi dello stato dell'ambiente nello Studio di Impatto Ambientale nelle sue componenti "Rumore subacqueo" e "Biodiversità e Habitat marini pelagici". Quest'ultima componente, infatti, include la sotto-componente dei mammiferi marini, i quali sono particolarmente sensibili agli effetti del rumore subacqueo (Dolman & Simmons, 2006). Questi animali sono, per l'appunto, in grado di percepire e produrre suoni, che utilizzano per la comunicazione, la navigazione, la ricerca di prede, la coesione di gruppo e la fuga dai predatori (Wei, 2021).

3.1 Raccolta di dati primari

La raccolta di dati primari è avvenuta con un sistema di ancoraggio composto da zavorra, linea di vincolo e galleggianti di superficie. Un registratore autonomo è stato fissato su una cima dedicata, fissata alla zavorra, e disaccoppiata dal galleggiante in superficie per assicurarne la stabilità.

Le registrazioni, per ciascuna delle due campagne, sono avvenute per 24 ore ciascuna in ognuna delle due aree (Romagna 1 e Romagna 2). L'ubicazione delle stazioni di registrazione è mostrata nella figura seguente.

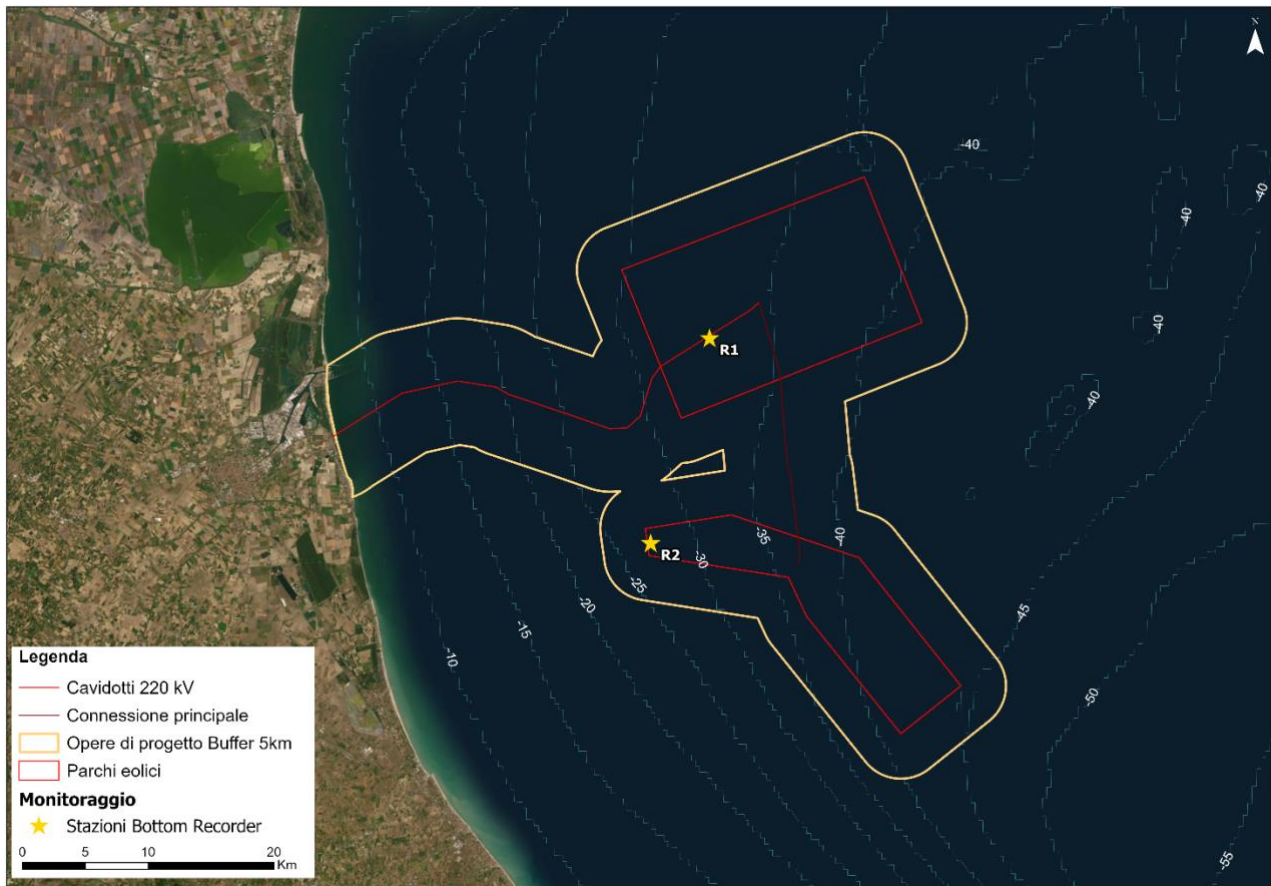


Figura 3: Ubicazione delle stazioni di registrazioni all'interno dell'Area di Sito.

Per i fini della caratterizzazione dell'ambiente acustico sottomarino sono stati utilizzati anche i dati raccolti in un'ora avvenuta nell'ambito del survey per i cetacei. Per i dettagli si può fare riferimento allo Studio di Impatto Ambientale, Volume 2 (relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME2").

Le uscite in mare per l'esecuzione del lavoro illustrato sono state svolte a bordo dell'imbarcazione Joshua (Figura 4), una barca a vela modificata per operazioni di ricerca scientifica. Il porto base per la gestione delle operazioni è stato quello di Marina di Ravenna.



Figura 4: Imbarcazione Joshua, particolare della "spiaggetta" di poppa.


La strumentazione impiegata e i protocolli sono stati standardizzati in modo da rendere il lavoro di analisi e i conseguenti risultati omogenei e confrontabili fra loro.

Durante le sessioni di un'ora nell'ambito del survey per i cetacei, si è anche provveduto a effettuare un ascolto in *real time* con idrofono stazionario per monitorare l'eventuale presenza di segnali biologici.

In particolare, per le due tipologie di sessioni di registrazione, sono stati impiegati registratori calibrati di due tipi: Soundtrap ST300STD (Figura 5) e Urec (Figura 6).



Relazione tecnica sulla valutazione dell'impatto acustico marino
 AGNROM_SIA-R_REL-ACUSTICA-MARE



SoundTrap ST300 Digital Sound Recorders

STD & HF models

Key features:

- Industry leading audio fidelity
- Very low self-noise
- 60 kHz and 150 kHz bandwidth models
- Up to 13 days continuous recording on internal battery
- Up to 70 days continuous with optional external battery (3 x D cell)
- Single operation with optional IR remote control
- Sealed, low maintenance, flood proof housing
- Fast USB offload
- Toothed whale Click detection (HF only)

The SoundTrap 300 series are compact self-contained underwater sound recorders for ocean acoustic research. The STD model is intended for general purpose use with a working frequency range of 20 Hz to 60 kHz. While the HF model offers 20 Hz to 150 kHz bandwidth for higher frequency bioacoustic research. Both feature very low self-noise, ensuring beautiful recordings in even the quietest places.

An internal battery enables continuous recording for up to 13 days, or 56 days on a 30 minute per hour duty cycle. For longer deployments plug in the optional external battery pack for up to 70 days continuous recording. Up to 256 GB of internal memory coupled with lossless audio compression provides storage for up to 65 days continuous recording at 72 kHz.

Data offload and battery recharge are done via a high quality wet plug. The housing therefore never needs opening, eliminating the usual worries about gelling maintenance and moisture ingress. Weighing less than 500 g in air, hydrophone deployment has never been so easy.

Output files are in the industry standard WAV format. Ancillary sensors are included for logging temperature and tri-axial acceleration. The included software offers flexible deployment options for sample rate, gain control, filtering, delayed start and duty cycle. Plus the optional water proof IR remote control makes for convenient in-the-field ad hoc measurements. Each instrument is supplied with a calibration certificate and features self-calibration checks for confirmation of performance in the field.

Detailed Specifications

Bandwidth
 STD model 20 Hz - 60 kHz ± 3dB
 HF model 20 Hz - 150 kHz ± 3dB

Self-noise
 Better than sea-state 0 (100 Hz - 2 kHz)
 STD model Less than 34 dB re 1 µPa above 2 kHz
 HF model Less than 37 dB re 1 µPa above 2 kHz

Gain
 Two gain settings - Low noise and high dynamic range.
 Maximum level before clipping approx. 186 dB re 1 µPa



High Pass Filter 400 Hz selectable high pass for High energy sites

Sample rates
 STD model 288, 144, 96, 48, 36 & 24 kHz
 HF model 576, 288, 192, 96, 72 & 48 kHz

ADC 16-bit SAR

Calibration
 Factory OCR calibration certificate
 Self-calibration check
 Pistonphone coupler available

Control Optional Waterproof IR remote control for manual record start/stop.

Ancillary sensors
 Temperature - 0.1°C precision, 1°C uncalibrated accuracy in water
 Acceleration - For detecting orientation, or cable strain / platform vibration.
 Tri-axial accelerometer, +/- 8g. Sampling up to 1 Hz

Click Detection

HF model only. Allows detection and journaling of high frequency marine mammal sonar clicks. Detector runs in parallel with normal recording process. Conserves memory by simultaneously using a low sample rate for WAV recording and high sample rate for click detection. See user manual for more information.

Memory 128 or 256 GB Note - lossless audio compression provides 3-4 times compression, thereby allowing for up to 1TB of wav file storage.

Internal battery An internal rechargeable battery provides power for up to 13 days continuous operation

External battery The optional external battery housing takes 3 x D cell batteries, and provides up to 70 days continuous operation.

Connectivity Wet pluggable connector for connection to GPS or radio telemetry.

Maximum depth 500m (Extended depth version available on request)

Dimensions: 200mm L x 60mm D (excluding connector dummy)

Weight Approx. 500g in air

Recording Endurance Table (128GB memory)

Sample Rate(kHz)	Duty Cycle	Endurance (days)	With external battery (days)
36	Continuous	13	64
36	10 minutes per hour	56	278
48	Continuous	13	51
48	10 minutes per hour	56	218
96	Continuous	13	25
96	10 minutes per hour	56	153
144	Continuous	13	17
144	10 minutes per hour	56	102
288	Continuous	8	8
288	10 minutes per hour	51	51
576	Continuous	4	4
576	10 minutes per hour	25	25

Table values assume atypical K3 compression rate of 3s and water temp above 20 degrees Celsius.

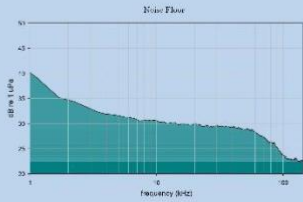


Figura 5: Scheda tecnica Soundtrap.



Adatto a registrare i segnali acustici subacquei in una grande varietà di situazioni, dal monitoraggio delle interazioni con le reti e le gabbie da acquacoltura, da parte dei cetacei, al monitoraggio e survey ambientale in genere, al monitoraggio di Aree Marine Protette, al monitoraggio del rispetto dei protocolli di operazione durante le opere di costruzione in mare, in profondità e lungo la costa.

I RASP, e i bottom recorder in genere, sono strumenti di grande flessibilità, adatti ad essere utilizzati anche da gommoni e piccole imbarcazioni.

I modelli in produzione

uRec384k 22D

Basati sulla scheda di registrazione della Dodotronica, campionano segnali fino a 192kHz e usano l'idrofono SQ26-05, che però sopra i 90kHz perde molta sensibilità. Alimentato con tre batterie "torcia" (dimensione D) può essere programmato per campionamenti di settimane o mesi.

Possiamo realizzare versioni custom con idrofoni diversi, dagli AS-1 con i loro preamplificatori, agli H2d, più economici.

uRec AM1.2

Basati sulla scheda di registrazione AudioMoth 1.2, campionano segnali fino a 192kHz e usano l'idrofono SQ26-05, che però sopra i 90kHz perde molta sensibilità.

Le schede AudioMoth sono, in questo momento, uno standard per gli studi di bioacustica in ambiente naturale.

Alimentato con tre batterie "torcia" (dimensione D) può essere programmato per campionamenti molto lunghi.



Figura 6: Scheda tecnica URec.

Al termine di ogni sessione di registrazione, i registratori sono stati recuperati e i dati immediatamente scaricati. I registratori sono stati quindi preparati e programmati per la sessione successiva. I file risultanti, in formato .wav, sono stati successivamente analizzati in laboratorio.

L'analisi acustica delle registrazioni, conformemente a quanto richiesto, è stata focalizzata su due aspetti: misure di rumore (descrizione quantitativa) e individuazione di segnali biologici (descrizione qualitativa). Le registrazioni sono state visualizzate in spettrogrammi utilizzando il software SEApr (http://www-9.unipv.it/cibra/seapro.html), creato e sviluppato da CIBRA.



4. CARATTERISTICHE UDITIVE GENERALI DELLA FAUNA MARINA

Di seguito sono descritte le principali caratteristiche uditive della fauna marina. In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti gruppi:

- Cetacei;
- Tartarughe marine;
- Pesci.

4.1 Cetacei

Tutti i membri dell'infraordine Cetacea sono in grado di utilizzare il suono come strumento per la comunicazione intraspecifica, l'orientamento, la predazione e la riproduzione (Branstettel *et al.*, 2006; Mooney *et al.*, 2012; Wei, 2021), grazie a adattamenti fisiologici che permettono loro di sfruttare al meglio i segnali sonori (Tyack *et al.*, 2000).

La capacità di produrre e percepire i suoni varia notevolmente tra le diverse specie.

In generale, mentre gli odontoceti (o cetacei provvisti di denti) emettono e percepiscono suoni a frequenze da alte a molto alte (emissione: 200 Hz – 150 kHz; percezione: 150 Hz – 160 kHz) su distanze di propagazione minori, i mysticeti (cetacei muniti di fanoni) producono e percepiscono suoni a frequenze molto basse (emissione: 10 – 100 Hz; percezione: 7 Hz – 35 kHz) su distanze di propagazione maggiori.

Secondo Southall *et al.* (2019), infatti, i cetacei possono essere distinti a livello macroscopico in tre diversi gruppi in funzione delle loro capacità uditive:

- Cetacei di **Bassa Frequenza** (*Low-Frequency-LF*), con un range di emissione e uditivo tra i 7 Hz e i 35 kHz;
- Cetacei di **Alta Frequenza** (*High-Frequency-HF*), con un range di emissione e uditivo tra i 150 Hz e i 160 kHz;
- Cetacei di **Altissima Frequenza** (*Very High-Frequency-VHF*), assenti in Mediterraneo, se non con frequentazioni casuali, con un range di emissione e uditivo tra i 275 Hz e i 160 kHz.

4.2 Tartarughe marine

Sebbene il ruolo ecologico dell'udito non sia ben noto per le tartarughe marine, numerosi studi hanno dimostrato la capacità uditiva di questi organismi.

Si pensa che la percezione uditiva delle tartarughe marine avvenga tramite una combinazione di conduzione ossea e idrica, piuttosto che una conduzione aerea (Lenhardt, 1982; Lenhardt and Harkins, 1983).



Pur non possedendo un orecchio esterno, l'orecchio medio delle tartarughe marine è ben adattato ad un sistema di conduzione ossea del suono. Il timpano, molto spesso, è un elemento svantaggioso come recettore aereo, ma ottimizza la percezione di suoni a conduzione ossea a bassa frequenza (Lenhardt *et al.*, 1985; Bartol *et al.*, 1999; Bartol and Musick, 2003). Uno strato di grasso sub-timpanico fuso al timpano consente alle tartarughe marine di percepire suoni a bassa frequenza sott'acqua, mentre le rende pressoché insensibili al suono in ambiente aereo (Ketten *et al.*, 2006; Bartol, 2004; 2008).

4.3 Pesci

I pesci sono in grado di percepire il suono con vari gradi di sensibilità (Popper e Fay, 1973; Fay, 1988; Popper e Fay, 1993; Fay, 2000). Si ritiene che la gamma uditiva funzionale per la maggior parte dei pesci sia compresa tra 100 e 1000 Hz (Fay, 1988). Un numero minore di specie è in grado di rilevare suoni fino a oltre 3000 Hz (Kenyon *et al.*, 1998), mentre pochissime sono in grado di rilevare suoni oltre i 100 kHz (Mann *et al.*, 1998). I suoni generati dalle attività antropiche possono raggiungere i pesci per propagazione diretta, tramite la colonna d'acqua, o indiretta, attraverso il substrato (Hazelwood, 2012; Roberts and Elliot, 2017; Popper and Hawkins, 2019; Rogers *et al.*, 2021).

Le differenze nelle abilità uditive dipendono da differenze anatomiche e fisiologiche (Popper & Fay, 1993; Popper *et al.*, 2003; Yan *et al.*, 2000). Tradizionalmente, i pesci vengono distinti in due categorie in base alla sensibilità sonora: i "generalisti dell'udito" e gli "specialisti dell'udito" (Popper *et al.*, 2003; Ladich & Popper, 2004). Gli "specialisti" sono dotati di complesse strutture anatomiche in grado di ottimizzare l'udito, tra cui il collegamento dell'orecchio interno alla vescica natatoria (Popper & Fay, 1993; Higgs, 2012) o alla linea laterale (Popper & Fay, 1993).

Tuttavia, va affermato che la categorizzazione dei pesci come "specialisti dell'udito" e "generalisti dell'udito" è stata criticata in studi recenti, principalmente per le definizioni vaghe e incoerenti di entrambi i gruppi in letteratura (Popper e Fay, 2011). Popper & Fay (2011) hanno proposto di abbandonare questa terminologia, sostenendo invece che la vasta gamma di capacità uditive possa essere presentata come un *continuum* a seconda del contributo della pressione sonora e della sensibilità uditiva.

Ad un'estremità del *continuum* è presente il gruppo di specie esclusivamente in grado di rilevare il movimento. Questo gruppo comprende specie prive di vesciche natatorie, come gli elasmobranchi (squali e razze), agnati e alcuni pesci teleostei con vesciche natatorie sottosviluppate, come pesci piatti e gobidi. Queste specie sono in grado di rilevare solo suoni a bassa frequenza, inferiori a 1,5 kHz (Casper *et al.*, 2003; Casper and Mann, 2006; 2007; 2009).

All'estremità opposta del *continuum* ci sono invece pesci del superordine ostariofisi, pesci scoiattolo, mormiridi e aringhe (Popper and Fay, 2011; Fay *et al.*, 2002; Mann *et al.*, 1997; 1998; 2001). Queste specie sono dotate di strutture specializzate che permettono un'elevata sensibilità al suono. Gli ostariofisi, per esempio, sono dotati dei cosiddetti "ossicini di Weber", una serie di 3 o 4 ossicini derivati da porzioni modificate delle prime tre vertebre che mettono in comunicazione la vescica natatoria con l'orecchio interno, permettendo una migliore ricezione del suono (Popper and Fay, 1993; Higgs, 2012). Queste specie sono in



grado non solo di rilevare il movimento, ma anche la pressione ed il suono in un'ampia gamma di frequenze (fino a diversi kHz).

In generale, comunque, la maggior parte delle specie ittiche hanno abilità uditive che si collocano in mezzo a questi due estremi. Alcune specie, come tonni e salmonidi hanno vesciche natatorie situate lontano dall'orecchio. Queste specie possono solo rilevare il movimento delle particelle (Popper e Fay, 2011). Altri, come il merluzzo, hanno vesciche natatorie che non sono direttamente collegate all'orecchio ma che si trovano relativamente vicino a esso. Queste specie possono percepire la pressione sonora con frequenze considerevolmente più alte.



5. CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBIENTE ACUSTICO SOTTOMARINO DELL'AREA DI PROGETTO

In acustica, il termine “suono” è definito come l'energia irradiata da un oggetto vibrante, senza alcun riferimento alla sua funzione o potenziale effetto. Al contrario, il “rumore” è invece indicato come quell'emissione acustica in grado di generare effetti avversi (Southall *et al.*, 2009).

Come in ambiente aereo, anche in quello subacqueo suoni e rumori sono ubiquitari, essendo prodotti sia da fonti naturali (fisiche e biologiche) che antropiche (OSPAR, 2015).

Tra i principali fattori fisici naturali che contribuiscono alla genesi di rumore vi sono il vento, le onde, la pioggia, i fulmini e i suoni prodotti dall'interazione della fauna marina con le onde (TNO, 2009). Tra i fattori biologici, fondamentali sono invece i fenomeni legati alla comunicazione della fauna marina, inclusi quelli di ecolocalizzazione utilizzati dai cetacei (Southall & Nowacek, 2009).

Accanto alle sorgenti naturali, quelle di natura antropica (come, ad esempio, la navigazione, le esercitazioni militari, lo sfruttamento dei giacimenti petroliferi, ecc.) sono responsabili dell'aumento delle sorgenti sonore sottomarine in aree in cui quelle naturali sarebbero tipicamente le uniche fonti disponibili. Tale situazione è comunque sostanzialmente impossibile da trovare in Mediterraneo.

Alcuni suoni, costantemente presenti entro l'ambiente marino, definiscono il “rumore ambientale di fondo”. Le fonti primarie di rumore ambientale possono essere classificate in base alla frequenza del suono e rappresentate attraverso le “curve di Wenz” (Wenz, 1962) come mostrato in Figura 7.

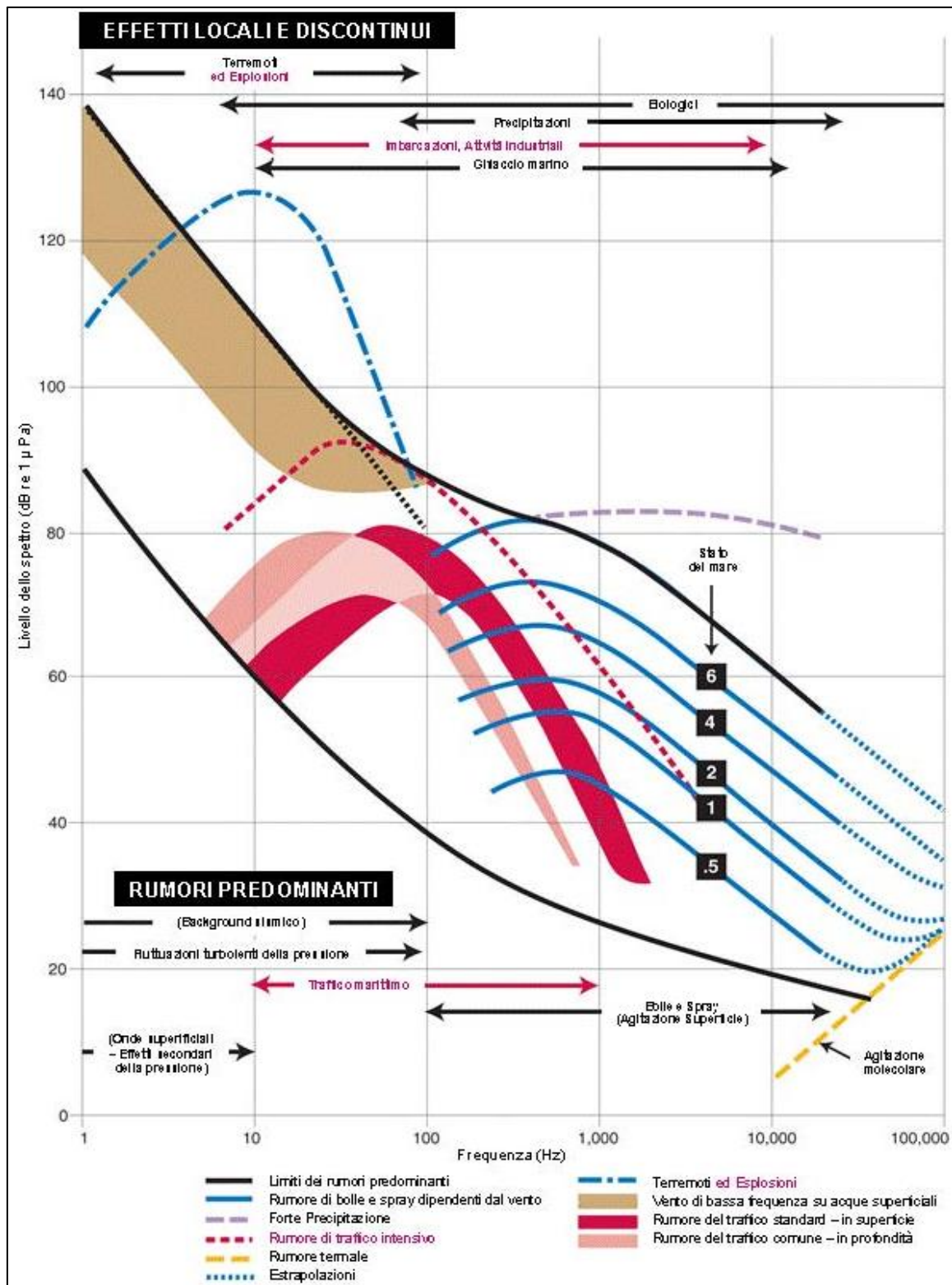


Figura 7: Curve di Wenz illustranti i principali rumori e suoni sottomarini (fonte: adattata da dosits.org)



5.1 Caratterizzazione bibliografica

Il settore **Alto Adriatico occidentale** (Area Vasta) e, in particolare, il suo settore occidentale è soggetto a forti pressioni antropiche ed intensi traffici marittimi. Come si osserva infatti in , relativa ai principali *hotspot* di rumore sottomarino di origine antropica, l'Adriatico nord-occidentale è tra le aree maggiormente sottoposte a rumore antropogenico (Maglio *et al.*, 2015).

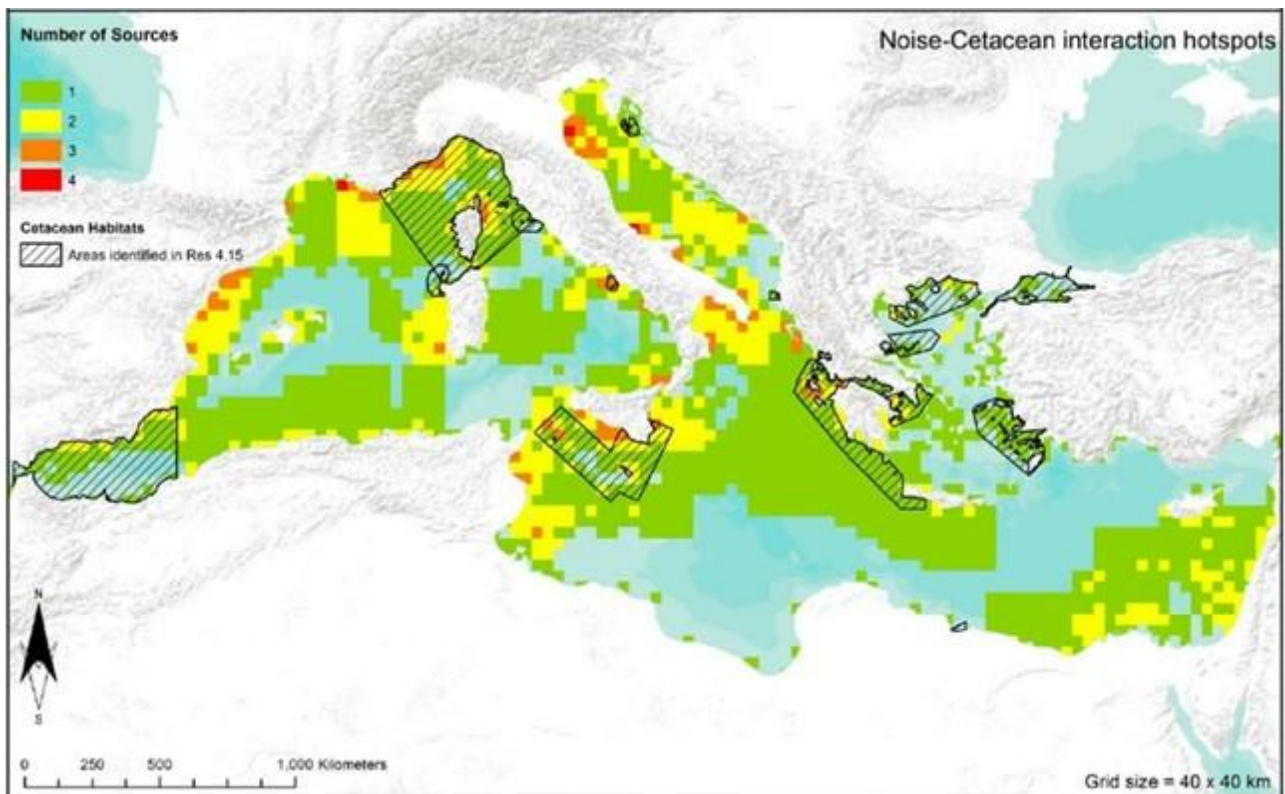


Figura 8: Hotspot di Rumore sottomarino nel Mediterraneo (riquadri colorati). La linea tratteggiata indica i limiti dell'Area Vasta, mentre il riquadro nero una rappresentazione schematica dell'Area di Sito (fonte: La prima mappa acustica completa del Mediterraneo - Focus.it)

Tra le possibili sorgenti di rumore antropico, il traffico marittimo rappresenta sicuramente un'importante fonte entro l'Area Vasta, che ospita quattro porti di grandi dimensioni (Trieste, Venezia, Ravenna e Ancona) adibiti al trasporto merci e passeggeri. Il traffico marittimo rappresenta una sorgente sonora a bassa frequenza, producendo suoni a frequenze generalmente inferiori a 300 Hz. Tali suoni sono in grado di propagarsi per lunghe distanze attraverso la colonna d'acqua, influenzando i livelli di rumore sottomarino anche a notevoli distanze dalle principali rotte di navigazione (Skarsoulis *et al.*, 2017), con possibili conseguenze sulla fauna marina.



Nelle navi, le principali fonti di rumore includono la cavitazione delle eliche, le vibrazioni dei motori e delle relative strutture, e lo spostamento dell'acqua causato dallo scafo in movimento. I livelli di rumore della sorgente possono variare da 180 a 195 dB re 1 μ Pa a 1 m con livelli di picco nella banda di frequenza 10-50 Hz. A frequenze inferiori a 200 Hz, sono i sistemi di eliche a contribuire maggiormente al rumore sottomarino. Le grandi navi da carico possono emettere suoni ad alta frequenza con livelli sonori superiori a 150 dB re 1 μ Pa a 1 m intorno a 30 kHz.

Sorgenti di rumore aggiuntive sono rappresentate dalle apparecchiature di bordo e dal flusso idrodinamico attorno allo scafo della nave e possono dipendere anche dalla velocità dell'imbarcazione: all'aumentare della velocità aumentano, infatti, anche i livelli di rumore (McKenna *et al.*, 2013).

Relativamente all'**Area di Sito** vi è una scarsa disponibilità di dati acustici. Tuttavia, sulla base delle attività umane note, è possibile elaborare alcune assunzioni.

I dati relativi alla navigazione, per esempio, indicano che l'Area di Sito sia soggetta ad intensi traffici marittimi, con oltre 250.000 transiti all'anno (Figura 9).

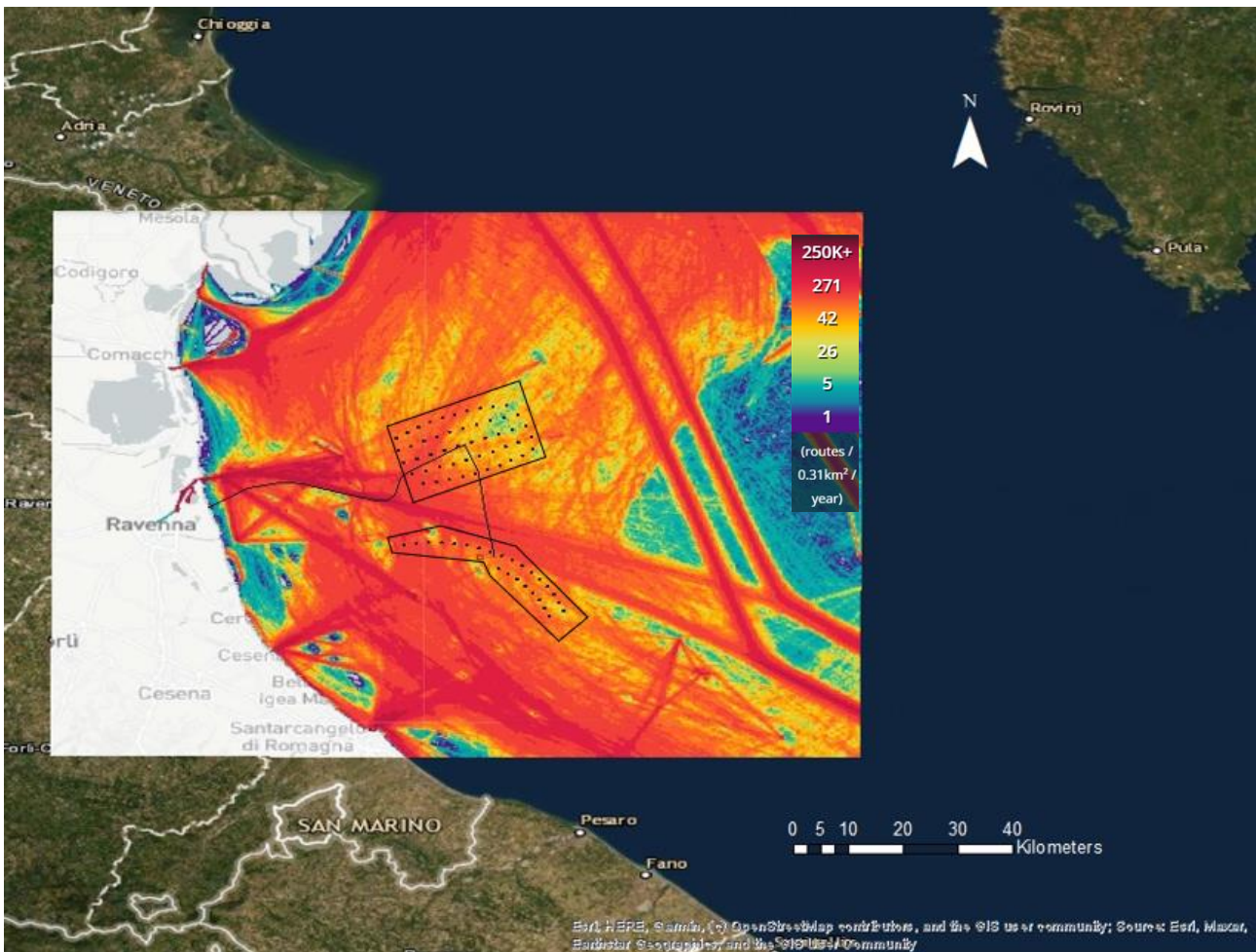


Figura 9: Mappa di densità del traffico marittimo negli anni 2020-2021, con indicazione delle opere offshore del Progetto (fonte: www.marintraffic.com).

Inoltre, analizzando le carte nautiche e i vincoli in ambiente marittimo (si veda Cap. 3.3 “Quadro vincolistico” della relazione “AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME1”), si può notare come l’area sia soggetta a numerose attività antropiche, che includono esercitazioni militari, attività estrattive e lavori offshore.

La tabella di seguito riporta i livelli di emissione medi di origine antropica che, sulla base delle considerazioni appena effettuate, si ritiene possano essere potenzialmente rilevate nell’Area di Sito.



Tabella 1: Principali sorgenti acustiche di origine antropica presenti nell'Area di Influenza con relativa frequenza, durata e direzionalità (fonte: Prideaux, 2017)

Attività	Larghezza di banda	Intensità	Frequenza di emissione	Direzionalità
Attività costanti per l'area				
Imbarcazioni di piccole dimensioni	10 kHz	160-190 dB rms a 1 m SPL	Continuo	Omnidirezionale
Imbarcazioni di medie dimensioni	Inferiore a 1 kHz	165-180 dB rms a 1 m SPL	Continuo	Omnidirezionale
Imbarcazioni di grandi dimensioni	Poche centinaia di Hz	180-190 dB rms a 1 m SPL	Continuo	Omnidirezionale
Attività potenzialmente frequenti per l'area				
Sonar militari a bassa frequenza attiva	<1 kHz	240 dB re 1 μ Pa a 1 m SPL	600-1000 ms	Orizzontale
Sonar militari a media frequenza attiva	1-5 kHz	235 dB re 1 μ Pa a 1 m SPL	1-2 s	Orizzontale
Sonar militari continui	3 kHz	182 dB re 1 μ Pa a 1 m SPL	18 s	Orizzontale
Attività occasionali (legate a prospezioni, lavori ecc.)				
Ecoscandaglio Single beam	12 kHz-700 kHz (a seconda dall'applicazione)	240 dB re 1 μ Pa a 1 m SPL	0,1 ms	Verticale
Side Scan Sonar	50 kHz-1600 kHz (a seconda dall'applicazione)	240 dB re 1 μ Pa a 1 m SPL	0,1 ms	Verticale/Orizzontale
Ecoscandaglio Multibeam	12 kHz-500 kHz (a seconda dall'applicazione)	240 dB re 1 μ Pa a 1 m SPL	0,1 ms	Verticale/Orizzontale
Attività di dragaggio	1 kHz	150 dB rms a 1 m SPL	Continuo	Omnidirezionale

Per quanto riguarda le sorgenti di rumore di origine biologica, come detto in precedenza, la comunicazione tra organismi marini rappresenta tra i principali meccanismi ad influire sul clima acustico subacqueo entro l'Area di Sito. Particolarmente importante è il contributo di cetacei, che producono suoni a scopi comunicativi, di orientamento e di navigazione.

I suoni generati dai cetacei possono variare da valori di bassa frequenza di circa 10 kHz (misticeti, o balene a fanoni) a valori di alta frequenza di 200 kHz (odontoceti, o balene con i denti e delfini). I livelli della sorgente per i suoni di comunicazione sono compresi tra 170 e 180 dB re 1 μ Pa a 1 m, mentre i clic di ecolocalizzazione



per la specie potenzialmente più frequente nell'area, il tursiope (*Tursiops truncatus*), raggiungono i 226 dB re 1 μ Pa a 1 m (Richards *et al.*, 2007).

5.1 Caratterizzazione tramite dati primari

L'analisi acustica delle registrazioni si è focalizzata su due aspetti: misure di rumore (descrizione quantitativa) e individuazione di segnali biologici (descrizione qualitativa). Il primo passo è stato quello qualitativo, per avere una visione d'insieme del panorama acustico subacqueo oggetto di indagine. Le registrazioni sono state visualizzate in spettrogrammi utilizzando il software SEApro (CIBRA, 2017).

5.1.1 Caratterizzazione qualitativa

La prima caratteristica che emerge dalle registrazioni è la presenza, costante e significativa sulle 24 ore, di click imputabili alla presenza di crostacei alfeidi (*snapping shrimps* o "gamberetti schioccatori").

Si tratta di piccoli crostacei decapodi, lunghi pochi millimetri, con la peculiare caratteristica di emettere click molto intensi e a banda larga tramite una chela modificata. La specie maggiormente presente in Adriatico, su fondali mobili come quelli dell'Area di Sito, è *Alpheus glaber*.



Figura 10: *Alpheus glaber*.



La Figura 11 mostra l'aspetto dei click degli alfeidi (bande verticali) registrati in Area di Sito, costantemente presenti nell'esempio estratto.

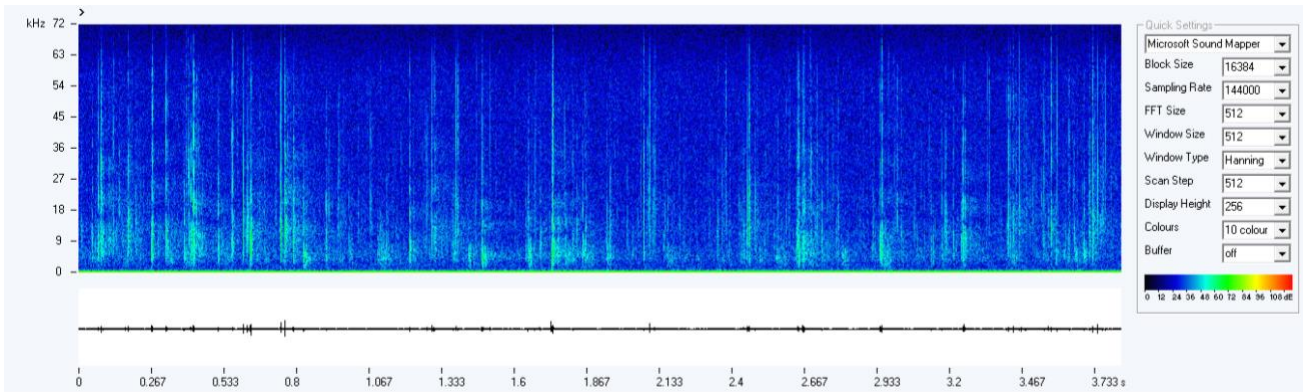


Figura 11: Click di *Alpheus glaber*, 4 secondi.

Questi gnamberi sono in grado di generare impulsi così intensi da esser riflessi (Figura 12) dalla superficie e tornare al registratore con energia significativa, costituendo una componente non trascurabile del panorama acustico subacqueo. Nella immagine successiva, evidenziati in giallo, vi sono due click seguiti da eco sulla superficie del mare.

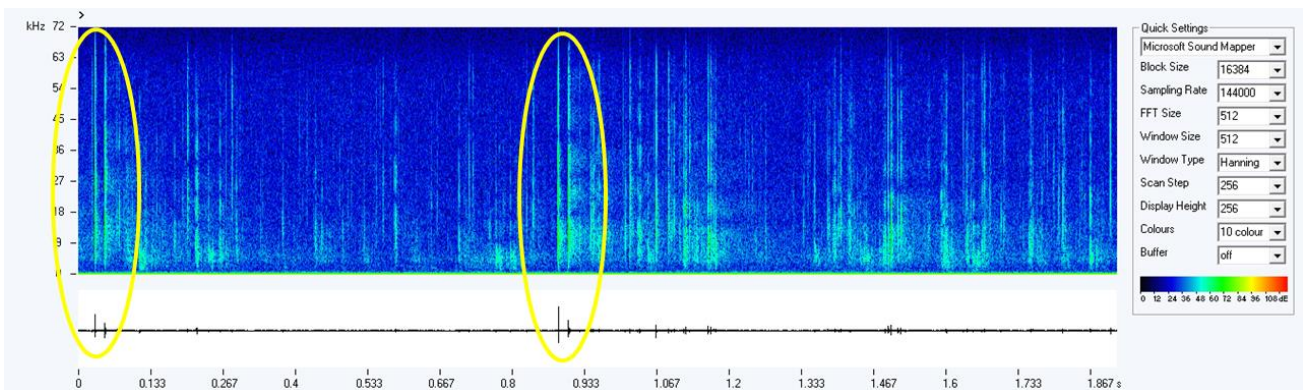


Figura 12: Click con eco dalla superficie, 2 secondi.



Oltre ai segnali emessi dagli alfeiidi, un'ulteriore sorgente di emissione acustica di origine naturale/biologica è rappresentata da click di delfini, verosimilmente *Tursiops truncatus*¹.

Nelle immagini sottostanti sono riportati, a titolo esemplificativo, degli spettrogrammi di delfini registrati nell'Area di Sito, identificati per sequenza temporale, regolare, e per energia acustica concentrata sulle alte frequenze.

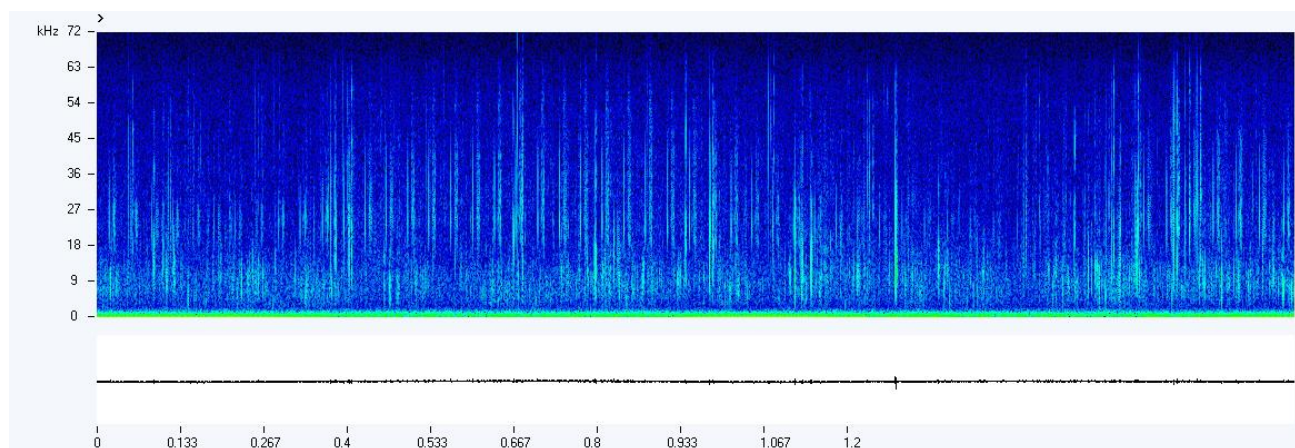


Figura 13: Click di delfini con andamento regolare.

¹ Secondo lo stato dell'ambiente descritto dello Studio di Impatto Ambientale, Volume 2 (relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME2"), l'unico mammifero marino residente risulta essere proprio il tursiope (*T. truncatus*).

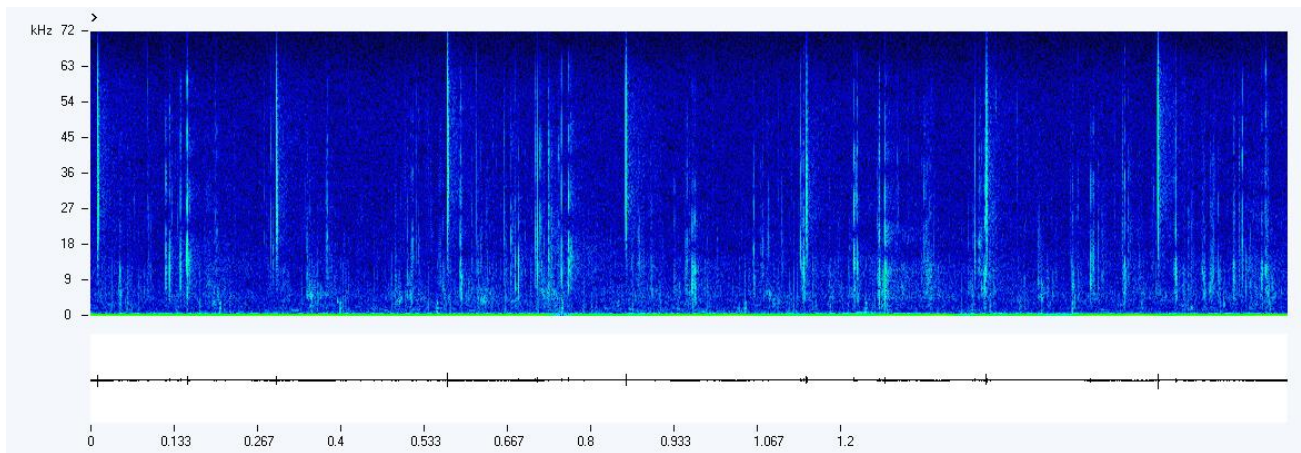


Figura 14: Serie di click con energia solo sopra i 10 kHz.

L'analisi qualitativa qui descritta è stata condotta anche con la tecnica dello spettrogramma compatto. Grazie a una funzione di SEApro, infatti, è possibile "impacchettare" su un unico spettrogramma intervalli di tempo di più ore, a seconda dei parametri impostati. Questo permette di evidenziare rapidamente "macroeventi" come il passaggio di una nave nelle vicinanze, ma anche di far emergere, al verificarsi delle adeguate condizioni (ad es. rapporto segnale rumore) serie di click di delfini nel contesto acusticamente complesso che caratterizza queste registrazioni. Le figure seguenti ne costituiscono un esempio. Le macchie bandate chiare sono il risultato dell'impacchettamento di brevi sequenze di click di delfini.

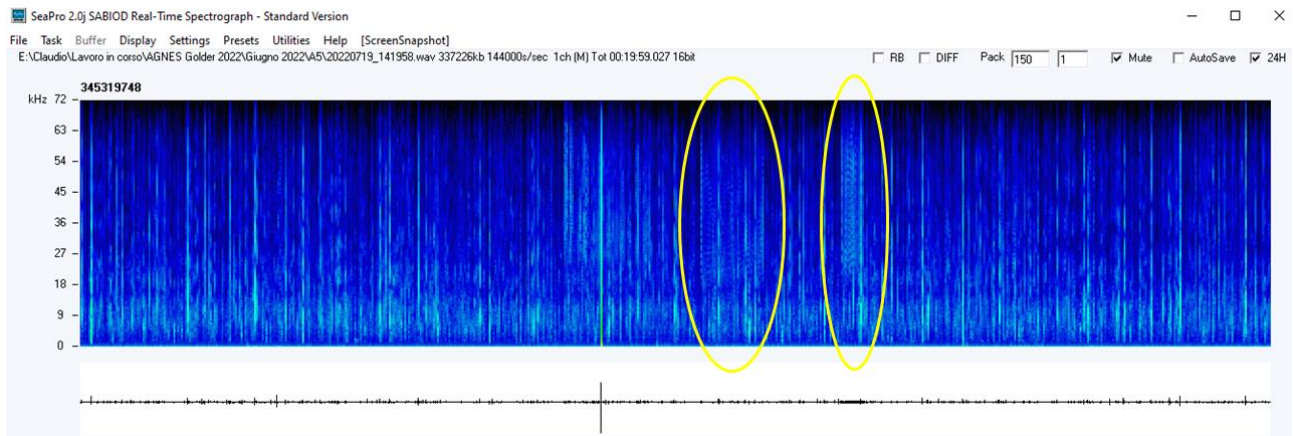


Figura 15: Esempio di aspetto di serie di click di delfini in uno spettro compresso (10 minuti).

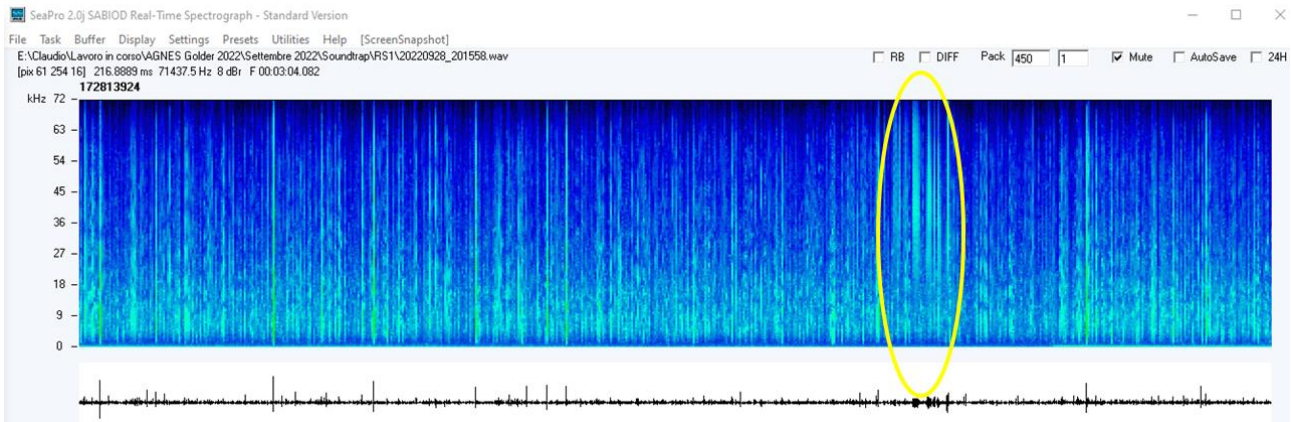


Figura 16: Click di delfini in uno spettro compatto di 30 minuti.

Oltre ai segnali biologici, le registrazioni hanno “catturato” rumore antropico associato a passaggi di imbarcazioni. Le fasi “di rumore” associate alle imbarcazioni di passaggio nelle vicinanze sono state tagliate ed escluse dalle analisi quantitative in quanto singoli eventi non rappresentativi della situazione anche futura.

Le principali categorie di imbarcazioni registrate sono state i pescherecci e i “supply vessels” impegnati nell’assistenza alle piattaforme presenti in zona. Anche navi mercantili in transito da e per il porto di Ravenna sono state registrate. L’immagine sottostante riporta il passaggio di una supply vessel, riconoscibile per l’alta intensità del rumore prodotto e la sua breve durata, data la velocità di spostamento delle stesse.

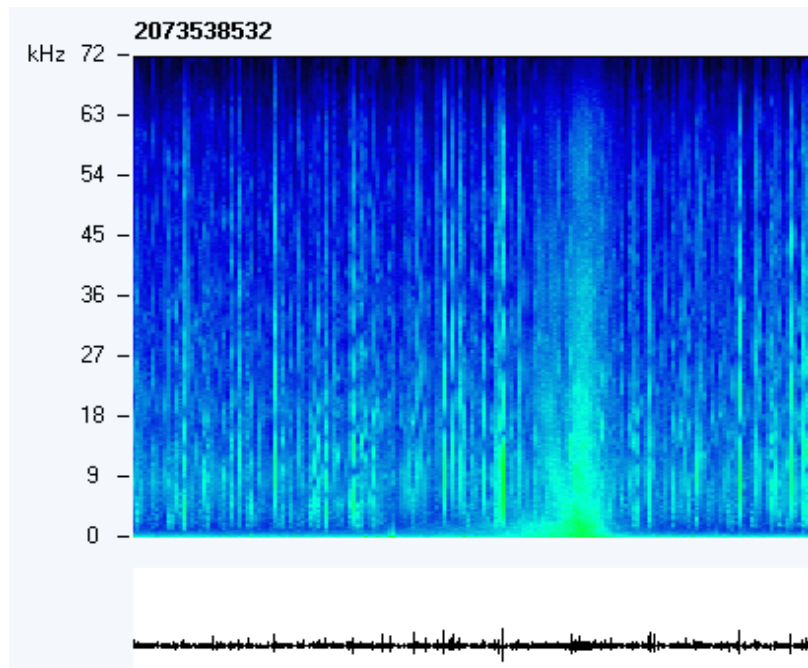


Figura 17: Rumore associato al passaggio di imbarcazione veloce, frame di 10 minuti.



Il rumore dei pescherecci impegnati nello strascico è invece più persistente, in quanto la loro velocità è ridotta. Lo spettrogramma in Figura 18 mostra il passaggio di uno di essi in trasferimento, della durata di circa 15 min. Il peschereccio in oggetto è stato registrato nella sezione nord di Romagna 1 (stazione R2).

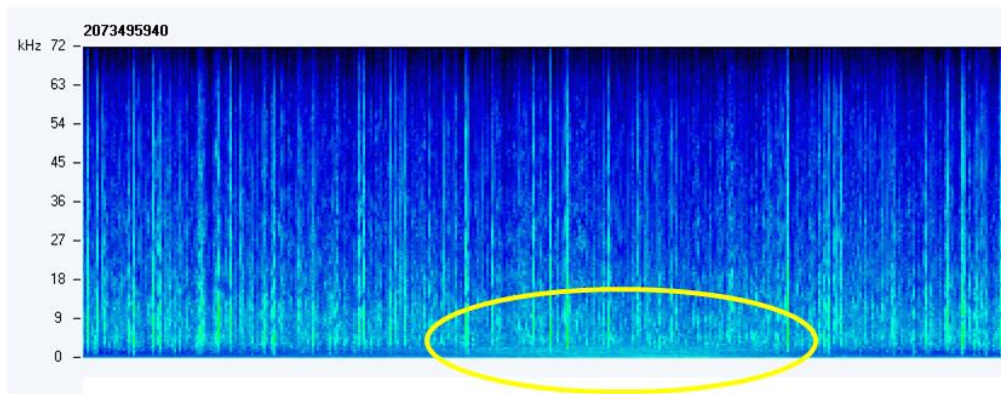


Figura 18: Passaggio lontano di un peschereccio in uno spettro compatto di 30 minuti.

In generale, riassumendo i dati dell'analisi acustica qualitativa svolta (tipologia delle emissioni), si può delineare che l'ambiente acustico marino dell'area risulti essere dominato dai click di alfeidi, senza variazioni significative fra giorno e notte. Sono state eseguite 16 stazioni di campionamento, di cui 12 da un'ora ciascuna (nell'ambito del survey acustico per i cetacei descritto nello Studio di Impatto Ambientale; si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME2") e 4 da 24 ore (specifiche per la caratterizzazione acustica dell'area).

Le vocalizzazioni di delfini sono state rilevate nella maggior parte delle registrazioni (11 volte), a sottolineare una frequentazione costante dell'Area di Sito, con frequenza significativamente maggiore (7 su 11) nella sezione nord di Romagna 1 (stazione R2). Questa è anche la sezione in cui sono stati registrati pescherecci in attività di strascico per tutta la notte. Come osservato in numerose campagne di avvistamento, infatti, i tursiopi hanno sviluppato l'abitudine di seguire gli strascichi per alimentarsi. Le registrazioni hanno confermato, anche acusticamente, questo comportamento.

5.1.1 Caratterizzazione quantitativa

Questo tipo di analisi si occupa di descrivere quanto registrato dal punto di vista dell'intensità e della sua distribuzione in frequenza secondo parametri di misura condivisi in letteratura e riportati anche nelle Linee Guida ISPRA del 2011. Per l'analisi sono stati scelti due software: DbWav (<https://au.marshallday.com/innovation/software/dbwav/>) e VSLM *Virtual Sound Level Meter* (Argonne National Lab, USA; <https://doi.org/10.1121/1.5036041>). Il primo è in grado di produrre spettri compatti con relative misure di interi periodi di 24 ore. Il secondo è stato invece usato per caratterizzare segmenti di registrazioni con particolare significato, come momenti di silenzio o momenti particolarmente rumorosi,



nonché per le 12 stazioni da 1 ora (nell'ambito del survey acustico per i cetacei descritto nello Studio di Impatto Ambientale; si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME2").

Dal punto di vista quantitativo (intensità delle emissioni), in generale, l'Area di Sito risulta essere occupata da rumori a bassa frequenza dovuti a traffico navale. A titolo esemplificativo, si riporta l'intera registrazione di 24 ore nella stazione R2 del 29 giugno (sezione nord di Romagna 1) in Figura 19.

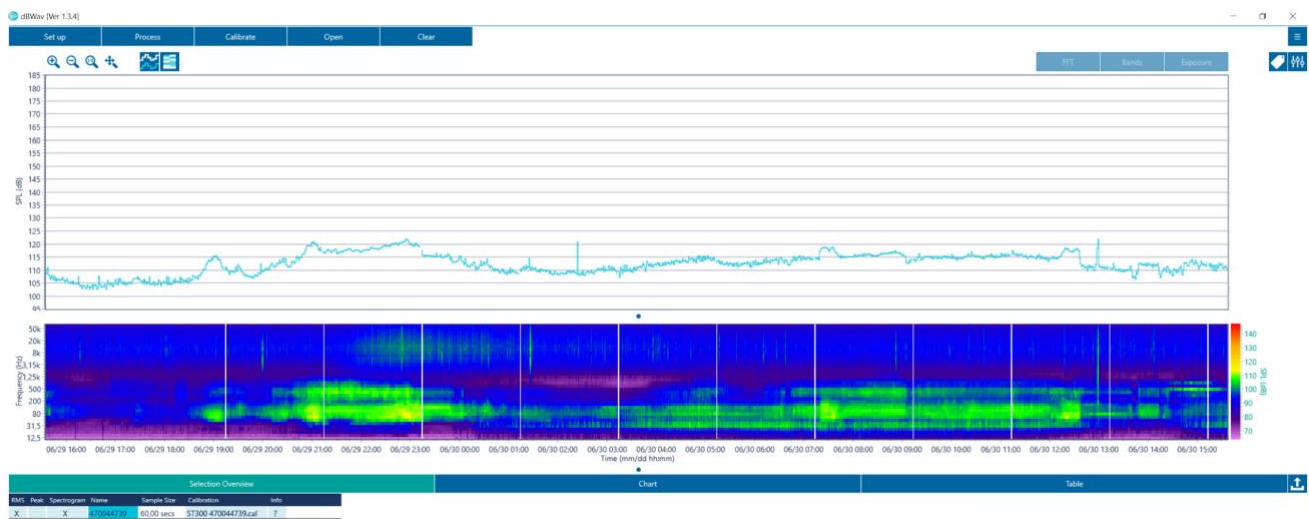


Figura 19: Stazione R2. Il riquadro superiore rappresenta il Sound Pressure Level, mentre quello inferiore illustra lo spettrogramma. Notare che l'asse delle ordinate, con la frequenza, è in scala logaritmica, e rappresenta quindi in maggior dettaglio le basse frequenze.

Dall'immagine si deduce che, dopo un primo periodo di silenzio a sinistra (circa 3 ore), il resto della registrazione (20 ore circa) è occupato da rumori a bassa frequenza dovuti a traffico navale. Il primo, più intenso, è ascrivibile al passaggio di una grossa nave a qualche miglio di distanza, mentre il rumore che segue è dovuto alla presenza di pescherecci a strascico. Tali classificazioni sono state fatte ascoltando parte delle registrazioni e classificando i rumori in base all'esperienza degli operatori.

Per l'analisi quantitativa, sono stati estratti segmenti di file sia dal primo settore (silenzio) che dal secondo (nave) che dal terzo (peschereccio). Queste sezioni sono state ricampionate a 96kHz e processate con VSLM. Questo ha permesso di ottenere dei valori rappresentativi di rumore presente ciclicamente nell'ambiente, e cioè una fase "di silenzio" e una "inquinata".

Al di fuori del passaggio delle operazioni navali sopradescritte, comunque, occorre sottolineare che, anche nella fase "silenziosa", è sempre presente, seppur debole, una componente di rumore antropico nella banda 50 - 150 Hz dovuta alla estesa propagazione del rumore da traffico in quella banda. Le figure seguenti illustrano quanto appena riportato.

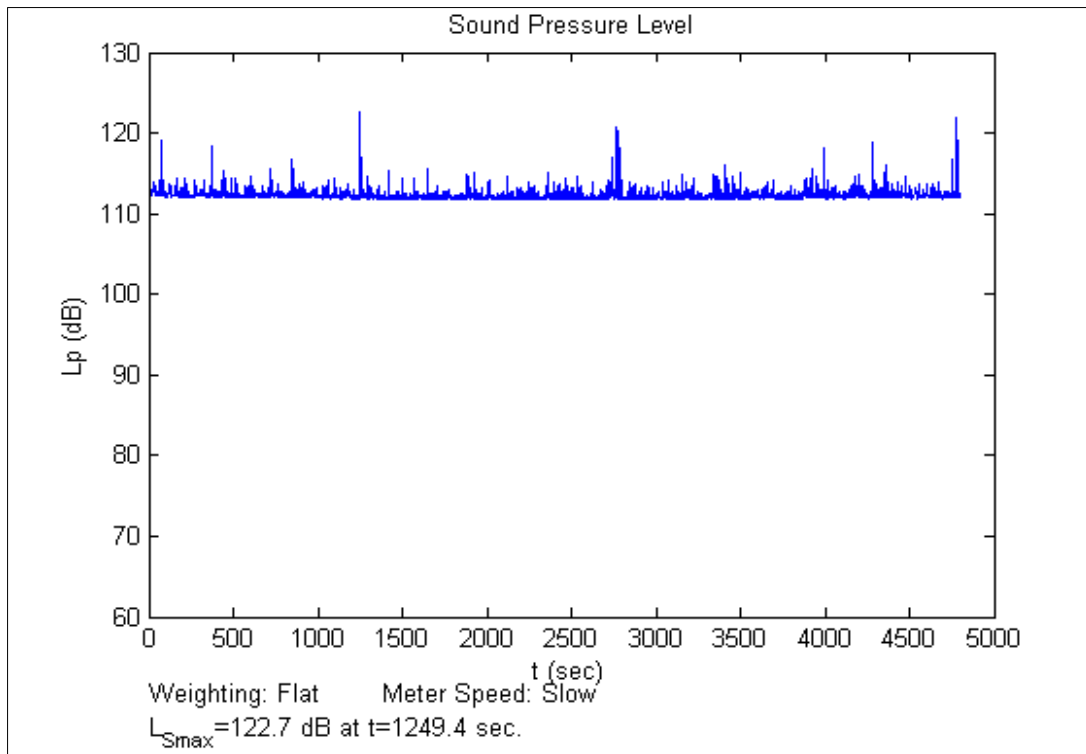


Figura 20: Sound Pressure Level del file di "silenzio", durata 1h e 30 minuti circa, intervallo slow.

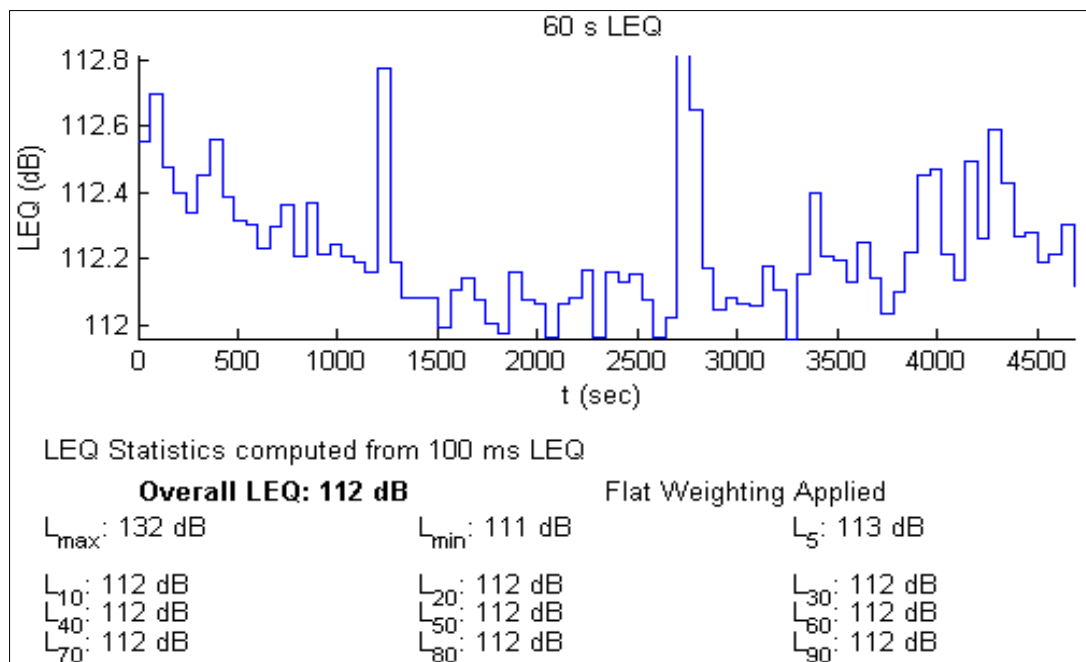


Figura 21: LEQ o Livello Equivalente dello stesso file. La finestra di integrazione è di 60 secondi.



Dalle due immagini sopra riportate, si evince come il livello medio di rumore si attesti intorno a 112 dB re 1 μ Pa, valore non certo silenzioso, ma rappresentativo dei valori solitamente misurati in Adriatico (Picciulin & Codarin, 2007, Codarin, 2008, Codarin *et al.*, 2009, Picciulin *et al.*, 2010, Picciulin *et al.*, 2011).

L'immagine seguente rappresenta le registrazioni con andamento in terzi d'ottava, che quindi danno maggiore evidenza alle basse frequenze, in cui si concentra solitamente l'apporto umano, in particolare quello relativo al traffico navale.

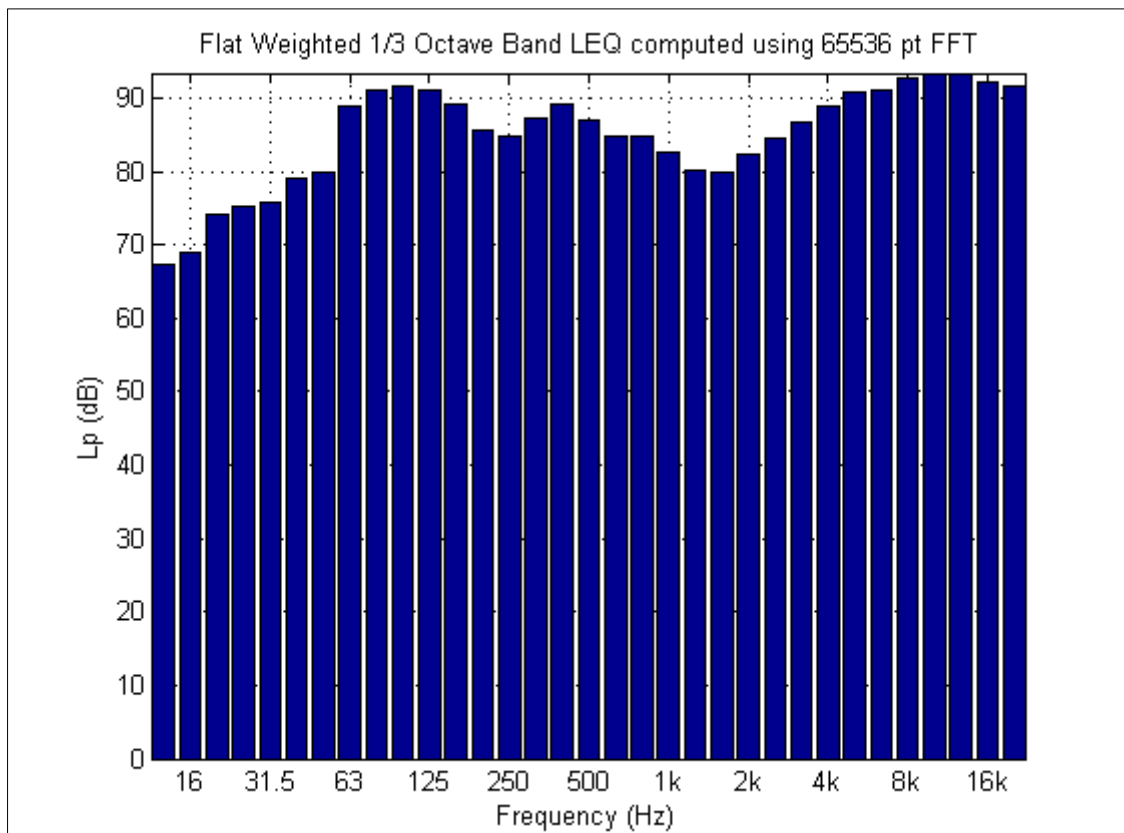


Figura 22: Passaggio lontano di un peschereccio in uno spettro compatto di 30 minuti.

Significativamente differenti sono invece i livelli misurati durante la fase rumorosa successiva e relativa al passaggio di una nave, anche se non vicinissima, come mostrato nei grafici delle figure che seguono.

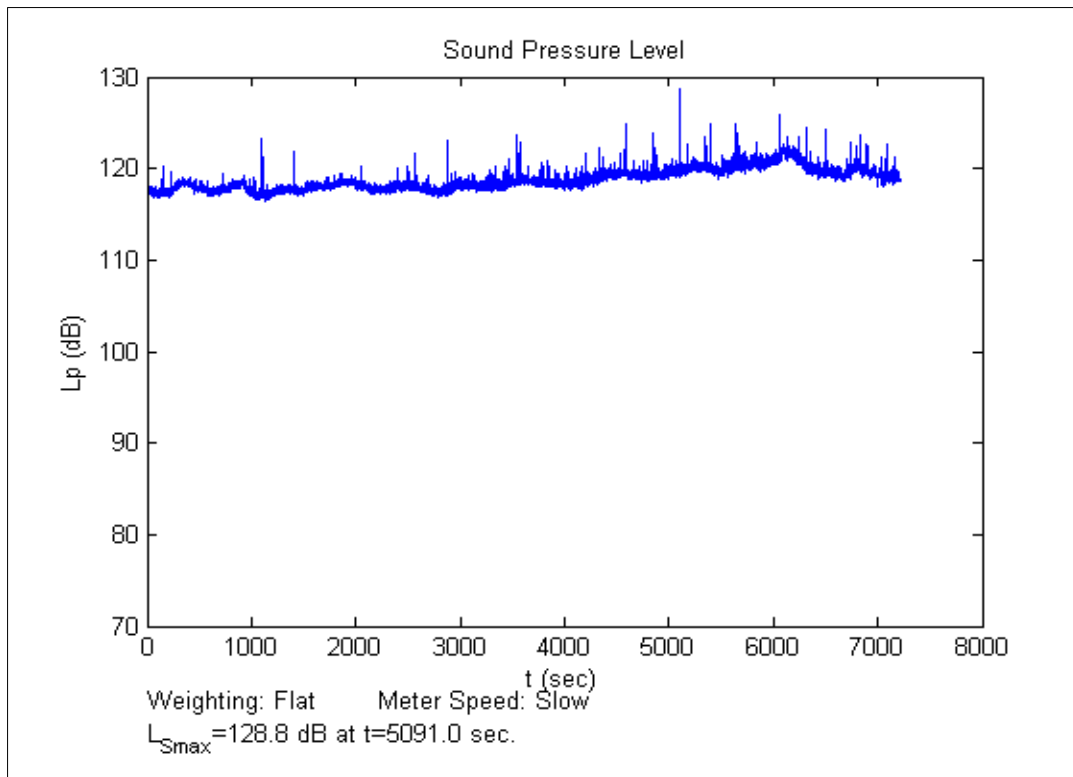


Figura 23: SPL relativo al passaggio di una nave.

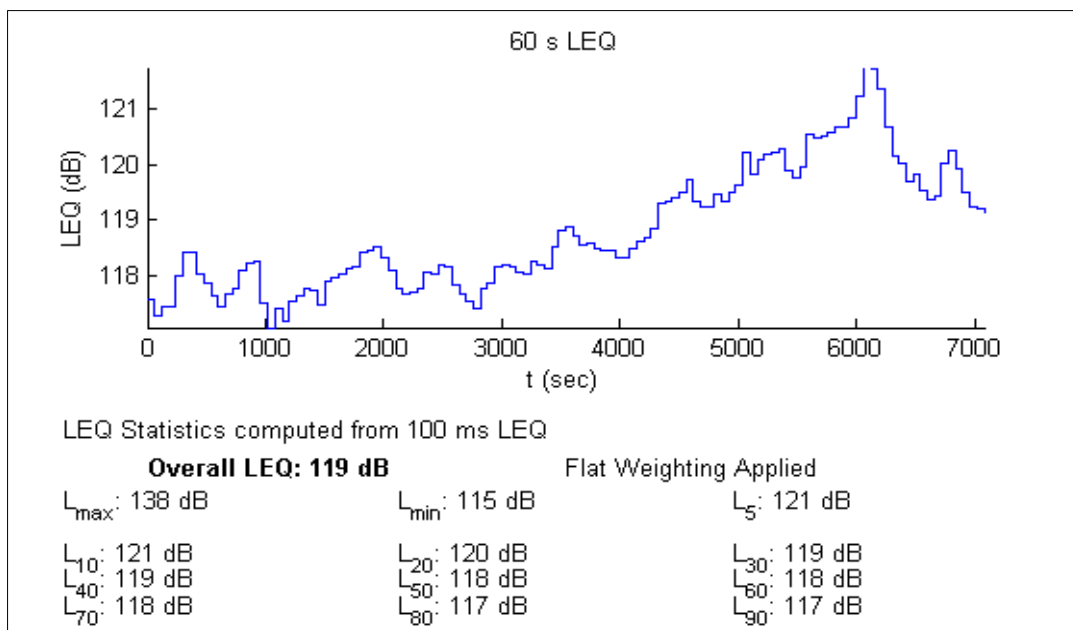


Figura 24: LEQ del passaggio della nave; picco di intensità dovuto probabilmente al CPA (Closest Point o Approach).



Rispetto alla condizione “di silenzio” precedentemente descritto, sia lo SPL che il LEQ (misurato con gli stessi parametri) evidenziano un innalzamento del rumore di 7 dB, che in termini di energia immessa nell’ambiente significa un aumento di oltre il doppio. La figura seguente, relativa all’andamento in terzi d’ottava, sottolinea come quest’aumento di energia sia distribuito in frequenza.

Infatti, il grafico in terzi d’ottava permette di apprezzare come la quasi totalità dell’aumento di rumore (espresso in dB) evidenziato dal LEQ sia concentrato sotto 1 kHz di frequenza. Il livello sopra i 5 kHz, infatti aumenta solo di pochi dB, mentre nelle basse frequenze l’aumento è di quasi 20 dB.

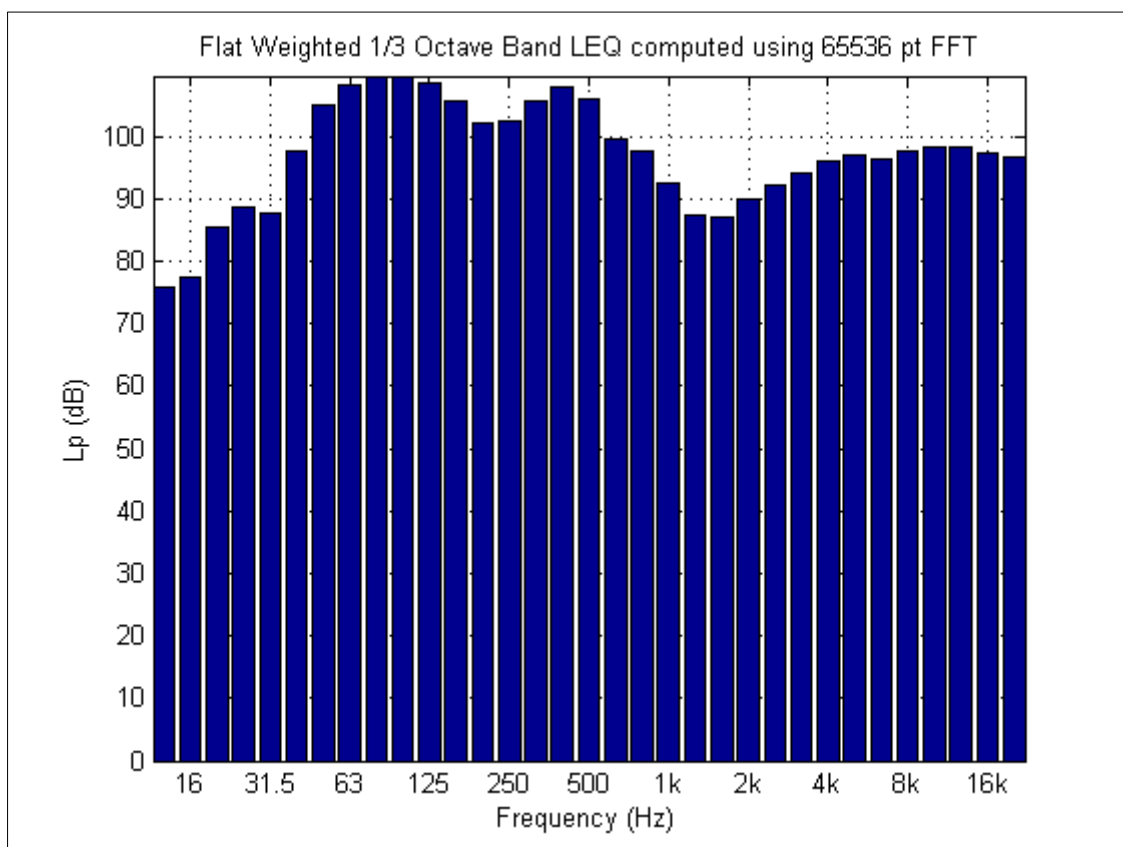


Figura 25: Grafico in terzi d’ottava relativo alla distribuzione in frequenza del rumore associato alla presenza di una nave in transito.

L’immagine in terzi d’ottava permette di apprezzare come la quasi totalità dell’aumento di rumore (espresso in decibel) evidenziato dal LEQ sia concentrato sotto 1 kHz di frequenza. Il livello sopra i 5 kHz, infatti, aumenta solo di pochi dB, mentre nelle basse frequenze l’aumento è di quasi 20 dB.

La stessa tipologia di grafici è riportata di seguito anche per il rumore associato ai pescherecci durante le operazioni di strascico.

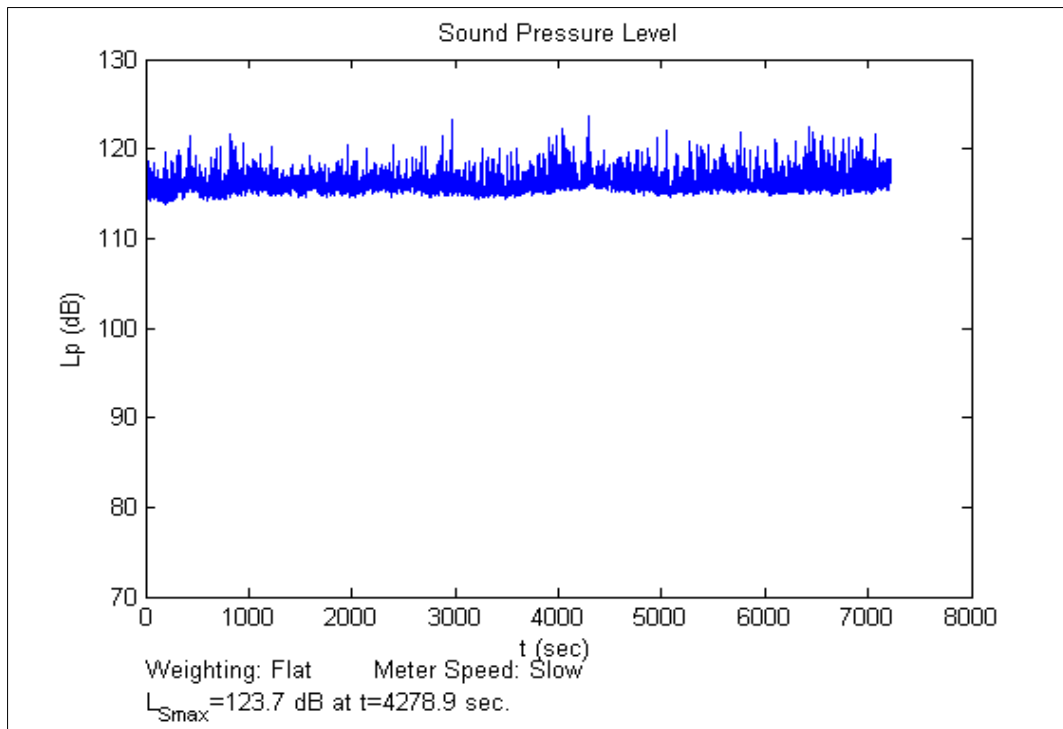


Figura 26: SPL relativo a pescherecci in azione.

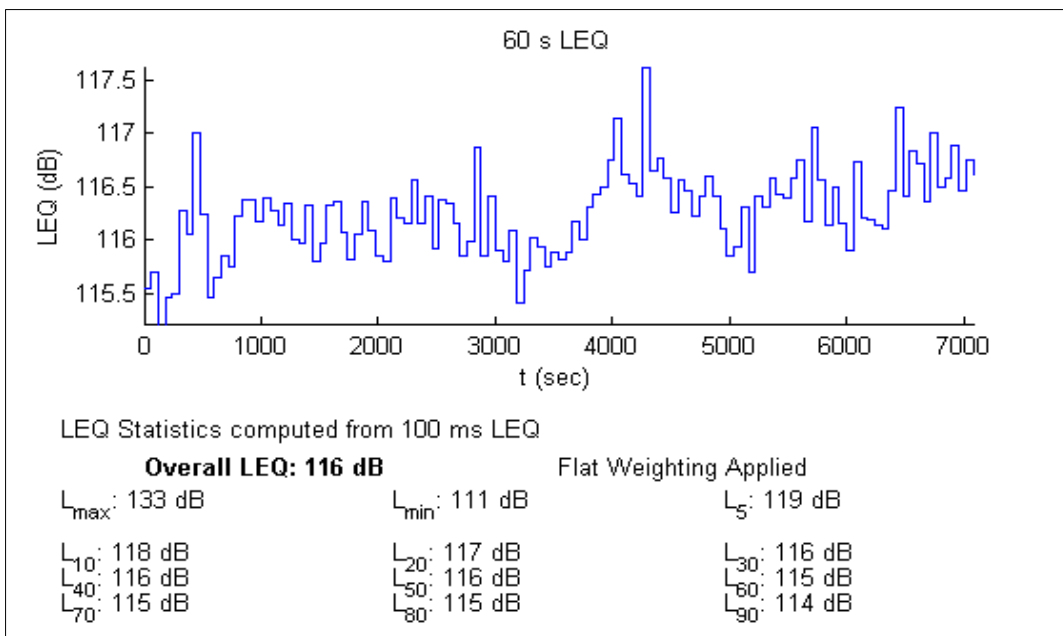


Figura 27: LEQ relativo ai pescherecci. Anche se il livello medio non è particolarmente elevato, da notare che esso è presente per più del 50% del tempo e che nel 90% della registrazione il livello è superiore ai 114dB.

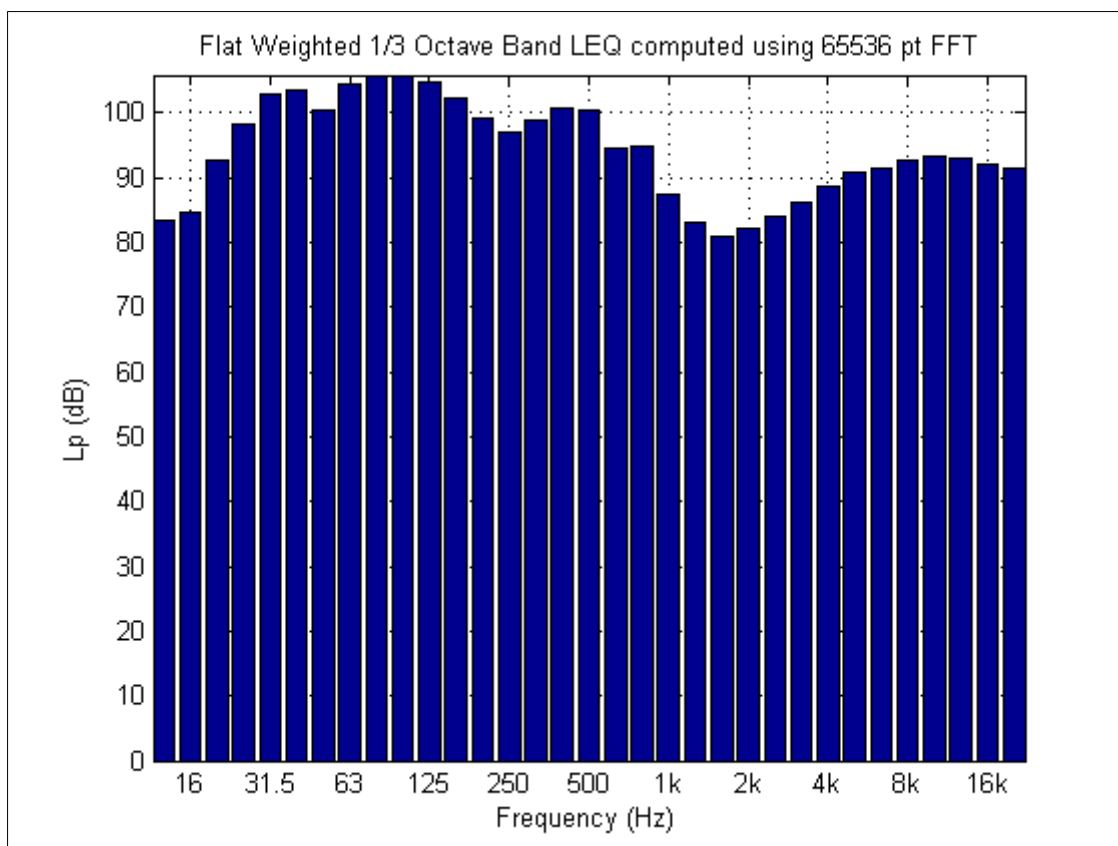


Figura 28: Bande in terzi d'ottava. Come per la nave, il rumore risulta concentrato alle basse frequenze, con un aumento rispetto alla condizione di "silenzio" di più di 10 dB.

Le considerazioni appena fatte si applicano a tutte le stazioni di analisi, incluse quelle di registrazione nell'ambito del survey per i mammiferi marini.

Per tali stazioni, infatti, viene riportata qui di seguito una tabella riepilogativa dei valori di LEQ (mediati su finestra di 1 minuto) delle 12 stazioni di un'ora.



Tabella 2: Intensità sonora mediata registrata nelle stazioni di monitoraggio acustico nell'ambito del survey per i cetacei.

Nome stazione	Valore in dB (LEQ mediato su 60 secondi)
A1	114
A2	117
A3	116
A4	120
A5	112
A6	112
A7	116
A8	116
A9	114
A10	113
A11	111
A12	112
Media di tutte le stazioni	114.40

Dalla tabella si estrae un valore di media dei campioni misurati in loco rappresentativo delle condizioni quantitative dell'ambiente acustico sottomarino presente durante il periodo di indagine.



6. IMPATTI POTENZIALI E MISURE DI MITIGAZIONE

Di seguito è riportata un'analisi dei principali impatti acustici attesi sulla base della tipologia del progetto, descritto brevemente al capitolo 2 e in maniera dettagliata nel documento di Studio di Impatto Ambientale, Volume 1 (si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME1"), e sulla base delle caratteristiche dell'ambiente acustico registrate nell'Area di Sito (capitolo 5). Per una trattazione integrativa e complessiva degli impatti sull'ambiente in generale si rimanda al documento di Studio di Impatto Ambientale, Volume 3 (si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME3").

Tali impatti sono divisi per fase di costruzione e di esercizio. Considerata la vita prevista del progetto (circa 30 anni), non si ritiene appropriato effettuare analisi sulla fase di dismissione. Per maggiori dettagli sulle azioni seguite in fase di dismissione, si rimanda alla relazione "AGNROM_EP-R_REL-DISSMISS".

6.1 Fase di costruzione

Sulla base della descrizione del progetto, si ritiene che le seguenti azioni possano impattare l'ambiente acustico sottomarino dell'Area di Sito:

- Installazione delle fondazioni degli aerogeneratori e delle fondazioni delle sottostazioni elettriche;
- Installazione degli aerogeneratori e delle sottostazioni;
- Trasporto degli elementi degli aerogeneratori, degli elementi delle sottostazioni di conversione elettrica offshore (pali, *jacket* e *topside*) e della componentistica per l'impianto fotovoltaico flottante (fino all'area di deposito/cantiere e dall'area di deposito/cantiere all'area dei campi eolici); trasporto dei materiali di risulta/rifiuti;
- Passaggio senza scavo (*trenchless*) nel sottosuolo marino costiero da realizzarsi tramite T.O.C;
- Installazione sistema di ancoraggio e relativo impianto fotovoltaico flottante;
- Scavo del fondale marino per realizzare la trincea degli elettrodotti, posa e ricoprimento.

L'interferenza delle suddette azioni con l'ambiente saranno dovute ai seguenti fattori di impatto ad esse connessi:

- Emissione di rumore subacqueo non impulsivo;
- Emissione di rumore subacqueo impulsivo.

Tali fattori di impatto sono descritti di seguito.

Emissione di rumore subacqueo non impulsivo

Il rumore subacqueo non impulsivo in fase di costruzione del Progetto sarà prodotto principalmente dalle imbarcazioni in movimento e in attività, nonché dalle attività di scavo tramite *jetting*.



Tali attività sono note emettere suoni a bassa frequenza (generalmente <1000 Hz), in grado di propagarsi per diversi chilometri dalla sorgente, ma sono proprio le imbarcazioni a contribuire principalmente al fattore di impatto. È noto, infatti, che i motori delle navi, a seconda della stazza e della velocità, siano i principali responsabili della produzione di rumori subacquei di origine antropica nel range delle basse frequenze, con picchi fino a 190 dB re 1 μ Pa a un metro dalla sorgente. Per questa loro caratteristica, i rumori dei motori sono in grado di coprire generalmente le emissioni sonore di altre sorgenti, al punto che attività come il dragaggio risultino del tutto trascurabili. La cavitazione è un altro fenomeno “rumoroso” dovuto alle eliche delle imbarcazioni, ma si tratta di suoni più a banda larga (i.e., anche a frequenze più alte). Tale fenomeno, può tuttavia essere notevolmente ridotto con l'utilizzo di eliche apposite.

Considerato che la navigazione è il principale responsabile dell'emissione di rumore subacqueo continuo alle basse frequenze, le imbarcazioni impiegate nel Progetto sono da considerarsi in numero tale da non provocare un incremento significativo di rumore subacqueo non impulsivo nell'Area di Sito, dato che essa è già caratterizzata da una intensa attività umana (i.e., navigazione, cantieri offshore, piattaforme estrattive ecc.), con più di 250 mila transiti l'anno.

Per quanto riguarda la componente biologica, esistono in letteratura dati contrastanti sull'effetto del rumore subacqueo rispetto al **plancton**. In generale, i primi stadi di sviluppo della vita marina, siano essi embrioni, larve, o avannotti, risultano meno sensibili al rumore rispetto agli stadi adulti. Questo potrebbe essere legato alla fase di sviluppo in cui gli organismi diventano in grado di percepire il suono (Kunc *et al.*, 2016; Aguilar de Soto *et al.*, 2013). Tuttavia, alcuni organismi allo stadio larvale (ad esempio cirripedi, pettinidi, specie ittiche etc.) risultano negativamente influenzati dalla presenza di rumore non impulsivo a bassa frequenza, mentre altri organismi (come i mitili) ne risultano avvantaggiati.

Per esempio, la metamorfosi e l'attecchimento delle larve cirripedi viene inibito in presenza di circa 20 ore di suono a bassa frequenza (30 Hz), e specie ittiche allo stadio larvale potrebbero presentare tassi di crescita ridotti, lesioni del sistema uditivo e problemi di orientamento se esposte ad un rumore di sottofondo continuo. Al contrario, le larve di mitili si insediano il 40% più velocemente rispetto ad un controllo silenzioso (Wilkens *et al.*, 2012).

La **fauna ittica** è nota come particolarmente sensibile al rumore subacqueo (ISPRA, 2011). In generale, i teleostei utilizzano le loro capacità uditive per orientarsi nello spazio, navigare e sfuggire ai predatori (*range* di percezione degli stimoli acustici compreso tra 100 e 2000 Hz), mentre i condroitti utilizzano i suoni a bassa frequenza per localizzare le prede (*range* di percezione degli stimoli acustici compreso tra 200 e 600 Hz; ISPRA, 2011; Popper & Hawkins, 2018; Popper *et al.*, 2019). I motori delle imbarcazioni marine rappresentano il maggior contribuente dell'inquinamento acustico costiero, le cui emissioni sonore continue a bassa frequenza (<500 Hz) potrebbero alterare l'ambiente acustico a cui la fauna ittica è adattata, impedendone possibilmente la comunicazione intraspecifica (*masking*), con potenziali cambiamenti comportamentali degli organismi (Popper & Hawkins, 2018).

Tra gli **invertebrati alieutici**, i cefalopodi ed i crostacei decapodi sono probabilmente i gruppi che hanno maggiore capacità di percepire il rumore subacqueo. I cefalopodi sono considerati acusticamente sensibili e



percepiscono suoni tra 10 Hz e 400 Hz (Carrol *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2009). Dati bibliografici di studi effettuati su specie atlantiche mostrano che le seppie (*Sepia officinalis*) cambiano colore più frequentemente quando esposte all'emissione di rumore non impulsivo (Kunc *et al.*, 2014). L'esposizione al rumore delle imbarcazioni potrebbe provocare disturbi comportamentali anche nei crostacei (Patek, 2002; Staaterman *et al.*, 2011; Buscaino *et al.*, 2011a). Per esempio, gli scampi (*N. norvegicus*, presenti nell'Area di Sito) mostrano una repressione del seppellimento, della bioregolazione e della locomozione come conseguenza dell'esposizione prolungata a rumori di origine antropica (Solan *et al.*, 2016).

Le **tartarughe marine** sono note essere più sensibili ai suoni a bassa frequenza, inferiori a 1.000 Hz, come i suoni delle onde che si infrangono o dei motori delle navi. Il raggio uditivo delle tartarughe marine è ristretto rispetto ai mammiferi marini, ma simile alla maggior parte delle specie di pesci.

A differenza dei succitati gruppi di animali marini, tuttavia, le tartarughe non sono note utilizzare il suono per motivi di comunicazione. L'impatto che deriva dall'introduzione di suoni a bassa frequenza, dunque, è dovuto a un solo disturbo uditivo. Va notato che l'Area di Sito è attualmente soggetta a un traffico marittimo molto elevato (> 250 mila rotte l'anno), quindi è improbabile che il rumore generato dai motori delle navi e le attività di scavo causino una risposta di allarme significativa a causa di un possibile effetto di acclimatazione (Pendoley, 1997) già in corso per gli individui che frequentano l'area.

L'emissione di rumore non impulsivo è un fattore di impatto comune per la sottocomponente in esame: è infatti generato da qualsiasi nave da trasporto merci e passeggeri o imbarcazione da diporto, nonché la maggior parte dei lavori eseguiti in ambienti offshore.

Infine, considerando che le attività sociali e di predazione dei **cetacei** (che sono gli unici mammiferi marini presenti nell'Area di Sito) dipendono fortemente dall'acustica, i rumori sottomarini hanno la potenzialità di interferire con le funzioni primarie di tali specie, mascherando i segnali acustici (i.e., ecolocalizzazione delle prede, vocalizzazioni, interazioni sociali, accoppiamento; Tyack, 2008). Tale interferenza può, tuttavia, accadere solo se il rumore subacqueo viene emesso in un range di frequenze che si sovrappone alle capacità uditive e vocali della specie (Southall *et al.*, 2007; Clark *et al.*, 2009; Hatch *et al.*, 2012; Southall *et al.*, 2019). In particolare, tali emissioni sonore a bassa frequenza possono potenzialmente impattare i cetacei a bassa frequenza (ovvero i misticeti; Southall *et al.*, 2019), che non sono residenti né dell'Area di Sito né dell'Area Vasta.

Considerando, invece, che i mammiferi marini presenti nell'Area di Sito sono tursiopi *Tursiops truncatus*, occorre notare che, secondo Southall *et al.* (2019), questa specie è classificata come cetaceo ad alta frequenza (range uditivo da 0,1 a 165 kHz per le vocalizzazioni sociali e da 23 a 102 kHz per l'ecolocalizzazione). Tenendo conto di queste considerazioni, si può affermare che il rumore prodotto durante la fase di costruzione non si sovrappone alla capacità uditiva dei mammiferi marini presenti in Area di Sito e si può ritenere che non costituisca un problema per questa sottocomponente biologica.



Emissione di rumore subacqueo impulsivo e stima della "zona di esclusione"

Il rumore subacqueo impulsivo sarà prodotto dall'attività di martellamento per l'infissione delle fondazioni degli aerogeneratori e delle ancore dell'impianto fotovoltaico flottante. L'infissione avverrà utilizzando un martello idraulico che colpisce ripetutamente la parte superiore delle fondazioni, con una frequenza di circa un colpo al secondo. Durante questa azione, il suono viene irradiato direttamente dal palo nell'acqua circostante. Il martellamento produce suoni impulsivi intensi e a banda larga che possono propagarsi a molti chilometri dal luogo dell'impatto. In prossimità dei pali, i segnali sono relativamente a banda larga (da meno di 10 Hz a oltre 3 kHz). Più lontano i segnali sono dominati da componenti a bassa frequenza (meno di 1 kHz).

Sulla base di dati di letteratura, è possibile ipotizzare un'intensità sonora di circa 220 dB re 1 μ Pa a 1 m dalla sorgente (i.e. il martellamento). Tali emissioni, proprio per la loro intensità e per la loro caratteristica di essere impulsivi, potranno perturbare l'ambiente acustico marino dell'Area di Sito, già di per sé dominato da rumori di origine antropica non impulsivi e a bassa frequenza.

Nonostante l'intensità del fattore di impatto sia da considerarsi significativa per l'area, occorre considerare che il martellamento, e la conseguente emissione di rumore impulsivo, avrà carattere temporaneo e che l'ambiente acustico, per definizione, tende a ritornare alla situazione iniziale immediatamente dopo la cessazione del fattore di impatto. Inoltre, la messa in opera di appropriate misure tecniche può ridurre l'intensità sonora percepibile a poca distanza dal martellamento stesso.

Per quanto riguarda la componente biologica, non esistono studi sugli effetti del rumore di martellamento in merito alla **componente planctonica**. Tuttavia, uno studio ha dimostrato che il rumore subacqueo impulsivo dovuto a prospezioni sismiche ha un impatto negativo sullo zooplancton. Questo tipo di rumore porterebbe ad un aumento dei tassi di mortalità ed una drastica diminuzione (maggiore del 50%) di zooplancton su un'aria significativamente estesa (circa 2 Km, McCauley *et al.* 2017). Un altro studio ha invece evidenziato che l'impatto sulla comunità zooplanctonica è percepibile entro 10 metri dalla sorgente del rumore (NMFS, 2018). Bisogna comunque considerare che le prospezioni sismiche, oltre a generare rumore subacqueo di tipo impulsivo, genera onde compressionali che impattano meccanicamente il plancton. Ad ogni modo, data la carenza di letteratura a riguardo, usando un approccio di precauzione, non si possono escludere impatti su questa componente in fase di costruzione.

Dati di letteratura riportano che effetti letali e subletali, nonché alterazioni fisiologiche e comportamentali, sono stati riscontrati in diverse **specie ittiche** come conseguenza dell'esposizione a rumori impulsivi a bassa-media frequenza (da 100 Hz a 2 kHz, con picchi della banda larga stimati a circa 223 dB re 1 μ Pa a 1 m). Gli effetti letali e subletali includono la mortalità ed il danneggiamento del tessuto uditivo e di vari organi, la cui severità sembra essere legata alla distanza dalla sorgente del rumore (Popper & Hastings, 2009). Alterazioni fisiologiche e comportamentali includono modifiche alla frequenza respiratoria, all'assorbimento di ossigeno, alle risposte di allarme, al comportamento di foraggiamento e intraspecifico. All'interno dell'Area di Sito è stata rilevata una presenza significativa sia di pesci ossei (come il merluzzetto giallo, la triglia di fango, il pagello fragolino, etc.) che di pesci cartilaginei (come il palombo, l'aquila di mare, lo spinarolo ed il trigone viola; v. Cap. 6.19 Volume 2), che potrebbero essere negativamente impattati dall'attività di martellamento.



Non sono ancora completamente noti gli effetti che il rumore impulsivo produce sugli **invertebrati**. Gli esemplari di granchio comune (*Carcinus maenas*), per esempio, se esposti al disturbo acustico di tipo impulsivo tendono a reprimere la locomozione ed il foraggiamento, che potrebbe portare alla morte degli individui se prolungato nel tempo (Wale *et al.*, 2013). Nel caso dei cefalopodi, dati di letteratura riportano, per esempio, come il calamaro atlantico (*Doryteuthis pealeii*) mostri un aumento del getto dell'inchiostrostrazione, delle risposte sussultorie e di allarme, e tentativi falliti di predazione quando esposto al martellamento (Jones *et al.*, 2021). Date queste precisazioni, nonostante l'effetto del rumore impulsivo sia poco noto, considerata la presenza di invertebrati di interesse alieno nell'Area di Sito, utilizzando un approccio di precauzione, effetti negativi non possono essere esclusi.

I principali impatti che possono subire le **tartarughe marine**, in base alla loro vicinanza con la sorgente (martellamento) sono danni biologici e ferite all'apparato uditivo, l'alterazione temporanea (*Temporary Threshold Shift- TTS*) della soglia uditiva, nonché variazioni comportamentali quali allarme, interruzione dell'alimentazione, fuga e cambio di direzione della rotta di navigazione.

Mentre cambiamenti comportamentali possono verificarsi anche a diversi chilometri dalla sorgente (si ricorda che, per essere udibile, il suono del martellamento deve superare la soglia di 110 dB re 1 μ Pa normalmente presenti in Area di Sito), Popper e colleghi (2014) considerano 207 dB re 1 μ Pa come soglia oltre la quale possono verificarsi danni biologici. Tale intensità sonora si raggiungerebbe solo in un raggio di pochi metri, considerato la probabile intensità di emissione di 220 dB re 1 μ Pa a 1 m.

Sulla base di queste considerazioni, 510 metri sono considerati una zona di sicurezza (o *Exclusion Zone- EZ*), ovvero una distanza oltre la quale non possono verificarsi TTS per le tartarughe.

Come per le tartarughe marine, anche i **cetacei** possono essere impattati dall'emissione di rumore impulsivo con una severità inversamente proporzionale alla distanza dalla sorgente. Tuttavia, a differenza delle tartarughe, i cetacei sono fortemente legati all'acustica, da cui dipendono completamente per funzioni vitali quali la ricerca di cibo, la riproduzione, la socializzazione ecc.

Il suono generato dal martellamento dei pali per la loro infissione nel substrato è prevalentemente di bassa frequenza (la maggior parte dell'energia emessa si trova nella banda al di sotto dei 500 Hz di frequenza). Per questo motivo la letteratura scientifica è ricca di informazioni relative ai cetacei di bassa frequenza (*Low Frequency- LF*), ovvero i mysticeti (Southall *et al.*, 2019) e al capodoglio (Cerchio *et al.*, 2014; Di Iorio e Clark, 2010; Madsen *et al.*, 2006, 2002; Madsen e Møhl, 2000; Miller *et al.*, 2009), la cui presunta elevata capacità uditiva alle basse frequenze (Au, 2000; Ketten, 2000) è tale da sovrapporsi alle frequenze del martellamento dei pali. Questi cetacei non risultano presenti nell'Area di Sito. Tuttavia, anche i mammiferi marini di piccola taglia, dotati di una capacità uditiva più sensibile alle frequenze più alte, possono risentirne negativamente (Au, 2000; Kastelein e Jennings, 2012; Malakoff, 2002; Pirota *et al.*, 2014; Reynolds, 2005; Romano *et al.*, 2004; Weir, 2008; Williams *et al.*, 2015).

I potenziali effetti negativi come conseguenza dell'emissione impulsiva di rumore sottomarino includono: l'allontanamento degli animali dall'area; l'alterazione di comportamenti biologicamente importanti (come la



ricerca di cibo, la socializzazione, la riproduzione ecc.) attraverso il mascheramento (*masking*) dei segnali di comunicazione; stress cronico e perdita temporanea o permanente dell'udito (Nowacek *et al.*, 2015).

Escludendo la mortalità, gli impatti più importanti sui mammiferi marini sono gli spostamenti della soglia uditiva, siano essi permanenti (PTS) o temporanei (TTS). Considerando che i cetacei si affidano al loro udito per localizzare le prede, nutrirsi e comunicare, ciò potrebbe avere gravi conseguenze per gli individui che vivono nell'Area di Sito.

Sulla base dei dati riportati nel documento di Studio di Impatto Ambientale, Volume 2 (si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME2"), l'Area di Sito risulta abitata esclusivamente da *T. truncatus*, che Southall *et al.* (2019) classificano come cetaceo di alta frequenza (*High Frequency- HF*) e ne fissano il PTS a 230 dB re 1 μ Pa e il TTS a 224 dB re 1 μ Pa.

Stando ai dati di letteratura precedentemente riportati, il martellamento dovrebbe produrre un'intensità sonora di circa 220 dB re 1 μ Pa e, per queste raggioni, un PTS per i tursiopi non potrebbe mai verificarsi. Un TTS potrebbe verificarsi solo in corrispondenza della sorgente (il palo infisso nel substrato). Utilizzando quindi un approccio di precauzione e considerate le caratteristiche dell'area, un raggio di 700 m dalla sorgente può essere considerato come zona di sicurezza (o *Exclusion Zone- EZ*) oltre il quale non si possono verificare effetti di TTS.

6.1.1 Misure di mitigazione e monitoraggio in fase di costruzione

Al fine di minimizzare i possibili impatti sull'ambiente sottomarino, saranno messe in atto le misure di mitigazione descritte di seguito.

Emissione di rumore subacqueo non impulsivo

- In generale, per quanto possibile sarà evitato qualunque tipo di rumore antropogenico non necessario alle attività lavorative.
- Saranno utilizzate imbarcazioni e macchinari correttamente mantenuti, privilegiando, ove possibile, eliche anti cavitazione.

Emissione di rumore subacqueo impulsivo

- Saranno utilizzate misure tecniche di minimizzazione del rumore subacqueo, ad esempio *bubble curtains*, getti isolanti o *cofferdams* che assicurino una riduzione di almeno una decina di dB re 1 μ Pa.
- Saranno implementate le misure di mitigazione prescritte da ACCOBAMS (2019) integrate con JNCC (2017) per massimizzarne la praticità. In particolare, le seguenti misure saranno adottate.
 - La prima operazione di martellamento di ogni giornata sarà preceduta da un'osservazione di 30 min dell'assenza di cetacei in un raggio di 700 m ad opera di un MMO certificato ACCOBAMS o JNCC. Qualora si avvistassero cetacei, l'inizio delle operazioni avverrà solo 30



min dopo l'ultimo avvistamento (ma non sarà necessario l'arresto delle operazioni in caso di avvistamento cetacei a martellamento iniziato).

- Sarà effettuato un "soft start" per cui la forza del martellamento verrà gradualmente aumentata per allertare gli animali in prossimità dell'inizio delle operazioni.
- Le attività lavorative saranno pianificate in modo che le attività più rumorose non siano, per quanto possibile, seguite al tramonto e all'alba, quando i mammiferi marini sono più attivi.
- L'operatore MMO sarà vigile durante tutta l'operazione di martellamento e avrà facoltà di richiedere la riduzione delle attività o addirittura la sospensione in caso di cetacei, a sua esperienza di giudizio, troppo vicini durante l'operazione.

Inoltre, le seguenti misure di monitoraggio saranno attuate al fine di valutare i reali effetti del Progetto sull'ambiente e verificare l'efficacia delle misure di mitigazione.

Emissione di rumore subacqueo non impulsivo

- Non risultano necessarie misure di monitoraggio per questo fattore d'impatto nella suddetta fase di Progetto.

Emissione di rumore subacqueo impulsivo

- Un registratore di fondo autonomo sarà posizionato a 700 metri (EZ per i cetacei) dal punto di infissione di un aerogeneratore per ognuno dei due parchi (Romagna 1 e Romagna 2) e rimarrà attivo durante tutta la fase di martellamento del suddetto aerogeneratore al fine di verificare l'intensità sonora emessa dal martellamento.

6.2 Fase di esercizio

Sulla base della descrizione del progetto, si ritiene che le seguenti azioni possano impattare l'ambiente acustico sottomarino dell'Area di Sito:

- Funzionamento del parco eolico, dell'impianto fotovoltaico, delle sottostazioni di trasformazione elettrica e delle opere di connessione;
- Manutenzione ordinaria e straordinaria di tutte le componenti offshore del Progetto.

L'interferenza delle suddette azioni con l'ambiente saranno dovute al seguente fattore di impatto ad esse connesso:

- Emissione di rumore subacqueo non impulsivo.

Tale fattore di impatto sono descritti di seguito.



Emissione di rumore subacqueo non impulsivo

L'emissione di rumore subacqueo non impulsivo in fase di esercizio deriverà da diverse sorgenti, quali le unità navali in movimento all'interno dell'Area di Sito per le attività di manutenzione, nonché le vibrazioni trasmesse dalle turbine in movimento alle fondazioni sommerse e, di conseguenza, quindi all'ambiente subacqueo.

Il rumore emesso in ambiente subacqueo dagli aerogeneratori dipende fortemente dalla velocità di rotazione delle pale. Si tratta, in ogni caso, di suoni a bassa frequenza (< 1000 Hz) e che normalmente hanno un'intensità compresa tra i 90 e i 110 dB re 1μPa. Tuttavia, come esposto nel capitolo 5, l'Area di Sito è caratterizzata, nei momenti "di silenzio", da un rumore ambientale registrato intorno a 110 dB re 1μPa e, di conseguenza, qualsiasi rumore emesso, poiché sia udibile, deve superare quella soglia. Date queste considerazioni, è improbabile che gli aerogeneratori possano contribuire al rumore in maniera significativa. È possibile che essi non siano neanche percepibili, se non in esatta corrispondenza di essi.

I possibili impatti dovuti all'emissione di rumore non impulsivo sono stati descritti nella sezione 6.1 e sono da considerarsi validi anche per la fase di esercizio

6.2.1 Misure di mitigazione e monitoraggio in fase di esercizio

Al fine di minimizzare i possibili impatti sull'ambiente sottomarino, poiché non esistono misure di mitigazione specifiche per ridurre l'emissione dovuta al trasferimento della vibrazione della rotazione delle pale, le stesse misure adottate in fase di costruzione saranno da considerarsi valide anche per la fase di esercizio, ovvero:

- In generale, per quanto possibile sarà evitato qualunque tipo di rumore antropogenico non necessario alle attività lavorative;
- Saranno utilizzate imbarcazioni e macchinari correttamente mantenuti, privilegiando, ove possibile, eliche anti cavitazione.

Inoltre, le seguenti misure di monitoraggio saranno attuate al fine di valutare i reali effetti del Progetto sull'ambiente e verificare l'efficacia delle misure di mitigazione.

- Un registratore di fondo autonomo sarà posizionato a 200 metri da un aerogeneratore per ognuno dei due parchi (Romagna 1 e Romagna 2) e rimarrà attivo per 24h al fine di verificare l'intensità sonora emessa sottacqua dall'aerogeneratore in funzione.
- Un monitoraggio a un anno dalla messa in funzione dei due parchi sarà svolto secondo le stesse modalità del monitoraggio ante-operam (si veda la relazione "AGNROM_PMA-R_PMA")



7. CONCLUSIONI

Sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti, combinando l'analisi qualitativa e quantitativa dell'ambiente acustico marino ordinario (di fase "silenziosa") dell'Area di Sito, si può affermare che il rumore medio sia relativamente basso (112 dB re 1 μ Pa) ed emesso da duplice sorgente.

- **Antropica:** localizzata nelle basse frequenze (sotto i 500 Hz) e dovuto a imbarcazioni anche a diverse miglia di distanza.
- **Naturale/biologica:** localizzata a frequenze maggiori (oltre i 5 kHz) verosimilmente dovuta al continuo crepitio dei click di alfeidi.

Tale contesto acustico risulta in linea con la situazione nota per l'Area Vasta (Alto Adriatico), una zona fortemente soggetta all'uso da parte dell'uomo (come testimoniato appunto dai livelli di emissione sonora).

Per questi motivi, non si ritiene che gli impatti dovuti all'emissione di rumore non impulsivo (dovuti alla navigazione e a tutti i lavori ad eccezione dell'infissione delle fondazioni tramite *pile driving*) possano avere valenza significativa per l'Area di Sito. Perché possano essere udibili e possano creare un impatto, devono comunque superare la soglia dei 112 dB re 1 μ Pa; soglia che, in molti casi, ad eccezione dei motori delle navi ad un metro dalla sorgente, non viene raggiunta o viene raggiunta ma non superata.

La potenzialità di impatto è principalmente raggiunta dall'infissione delle fondazioni tramite *pile driving*. I livelli acustici prodotti durante il *pile driving*, infatti, possono eccedere i limiti riportati in bibliografia, in particolare quelli di Southall 2019 e NOAA 2018 per i cetacei e McCauley 2000 e Popper 2014 per le tartarughe e i pesci.

Adottando comunque le opportune misure di mitigazione tecniche (come, ad esempio, le *bubble curtains*), nonché le prescrizioni ACCOBAMS, si può ridurre l'impatto a bassa significatività o non significativo (valore di impatto da basso a trascurabile), come mostrato nel documento di Studio di Impatto Ambientale, Volume 3 (si veda la relazione "AGNROM_SIA-R_SIA-VOLUME3"). La definizione di un'area di sicurezza (o di esclusione, *Exclusion Zone- EZ*) si pone appunto in quest'ambito. Essa è infatti calcolata utilizzando parametri assolutamente conservativi (come, ad esempio, assumendo animali stazionari e quindi non in fuga dalla sorgente di rumore) e riguardanti il disturbo acustico dell'animale. I traumi quali PTS e TTS sono evitati già a pochi metri dalla sorgente.

I rumori impulsivi di forte intensità, inoltre, hanno effetti particolarmente gravi soprattutto sulle specie di cetacei che si immergono a grandi profondità (*deep divers*, come il capodoglio e lo zifio), totalmente assenti dall'area anche per la conformazione dei fondali.

Tenendo conto, quindi, delle assunzioni sopra riportate, nonché dell'attuazione delle misure di mitigazione proposte, si ritiene che il Progetto abbia un impatto acustico sull'ambiente sottomarino da basso a trascurabile e di carattere temporaneo (dovuto appunto all'infissione delle fondazioni in fase di costruzione).



Le misure di monitoraggio indicate nelle sezioni 6.1.1 e 6.2.1 fungeranno da verifica e, sulla base dei risultati, misure aggiuntive di mitigazione o compensazione potranno essere disposte.



8. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bartol SM and DR Ketten. 2006. Turtle and tuna hearing. p. 98-103 In: Y. Swimmer and R. Brill (eds.), Sea Turtle and Pelagic Fish Sensory Biology: Developing Techniques to Reduce Sea Turtle Bycatch in Longline Fisheries. NOAA Tech. Memo. NMFS-PIFSC-7.
- Bartol SM and JA Musick. 2003. Sensory biology of sea turtles. p. 79-102 In: P.L. Lutz, J.A. Musick and J. Wyneken (eds.), The Biology of Sea Turtles, Volume 2. CRC Press, Boca Raton, FL. 455 p.
- Bartol SM, JA Musick, and ML Lenhardt. 1999. Auditory evoked potentials of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). Copeia 1999(3):836-840.
- Bartol SM. 2004. Sea turtle hearing and sensitivity to acoustic impact. Appendix H In: Geophysical and geophysical exploration for mineral resources on the Gulf of Mexico outer continental shelf. OCS EIS/EA MMS 2004-054. US Minerals Manage. Serv. Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, LA.
- Bartol SM. 2008. A review of auditory function of sea turtles. Bioacoustics 17(1-3):57-59.
- Bonanomi, S., Pulcinella, J., Fortuna, C.M., Moro, F., Sala, A. (2018). Elasmobranch bycatch in the Italian Adriatic pelagic trawl fishery. *PLoS ONE*, 13(1).
- Canese, S., Cardinali, A., Fortuna, C.M., Giusti, M., Lauriano, G., Salvati, E. and Greco, S. (2006), The first identified winter-feeding ground of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea. *Journal of Marine Biological Assotiation*, 86, 903-90.
- CNR, 2019. CETACEI MARINI E RETTILI MARINI NELL'AREA DI STUDIO DEL BACINO ADRIATICO - Presenza e distribuzione. IRBIM - Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine
- Fortuna C.M., Cañadas A., Holcer D., Brecciaroli B., Donovan G.P., Lazar B., Mo G., Tunesi L., Mackelworth P.C. (2018). The Coherence of the European Union Marine Natura 2000 Network for Wide-Ranging Charismatic Species: A Mediterranean Case Study. *Frontiers in Marine Science*, 5: 356.
- Fortuna C.M., Holcer D., Filidei E. jr., Tunesi L. 2011. Relazione finale del progetto "Valutazione dell'impatto della mortalità causata da attività di pesca su Cetacei e tartarughe marine in Adriatico: primo survey per la stima dell'abbondanza" (Prot. MIPAAF DG PEMAC n. 1690 del 10/02/2010 e al Prot. MATTM DPN n. 27623 del 23/12/2009), 51 pp + Allegati.
- Guglielmo L., Sidoti O., Granata A., Zagami G. (2002) Distribution, biomass and ecology of meso-zooplankton in the Northern Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 18:1-2, 107-11.
- Hama - Ghrib, F., Karaica, D., Karaica, B., Rodic, P., Jelić, K., Mahečić, I., & Jelić,. (2020). Sea turtle strandings, sightings and accidental catch along the Croatian Adriatic coast. *Mediterranean Marine Science*. 21. 452-459.



- Higgs DM. 2012. Neuroethology and Sensory Ecology of Teleost Ultrasound Detection, in von der Emde G., J. Mogdans and B.G. Kapoor. 2012. *The Senses of Fish: Adaptation for the Reception of Natural Stimuli*. Springer Science & Business Media.
- ISPRA. 2012a. Strategia per l'ambiente marino. Mammiferi marini. 58 pp (www.strategiamarina.it).
- Ketten D. 2014. Sonars and strandings: are beaked whales the aquatic acoustic canary? *Acoustics Today*, 10: 46–56.
- Ketten DR and DC Mountain. 2011. Final Report: Hearing in Minke Whales. Joint Industry Program. 26 pp.
- Ketten DR, Cramer S, Arruda J et al. 2005. Experimental measures of blast trauma in sea turtles. Symposium on Environmental Consequences of Underwater Sound, Office of Naval Research, Arlington, VA. Review of potential impacts to sea turtles from underwater explosive removal of offshore structures.
- Ketten DR, I Fischer, S Cramer, SM Bartol, and J O'Malley. 2006. Water, fats, and acoustic impedance: soft tissue adaptations for underwater hearing in turtles, seabirds and marine mammals. p. 162 In: N.J. Pilcher (ed.), *Proc. 23rd Symp. on Sea Turtle Biology and Conservation*. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-536. 283 p.
- Ketten DR. 1998. Marine Mammal Ears: An Anatomical Perspective on Underwater Hearing. *Proc. Int. Cong. on Acoust.* 3:1657-1660.
- Ketten DR. 1991. The marine mammal ear: specializations for aquatic audition and echolocation, pg. 717-750. In: Webster D, R Fay, and A Popper (Eds), *The Biology of Hearing*. Berlin: Springer-Verlag.
- Ketten DR. 1997. Structure and Function in Whale Ears. *Bioacoustics* 8(1&2):103-136.
- Ketten, DR and Mountain DC. 2014. Inner ear frequency maps: First stage audiograms of low to infrasonic hearing in mysticetes. Presentation at ESOMM 2014, Amsterdam, Netherlands.
- Ladich F and AN Popper. 2004. Parallel evolution in fish hearing organs. In: Manley GA, AN Popper, and RR Fay (eds.), *Evolution of the Vertebrate Auditory System*. Springer-Verlag, New York, pages 95-127.
- Ladich, F., 2008. Sound communication in fishes and the influence of ambient and anthropogenic noise. *Bioacoustics*, 17, 34–38.
- Lavender AL, SM Bartol, and IK Bartol. 2014. Ontogenetic investigation of underwater hearing capabilities in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) using a dual testing approach. *J. Exp. Biol.* 217:2580-2589.
- Lenhardt ML and SW Harkins. 1983. Turtle shell as an auditory receptor. *J. Aud. Res.* 23(4):251-260.
- Lenhardt ML, RC Klinger, and JA Musick. 1985. Marine turtle middle-ear anatomy. *J. Aud. Res.* 25(1):66-72.
- Lenhardt ML. 1982. Bone conduction hearing in turtles. *J. Aud. Res.* 22(3):153-160.
- Lenhardt ML. 1994. Seismic and very low frequency sound induced behaviors in captive loggerhead marine turtles (*Caretta caretta*). p. 238-241 In: KA Bjorndal, AB Bolten, DA Johnson, and PJ Eliazar (eds.),
-



- Proc. 14th Symp. on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Tech. Memo. NMFSSSEFSC-351. 323 p.
- Lucchetti, A., Vasapollo, C., Virgili, M. (2017). Sea turtles bycatch in the Adriatic Sea set net fisheries and possible hot-spot identification. *Aquatic Conservation: Mar Freshwater Ecosystem*, 27:1176–1185
- Luschi, P., Casale, P. (2014). Movement patterns of marine turtles in the Mediterranean Sea: a review. *Italian Journal of Zoology*, 81(4), 478-495.
- Maglio, A., Pavan, G., Castellote, M., & Frey, S., 2016. Overview of the Noise Hotspots in the ACCOBAMS Area Part 1 - Mediterranean Sea. Retrieved from https://oceanare.org/wp-content/uploads/2016/07/Report_Lärm_Maglio-et-al_Noise-Hot-Spots_EN_2016.pdf
- Mann, D.A., D.M. Higgs, W.N. Tavolga, M.J. Souza, and A.N. Popper. 2001. Ultrasound detection by clupeiform fishes. *J. Acoust. Soc. Am.* 109(6):3048-3054.
- Mann, D.A., Z. Lu, and A.N. Popper. 1997. A clupeid fish can detect ultrasound. *Nature* 389(6649):341.
- Mann, D.A., Z. Lu, M.C. Hastings, and A.N. Popper. 1998. Detection of ultrasonic tones and simulated dolphin echolocation clicks by a teleost fish, the American shad (*Alosa sapidissima*). *J. Acoust. Soc. Am.* 104(1):562-568.
- Marisaldi, L., Torresan, A., Ferrari, A. (2022). Strandings of loggerhead sea turtles south of the Po River delta: insights from a highly impacted area. *Preprint version*.
- Nowacek, D.P., L.H. Thorne, D.W. Johnston, and P.L. Tyack. 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mamm. Rev.* 37(2):81-115.
- Piniak, W.E.D., D.A. Mann, C.A. Harms, T.T. Jones, and S.A. Eckert. 2016. Hearing in the juvenile green sea turtle (*Chelonia mydas*): a comparison of underwater and aerial hearing using auditory evoked potentials. *PLoS One* 11:e0159711.
- Piniak, W.E.D., D.A. Mann, S.A. Eckert, and C.A. Harms. 2012a. Amphibious hearing in sea turtles. p. 83-88. In: A.N. Popper and A. Hawkins (eds.) *The effects of noise on aquatic life*. Springer, New York. 695 p.
- Piniak, W.E.D., S.A. Eckert, C.A. Harms, and E.M. Stringer. 2012b. Underwater hearing sensitivity of the leatherback sea turtle (*Dermochelys coriacea*): assessing the potential effect of anthropogenic noise. US Dept. of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management, Headquarters, Herndon, VA. OCS Study BOEM 2012-01156. 35 p.
- Popper AN and Hawkins AD. 2018. The importance of particle motion to fishes and invertebrates. *The Journal of the Acoustical Society of America* 143, 470.
- Popper AN and MC Hastings. 2009. The effect on fish of human-generated (anthropogenic) sound. *Integrative Zool.* 4:43-52.
-



- Popper AN and RR Fay. 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. *Brain, Behavior and Evolution*. 41:14-38.
- Popper AN and RR Fay. 2011. Rethinking sound detection by fishes. *Hear. Res.* 273(1-2):25-36.
- Popper AN, AD Hawkins, RR Fay, D Mann, S Bartol, Th Carlson, S Coombs, WT Ellison, R Gentry, MB Halvorsen, S Løkkeborg, P Rogers, BL Southall, DG Zeddies, and WN Tavolga. 2014. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles. A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI.
- Popper AN, MB Halvorsen, E Kane, DL Miller, ME Smith, J Song, P Stein, and LE Wysocki. 2007. The effects of high-intensity, low-frequency active sonar on rainbow trout. *J Acoust Soc Am* 122:623–635
- Popper AN, ME Smith, PA Cott, BW Hanna, AO MacGillivray, ME Austin, and DA Mann. 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *J Acoust Soc Am* 117:3958–3971
- Popper AN, RR Fay, C Platt, and O Sand. 2003. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes. In: Collin SP, Marshall NJ (Eds.), *Sensory Processing in Aquatic Environments*. Springer-Verlag, New York, pp. 3-38.
- Popper, A. N., Hawkins, A. D., & Thomsen, F., 2020. Taking the animals' perspective regarding anthropogenic underwater sound. *Trends in ecology & evolution*, 35(9), 787-794.
- Popper, A.N., & Hawkins, A.D., 2019. An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of fish biology*, 94(5), 692-713.
- Richardson WJ and CR Greene, Jr. 1993. Variability in behavioural reaction thresholds of bowhead whales to man-made underwater sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 94(3, Pt. 2):1848.
- Richardson WJ, Greene Jr CR, Malme CI., and Thomson DH. 1995. *Marine mammals and Noise*. San Diego, CA: Academic Press, p. 576.
- Richardson WJ, Malme CI, 1993. Man-made noise and behavioral responses. In JJ Burns, JJ Montague, and CJ Cowles (Eds.), *The bowhead whale (Special Publication 2)* (pp. 631-700). Lawrence, KS: Society for Marine Mammalogy. 787 pp.
- Richardson WJ, Miller GW, Greene CR, Jr. 1999. Displacement of migrating bowhead whales by sounds from seismic surveys in shallow waters of the Beaufort Sea. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106, 2281.
- Richardson WJ, Würsig B, and Greene CR, Jr. 1986. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to seismic exploration in the Canadian Beaufort Sea. *Journal of the Acoustical Society of America*, 79, 1117-1128.
- Sciacca V, S Viola, S Pulvirenti, G Riccobene, F Caruso, E De Domenico, and G Pavan. 2016. Shipping noise and seismic airgun surveys in the Ionian Sea: potential impact on Mediterranean fin whale. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 4ENAL 27(1):040010. doi:10.1121/2.0000311.
-



- Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W.T., Nowacek, D.P., Tyack, P.L., 2019. Marine mammal noise exposure criteria: updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals*, 45(2), 125-232. DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125
- Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finneran, R.L. Gentry, C.R. Greene Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, P.E. Nachtigall, W.J. Richardson, J.A. Thomas, and P.L. Tyack. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals*, 33(4), 411-522.
- Southall, B.L., Nowacek, D.P., Miller, P.J.O., Tyack, P.L., 2016. Experimental field studies to measure behavioral responses of cetaceans to sonar. *Endanger. Species Res.*, 31, 293–315.
- Stimpert, A.K., Wiley, D.N., Au, W.W.L., Johnson, M.P., Arsenault, R., 2007. 'Megapclicks': Acoustic click trains and buzzes produced during night-time foraging of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) *Biology Letters*, 3 (5) (2007), pp. 467-470.
- Wang D, Wang K, Xiao Y, Sheng G. 1992. Auditory sensitivity of a Chinese river dolphin, *Lipotes vexillifer*. In: Thomas JA, Kastelein RA, Supin AY (Eds.), *Marine Mammal Sensory Systems*. Plenum, New York, pp.
- Zbinden J.A., Bearhop S., Bradshaw P., Gill B., Margaritoulis D., Newton J., Godley B.J. (2011). Migratory dichotomy and associated phenotypic variation in marine turtles revealed by satellite tracking and stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 421. 291-302.