



OLT Livorno, Italia

Terminale di Rigassificazione FSRU Toscana

Analisi dei Dati delle 4 Campagne dell'VIII° Anno di Monitoraggio (A20, I21, P21, E21) e Modellizzazione del Rumore Sottomarino

Doc. No. P0029592-1-H1 Rev. 1 - Novembre 2022

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	F. Fossa	A. Giovanetti	M. Compagnino	Giugno 2022
1	Seconda Emissione	F. Fossa	A. Giovanetti	M. Compagnino	Novembre 2022

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

INDICE

LISTA DELLE FIGURE	2
LISTA DELLE TABELLE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	3
1 INTRODUZIONE	4
1.1 INQUADRAMENTO GENERALE	4
1.2 ITER STORICO AUTORIZZATIVO	4
2 SCOPO DEL DOCUMENTO	7
3 ATTIVITÀ SVOLTE	8
4 SINTESI DEI RISULTATI	10
ALLEGATO A: RAPPORTO TECNICO “MONITORAGGIO DEL RUMORE SUBACQUEO PRESSO IL TERMINALE FSRU TOSCANA – Monitoraggio Anno VIII”	
ALLEGATO B: MARINE OPERATION PROCEDURE 25 – AVVISTAMENTO CETACEI	

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1.1:	Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana	4
-------------	---	---

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 3.1:	Soglie di insorgenza di TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo: soglie in dB re 1 μ Pa ² s sott'acqua e dB re (20 μ Pa) ² s in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). Le soglie per i sirenidi e gli otaridi sono presentate per completezza ma non verranno utilizzate in quanto nel mar Mediterraneo non sono presenti specie appartenenti a questi gruppi. Tabella adattata da Southall et al. (2019).	9
Tabella 4.1:	Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.	11
Tabella 4.2:	Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini.	12

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

ACCOBAMS	The Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area
ARPAT	Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana
CIBM	Centro Interuniversitario di Biologia Marina
dB	Decibel
FRSU	Floating Regasification Storage Unit
GNL	Gas Naturale Liquefatto
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
MATM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MONM	Marine Operations Noise Model
MSFD	Marine Strategy Framework Directive
SPL o Lp	Sound Pressure Level
TL	Transmission Loss

1 INTRODUZIONE

1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Il Terminale di rigassificazione FSRU Toscana della Società OLT Offshore LNG Toscana S.p.A. (di seguito OLT), costituisce una delle principali infrastrutture nazionali per l'importazione del GNL, contribuendo alla diversificazione ed alla sicurezza delle fonti di approvvigionamento del sistema energetico italiano.

Il Terminale è stato realizzato tramite la conversione a FSRU (Floating Storage Regasification Unit) della nave metaniera "Golar Frost", effettuata presso i cantieri navali "Dry Docks Word" di Dubai, ed è arrivato presso il sito individuato per il suo ancoraggio, situato a circa 12 miglia nautiche dalla costa Toscana, il 30 Luglio 2013 (Figura 1.1).

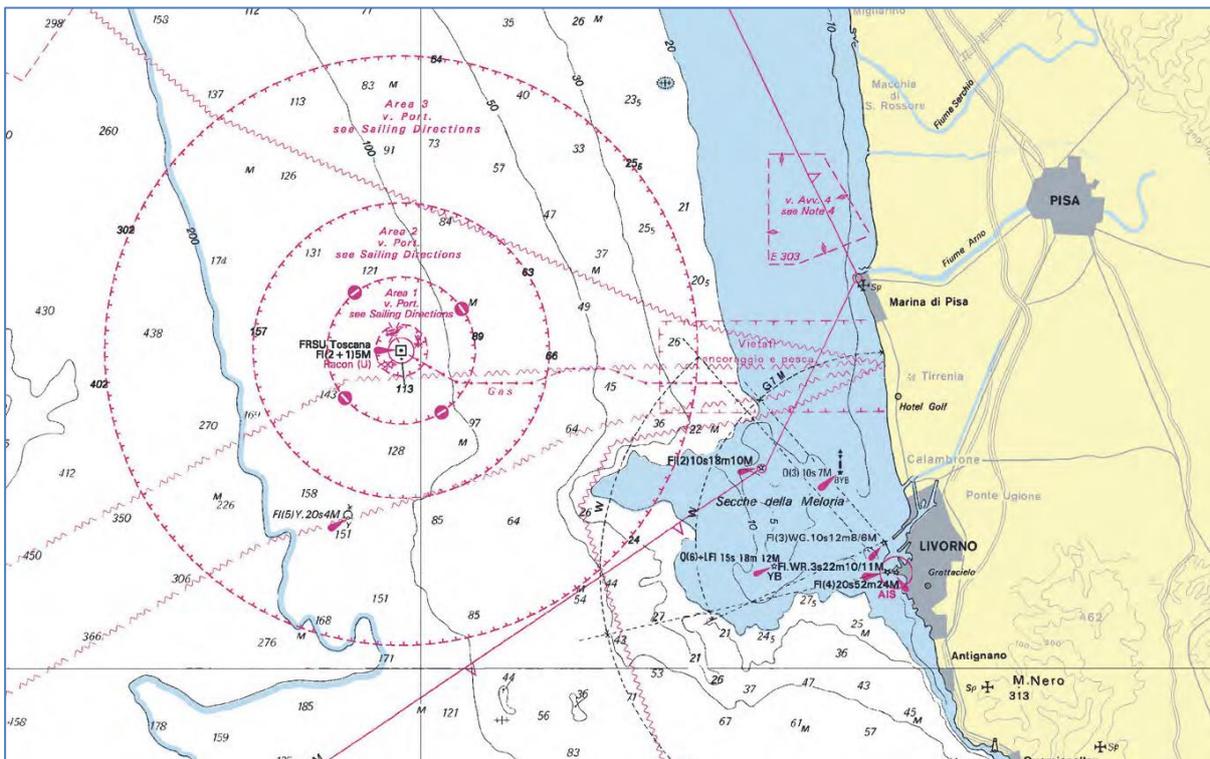


Figura 1.1: Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana

Le operazioni di avviamento e collaudo dell'impianto hanno permesso di testarlo in diverse condizioni operative e si sono concluse il 20 Dicembre 2013, giorno in cui il Terminale è entrato in esercizio commerciale.

A regime il Terminale ha una capacità massima di rigassificazione pari a 3,75 miliardi di metri cubi annui (che corrispondono circa al 5% dell'intero fabbisogno nazionale), una capacità massima di rigassificazione di 15 milioni di metri cubi al giorno e una capacità di stoccaggio di 137.100 metri cubi di GNL.

1.2 ITER STORICO AUTORIZZATIVO

Dal punto di vista ambientale OLT ha ottenuto la pronuncia positiva di compatibilità ambientale espressa con Decreto VIA del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) **No. 1256 del 15 Dicembre 2004**, con parere favorevole della Regione Toscana e di concerto con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, sia per il Terminale di rigassificazione che per il relativo gasdotto di collegamento alla Rete Nazionale dei Gasdotti.

Inoltre, nel 2010, OLT ha presentato istanza di Verifica di Assoggettabilità alla procedura di VIA per alcuni aggiornamenti di carattere progettuale. Tali aggiornamenti progettuali sono stati esclusi dalla procedura di VIA con emissione del Provvedimento Prot. **DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010**, a condizione del rispetto di alcune prescrizioni.

In particolare, la **Prescrizione No. 7** stabilisce quanto segue:

“In accordo con ISPRA e con costi a carico del proponente, dovranno essere definiti ed attuati, prima dell’arrivo della nave-terminale (per definire l’ante operam) e durante tutto il periodo di funzionamento del terminale, i seguenti monitoraggi in mare con cadenza almeno trimestrale:

- a. misura delle componenti chimico-fisiche-biotiche su 4 punti a distanza di 100 m da terminale ad intervalli regolari su tutta la colonna d’acqua;*
- b. verifica delle biocenosi esistenti sul fondo del mare lungo due transetti ortogonali fino ad una distanza di almeno 200 m dal terminale e monitoraggio della loro evoluzione nel tempo;*
- c. misura del rumore in acqua su due profili perpendicolari dalla distanza di 100 m fino a una distanza di 5 km dal terminale sia durante il funzionamento normale che durante i periodi di massima rumorosità al fine di verificare quanto affermato nello studio ambientale preliminare;*
- d. verifica visiva della presenza/passaggio di cetacei fino ad una distanza di almeno un miglio dal terminale; verifica della presenza di cetacei tramite idrofoni posti su due transetti ortogonali a 5 e 10 km dal terminale;*
- e. verifica dell’eventuale risospensione dei sedimenti di fondo nei periodi considerati critici a causa del getto di acqua di riscaldamento emesso dalla nave.*

Il monitoraggio dovrà estendersi nel tempo fino ad un anno dopo la dismissione del Terminale.”

In ottemperanza alla prescrizione di cui sopra è stato elaborato il Piano di Monitoraggio dell’Ambiente Marino (di seguito “Il Piano”), preparato sulla base di quanto concordato con ISPRA. Il Piano è stato concepito, in ogni sua componente, come uno strumento “flessibile”, ossia prevedendo la possibilità di apportare eventuali modifiche o integrazioni al Piano stesso, in funzione dei risultati acquisiti nella fase iniziale delle attività di monitoraggio.

Con provvedimento **DVA 2012 – 0011592 del 15/05/2012** il MATTM, sulla base del parere favorevole della Commissione VIA No. 907 del 13 Aprile 2012 e di ISPRA, acquisito con prot. CTVA 2012-0001043 del 20/03/2012, ha verificato l’ottemperanza della Prescrizione No. 7 per quanto attiene la definizione del Piano e ne ha decretato l’approvazione.

Con provvedimento **DVA 2013 – 0030107 del 23/12/2013** il MATTM, sulla base del parere favorevole della Commissione VIA n. 4137 del 20 Novembre 2013 e di ISPRA, documento prot. 39481 del 04/10/2013, acquisito con prot. CTVA 2013-3904 del 05/10/2013, ha verificato l’ottemperanza della Prescrizione No. 7 per quanto riguarda l’attuazione dei monitoraggi relativi alla fase *ante operam* (BIANCO) inviati dalla OLT prot. B/0114 del 21/02/2013.

Successivamente sono state realizzate ed inviate all’autorità preposta le campagne di monitoraggio **per i primi 7 anni di esercizio** (dall’Autunno 2013 all’Estate 2020), per ciascuna delle quali (con l’eccezione del 7° anno, per cui ad oggi non è ancora stato emesso un Provvedimento Ministeriale) è stata **verificata l’ottemperanza della Prescrizione No. 7** per quanto riguarda l’attuazione dei monitoraggi relativi al periodo di funzionamento del Terminale.

Nel corso della verifica di ottemperanza del 5° anno di monitoraggio, tuttavia, il MATTM nel decretarne l’ottemperanza (Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020), ha prescritto che *“Entro un anno solare dalla emissione del presente decreto dovranno essere eseguite, in accordo con la Capitaneria di Porto e ISPRA, delle misure specifiche di rumore per ogni tipologia di nave, durante tutto il periodo di operazioni di arrivo, ormeggio, scarico del GNL e allontanamento delle stesse navi dal Terminale”*. La verifica di tale prescrizione non è oggetto del presente documento che è invece finalizzato alla verifica di ottemperanza della prescrizione No.7 del DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010, relativa all’attuazione del piano di monitoraggio annuale ed in particolare per quanto concerne gli aspetti legati al monitoraggio del rumore sottomarino.

Inoltre, a corredo della documentazione di ottemperanza per il 6° anno di monitoraggio il Ministero ha condiviso con il Gestore OLT le note tecniche di ISPRA e ARPAT relative al monitoraggio della componente rumore sottomarino (rif. VIP_5267) che sono state recepite, laddove possibile, già nel report del 7° anno e, messe in atto da OLT per quel che riguarda alcune richieste di modifiche nella raccolta dati sul campo, a partire dalla campagna della primavera 2021 (P21) dell’8° anno di monitoraggio. Nel presente rapporto annuale relativo alle attività di monitoraggio del rumore sottomarino dell’8° anno di esercizio del Terminale, si fornisce l’evidenza che sono state recepite le indicazioni fornite da ISPRA e ARPAT nella nota tecnica VIP_5267, adeguando la terminologia e la metodologia di analisi e le relative tecniche di modellizzazione del rumore sottomarino alle richieste avanzate dalle Autorità. Inoltre, si sottolinea che al momento della preparazione del presente rapporto annuale, sono in corso di svolgimento le attività di campionamento relative alle campagne del 9° anno di operatività del Terminale che si stanno anch’esse eseguendo in maniera conforme ai suggerimenti delineati dalle Autorità nella citata nota tecnica.

Si evidenzia che l'operatività del Terminale in questi anni di monitoraggio è risultata variabile e in particolare caratterizzata per i primi due anni, in cui il Terminale è stato destinato al servizio di Peak Shaving (servizio di emergenza stabilito dal Piano Emergenza Gas approvato dal Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 27 Dicembre 2013) da un basso utilizzo e successivamente, dal 2018 in poi, da un utilizzo sempre maggiore, fino al raggiungimento della massima capacità nel 2020.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

RINA Consulting S.p.A. è stata incaricata da OLT di analizzare i dati del monitoraggio del rumore sottomarino eseguito in ottemperanza alla Prescrizione Numero 7 del DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010, recependo i suggerimenti dettagliati da ISPRA e ARPAT nelle note tecniche emesse a corredo della documentazione di ottemperanza presentata da OLT per il 6° anno di monitoraggio (rif. VIP_5267).

In particolare, il presente rapporto annuale contiene i risultati delle attività di monitoraggio svolte a cura del Centro Interuniversitario di Biologia Marina (CIBM) durante l'ottavo anno di esercizio del Terminale nell'ambito di 4 campagne di indagine condotte dall'Autunno 2020 all'Estate 2021 (A20, I21, P21, E21), in conformità al Piano di Monitoraggio dell'ambiente marino approvato (DVA-2012-0011592 del 15/05/12) e delle richieste di ISPRA ed ARPAT (VIP5267).

Per l'esecuzione delle attività di analisi dei dati del monitoraggio e modellizzazione della trasmissione del rumore sottomarino, RINA Consulting si è avvalsa del supporto specialistico di JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH.

Il presente documento sintetizza i risultati delle attività condotte, per la cui descrizione completa e dettagliata si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

3 ATTIVITÀ SVOLTE

L'obiettivo dell'analisi dei dati è stato di stimare i livelli di rumore alla sorgente e i potenziali impatti del rumore sottomarino generato dal Terminale FSRU Toscana sui mammiferi marini.

In particolare, le attività di analisi dei dati sono state condotte secondo la metodologia di seguito sintetizzata:

- ✓ analisi dei dati acustici del monitoraggio tramite piattaforma informatica specifica;
- ✓ calcolo del livello di pressione di picco (PK) e del livello di pressione sonora (Lp) per ogni minuto di dati;
- ✓ stima dei livelli sonori comparati con la distanza dalla sorgente;
- ✓ calcolo dei livelli di sorgente facendo la retro-propagazione dai livelli ricevuti con il metodo SL.SCA
- ✓ modellizzazione per stimare le aree di impatto sui mammiferi marini mediante l'impiego del modello combinato MONM (software proprietario JASCO), adatto alle basse frequenze e Bellhop per alte frequenze;

In questo studio sono utilizzate le soglie corrispondenti all'impatto da rumore sottomarino di tipo non impulsivo, in quanto il rumore delle attività del rigassificatore e dei mezzi di supporto sono categorizzate come sorgenti acustiche continue (D11C2 della Marine Strategy Framework Directive, MSFD).

Le distanze corrispondenti all'eccedenza del criterio di disturbo comportamentale sono calcolate secondo (Borsani and Farchi 2011¹, ACCOBAMS, 2013², ACCOBAMS, 2020³) usando:

- ✓ una soglia di riferimento corrispondente a un livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, SPL o LP) di 120 dB re 1 μ Pa non ponderato, identica per tutti i gruppi uditivi dei mammiferi marini (ACCOBAMS, 2013, ACCOBAMS, 2020);
- ✓ le linee guida di Borsani e Farchi (2011) e Gomez et al. (2016)⁴ che identificano soglie comportamentali variabili a seconda dei gruppi uditivi come segue:
 - Cetacei di bassa frequenza: Lp 100–110 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - Cetacei di media frequenza (corrispondente ai cetacei ad alta frequenza in Southall et al. (2019)): Lp 110–120 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - Cetacei di alta frequenza (corrispondente ai cetacei frequenza molto alta in Southall et al. (2019)): Lp 140–150 dB re 1 μ Pa non ponderato

Inoltre, per completezza di informazione, sono state calcolate anche le soglie d'insorgenza di alterazione temporanea della sensibilità uditiva (Temporary Threshold Shift, TTS) o permanente (Permanent Threshold Shift, PTS) per i mammiferi marini, raffrontando i valori stimati dal modello con le soglie descritte da Southall et al. (2019)⁵, che rappresentano le linee guida più recenti e complete per valutare l'impatto del rumore antropogenico sui mammiferi marini (Tabella seguente).

¹ Borsani, J.F. and C. Farchi. 2011. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne: 2a Parte. 36 pp.

² ACCOBAMS - Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area and [CMS] The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. 2013. Anthropogenic noise and marine mammals: Review of the effort in addressing the impact of anthropogenic underwater noise in the ACCOBAMS and ASCOBANS areas. Fifth Meeting of the Parties to ACCOBAMS, 5-8 Nov 2013. Document Number 22, Rev 1, Tangier. 61 pp.

³ ACCOBAMS - Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area. 2020. Guidelines to Address the Impact of Anthropogenic Noise on Cetaceans in the ACCOBAMS Area. 12 pp. https://accobams.org/wp-content/uploads/2020/05/GL_Impact_anthropogenic_noise.pdf.

⁴ Gomez, C., J.W. Lawson, A.J. Wright, A.D. Buren, D.J. Tollit, and V. Lesage. 2016. A systematic review on the behavioural responses of wild marine mammals to noise: The disparity between science and policy. *Canadian Journal of Zoology* 94(12): 801-819.

⁵ Southall, B.L., J.J. Finneran, C.J. Reichmuth, P.E. Nachtigall, D.R. Ketten, A.E. Bowles, W.T. Ellison, D.P. Nowacek, and P.L. Tyack. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 45(2): 125-232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>.

Tabella 3.1: Soglie di insorgenza di TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo: soglie in dB re 1 μ Pa²s sott'acqua e dB re (20 μ Pa)²s in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). Le soglie per i sirenidi e gli otaridi sono presentate per completezza ma non verranno utilizzate in quanto nel mar Mediterraneo non sono presenti specie appartenenti a questi gruppi. Tabella adattata da Southall et al. (2019).

Gruppo uditivo	TTS: SEL (ponderato)	PTS: SEL (ponderato)
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	179	199
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	178	198
Cetacei – frequenze molto alte Very High frequency (VHF) cetaceans	153	173
Sirenidi* Sirenians (SI)	186	206
Pinnipedi focidi in acqua: Phocid carnivores in water (PCW)	181	201
Otaridi in acqua* Otariids carnivores in water (OCW)	199	219
Pinnipedi focidi in aria: Phocid carnivores in air (PCA)	134	154
Otaridi in aria* Otariids carnivores in air (OCA)	157	177

4 SINTESI DEI RISULTATI

Di seguito viene riportata una sintesi dei principali risultati dello studio. Per la descrizione completa si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

Occorre evidenziare in primo luogo che l'analisi dei dati di monitoraggio ha permesso di evidenziare quanto segue:

- ✓ il rumore subacqueo misurato a 10km dal terminale è risultato dominato da sorgenti di rumore, diverse rispetto al terminale, situate più in prossimità dell'idrofono, come ad esempio navi di passaggio. I livelli di rumore ricevuti misurati a 10km dal terminale FSRU Toscana (presentati e dettagliati nell'Appendice E del Rapporto Tecnico in Allegato A), sono quindi da escludere dall'analisi modellistica finalizzata alla caratterizzazione delle sorgenti, perché il ricevitore (l'idrofono) è da ritenersi troppo lontano dalla sorgente per consentire di ottenere livelli caratteristici rappresentativi del rumore emesso del terminale;
- ✓ il monitoraggio della stagione E21 è stato effettuato in condizioni di manutenzione straordinaria/modifica del Terminale che sono da ritenersi complessivamente non rappresentative della normale fase di esercizio della FSRU Toscana; perciò, i risultati per la stagione E21, comunque inclusi per completezza di trattazione nel Rapporto Tecnico in Allegato A (Appendice E), non sono stati utilizzati per ottenere i livelli di sorgente e per calcolare le zone di potenziale impatto sui mammiferi marini.

Le risultanze delle attività di modellizzazione e caratterizzazione del rumore delle sorgenti hanno quindi permesso di evidenziare quanto segue:

- ✓ tutte le sorgenti riscontrate nel corso dei monitoraggi sono di tipo continuo. In particolare, per quanto concerne il Descrittore 11 Criterio 2 (D11C2) della MSFD, ovvero per l'analisi della propagazione del rumore alle frequenze di 63 e 125 Hz:
 - i livelli mediani misurati a 63 Hz per intervallo temporale di pressione sonora ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 100 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 92,4 (A20) e i 98,6 (P21) dB re 1 μ Pa (banda larga compresa fra 10Hz e 20kHz) ad entrambe le profondità di campionamento (8 m e 55 m dalla superficie),
 - i livelli mediani misurati a 63 Hz per intervallo temporale di pressione sonora ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 1000 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 91,2 (A20) e i 104,4 (I21) dB re 1 μ Pa (banda larga compresa fra 20Hz e 20kHz) ad entrambe le profondità di campionamento,
 - i livelli mediani misurati a 125 Hz per intervallo temporale di pressione sonora ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 100 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 93,1 (P21) e i 103,9 (P21) dB re 1 μ Pa (banda larga compresa fra 20Hz e 20kHz) ad entrambe le profondità di campionamento,
 - i livelli mediani misurati a 125 Hz per intervallo temporale di pressione sonora ricevuti da un ipotetico recettore posto ad una distanza di circa 1000 metri dal Terminale sono risultati compresi tra i 89,9 (P21) e i 98,6 (A20) dB re 1 μ Pa (banda larga compresa fra 20Hz e 20kHz) ad entrambe le profondità di campionamento;
- ✓ la propagazione del rumore avviene in una direzione preferenziale, cioè verso Ovest, seguendo la batimetria dell'area;
- ✓ avvicinandosi alla costa i risultati evidenziano una diminuzione rapida della distanza di propagazione del rumore, in linea con il decremento della profondità. Inoltre, l'isola di Gorgona, ubicata a Sud-Ovest del terminale FSRU Toscana, rappresenta una barriera naturale alla propagazione del rumore a maggiori distanze in tale direzione.

Concludendo, il potenziale impatto per i cetacei, ed in particolare per le specie di maggior interesse nell'area del terminale, ovvero i delfinidi, soprattutto, ed in misura minore le balenottere, valutato nell'ottavo anno di monitoraggio, è il seguente:

1. **Disturbi comportamentali:** la stagione che presenta le maggiori distanze d'impatto potenziale sembra essere A20. Le distanze stimate di impatto $R_{95\%}$ per A20 sono risultate comprese fra 3.9 e 7.9 km per un valore L_p di 100 dB re 1 μ Pa (soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei a bassa frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011), fra 1.8 e 1.9 km per un valore L_p di 110 dB re 1 μ Pa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011, ovvero alta frequenza secondo Southall 2019), e sono sempre al di sotto della soglia di L_p di 140 dB re 1 μ Pa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei alta frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011, ovvero molto alta frequenza secondo Southall 2019). Si veda dettagli nella Tabella 4.1.

Inoltre, considerando i più recenti criteri sull'impatto comportamentale dei mammiferi marini basati su una soglia unica per tutti i gruppi uditivi fissata a L_p di 120 dB re 1 μ Pa (Southall et al, 2019, ACCOBAMS, 2020), si stima una distanza massima di circa 500 m dal terminale FSRU nel peggiore dei casi (Tabella 4.1).

Inoltre, con riferimento a quanto sopra, si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1 μ Pa L_p sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo e come dimostrato da studi effettuati in aree simili (es. (Magnier and Gervaise 2020⁶)). Le distanze a cui le soglie di impatto acustico comportamentale per i mammiferi marini devono quindi essere contestualizzate e valutate rispetto all'eccedenza dei livelli oltre il suono di fondo presente nell'area di studio. In questo contesto, il rumore di sottofondo di 110 dB re 1 μ Pa LP viene ecceduto entro pochi chilometri dalla sorgente (1-2km, a seconda della stagione).

2. Danni uditivi: il confronto dei risultati stimati con i criteri di alterazione temporanea/permanente (TTS e PTS) della sensibilità uditiva dei mammiferi marini in base a Southall et al. (2019), non ha evidenziato alcun superamento della soglia di alterazione permanente (PTS), mentre ha evidenziato potenziale superamenti della soglia di alterazione temporanea (TTS) per i cetacei a basse frequenze (balenottere), esclusivamente a distanze estremamente ridotte rispetto alla sorgente del rumore, inferiori alla lunghezza totale del terminale stesso. Si veda dettagli nella Tabella 4.2.

Tabella 4.1: Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.

Lp non ponderato (dB re 1 μ Pa)	A20 2020-11		I21 2021-03		P21 2021-06	
	Rmax (km)	R95 (km)	Rmax	R95	Rmax	R95
170	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-
140 ^d	0.05	0.05	-	-	0.05	0.05
130	0.16	0.16	0.07	0.07	0.21	0.21
120 ^c	0.56	0.54	0.34	0.32	0.47	0.46
110 ^b	2.15	1.93	1.07	1.01	1.95	1.84
100 ^a	10.2	7.84	4.53	3.87	6.23	5.65

- a. soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (Borsani and Farchi 2011) e per i delfinidi (cetacei ad alta frequenza usando la nomenclatura di Southall 2019) secondo (Gomez et al. 2016).
- b. soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza e per i pinnipedi focidi in acqua (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).
- c. soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale per tutti i gruppi uditivi esposti a rumore continuo secondo ([ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea and [CMS] The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals 2013).
- d. soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di frequenza molto alta (riferiti come di alta frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).

⁶ Magnier, C. and C. Gervaise. 2020. Acoustic and photographic monitoring of coastal maritime traffic: Influence on the soundscape. 147(6): 3749-3757.

Tabella 4.2: Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini.

Gruppo uditivo (nomenclatura secondo Southall 2019)	Danno uditivo	SEL ponderato (dB re 1 μ Pa ² m)	A20 2020-11		I21 2021-03		P21 2021-06	
			Rmax (km)	R95 (km)	Rmax	R95	Rmax	R95
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	PTS	199	-	-	-	-	-	-
	TTS	179	0.11	0.11	0.05	0.05	0.05	0.05
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	PTS	198	-	-	-	-	-	-
	TTS	178	-	-	-	-	-	-
Cetacei – frequenze molto alte Very High frequency (VHF) cetaceans	PTS	173	-	-	-	-	-	-
	TTS	153	-	-	-	-	0.07	0.07
Pinnipedi focidi in acqua Phocid Pinnipeds in Water	PTS	201	-	-	-	-	-	-
	TTS	181	-	-	-	-	-	-

Per gli ulteriori approfondimenti riguardo i risultati per livelli ricevuti, livelli di sorgente e potenziale impatto sui mammiferi marini si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A).

Sulla base dell'analisi dei dati del monitoraggio del VIII anno di esercizio, si può confermare che il potenziale disturbo causato dal rumore emesso dal terminale nella normale fase di esercizio sia da ritenersi di lieve entità, in considerazione delle distanze stimate in base al criterio di soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei (meno di 2 km per i cetacei a media frequenza (secondo le linee guida Borsani 2011), ovvero i delfinidi, ritenuti le specie più probabili nell'area del terminale). Inoltre, livelli di pressione sonora di sottofondo al di sopra delle soglie di eccedenza del disturbo comportamentale per i mammiferi a bassa frequenza (LP 100-110 dB re 1 μ Pa) non sono sorprendenti in quest'area del Mediterraneo, caratterizzata da elevato traffico marittimo e come dimostrato da studi effettuati in aree simili (es. (Magnier and Gervaise 2020)). Infine, è da sottolineare che le soglie sono calcolate sui livelli ponderati per le frequenze a seconda del gruppo uditivo dei cetacei e accumulati nel tempo, assumendo che i ricevitori (animali esposti al rumore) rimangano statici per l'intera durata dell'esposizione.

Si sottolinea, inoltre, che OLT ha predisposto nel luglio 2021 un protocollo di avvistamento della presenza di cetacei intorno al Terminale. Il monitoraggio effettuato in base a tale protocollo implementato a bordo della nave guardiana e riportato in Allegato B, non ha al momento della preparazione del presente documento, riportato alcuna segnalazione riguardo la presenza di cetacei nei pressi del Terminale.

Allegato A

Rapporto Tecnico “Monitoraggio Del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana – Monitoraggio Anno VIII”

Doc. No. P0029592-1-H1 Rev. 1 - Novembre 2022



Monitoraggio del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana

Monitoraggio Anno VIII

JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH

27 ottobre 2022

Autori

Federica Pace
Calder Robinson
Sam Welch

P0011641-002
Documento 02761
Versione 2.0



JASCO
APPLIED SCIENCES

Citazione suggerita:

Pace F., Robinson C., Welch S. 2022. **Monitoraggio del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana: Monitoraggio Anno VIII**. Documento 02761, Versione 2.0. Relazione tecnica della JASCO Applied Sciences. CONFIDENZIALE

I risultati qui presentati sono rilevanti all'interno del contesto specifico descritto in questo rapporto. Potrebbero essere interpretati erroneamente se non considerati alla luce di tutte le informazioni contenute nella presente relazione. Pertanto, qualora le informazioni derivanti dalla presente relazione siano utilizzate in documenti diffusi al pubblico o ad organismi di regolamentazione, tali documenti dovranno citare chiaramente la relazione originale, che sarà resa prontamente disponibile ai destinatari in forma integrale e inedita.

Contenuti

Sommario Esecutivo	1
Introduzione.....	3
1.1. Criteri per la Valutazione degli Impatti sui Mammiferi Marini.....	3
1.1.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini	4
1.2. Effetti sulla propagazione del suono nell'ambiente marino	6
1.3. Rumore ambientale di fondo	7
2. Metodi	9
2.1. Sorgenti misurate	9
2.2. Acquisizione dei Dati Acustici.....	9
2.2.1. Registratori Acustici.....	9
2.2.2. Stazioni di Campionamento.....	10
2.2.3. Profilo della velocità del suono.....	12
2.2.4. Batimetria	13
2.2.5. Geoacustica	13
2.3. Analisi dei dati manuale.....	14
2.4. Analisi dei dati automatizzata.....	15
2.4.1. Livelli sonori complessivi.....	15
2.4.2. Livelli sonori ricevuti dalle navi.....	15
2.5. Modellizzazione	16
2.5.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione	16
2.5.2. Stima dell'impatto sui mammiferi marini	16
3. Risultati	18
3.1. Livelli ricevuti	18
3.1.1. Autunno 2020 (A20)	18
3.1.2. Inverno 2021 (I21).....	20
3.1.3. Primavera 2021 (P21).....	22
3.1.4. Confronto Inter-stagionale	24
3.2. Livelli di sorgente	28
3.3. Impatto sui mammiferi marini	32
4. Discussione e Conclusioni.....	36
4.1. Migliorie implementate nelle future campagne	37
5. Glossario.....	39
Letteratura Citata.....	48
Appendice A. Terminologia	A-1
Appendice B. Propagazione del suono	B-5
Appendice C. Dettagli Monitoraggio.....	C-1
Appendice D. Analisi dettagliata delle frequenze	D-5

Appendice E. Stagione Estate 2021 (E21).....E-18

Figure

Figura 1. Mappa dell'area circostante al terminal FSRU Toscana.	3
Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.	7
Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019	8
Figura 4. Registratore acustico COL.MAR con idrofono SMID DH200GP	10
Figura 5. Immagine del catamarano Krill di CE.T.U.S. da cui è stato effettuato il campionamento.	11
Figura 6. Mappa della area di studio che mostra la posizione di FSRU Toscana e le posizioni di monitoraggio corrispondenti alla messa in acqua dell'idrofono.....	11
Figura 7. Profilo della velocità del suono misurato per ogni periodo di campionamento e stazione di acquisizione dei dati. Le linee rosse tratteggiate indicano rispettivamente gli 8 e i 55m di profondità' alle quali è stato effettuato il campionamento.	12
Figura 8. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; e (destra) una distribuzione di livello sonoro fortemente asimmetrica con lunghe sporgenze, per la quale R_{max} meglio rappresenta le aree insonificate in alcune direzioni. L'azzurro indica le aree insonificate delimitate da $R_{95\%}$; il blu più scuro indica le regioni limitrofe che determinano R_{max}	17
Figura 9. Stagione A20: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m (in alto) a 1km (in mezzo) e 10km (in basso) di distanza e profondità di 8 metri.....	19
Figura 10. Stagione I21: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m (in alto) a 1km (in mezzo) e 10km (in basso) di distanza e profondità di 55 metri.....	21
Figura 11. Stagione P21: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a nord del terminale FSRU a 100m (in alto) a 1km (in mezzo) e 10km (in basso) di distanza e profondità di 55 metri.....	23
Figura 12. Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1s per misurati a 8m di profondità per le distanze di 100m e 1km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.....	26
Figura 13. Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1s per misurati a 55m di profondità per le distanze di 100m e 1km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.....	27
Figura 14. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente (a sinistra, 8m e a destra 55m di profondità) calcolati in bande di terzi di ottava suddivisi per ogni stagione. Le linee verticali indicano la fascia di portata per gli angoli radenti a 15 gradi rispettivamente per l'idrofono a 55 m.	29
Figura 15. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente (a sinistra, 8m e a destra 55m di profondità) calcolati in bande di terzi di ottava suddivisi per ogni stagione e punto cardinale. Il colore da blu scuro ad azzurro indica in scala continua la distanza dalla sorgente a cui sono state effettuate le misurazioni.....	30
Figura 16. Grafico a dispersione della perdita di trasmissione massima sulla colonna d'acqua dalla sorgente al ricevitore (stazione di monitoraggio) per 8 (sinistra) e 55 (destra) metri di profondità.	30
Figura 17. Livelli di sorgente (in bande decedecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.....	32

Figura 18. Stagione A20 2020-11: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	34
Figura 19. Stagione I21 2021-03: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	35
Figura 20. Stagione P21 2021-06: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	35
Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.	A-2
Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poichè le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l'LP della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dello spettro di potenza.	A-3
Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).	A-4
Figura B-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.....	B-5
Figura B-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. SEL per una sorgente non specificata.....	B-6
Figura D-1. Stazione N100A Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.	D-5
Figura D-2. Stazione E100A: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.	D-6
Figura D-3. Stazione S100A: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.	D-6
Figura D-4. Stazione N1kmA: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.	D-7
Figura D-5. Stazione S1kmA: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.	D-7
Figura D-6. Stazione N1kmA: Esempio di un tono a 965.2Hz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.	D-8
Figura D-7. Stazione O1kmA: Esempio del rumore di flusso attorno all'idrofono.....	D-8
Figura D-8. Stazione S1kmA: Esempio del rumore di flusso attorno all'idrofono.	D-9
Figura D-9. Stazione O1kmA: Esempio del tono a 20.25kHz di origine nota registrato durante il campionamento (linea arancione orizzontale). Artefatto del Sistema di acquisizione. Nell'immagine, le righe bianche orizzontali evidenziano invece un tono ascrivibile al FSRU, discusso nelle prossime sezioni.	D-9
Figura D-10. Stazione N100A: Emissioni probabili di una turbina a 16.632kHz and 16.676kHz; la prima e la seconda armonica sono le uniche visibili.....	D-10
Figura D-11. Stazione E100A: Emissioni probabili di una turbina a 16.556kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili.....	D-10
Figura D-12. Spettrogramma della turbina sospetta della FSRU che mostra la 3a e l'8a armonica prima dell'arrivo della seconda nave. Il propulsore domina lo spettro da MF a HF da 25 a 65 kHz. Immediatamente dopo il completamento delle operazioni del propulsore, ci sono ancora una chiara evidenza dell'artefatto del registratore a 3 kHz. Spettrogramma normalizzato per suoni impulsivi.....	D-11
Figura D-13. Stazione S100A: Emissioni probabili di una turbina a 16.470kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili.....	D-11

Figura D-14. Stazione N1kA: Emissioni di una sospetta turbina a 14. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine (evidenziati dalle linee bianche).....	D-12
Figura D-15. Stazione N1kA: Emissioni di una turbina a 44.716kHz in stato stazionario sotto carico (linea arancione-viola). Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine a 48.15kHz.....	D-12
Figura D-16. Stazione E1kA: Emissioni di una turbina a 15.101kHz; armoniche dalla prima alla quinta sono visibili. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine.....	D-13
Figura D-17. Stazione O1kA: Emissioni di una turbina a 14.131kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine.....	D-13
Figura D-18. Stazione S1kA: Emissioni di una turbina a 14.945kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine.....	D-14
Figura D-19. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione O100A connessa alle attività del FSRU. La barca viene identificata col nome di Toscana nelle note di campo (rimorchiatore).....	D-15
Figura D-20. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione N1kA non connessa alle attività del FSRU.....	D-15
Figura D-21. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione E1kA che potrebbe essere connessa alle attività del FSRU in quanto registrata nei pressi del terminale.....	D-16
Figura D-22. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione O1kA non connessa alle attività del FSRU.....	D-16
Figura D-23. Portarinfuse identificata nelle registrazioni presso la stazione O1kA non connessa alle attività del FSRU.....	D-17
Figura D-24. Sospetta imbarcazione da diporto identificata nelle registrazioni presso la stazione S1kA non connessa alle attività del FSRU.....	D-17
Figura E-1. Livelli di sorgente (in bande decedecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.....	E-18
Figura E-2. Stagione E21 2021-09: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	E-20

Tabelle

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) nell'area di studio.....	4
Tabella 2. Soglie di insorgenza di TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo: soglie in dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ sott'acqua e dB re (20 μPa) ² s in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). Le soglie per i sirenidi e gli otaridi sono presentate per completezza ma non verranno utilizzate in quanto nel mar Mediterraneo non sono presenti specie appartenenti a questi gruppi. Tabella adattata da Southall et al. (2019).....	5
Tabella 3. Specifiche delle navi misurate oggetto di questo studio.....	9
Tabella 4. Profilo geoacustico stimato per il sito modellato. All'interno di ogni intervallo di profondità, ogni parametro varia linearmente all'interno dell'intervallo indicato. L'onda di compressione (P) è l'onda primaria. L'onda trasversale (S) è l'onda secondaria.....	14
Tabella 5. Lista di registrazioni su cui è stata effettuata un'analisi manuale dall'esperto di acustica.....	15

Tabella 6. Specifiche delle navi identificate tramite l'analisi manuale di un campione casuale di registrazioni.....	25
Tabella 7. L_p mediani nella finestra temporale di 1 secondo per la banda larga (20Hz-20kHz) e per le bande in 1/3 ottava incentrate a 63Hz e 125Hz per ogni stagione e profondità di campionamento.	28
Tabella 8. Livelli di sorgente (SL espressi in dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$) calcolati sulla banda larga (10Hz-25kHz) e per ogni banda 1/3 di ottava per ogni stagione combinando le diverse direzioni cardinali.	31
Tabella 9. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.....	33
Tabella 10. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini.....	34
Tabella A-1. Parametri per le funzioni di ponderazione uditiva raccomandati da NMFS (2018).	A-4
Tabella C-1. Descrizione delle possibili modalità operative del terminale FSRU Toscana.	C-1
Tabella C-2. Descrizione assetto del terminale FSRU Toscana per ogni giorno di monitoraggio. H=Holding, ZSO=zero send out, and OFF = plant off, tank cold.	C-1
Tabella C-3. Coordinate di sorgente/i e ricevitore (idrofono) durante il campionamento. Nell'indicazione della stazione, le lettere all'inizio fanno riferimento ai punti cardinali (E=Est, S=Sud, N=Nord e W=Ovest) e le lettere successive alla distanza indicano la profondità nominale dell'idrofono dove A=8m, B=55m e C=85m.	C-1
Tabella E-1. Livelli ricevuti corrispondenti alle distanze nominali del monitoraggio per i livelli a banda larga e le frequenze 63Hz e 125Hz.....	E-18
Tabella E-2. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.....	E-19
Tabella E-3. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi di mammiferi marini.	E-19

Sommario Esecutivo

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata incaricata da RINA Consulting (RINA) di analizzare dati di rumore subacqueo acquisiti da terzi (CIBM) per la caratterizzazione del rumore subacqueo emesso dal terminale FSRU Toscana durante la sua regolare attività operativa per l'ottavo anno di monitoraggio in ottemperanza alle prescrizioni relative al monitoraggio in ambiente marino.

Per determinare il potenziale disturbo comportamentale e danni uditivi del terminale FSRU Toscana sui mammiferi marini, i più recenti criteri disponibili nella letteratura scientifica sono stati utilizzati (Southall et al. 2007, Borsani and Farchi 2011, ACCOBAMS, 2013, ACCOBAMS, 2020) per il rumore di tipo non impulsivo, in quanto il rumore delle attività del rigassificatore sono categorizzate come sorgenti acustiche continue (D11C2 della Marine Strategy Framework Directive, MSFD) (Borsani and Farchi 2011, Van der Graaf et al. 2012, European Commission 2017).

Le registrazioni effettuate per le prime tre campagne di monitoraggio, cioè A20, I21 e P21 corrispondono alla condizione del Terminale in fase di "holding" che si potrebbe definire di "normale operatività" mentre le registrazioni della campagna E21 sono state effettuate durante un periodo di manutenzione straordinaria/modifica del Terminale stesso. Queste ultime non sono dunque rappresentative e sono state omesse dalla stima dei livelli di sorgente.

I dati acustici sono stati registrati a due profondità (sopra il termoclino a 8m e sotto il termoclino a 55m) per ogni stagione ad esclusione dell'estate 2021 (E21) durante la quale dati sono stati acquisiti a un'ulteriore profondità di 85m. Le registrazioni sono state analizzate dalla JASCO per ottenere i livelli di pressione sonora (L_P), e il modello di propagazione acustica MONM-Bellhop è stato utilizzato per ottenere le distanze di insorgenza delle soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini dati i livelli di sorgente (SL) ottenuti mediante la retro-propagazione del suono utilizzando il metodo SL.SCA (MacGillivray et al. 2022).

I seguenti segnali caratteristici relativi al funzionamento del terminale FSRU Toscana sono stati individuati nelle registrazioni:

- Frequenze comprese fra i 400 e i 900 Hz: produzione di corrente alternata (AC) a 50 cicli per secondo (50Hz) comune nei motori a 2 poli e altri motori AC.
- Frequenze a banda stretta da basse a medie frequenze a distanze di 49.445 Hz, 49.395 Hz, 48,663 Hz e 48,128 Hz motori a 4 poli che funzionano contemporaneamente.
- Tono discreto a ~14kHz o a ~16kHz dovuto al funzionamento delle turbine del Terminale. La variazione in frequenza dipende dall'assetto operativo del terminale, per esempio la variazione del carico elettrico. L'analisi manuale dei segnali a questa frequenza ha rilevato che esse sono stabili e sotto carico.
- Tono discreto e stabile a ~47kHz dovuto a un'ulteriore turbina del Terminale. Questo è visibile in molte delle registrazioni. Le armoniche di questo tono sono oltre la frequenza campionata.

La stagione che presenta le maggiori distanze d'impatto appare essere l'autunno 2020. Le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra 3.9 e 7.9 km per L_P di 100 dB re 1 μ Pa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a bassa frequenza definita dalle linee guida di Borsani e Farchi), fra 1.8-1.9 km per L_P di 110 dB re 1 μ Pa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei ad media frequenza definita dalle linee guida di Borsani e Farchi), e sono sempre al di sotto della soglia di L_P di 140 dB re 1 μ Pa (insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei ad alta frequenza definita dalle linee guida di Borsani e Farchi). Inoltre, i più recenti criteri sull'impatto comportamentale dei mammiferi marini (Southall et al. 2019, [ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea 2020) sono basati su una soglia unica per tutti i gruppi uditivi fissata a L_P di 120 dB re 1 μ Pa; questa soglia viene ecceduta per un massimo di ~500m dal terminale FSRU nel peggiore dei casi. Pertanto considerando la lunghezza del Terminale, pari a circa 300m possiamo affermare che tale soglia viene superata nei

dintorni dello stesso Terminale. Nell'area del Terminale, i cetacei più comuni sono delfinidi appartenenti al gruppo uditivo ad alta frequenza secondo la classificazione di Southall (2019), quindi media frequenza secondo Borsani-Farchi. Occasionalmente cetacei a bassa frequenza (balenottere) sono riscontrabili nell'area ma per lo più di passaggio; è quindi improbabile che essi vengano esposti al suono del Terminale per 24 ore consecutive. In ultimo, i cetacei sensibili a frequenze molto alte (VHF, Southall 2019) non sono presenti nell'area. Pertanto è possibile affermare che la distanza massima del disturbo dei cetacei maggiormente presenti nel Santuario dei Cetacei è all'interno dell'area di interdizione alla navigazione del Terminale e comunque inferiore ai 2 km dallo stesso (considerando i limiti maggiormente cautelativi, quelli delle linee guida Borsani-Farchi).

Nonostante l'eccedenza delle soglie comportamentali per i mammiferi marini appartenenti ai gruppi uditivi dei cetacei a bassa frequenza e ad alta frequenza, si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1 μ Pa L_P sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo. Pertanto, il rumore generato dal Terminale è paragonabile al rumore presente nell'area, come dimostrato da studi effettuati in aree simili (es. (Magnier and Gervaise 2020)). Le distanze a cui le soglie di impatto acustico comportamentale per i mammiferi marini devono quindi essere contestualizzate e valutate rispetto all'eccedenza dei livelli oltre il suono di fondo presente nell'area di studio. In questo contesto, il rumore di sottofondo di 110 dB re 1 μ Pa L_P viene ecceduto entro pochi chilometri dalla sorgente (1-2km, a seconda della stagione).

Relativamente alle soglie di insorgenza dei danni temporanei (TTS) o permanenti (PTS) possiamo affermare quanto segue. La PTS non viene mai ecceduta, mentre la TTS per i cetacei a bassa frequenza (secondo Southall 2019) viene ecceduta entro un raggio di 110 metri nel peggiore dei casi (A20) e per i cetacei a frequenza molto alta (secondo Southall 2019) solo nel caso di P21 entro 70 metri dal terminale; pertanto, al di sotto della lunghezza dello stesso Terminale.

Introduzione

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata incaricata da RINA Consulting (RINA) di analizzare dati di rumore subacqueo acquisiti da terzi (CIBM) per la caratterizzazione del rumore subacqueo emesso dal terminale FSRU Toscana durante la sua regolare attività operativa, cioè del terminale in condizioni stand alone (rigassificazione senza la presenza di altre imbarcazioni dedicate alle attività di allibo). Le misurazioni sono state condotte durante quattro campagne di monitoraggio da Novembre 2020 a Settembre 2021 (chiamate A20, I21, P21, E21), in linea con i requisiti di ottemperanza del piano di monitoraggio dell'ambiente marino approvato dall'autorità di controllo.

Il terminale di rigassificazione FSRU Toscana è una delle principali infrastrutture di interesse nazionale per l'importazione del GNL (Gas Naturale Liquefatto). Il Terminale è permanentemente ancorato a circa 22 km al largo della costa tra Livorno e Pisa (Figura 1).

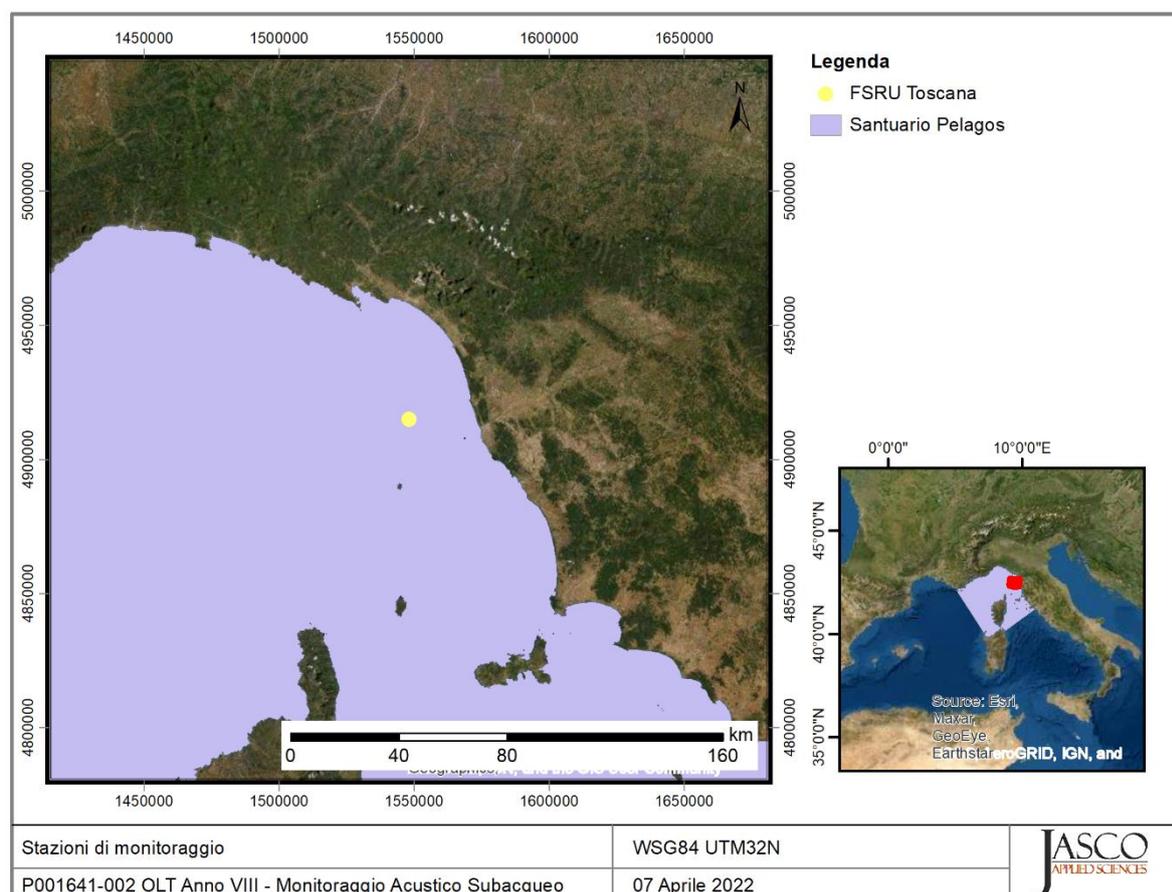


Figura 1. Mappa dell'area circostante al terminal FSRU Toscana.

Lo scopo di questa relazione è di effettuare un'analisi dei dati allineata con le linee guida e legislazioni più recenti concernenti l'impatto delle sorgenti di rumore subacqueo sui mammiferi marini.

1.1. Criteri per la Valutazione degli Impatti sui Mammiferi Marini

Lo studio è focalizzato sull'impatto del rumore subacqueo sui mammiferi marini. Il terminale FSRU Toscana è situato nel santuario Pelagos (Figura 1), un'area marina protetta di 87.500 km² istituita nel 2004 per la protezione dei mammiferi marini che lo frequentano. Il [santuario Pelagos](#) è classificato come Area Specialmente Protetta di Interesse (ASPI) nel Mediterraneo (United Nations 2009). In esso

si concentrano molti cetacei attratti dalla ricchezza di cibo. In quest'area si possono trovare regolarmente dieci specie di cetacei (Tabella 1) come riportato nel recente studio ASI Med (Panigada et al. 2021).

I mammiferi marini sono i principali contributori biologici al paesaggio sonoro sottomarino. I canti delle balenottere comuni, ad esempio, possono aumentare i livelli di rumore nella banda 18–25 Hz di 15 dB per periodi prolungati (Simon et al. 2010). I mammiferi marini, in particolare i cetacei, si affidano quasi esclusivamente al suono per navigare, cercare cibo, riprodursi e comunicare (Clark 1990, Edds-Walton 1997, Tyack and Clark 2000). Sebbene le specie differiscano ampiamente nel loro comportamento vocale, ci si può ragionevolmente aspettare che la maggior parte produca suoni su base regolare. Il monitoraggio acustico passivo è quindi sempre più preferito come metodo di sondaggio economico ed efficiente. Le differenze nella produzione del suono tanto stagionali che legate al sesso o all'età, come pure la frequenza del segnale, il livello della sorgente e la direzionalità influenzano tutte l'applicabilità e il tasso di successo del monitoraggio acustico; la sua efficacia deve dunque essere considerata separatamente per ciascuna specie.

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) nell'area di studio e il loro stato di conservazione per la popolazione del mar Mediterraneo. LF= low frequency (bassa frequenza) e HF = high frequency (alta frequenza).

Specie	Nome scientifico	IUCN status	Gruppo uditivo
Misticeti			
Balenottera minore ¹	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Minima preoccupazione	LF (Borsani and Farchi 2011) LF Southall et al. (2019)
Balenottera comune	<i>Balaenoptera physalus</i>	Vulnerabile	LF (Borsani and Farchi 2011) LF Southall et al. (2019)
Odontoceti			
Delfino comune	<i>Delphinus delphis</i>	In via di estinzione	MF (Borsani and Farchi 2011) HF Southall et al. (2019)
Stenella striata	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Minima preoccupazione	MF (Borsani and Farchi 2011)
Tursiopo	<i>Tursiops truncatus</i>	Vulnerabile	HF Southall et al. (2019)
Grampo	<i>Grampus griseus</i>	Dati carenti	MF (Borsani and Farchi 2011)
Globicefalo	<i>Globicephala melas</i>	Dati carenti	HF Southall et al. (2019)
Capodoglio	<i>Physeter macrocephalus</i>	In via di estinzione	MF (Borsani and Farchi 2011)
Pseudorca	<i>Pseudorca crassidens</i>	Dati carenti	HF Southall et al. (2019)
Zifio	<i>Ziphius cavirostris</i>	Dati carenti	MF (Borsani and Farchi 2011)

¹ Rara

1.1.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini

Per determinare il potenziale disturbo comportamentale e danni uditivi della sorgente sui mammiferi marini, i più recenti criteri disponibili nella letteratura scientifica sono stati utilizzati (Southall et al. 2007, Borsani and Farchi 2011, ACCOBAMS, 2013, ACCOBAMS, 2020).

In questo studio sono utilizzate le soglie corrispondenti all'impatto da suono di tipo non impulsivo, in quanto il rumore delle attività del rigassificatore e dei mezzi di supporto sono categorizzate come sorgenti acustiche continue (D11C2 della Marine Strategy Framework Directive, MSFD) (Borsani and Farchi 2011, Van der Graaf et al. 2012, European Commission 2017).

Le distanze corrispondenti all'eccedenza del criterio di disturbo comportamentale sono calcolate secondo (Borsani and Farchi 2011, ACCOBAMS, 2013, Gomez et al. 2016, ACCOBAMS, 2020) usando:

1. Una soglia di riferimento corrispondente a un livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, L_P) di 120 dB re 1 μ Pa non ponderato, identica per tutti i gruppi uditivi dei mammiferi marini (ACCOBAMS, 2013, ACCOBAMS, 2020);
2. Le linee guida di Borsani and Farchi (2011) e Gomez et al. (2016) che identificano soglie comportamentali variabili a seconda dei gruppi uditivi come segue:
 - a. Cetacei di bassa frequenza: L_P 100–110 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - b. Cetacei di media frequenza (corrispondente ai cetacei ad alta frequenza in Southall et al. (2019)): L_P 110–120 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - c. Cetacei di alta frequenza (corrispondente ai cetacei frequenza molto alta in Southall et al. (2019)): L_P 140–150 dB re 1 μ Pa non ponderato

Inoltre, sono state calcolate le soglie d'insorgenza di danno uditivo temporaneo (Temporary Threshold Shift, TTS) o permanente (Permanent Threshold Shift, PTS) per i mammiferi marini. Quelle utilizzate in questo studio sono descritte da Southall et al. (2019), che rappresentano le linee guida più recenti e complete per stimare l'impatto del rumore antropogenico sui mammiferi marini (Tabella 2). Queste soglie sono state rivedute e aggiornate a partire dai criteri iniziali descritti in Southall et al. (Southall et al. 2007) prendendo in considerazione i risultati di ricerche più recenti effettuate a livello mondiale. In riferimento ai TTS e PTS, le linee guida di ISPRA (Borsani and Farchi 2011) fanno riferimento ai criteri del 2007 e sono dunque in parte superate. Recenti studi condotti dalla JASCO, presentati a ISPRA e da loro accettati, hanno utilizzato i criteri di Southall et al. (2019).

Tabella 2. Soglie di insorgenza di TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo: soglie in dB re 1 μ Pa²s sott'acqua e dB re (20 μ Pa)²s in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). Le soglie per i sirenidi e gli otaridi sono presentate per completezza ma non verranno utilizzate in quanto nel mar Mediterraneo non sono presenti specie appartenenti a questi gruppi. Tabella adattata da Southall et al. (2019).

Gruppo uditivo	TTS: SEL (ponderato)	PTS: SEL (ponderato)
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	179	199
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	178	198
Cetacei – frequenze molto alte Very High frequency (VHF) cetaceans	153	173
Sirenidi* Sirenians (SI)	186	206
Pinnipedi focidi in acqua: Phocid carnivores in water (PCW)	181	201
Otaridi in acqua* Otarid carnivores in water (OCW)	199	219
Pinnipedi focidi in aria: Phocid carnivores in air (PCA)	134	154
Otaridi in aria* Otarid carnivores in air (OCA)	157	177

*calcoli per gli otaridi e i sirenidi non sono stati inclusi in quanto non presenti nelle acque del Mar Mediterraneo.

Per calcolare le distanze corrispondenti alle soglie di insorgenza di PTS e TTS, i livelli vanno filtrati (ponderati) in base alle diverse sensibilità uditive spettrali dei mammiferi marini presenti nel Mediterraneo. I livelli di esposizione al suono, o Sound Exposure Level (SEL), sono calcolati seguendo la metodologia descritta in Southall et al. (2019), che involve accumulare per una durata di 24 ore l'esposizione sonora dovuta alla sorgente acustica considerata. I livelli calcolati in bande spettrali vanno poi ponderati in frequenza per ciascun gruppo uditivo dei mammiferi marini presenti, come

descritto nell'Appendice A. I valori di SEL presuppongono una durata costante di 24 ore per ogni sorgente; pertanto il livello di esposizione al suono è accumulato su 24 ore.

1.2. Effetti sulla propagazione del suono nell'ambiente marino

Un fattore chiave nello studio del suono subacqueo è come un segnale acustico cambia in natura mentre si propaga dalla sorgente a un ricevitore a una certa distanza. Comprendere e modellare la propagazione del suono nell'oceano è un argomento complesso che è oggetto di numerosi testi. Questa sezione fornisce una panoramica descrittiva dei concetti essenziali di propagazione del suono per assistere con i risultati presentati in questo rapporto. Questi concetti sono parte integrante dell'interpretazione del modo in cui i suoni emessi da una sorgente vengono trasformati in quelli ricevuti a una certa distanza. I suoni vengono modificati da: 1) la diffusione geometrica; 2) la riflessione, la dispersione e l'assorbimento al fondale e alla superficie del mare; 3) la rifrazione dovuta alle variazioni della velocità del suono con la profondità; e 4) l'assorbimento dovuto alla vibrazione molecolare. Questa sezione non affronta il punto 3), poiché la rifrazione del suono svolge solo un ruolo minore in acque poco profonde.

Ad un estremo, i clic di eco-localizzazione delle focene a 130 kHz percorrono solo 500 m prima di diventare impercettibili (Au et al. 1999). All'altro estremo, i suoni delle balenottere comuni (20 Hz) e l'energia a bassa frequenza dei cannoni ad aria compressa per esplorazioni sismiche (5–100 Hz) possono essere rilevati a migliaia di km di distanza in condizioni ottimali (Nieuwirk et al. 2012).

Perdite per diffusione geometrica: i livelli sonori da una sorgente puntiforme omnidirezionale nella colonna d'acqua vengono ridotti con la distanza, un processo noto come perdita per diffusione geometrica. Quando il suono lascia la sorgente, le onde sonore si propagano sfericamente e l'energia sonora si diffonde su questa sfera in continua espansione. Più si è lontani dalla sorgente, più basso sarà il livello sonoro ricevuto. I livelli di pressione sonora ricevuti a una distanza R (in m) dalla sorgente sono $20 \log_{10} R$ dB inferiori al livello di sorgente (SL) riferito a una distanza standard di 1 m. Ma in un ambiente reale il suono non può diffondersi uniformemente in tutte le direzioni in modo illimitato. Una volta che le onde interagiscono con la superficie e il fondale marino, la diffusione diventa cilindrica anziché sferica ed è limitata ad un fronte d'onda cilindrico limitato dalla superficie e dal fondale marino con una perdita che può ridursi a $10 \log_{10} R$ dB. Pertanto, la profondità dell'acqua è un fattore chiave nella previsione delle perdite per diffusione geometrica e quindi dei livelli sonori ricevuti. I menzionati regimi di diffusione sferico e cilindrico costituiscono limiti per approssimazioni rapide dei livelli ricevuti in un certo ambiente da una data fonte sonora. In acque molto basse, il suono si attenua rapidamente se la profondità dell'acqua è inferiore a un quarto di lunghezza d'onda (Urick 1983).

Assorbimento, riflessione e dispersione alla superficie e al fondale marino: se la diffusione geometrica fosse l'unico fattore che regola l'attenuazione del suono in acqua, allora a una particolare distanza da una sorgente i livelli sonori ricevuti in acque poco profonde sarebbero quasi sempre superiori a quelli in acque profonde. Nel primo caso, tuttavia, il suono subisce interazioni più frequenti con il fondale e la superficie del mare rispetto al suono che si propaga in acque profonde; queste interazioni risultano in riflessione, assorbimento e dispersione dei suoni. La superficie si comporta approssimativamente come un limite di rilascio della pressione, dove il suono incidente è quasi interamente riflesso con fase opposta. Di conseguenza, la somma delle onde sonore incidenti e riflesse alla superficie del mare è nominalmente zero. Sul fondale marino possono verificarsi molti tipi di interazioni a seconda della composizione del medesimo. I fondi soffici di limo e argilla assorbono il suono, i fondi di sabbia e ghiaia tendono a rifletterlo parzialmente e alcuni fondi compatti ma elastici, come il calcare, riflettono parte del suono ma altresì assorbono parte dell'energia convertendo le onde di compressione in onde elastiche trasversali.

Assorbimento molecolare nell'acqua di mare: quando il suono si propaga nell'oceano, parte dell'energia viene assorbita dalla vibrazione molecolare nell'acqua di mare, che trasforma l'energia

acustica in calore. Il livello di attenuazione è quantificato da un coefficiente di assorbimento, espresso in unità di decibel per chilometro (dB/km). Questo coefficiente dipende dalla temperatura, dalla salinità, dal pH e dalla pressione dell'acqua, nonché dalla frequenza del suono. In generale, il coefficiente di assorbimento aumenta con il quadrato della frequenza, quindi le basse frequenze sono molto meno influenzate. L'assorbimento dell'energia delle onde acustiche ha un effetto apprezzabile (>0.05 dB/km) a frequenze superiori a 1 kHz. Ad esempio, a 10 kHz la perdita da assorbimento molecolare su una distanza di 10 km, calcolata secondo le formule di François e Garrison (1982a, b), può superare i 10 dB.

1.3. Rumore ambientale di fondo

I suoni ambientali, o di sottofondo, che creano il paesaggio acustico dell'oceano/mare sono prodotti da molte fonti naturali e antropiche (Figura 2). Le principali sorgenti naturali sono vento, precipitazioni e ghiaccio marino. Il rumore generato dal vento nell'oceano è ben documentato (es., Wenz 1962, Ross 1976), e il suono dei frangenti è noto come importante contributo ai paesaggi sonori vicino alla costa (Deane 2000). Nelle regioni polari, il ghiaccio marino può produrre suoni intensi che sono spesso la componente principale dell'energia acustica nel paesaggio sonoro locale, in particolare durante la formazione e la rottura del ghiaccio. Le precipitazioni sono una consueta fonte di rumore ambientale, contribuendo tipicamente a frequenze superiori a 500 Hz. A basse frequenze (<100 Hz), terremoti e altri eventi geologici contribuiscono al paesaggio sonoro (Figura 2).

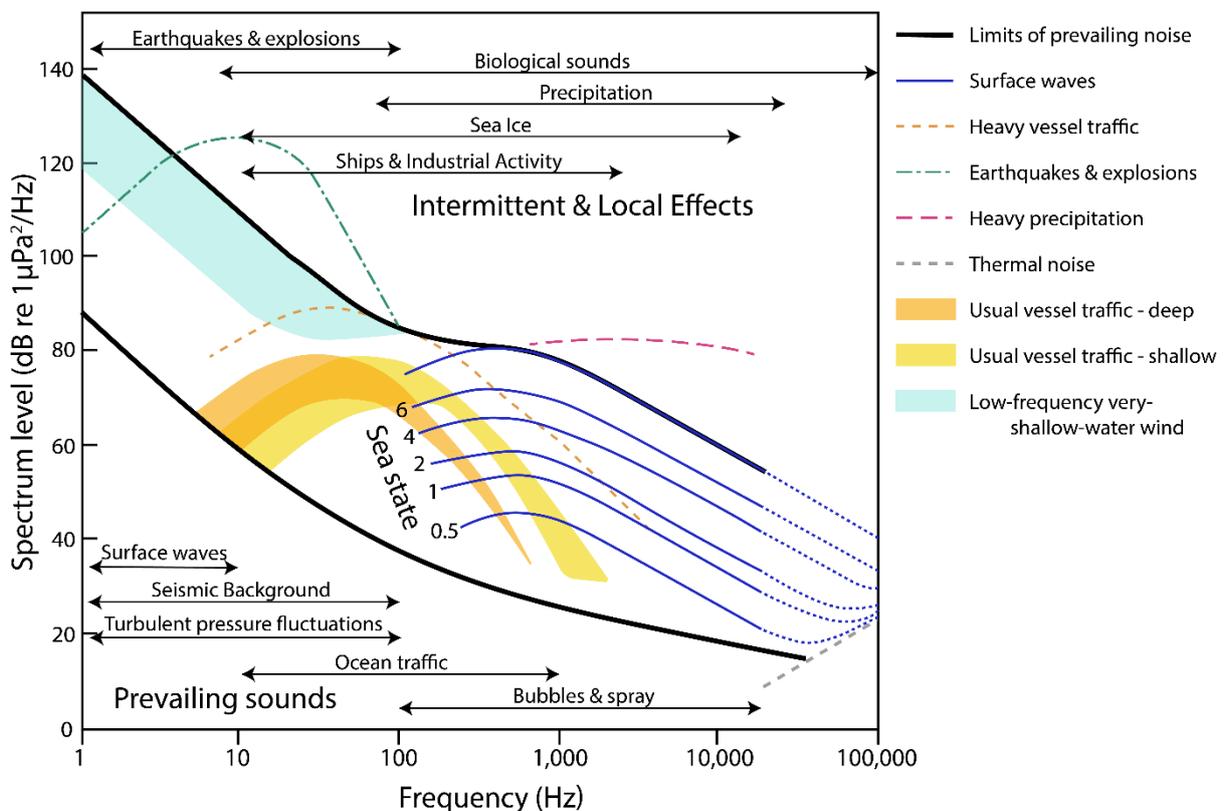


Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.

Relativamente alle sorgenti antropiche nell'area d'interesse è possibile affermare quanto segue: il rumore di fondo nell'area è notevolmente influenzato dal traffico navale, come si evince dalla Figura 3, in quanto ci sono molte importanti rotte di navigazione, in particolare i collegamenti fra il porto di

Livorno e i porti della Liguria. Infatti, questa zona è stata identificata come un hotspot per il rumore subacqueo da ACCOBAMS (Maglio et al. 2016). Inoltre alcune aree isolate di traffico marittimo più denso al largo della costa indicano l'ubicazione di potenziali punti dedicati alla pesca (rotte di navigazione battute da pescherecci).

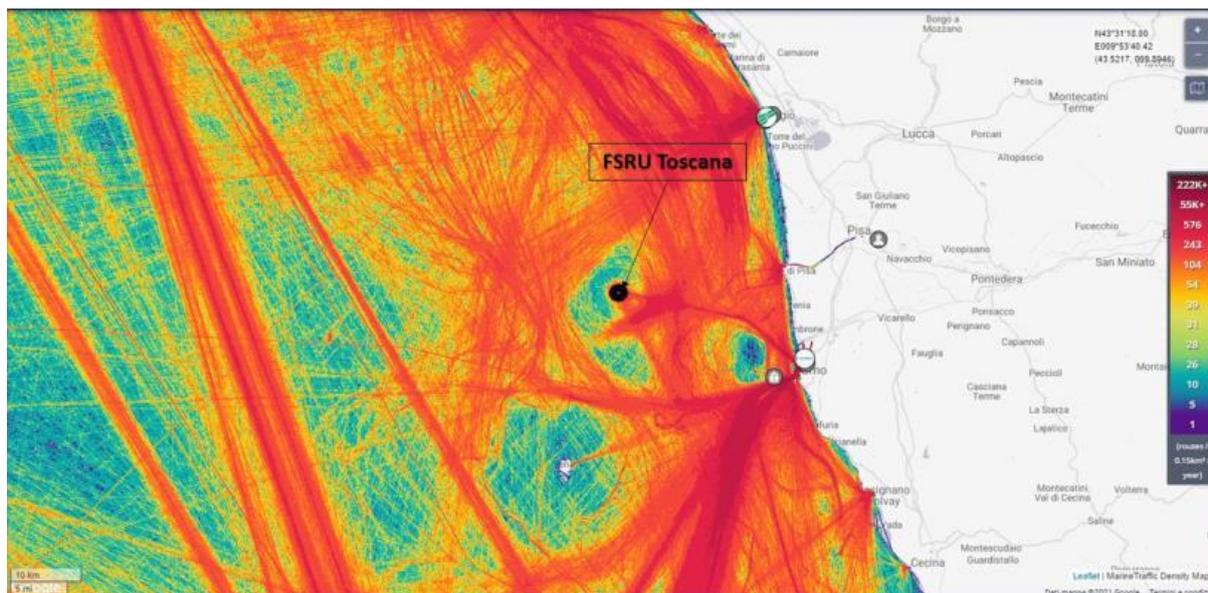


Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019 (sorgente: marinetraffic.com; visitato l'8 Ottobre 2021).

2. Metodi

2.1. Sorgenti misurate

Le caratteristiche del terminale oggetto del monitoraggio sono presentate nella Tabella 3.

L'assetto operativo del terminale per ogni giornata di acquisizione dei dati è presentato nell'Appendice C.1. Le registrazioni effettuate per le prime tre campagne di monitoraggio, cioè A20, I21 e P21 corrispondono alla fase di "holding" che si potrebbe definire di "normale operatività" e contempla l'attività di rigassificazione del Terminale in assenza di scarico di GNL da nave metaniera. Le prime registrazioni della campagna E21 sono state effettuate durante la condizione di "zero send out" ed altre durante la condizione di "Plant off tank cold", periodo in cui operazioni di manutenzione straordinaria/ modifica del terminale hanno avuto luogo. Ciò significa che questa stagione non è rappresentativa del normale funzionamento del terminale.

Tabella 3. Specifiche delle navi misurate oggetto di questo studio.

Nave	MMSI	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	Stazza lorda (tonnellate)	Motore	Elica
FSRU Toscana	247323700	306.47	48	12	117916	Non presente	Non presente

2.2. Acquisizione dei Dati Acustici

2.2.1. Registratori Acustici

Il rumore subacqueo è stato registrato da CIBM usando un registratore COL.MAR (Figura 4) collegato ad un idrofono digitale omnidirezionale Aquatech DH200GP. JASCO ha esaminato i vari aspetti della calibrazione ed dell'uso della suddetta strumentazione; nella sezione 4.1 vengono presentate delle considerazioni messe in atto nella 9° campagna a partire da P22 (primavera 2022) per migliorare l'acquisizione dei dati.

Poiché i dati disponibili sulla calibrazione e la sensibilità dell'idrofono presentano delle lacune, come spiegato nel capitolo 4.1, come base per l'analisi, è stato deciso di utilizzare una curva di sensibilità piatta corrispondente a -156 dB re 1 V/ μ Pa, valore indicato in relazioni precedentemente presentate da CIBM riguardo l'analisi di questi stessi dati.

L'ultima calibrazione dell'idrofono è stata effettuata nel 2019 presso la COL.MAR per frequenze al di sopra dei 5kHz; i dati relativi alla calibrazione sono presentati nell'Appendice C3.

Registrazioni di 3-4 minuti di durata sono state effettuate da CIBM per le stagioni A20, I21 e P21 e di 10 minuti di durata per la stagione E 21 per ogni stazione di campionamento e profondità a una frequenza di 192 kHz per una banda di frequenza utilizzabile da 10 Hz to 96 kHz con guadagno pari a 0. Il canale di registrazione utilizzato aveva una risoluzione di 32-bit con un rumore spettrale di fondo di 22 dB re 1 μ Pa²/Hz.

Durante l'analisi dei dati acquisiti, sono stati individuati degli artefatti della strumentazione utilizzata per il campionamento che consistono nella presenza dei seguenti segnali acustici in tutte le registrazioni analizzate (Appendice C):

- Tono interno, discreto e stabile con una spaziatura di 3.kHz presente fino alla frequenza di 70kHz (Figura D-1-Figura D-5).

- Tono a 965.2Hz (vedi esempio stazione N1kA, Figura D-6)
- Tono a 20.25 kHz (Figura D-9).

I toni a queste frequenze non sono dunque ascrivibili al funzionamento del FSRU e picchi a questa frequenza (incluse le armoniche) non sono stati considerati nell'analisi.



Figura 4. Registratore acustico COL.MAR con idrofono SMID DH200GP usato per misurare il rumore sottomarino presso l'FSRU Toscana.

2.2.2. Stazioni di Campionamento

L'idrofono è stato calato in acqua dal catamarano "Krill" (Figura 5) seguendo il calendario di campionamento previsto dal piano di monitoraggio approvato dalle Autorità. Questo prevede l'acquisizione di dati sul rumore subacqueo del Terminale quattro volte all'anno, una volta per ogni stagione, a tre distanze dalla sorgente (100m, 1000m e 10 km) e nelle quattro direzioni cardinali (Figura 6). I dati sono stati ottenuti a due profondità per ogni stagione, eccetto per la stagione E21 per cui le misurazioni sono state effettuate a tre profondità; le misurazioni a diverse profondità furono effettuate con lo stesso idrofono e quindi in maniera consecutiva l'una all'altra.

Le coordinate delle stazioni di campionamento effettuate da CIBM sono presentate nella Tabella C-3. Le posizioni di monitoraggio risultano essere mobili in quanto il catamarano utilizzato per l'acquisizione dei dati era lasciato derivare seguendo la corrente (causa fondale elevato). Dunque, le stazioni di campionamento non sono le medesime per ogni stagione e le posizioni di messa in acqua e ritiro dell'idrofono per ogni singola misurazione presentano a volte diversi metri di differenza.

Le distanze fra il terminale e l'idrofono sono state calcolate in base a tali coordinate; le coordinate e i tempi di campionamento sono dettagliati nella Tabella C-3. Il movimento del ricevitore durante il campionamento è stato considerato nell'analisi assumendo una deriva costante durante la durata del campionamento dato che tracciati GPS dettagliati non sono stati collezionati. Considerato che il campionamento ad ogni stazione è durato fra i 3 e i 10minuti, si assume che la deriva costante sia rappresentativa della realtà. Alcuni dati sono stati esclusi dalla stima dei livelli di sorgente basandosi sulla distanza di deviazione dalla posizione originale desiderata, come dettagliato nella sezione 2.5.1.



Figura 5. Immagine del catamarano Krill di CE.T.U.S. da cui è stato effettuato il campionamento.

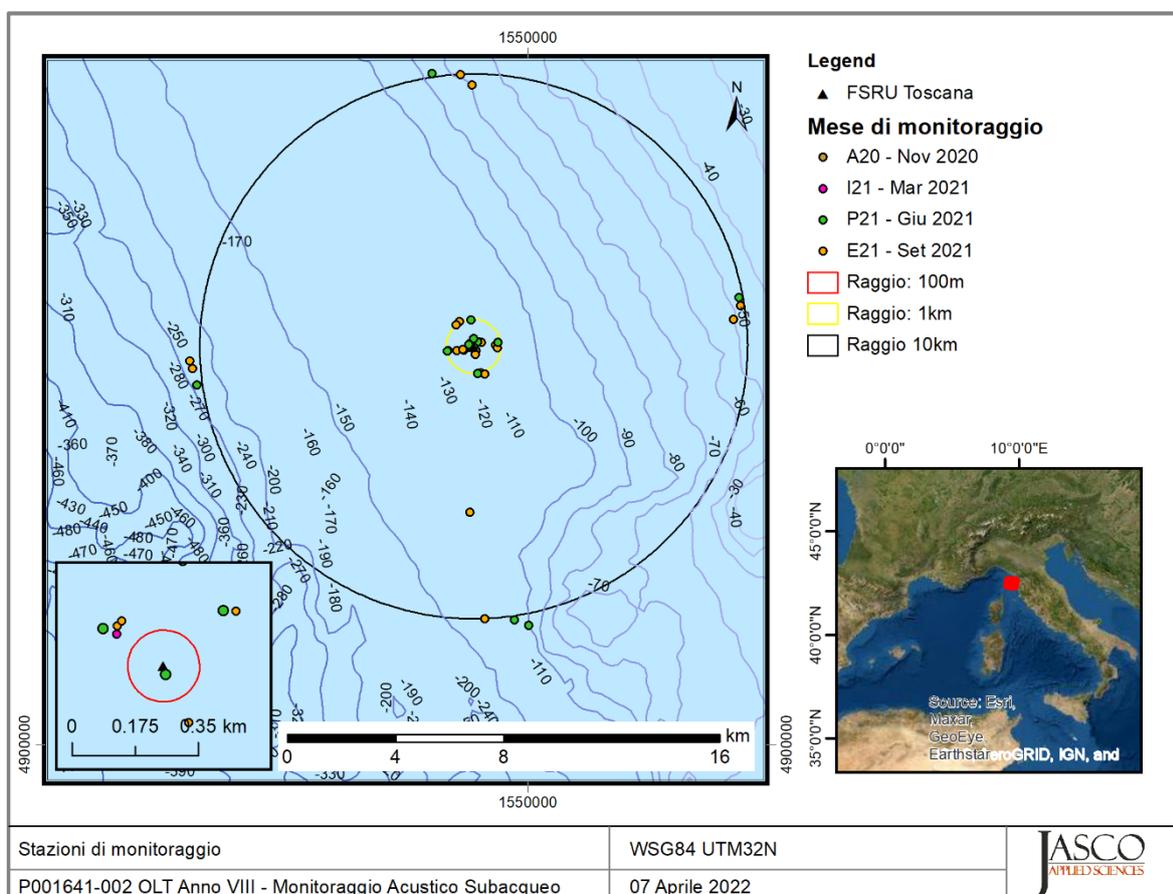


Figura 6. Mappa della area di studio che mostra la posizione di FSRU Toscana e le posizioni di monitoraggio corrispondenti alla messa in acqua dell'idrofono.

2.2.3. Profilo della velocità del suono

La conduttività, temperatura e profondità della colonna d'acqua sono stati misurati con una sonda CTD Ageotech IMSV. Una misurazione CTD è stata condotta per campionamento fino ad una profondità massima di circa 58m per l'inverno e la primavera, e di circa 90m (condizione richiesto dall'autorità preposta) per l'estate e l'autunno (Figura 7). Questi dati sono stati utilizzati come input per il modello.

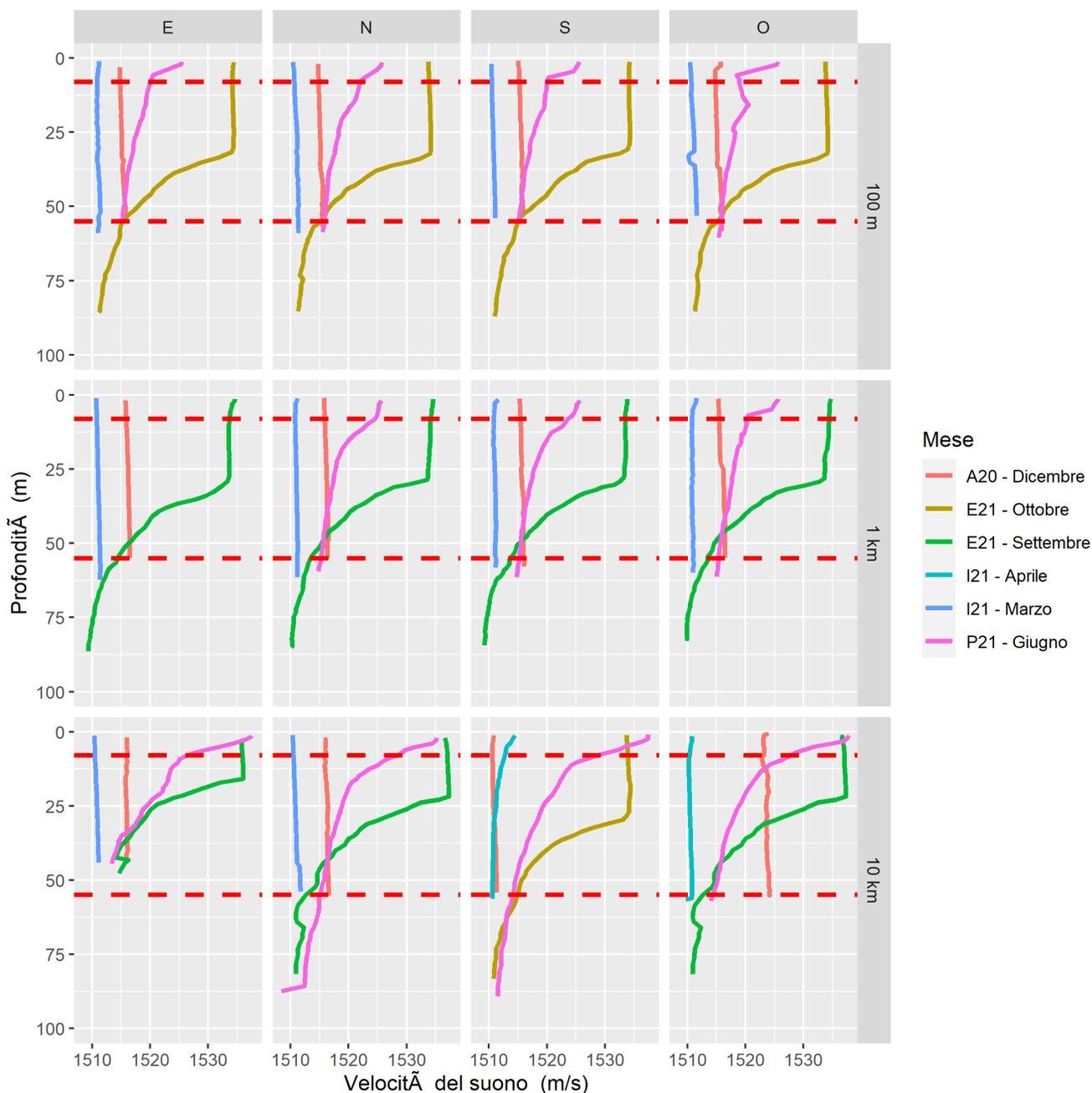


Figura 7. Profilo della velocità del suono misurato per ogni periodo di campionamento e stazione di acquisizione dei dati. Le linee rosse tratteggiate indicano rispettivamente gli 8 e i 55m di profondità' alle quali è stato effettuato il campionamento.

Il profilo di velocità del suono per gli scenari modellati è stato derivato sia dai profili misurati dalla campagna di registrazione, sia dai dati storici di osservazione. I dati fino a 55 m sono stati generati

sulla base dei dati misurati, mentre al di sotto di questa profondità i dati sono stati integrati utilizzando i profili di temperatura e salinità del US Naval Oceanographic Office's *Generalized Digital Environmental Model V 3.0* (GDEM; Teague et al. 1990, Carnes 2009). GDEM fornisce una climatologia oceanica di temperatura e salinità per gli oceani del mondo su una griglia latitudine-longitudine con una risoluzione di 0,25°, con una risoluzione temporale di un mese, basata su osservazioni storiche globali del Master Oceanographic Observational Data Set (MOODS) della Marina degli Stati Uniti. I profili climatologici includono 78 punti di profondità fissi fino a una profondità massima di 6800 m (dove l'oceano la raggiunge). I profili di temperatura-salinità GDEM sono stati convertiti in profili di velocità del suono secondo la formula di Coppens (1981).

I profili di velocità del suono misurati in loco sono stati interpolati per ricondurli a una serie comune di punti di profondità fino a 55 m o 90m, e il valore mediano è stato estratto ad ogni punto di profondità. Un profilo medio mensile composito di velocità del suono è stato quindi derivato dai profili GDEM per i mesi corrispondenti per la posizione 43,75 ° N, 10° e fino a una profondità di 200 m. Questo è stato combinato con i dati per il punto a 43,5° N, 9,75 ° E per estendere il profilo a 500 m e con i dati da 43 ° N, 8,75 ° E per estendere ulteriormente il profilo a 2400 m.

2.2.4. Batimetria

Le profondità dell'acqua in tutta l'area modellata sono state estratte dalla griglia batimetrica europea EMODnet (EMODnet Bathymetry Consortium 2020), generata per i bacini marittimi europei con risoluzione di 1/16 d'arco (circa 115 m × 115 m).

I dati di batimetria per un'area di circa 175 × 200 km sono stati estratti e ri-campionati, mediante griglia di curvatura minima, su una proiezione di coordinate della zona 32 di Mercatore trasversale universale (UTM) con una spaziatura regolare della griglia di 100 × 100 m.

2.2.5. Geoacustica

In un ambiente poco profondo le interazioni tra il campo acustico e il fondale marino sono importanti, e profili geoacustici accurati sono necessari per una corretta modellazione acustica. Le interazioni tra campo acustico e fondale marino diventano trascurabili in acque molto più profonde. Profili geoacustici generici sono quindi considerati validi per modellare l'intera area circostante al sito di studio. Poiché tale area è ampia e le informazioni geoacustiche sono limitate in definizione spaziale, è stato costruito un profilo geoacustico semplificato per rappresentare le principali caratteristiche della colonna di sedimenti nel sito modellato.

I campioni di carotaggio poco profondo prelevati intorno al sito hanno indicato che lo strato superiore di sedimenti fino a circa 30 m sotto il fondale marino è prevalentemente limo-argilloso. Un sondaggio di pozzo disponibile tramite il progetto sulla Visibilità dei Dati afferenti all'attività di esplorazione Petrolifera in Italia (ViDEPI; Società Geologica Italiana 2021) ha indicato che il sedimento al di sotto di questa profondità è sostanzialmente uniforme in composizione; in assenza di informazioni più dettagliate, non sono stati quindi modellati altri strati sotto la superficie. Il profilo dei parametri geoacustici in funzione della profondità sotto il suolo è stato calcolato dai valori di Hamilton (1980) ed è presentato nella Tabella 4. Il modello MONM-BELLHOP, utilizzato in questo studio per la stima delle distanze di impatto del suono sui mammiferi marini, considera solo le proprietà delle onde trasversali dello strato superficiale; questi valori sono quindi considerati costanti nel profilo.

L'angolo critico necessario per la stima dei livelli di sorgente è stato calcolato basandosi sul profilo della velocità del suono e il tipo di substrato secondo la formula:

$$\text{acos}(1508/1530) * 180/\pi \quad (1)$$

Tabella 4. Profilo geoacustico stimato per il sito modellato. All'interno di ogni intervallo di profondità, ogni parametro varia linearmente all'interno dell'intervallo indicato. L'onda di compressione (P) è l'onda primaria. L'onda trasversale (S) è l'onda secondaria

Profondità sotto il suolo (m)	Materiale	Densità (g/cm ³)	Onda di compressione		Onda trasversale	
			Velocità (m/s)	Attenuazione (dB/λ)	Velocità (m/s)	Attenuazione (dB/λ)
0.0-100.0	Silt-clay	1.53-1.66	1530-1650	0.20-0.55	150.0	3.65
100.0-200.0		1.66-1.78	1650-1760	0.55-1.23		
200.0-300.0		1.78-1.89	1760-1860	1.23-1.01		
300.0-400.0		1.89-1.99	1860-1950	1.01-0.93		
400.0-500.0		1.99-2.08	1950-2030	0.93-0.90		
500.0-600.0		2.08-2.16	2030-2100	0.90-0.87		
600.0-700.0		2.16-2.22	2100-2170	0.87-0.85		
700.0-800.0		2.22-2.27	2170-2230	0.85-0.84		
800.0-900.0		2.27-2.30	2230-2290	0.84-0.83		
900.0-1000.0		2.30-2.32	2290-2350	0.83-0.83		

2.3. Analisi dei dati manuale

Un'analisi manuale dettagliata è stata condotta per i file specificati nella Tabella 5 per identificare le caratteristiche acustiche principali del terminale. I file sono stati selezionati in maniera casuale indipendentemente dall'analisi automatica utilizzata per ottenere i livelli sonori; un file della durata di 60s è stato analizzato per ogni direzione cardinale per le distanze di 100m e 1000m dalla sorgente per una stagione, cioè le registrazioni effettuate fra settembre e ottobre del 2021 (E21). L'analisi è consistita nell'investigazione acustica e visiva degli spettrogrammi delle registrazioni da parte di un esperto in acustica con esperienza nello studio delle caratteristiche delle navi, utilizzando il software PAMLab (©JASCO). Oltre ad identificare le caratteristiche del terminale FSRU, l'esperto ha notato altri segnali acustici come, ad esempio, la presenza di altre imbarcazioni e di artefatti del sistema di acquisizione dati.

A seguito dell'analisi manuale la campagna E21 è risultata non significativa per l'analisi dei dati.

Tabella 5. Lista di registrazioni su cui è stata effettuata un'analisi manuale dall'esperto di acustica.

Stazione	Stagione	Abbreviazione	Data e ora di inizio della registrazione
Nord 100m	E21 -2021-09	N100A	20211001T145422
Est 100m	E21 -2021-09	E100A	20211002T173911
Sud 100m	E21 -2021-09	S100A	20211002T164856
Ovest 100m	E21 -2021-09	O100A	20211001T134933
Nord 1km	E21 -2021-09	N1kA	20210928T132505
Est 1km	E21 -2021-09	E1kA	20210928T163206
Ovest 1km	E21 -2021-09	O1kA	20210928T143142
Sud 1km	E21 -2021-09	S1kA	20210928T152950
Est 100m	P21 - 2021-06	E100A	20210604T114953
Sud 100m	P21 - 2021-06	S100A	20210604T132016
Ovest 100m	P21 - 2021-06	O100A	20210604T125950
Nord 100m	P21 - 2021-06	N100A	20210604T121104

2.4. Analisi dei dati automatizzata

Abbiamo utilizzato una piattaforma informatica specializzata (PAMLab; ©JASCO) capace di elaborare i dati acustici centinaia di volte più velocemente del tempo reale. Il sistema ha eseguito l'analisi automatizzata del rumore totale dell'oceano e delle emissioni sonore delle navi.

2.4.1. Livelli sonori complessivi

La prima fase dell'analisi dei livelli sonori prevede il calcolo del livello di pressione di picco (P_K) e del livello di pressione sonora (L_P) per ogni minuto di dati. Ciò riduce i dati a una dimensione gestibile senza comprometterne la validità per la caratterizzazione del paesaggio acustico (ISO 2017a, Ainslie et al. 2018, Martin et al. 2019). L'analisi L_P viene eseguita calcolando la media di 120 trasformate di Fourier veloci (FFT) che includono ciascuna 1 s di dati con una sovrapposizione del 50% e che utilizzano la finestra di Hanning per ridurre la dispersione spettrale. I dati medi di 1 minuto sono stati archiviati come densità spettrali di potenza (risoluzione 1 Hz) e sommati in frequenza per calcolare i livelli di banda. I livelli di banda decedecade qui utilizzati in conformità agli standard sono molto simili ai livelli di banda di 1/3 di ottava.

L'appendice A.2 elenca le frequenze in terzi di ottava.

2.4.2. Livelli sonori ricevuti dalle navi

I livelli sonori delle navi sono stati caratterizzati con l' L_P calcolato con una finestra Hanning di 1 secondo (sovrapposizione del 50%) per l'intervallo di frequenza 10Hz -20kHz. La rappresentazione dei livelli di rumore continuo secondo questa metrica e finestra temporale è coerente con i risultati ottenuti per il progetto JOMOPANS.

Una finestra di 1 secondo è stata proposta come compromesso tra la risoluzione in frequenza che dovrebbe essere sufficientemente lunga da rappresentare i 63Hz e i 125Hz che sono usati come indicatori per il Descrittore 11 Criterio 2 (D11C2) della Marine Strategy Framework Directive (MSFD) (European Commission 2017) per il rumore continuo ma sufficientemente breve per essere affine al tempo di integrazione di ~ 0,1 secondi dell'udito dei mammiferi (Merchant et al. 2018).

2.5. Modellizzazione

2.5.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione

Dato che il terminale FSRU non utilizza un sistema propulsivo con associate emissioni acustiche prodotte in predominanza dalle eliche, si può presupporre che il suo rumore si trasmetta principalmente tramite lo scafo; la profondità nominale della sorgente sonora utilizzata nella modellizzazione è stata quindi calcolata come la metà del pescaggio, cioè 6 metri. Combinando i livelli sonori ricevuti ai punti di misura con la modellizzazione delle perdite dovute alla propagazione si ottengono i livelli di sorgente che sono poi utilizzati per prognosticare l'impatto sui recettori biologici con la modellizzazione verso ogni punto nella regione d'interesse.

La retro-propagazione del livello ricevuto per stimare il livello di rumore irradiato (e per estensione il livello di sorgente) è relativamente facile in condizioni di mare aperto poiché il rumore generalmente segue leggi di diffusione sferica, rappresentate da $20 \cdot \log_{10}(R)$. Tuttavia, questo presupposto perde validità in condizioni di acque poco profonde a causa delle interazioni acustiche con il fondo e i substrati del sottofondo. Per tenere conto degli errori causati dall'interazione del fondale, sono stati sviluppati vari metodi e fattori di correzione per portare la stima della diffusione sferica in linea con il livello della sorgente in acque poco profonde. Il metodo SL.SCA dell'angolo critico del fondale marino (Ainslie et al. 2022) è uno di questi metodi, che include fattori di correzione dipendenti dalla gamma e dalla frequenza sia per l'interazione del fondale marino che per l'assorbimento acustico. Questo metodo, oltre ad essere di più semplice applicazione rispetto a modelli teorici più sofisticati (ad esempio MONM Bellhop, Appendice B), è risultato essere più accurato per la stima di livelli di sorgente ottenuti da registrazioni effettuate da ricevitori non-stazionari, come nel caso dei dati collezionati per questo studio.

In acque poco profonde, anche il suono riflesso dal fondo contribuisce alla pressione sonora ricevuta, che deve essere considerata nella perdita di propagazione. Ciò porta a una versione più generale dell'approssimazione impiegata nella ISO 17208-2 che include un termine per la riflessione del fondale tramite l'angolo critico del fondale, nonché un termine esplicito per l'arrivo diretto:

$$L_{S(SCA)} = L_{RN} - \Delta L_{SCA} + \Delta L_{\alpha} \quad (2)$$

$$\Delta L_{SCA} = 10 \log_{10} \sigma_1 + \frac{\psi}{rH} \sigma_{\psi} \text{ dB} \quad (3)$$

dove r è l'intervallo di inclinazione dalla sorgente al ricevitore e H è la profondità dell'acqua. I termini di correzione per il percorso diretto - interferenza della superficie (σ_1) e il percorso diretto - interferenza del riflesso del fondale marino (σ_{ψ}) sono riportati nelle equazioni 4 e 5.

$$\sigma_1 \approx \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4\eta \sin^2 \theta} \right)^{-1} ; \eta = k^2 d^2 \quad (4)$$

$$\sigma_{\psi} \approx \left(\frac{1}{2} + \frac{3}{4\eta \sin^2 \psi} \right)^{-1} \quad (5)$$

dove il numero d'onda $k = \frac{2\pi f}{c}$, e la profondità della sorgente $d = 6.5\text{m}$. Questo approccio include il fattore di assorbimento (ΔL_{α}) descritto da Ainslie and McColm (1998). La derivazione dei vari termini inclusi nel metodo è discussa in dettaglio in (Ainslie et al. 2022, MacGillivray et al. 2022)

2.5.2. Stima dell'impatto sui mammiferi marini

I contorni di soglia del livello sonoro sono calcolati partendo dai campi tridimensionali di livelli acustici stimati dai modelli di propagazione (in questo caso MONM-Bellhop, Appendice B), assegnando ad ogni posizione geografica nella regione d'interesse il livello massimo su tutte le profondità modellate.

Le distanze a cui livelli specifici vengono raggiunti sono calcolate da questi contorni. Per ogni livello sonoro d'interesse sono riportate due distanze relative alla sorgente: (1) R_{max} , la portata massima di un certo livello sonoro in qualsiasi direzione, e (2) $R_{95\%}$, la portata di quel livello sonoro dopo che il 5% dei punti più lontani sono stati esclusi (vedi esempi in Figura 8).

L' $R_{95\%}$ viene utilizzato perché i contorni del livello sonoro sono spesso di forma irregolare. In alcuni casi, un contorno potrebbe presentare piccole sporgenze o frange isolate anomale. Ciò è dimostrato nell'esempio a sinistra in Figura 8. In casi come questo, R_{max} può sovrastimare incorrettamente l'estesa della regione esposta a tali livelli e $R_{95\%}$ è considerato più rappresentativo. Al contrario, in casi di forte asimmetria radiale come mostrato a destra nella Figura 8, $R_{95\%}$ trascura sostanziali sporgenze nella distribuzione del livello sonoro, e R_{max} può rappresentare meglio la regione di effetto in certe direzioni. Casi come questo sono solitamente associati a proprietà della batimetria che influenzano la propagazione acustica. La differenza tra R_{max} e $R_{95\%}$ dipende dalla direttività della sorgente e dalla non uniformità dell'ambiente acustico.

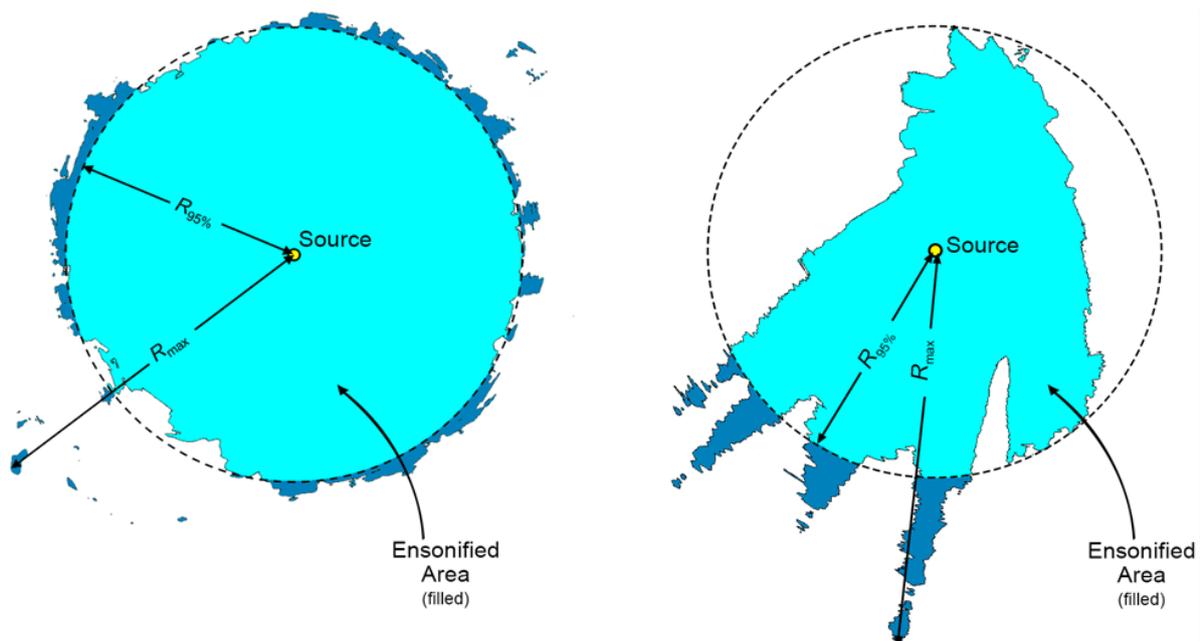


Figura 8. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; e (destra) una distribuzione di livello sonoro fortemente asimmetrica con lunghe sporgenze, per la quale R_{max} meglio rappresenta le aree insonificate in alcune direzioni. L'azzurro indica le aree insonificate delimitate da $R_{95\%}$; il blu più scuro indica le regioni limitrofe che determinano R_{max} .

3. Risultati

La prima parte di questo studio è consistita nell'analizzare i dati acustici registrati durante le quattro stagioni di campionamento; questi risultati sono presentati nella sezione 3.1. Successivamente, i livelli a banda larga e in bande di decedecade ottenuti dalle misure sono stati utilizzati nella modellizzazione tramite il modello SL.SCA per ottenere i livelli di sorgente del Terminale. Questi sono stati usati come input per stimare i campi di livello sonoro riferiti alla posizione dell'FSRU Toscana come punto sorgente (sezione 3.2) per la valutazione dell'impatto del suono sui mammiferi marini; effettuata utilizzando il modello di propagazione MONM-Bellhop.

3.1. Livelli ricevuti

I dati acustici ricevuti sono stati analizzati tramite la generazione di spettrogrammi per evidenziare le frequenze di rilievo.

Esempi di spettrogrammi del segnale acustico per ciascuna stagione sono presentati dalla Figura 9 alla Figura 11.

I livelli ricevuti a 10km dal terminale FSRU Toscana sono presentati ma sono stati esclusi dall'analisi successiva in quanto il ricevitore era troppo lontano dalla sorgente per ottenere livelli caratteristici del terminale. Il rumore subacqueo a 10km dall'FSRU è infatti dominato da altre sorgenti di rumore situate più in prossimità dell'idrofono, come ad esempio navi di passaggio. L'ispezione visuale degli spettrogrammi per le diverse stazioni di campionamento (100m e 1000m) ha rivelato che alcune delle misurazioni sono state fatte in presenza di imbarcazioni nell'area circostante al ricevitore; in questi casi, le emissioni acustiche del terminale sono state mascherate dai segnali acustici delle imbarcazioni limitrofe. Di conseguenza, alcuni dati sono stati scartati dall'analisi e quindi esclusi dal calcolo dei livelli di sorgente, come dettagliato nelle sezioni 3.1.1-3.1.3.

Inoltre, la campagna di monitoraggio della stagione E21 venne effettuata durante operazioni di manutenzione/modifica del terminale FSRU che, come dimostrato dall'analisi dei dati, non sono rappresentative del suo assetto standard. I risultati per la stagione E21 sono dunque inclusi come appendice (Appendice E) a questa relazione ma non utilizzati per ottenere i livelli di sorgente o per il calcolo delle zone di impatto sui mammiferi marini.

3.1.1. Autunno 2020 (A20)

I dati per la stagione dell'autunno 2020 (A20) sono stati registrati fra il 7-13 novembre 2020 per le stazioni a 10km di distanza dal FSRU e durante il 14-15 dicembre 2020 per le stazioni a 100m e 1km di distanza dal terminale. Durante tutte le registrazioni, il terminale aveva la stessa modalità operativa (holding mode, come descritto in dettaglio nell' Appendice C, Tabella C-2).

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m, 1km e 10km dal terminale in una direzione cardinale (est) sono presentati nella Figura 9. Negli spettrogrammi sono visibili le seguenti sorgenti (maggiori dettagli e spettrogrammi specifici per queste sorgenti sono presentati nell'Appendice D):

- A 100m dal rigassificatore (Figura 9 in alto), la parentesi rossa indica toni continui costanti a frequenze comprese fra i 300 e i 900 Hz che sono dovuti al funzionamento del terminale.
- A bassissime frequenze (indicate dalla parentesi nera (Figura 9 in alto) sotto i 40Hz, sia a 100m che a 10km dal terminale è presente rumore di flusso dell'idrofono.
- Artefatti del sistema di acquisizione dei dati (Figura 9 in alto, frecce nere) sono visibili in tutte le registrazioni, sebbene nello spettrogramma per la distanza di 10km non siano altrettanto evidenti in quanto dominati da un rumore prevalente a frequenze più basse (rosso scuro, parentesi verde Figura 9 in basso).

- L'emissione acustica di una turbina del terminale è ben visibile a ~16kHz per la registrazione a 100m e rilevata anche a 1km.
- Rumore causato dal movimento del cavo dell'idrofono maschera altri suoni nella registrazione fatta a 10km dal terminale (parentesi verde, Figura 9 in basso).

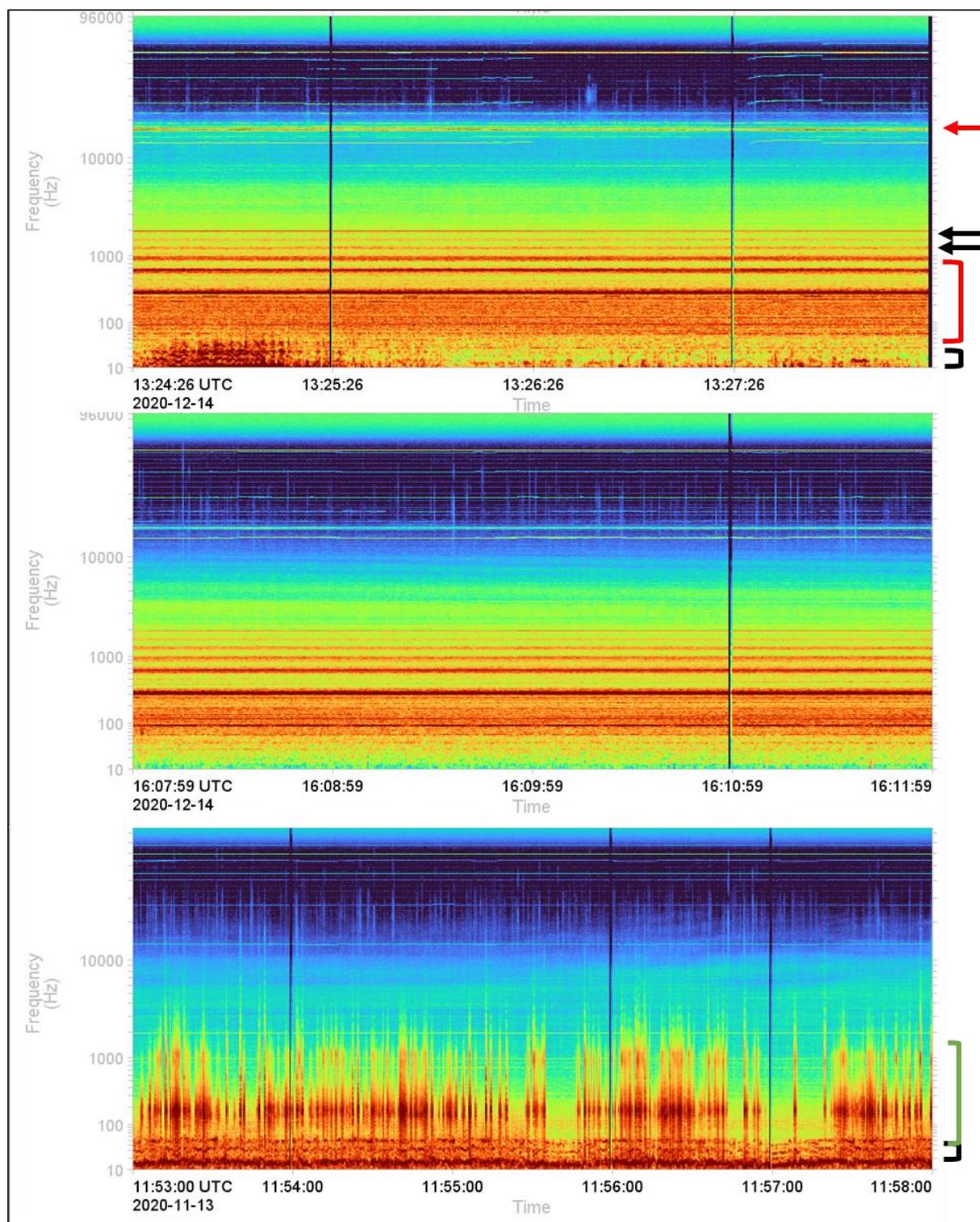


Figura 9. Stagione A20: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m (in alto) a 1km (in mezzo) e 10km (in basso) di distanza e profondità di 8 metri.

3.1.2. Inverno 2021 (I21)

I dati per l'inverno 2021 (I21) sono stati registrati fra il 6 marzo e il 2 aprile; uno o due giorni sono stati dedicati a ciascuna direzione cardinale e quindi dati ottenuti lo stesso giorno sono in linea di massima lungo lo stesso transetto almeno per i 100m e 1km di distanza dal terminale. I dati del 17 marzo corrispondenti ai campionamenti a est e nord a 10 km sono stati esclusi in quanto quel giorno è avvenuto un allibo; negli altri giorni di monitoraggio la modalità operativa riportata era di holding, sempre con la stessa attrezzatura attiva (Tabella C-2).

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m, 1km e 10km dal terminale in una direzione cardinale (est) sono presentati nella Figura 10. Come nell'esempio per la stagione precedente, negli spettrogrammi si possono identificare le seguenti caratteristiche:

- Suoni non dovuti all'attività del terminale
 - il rumore di flusso dell'idrofono
 - gli artefatti del sistema di acquisizione del segnale (3kHz e relative armoniche, e 20kHz e relative armoniche).
 - verso la fine dell'acquisizione un rumore spurio di volume elevato di sorgente sconosciuta non collegata alle operazioni del terminale localizzata in prossimità dell'idrofono (~100m dalla sorgente)
 - nave in lontananza
- Suoni relativi alle operazioni del terminale come già descritti nella sezione precedente.

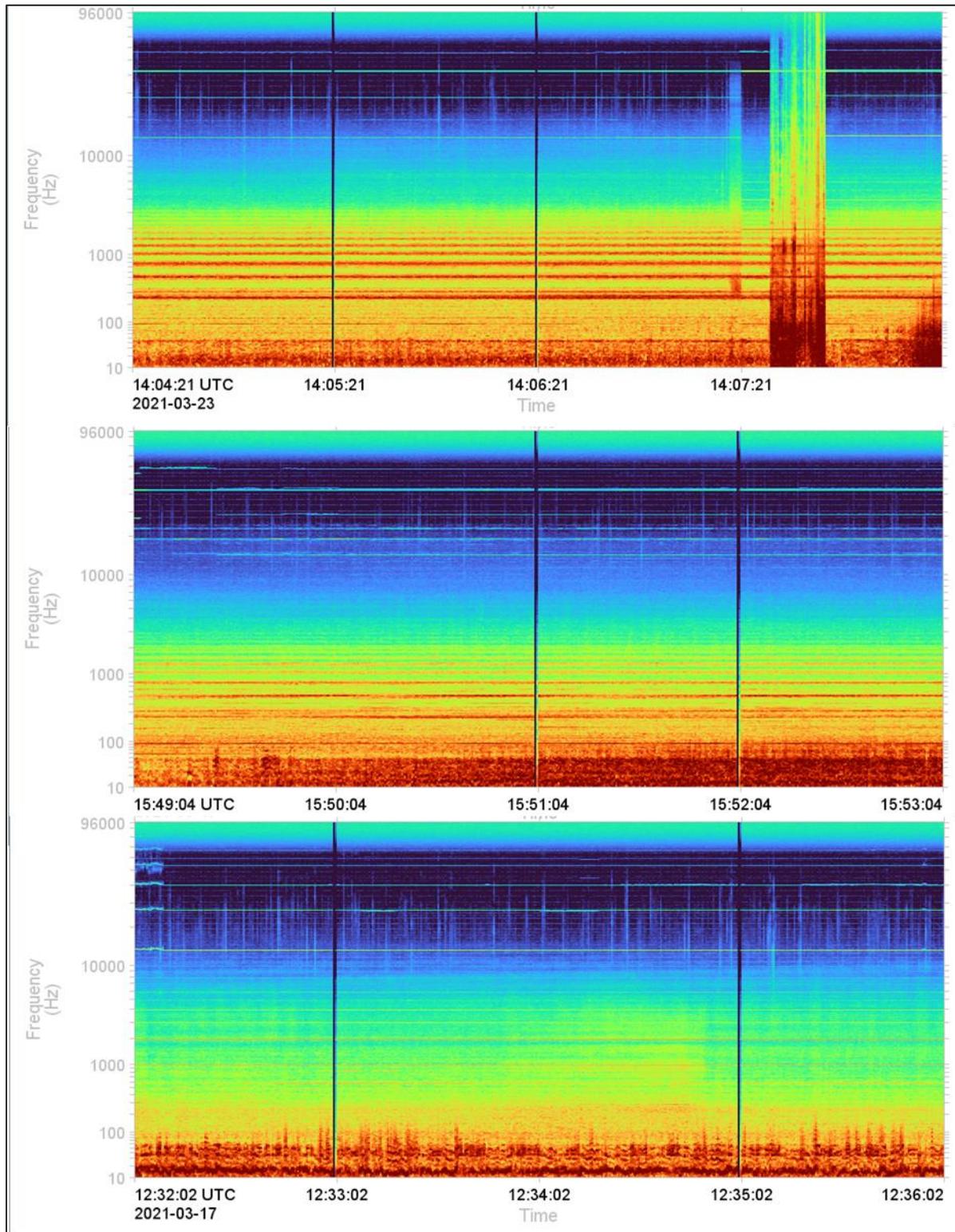


Figura 10. Stagione I21: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m (in alto) a 1km (in mezzo) e 10km (in basso) di distanza e profondità di 55 metri.

3.1.3. Primavera 2021 (P21)

I dati per la primavera 2021 (P21) sono stati registrati fra il 2 e il 15 giugno; le registrazioni dei 100m in tutte le direzioni cardinali sono state effettuate nella stessa giornata (4 giugno) mentre quelle per le altre distanze sono state eseguite il 2, 3, 10 e 15 giugno. Durante tutti i giorni di monitoraggio la modalità operativa riportata era di holding, sempre con la stessa attrezzatura attiva (tabella C-2).

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m, 1km e 10km dal terminale in una direzione cardinale (nord) sono presentati nella Figura 11. In questo caso, per tutte le distanze è possibile notare la presenza di navi che mascherano il segnale del terminale FSRU, come visibile negli spettrogrammi fra 100Hz e circa 2kHz. Di conseguenza, questi dati non sono stati inclusi nell'analisi successiva per la stima dei livelli di sorgente. Lo stesso vale per le registrazioni effettuate nella direzione sud a 100m.

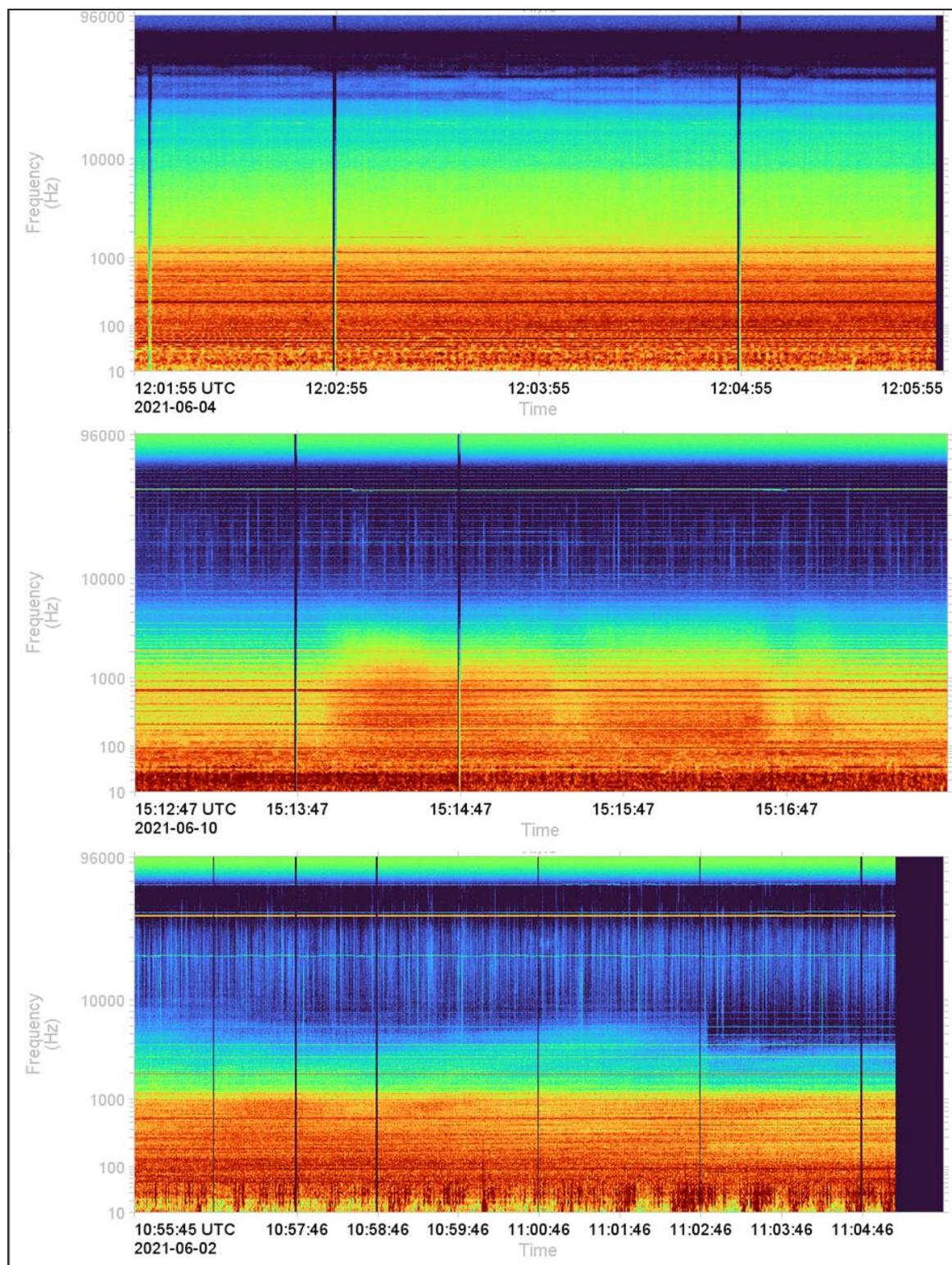


Figura 11. Stagione P21: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a nord del terminale FSRU a 100m (in alto) a 1km (in mezzo) e 10km (in basso) di distanza e profondità di 55 metri.

3.1.4. Confronto Inter-stagionale

In tutte le registrazioni sono stati individuati degli artefatti del sistema di acquisizione già descritti nella sezione 2.2.1; esempi dettagliati di tali segnali sono presentati nell' Appendice D.1. Inoltre, è possibile notare nelle basse frequenze (sotto i 40Hz) rumore spurio dovuto al flusso dell'acqua. Nel Capitolo 4.1 sono identificate le limitazioni dell'acquisizione dei dati per questa campagna e le migliorie messe in atto già dalla campagna Primavera 2022 (P22) inerente al 9° anno di monitoraggio del Rumore.

I seguenti segnali relativi al funzionamento del terminale FSRU Toscana sono stati individuati nelle registrazioni:

- Frequenze comprese fra i 400 e i 900 Hz: produzione di corrente alternata (AC) a 50 cicli per secondo (50Hz) comune nei motori a 2 poli e altri motori AC.
- Frequenze a banda stretta da basse a medie frequenze a distanze di 49.445 Hz, 49.395 Hz, 48,663 Hz e 48,128 Hz motori a 4 poli che funzionano contemporaneamente.
- Tono discreto a ~14kHz o a ~16kHz dovuto al funzionamento delle turbine del terminale. La variazione in frequenza dipende dall'assetto operativo del terminale, per esempio il carico. L'analisi manuale dei segnali a questa frequenza ha rilevato che esse sono stabili e sotto carico elettrico.
- Tono discreto e stabile a ~47kHz dovuto a un'ulteriore turbina del terminale. Questo è visibile in molte delle registrazioni. Le armoniche di questo tono sono oltre la frequenza campionata.

Nelle registrazioni in cui sono state osservate le caratteristiche elencate qui sopra non si rilevano segnali da gruppi elettrogeni diesel, né si osservano strutture acustiche di interferenza con la superficie o componenti relativi alla propulsione (albero, ingranaggi, timone, pale). Questo significa che non sono presenti altre sorgenti derivanti da navi in movimento se non il terminale FSRU Toscana nelle vicinanze del ricevitore.

La modalità operativa per il terminale per le tre stagioni considerate per la stima dei livelli di sorgente è sempre stata riportata come holding, cioè l'attività "standard" di rigassificazione del terminale in assenza di scarico di GNL da nave metaniera. Durante le attività di campionamento alcune attrezzature (1-5 compressori) legate alla correzione con azoto del GNL (pertanto legate alla tipologia di gas rigassificato) erano attive; in particolare, sempre in Autunno 2020, nelle sole giornate di acquisizione a 100m dal terminale in I21, e mai in P21.

Oltre alla sorgente d'interesse, cioè il terminale FSRU Toscana, l'analisi manuale dei dati ha individuato altre navi sorgenti di rumore subacqueo. Queste sono riassunte nella Tabella 6 e descritte in maggiore dettaglio nell' Appendice D.3. Queste sorgenti sono state escluse dalla stima dei livelli di sorgente in quanto non rappresentative delle caratteristiche acustiche del terminale isolato che è oggetto di questo studio.

Tabella 6. Specifiche delle navi identificate tramite l'analisi manuale di un campione casuale di registrazioni.

Nave	Tipo	MMSI	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	Stazza lorda (tonnellate)	Motore	Elica	Riconducibile alle operazioni del terminale?
Corrado Neri	Rimorchiatore	247267800	35	14	6.5	733	2 MAN 9L27/38, MCR 6120 kW @ 800 rpm each; total 8.300 Hp	2 SCHOTTEL SRP 3030CP	si
Costante Neri	Rimorchiatore	247277300	35	14	6.5	733	2 MAN 9L27/38, MCR 6120 kW @ 800 rpm each; total 8.300 Hp	2 SCHOTTEL SRP 3030CP	si
LNG Express (Hamatra I)	Rimorchiatore	247296700	25.5	6.18	1.7	58	Caterpillar C32 TTA - 2200 bhp @1900-2100rpm	Non disponibile	si
LNG Guardian	Rimorchiatore	247316200	45	12.5	5.2	927	2xMaK 6M 25C 2000 kW @750rpm	Non disponibile	si
Toscana	Rimorchiatore	247344100	28.9	13.23	5.6	431	2x Caterpillar - 2525 KW @ 1800 rpm	2 Rolls Royce US 255 P30 FP	si
Sconosciuta di origine nordamericana	Non disponibile	2 motori sconosciuti	Non disponibile	No					
Sconosciuta	Non disponibile	motore a due tempi @ 569,4 rpm	Non disponibile	No					
Sconosciuta	Non disponibile	V-14 o 7 cilindri @ 536 rpm	Non disponibile	No					
Sconosciuta	Portarinfuse						motore a 2 tempi	Non disponibile	No
Sconosciuta	Diporto						motore a 4 tempi @ 857.4 rpm	Non disponibile	no

Il livello medio in banda larga non ponderato di L_{P1s} (20Hz-20kHz) e i livelli per le bande in 1/3 di ottava rappresentative del rumore continuo (63 Hz e 125 Hz) per ogni attività e profondità sono presentati nella Tabella 7.

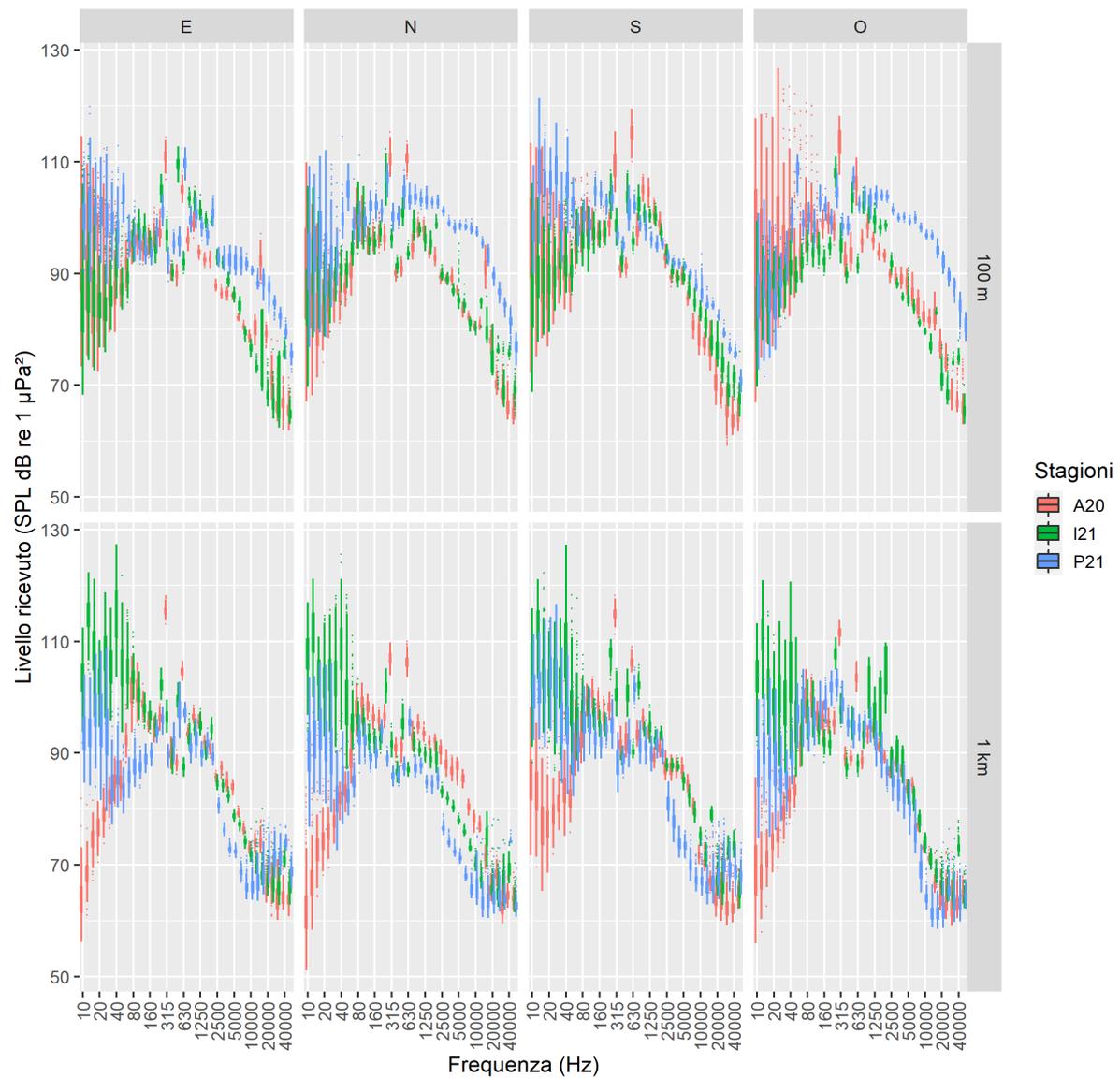


Figura 12. Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1s per misurati a 8m di profondità per le distanze di 100m e 1km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.

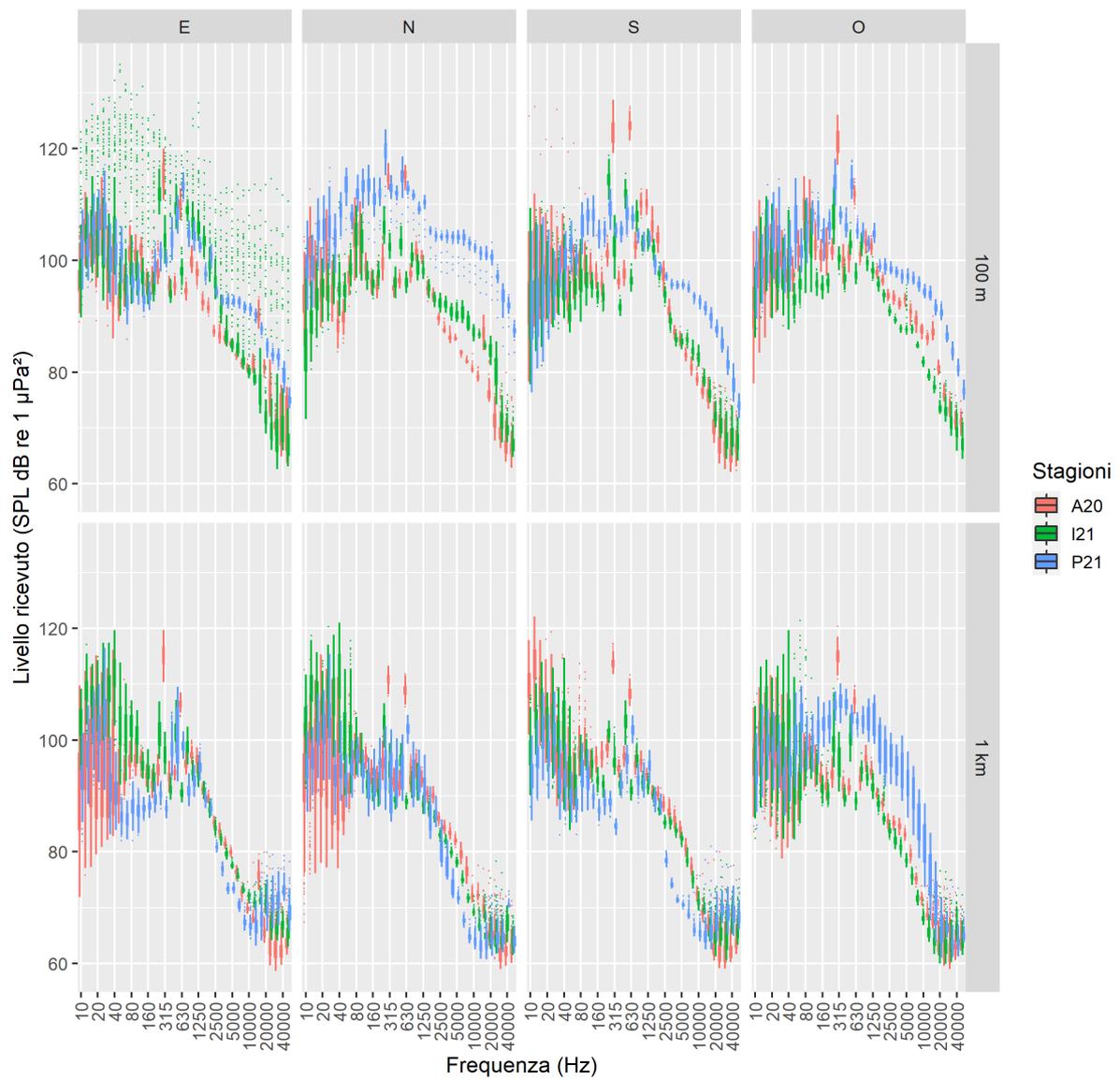


Figura 13. Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1s per misurati a 55m di profondità per le distanze di 100m e 1km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.

Tabella 7. L_p mediani nella finestra temporale di 1 secondo per la banda larga (20Hz-20kHz) e per le bande in 1/3 ottava incentrate a 63Hz e 125Hz per ogni stagione e profondità di campionamento.

Stagione	Distanza (m)	Banda larga - 10Hz - 20kHz		Banda larga 10Hz-50kHz		63 Hz		125 Hz	
		8m	55m	8m	55m	8m	55m	8m	55m
A20	100	115.7	120.8	115.7	120.7	92.4	97.4	96.7	100
	1000	114.5	117.4	114.5	117.4	91.2	91.7	98.6	96.2
	10000	101.9	102.9	101.9	102.9	88.85	90.8	89.3	89
I21	100	112.4	117.0	112.4	117.0	93.2	96.2	96.1	96.4
	1000	121.3	118.9	121.3	118.9	104.4	101.3	98.0	95.6
	10000	108.6	114.8	108.6	114.8	89.2	97.55	89.95	93.2
P21	100	116.9	118.7	116.9	118.7	98.6	92.50	103.95	93.1
	1000	110.4	111.5	110.4	111.5	92.1	88.7	93.15	89.9
	10000	109.9	108.7	109.9	108.7	91.2	93.3	85.2	86.2

3.2. Livelli di sorgente

Per stimare i livelli di sorgente, sono state calcolate le distanze oblique fra il ricevitore (idrofono) e la sorgente. La sorgente è stata considerata fissa rispetto alle coordinate del terminale FSRU sebbene sia noto che il terminale ruoti a seconda delle condizioni meteo. Inoltre, l'angolo di incidenza è stato calcolato per verificare se le registrazioni rientrassero nel range dei 15-45 gradi che sono suggeriti dal metodo SL.SCA per la stima dei livelli di sorgente (Figura 14). Nella Figura 14 i livelli sono presentati per ogni banda terzo d'ottava (decade) ed è possibile notare che i livelli aumentano con l'aumentare della distanza dalla sorgente. Ciò è indicativo del fatto che con l'aumentare della distanza del ricevitore, i livelli di trasmissione del suono possono essere stati sovrastimati. La Figura 14 mostra anche l'angolo radente fra la sorgente e il ricevitore; le misurazioni sono state effettuate per lo più al di fuori dell'angolo radente consigliato per la stima dei livelli di sorgente. Ciò significa che maggiore incertezza sul calcolo dei livelli di sorgente è presente. Ciononostante, il metodo SCA è comprovato essere uno dei più robusti per la stima del livello di sorgente perché tiene conto delle caratteristiche geo-acustiche del sedimento (MacGillivray et al. 2022).

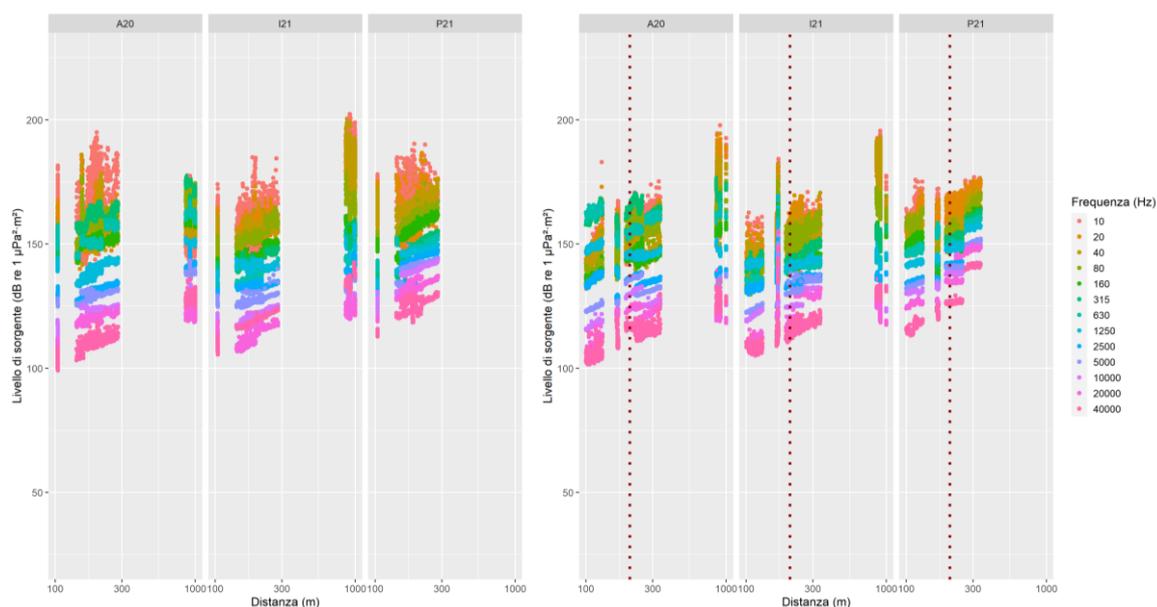


Figura 14. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente (a sinistra, 8m e a destra 55m di profondità) calcolati in bande di terzi di ottava suddivisi per ogni stagione. Le linee verticali indicano la fascia di portata per gli angoli radenti a 15 gradi rispettivamente per l'idrofono a 55 m.

Le perdite di trasmissione modellate utilizzando il metodo SL.SCA sono state calcolate dalla sorgente al ricevitore (cioè l'idrofono) utilizzando le misurazioni ottenute alle stazioni nominali di 100m e 1000m dal terminale FSRU Toscana. I dati ottenuti a 10km dalla sorgente sono stati esclusi a priori dalla stima dei livelli di sorgente perché troppo lontani e non ritenuti rappresentativi delle caratteristiche della sorgente, come spiegato in precedenza. Dopo un'analisi dettagliata dei risultati ottenuti, è stato inoltre deciso di utilizzare solo le stime ottenute dalle registrazioni a 100 m nominali dal FSRU per la stima dei livelli di sorgente che sono stati utilizzati per calcolare i livelli di insorgenza di disturbo comportamentale per i mammiferi marini. Tale scelta è stata dettata dal fatto che i livelli a 1km di distanza appaiono meno accurati rispetto a quelli ottenuti più in prossimità della sorgente per i seguenti motivi:

- I livelli di sorgente calcolati aumentano con la distanza, come visto nella Figura 14
- I livelli calcolati oltre circa i 500m mostrano dati inusuali, per esempio un aumento esponenziale di livelli ad alte frequenze (Figura 15)
- I livelli di sorgente calcolati in prossimità della sorgente mostrano risultati più coerenti, come è evidente dal fatto che i dati mostrati in blu scuro siano concentrati attorno a livelli simili rispetto a quelli azzurri (Figura 15).

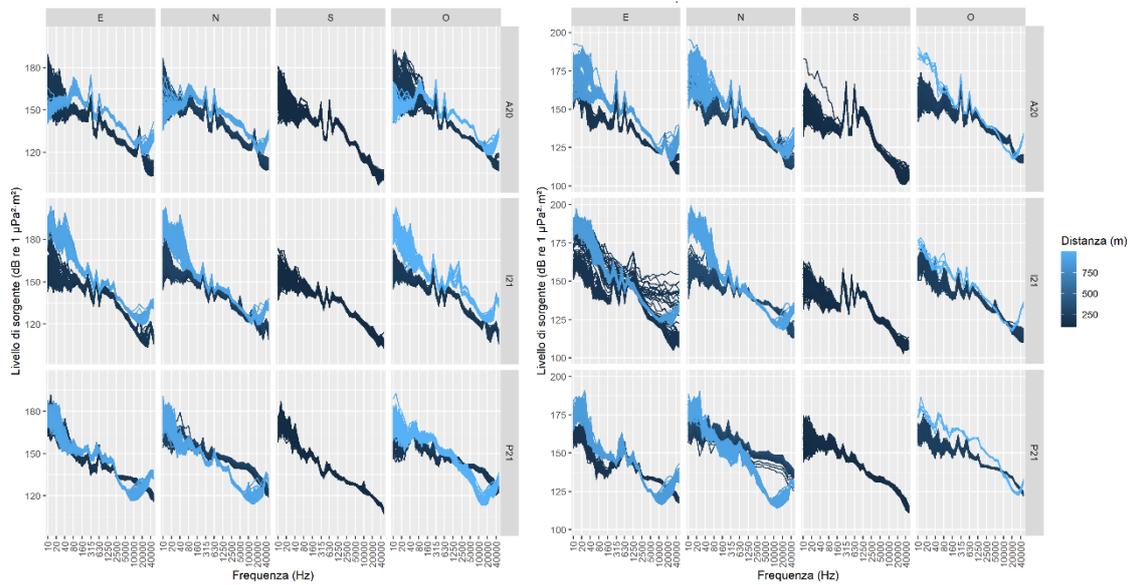


Figura 15. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente (a sinistra, 8m e a destra 55m di profondità) calcolati in bande di terzi di ottava suddivisi per ogni stagione e punto cardinale. Il colore da blu scuro ad azzurro indica in scala continua la distanza dalla sorgente a cui sono state effettuate le misurazioni.

La stima dei livelli di perdita di trasmissione (TL) è stata resa difficile dal fatto che per ogni campionamento solo pochi minuti (3-4) sono stati registrati e che le misurazioni a distanze differenti sono state generalmente fatte in giornate differenti, a volte a distanza di più di una settimana (le migliori del 9° anno di monitoraggio sono riportate al capitolo 4.1). I livelli sonori ambientali sono dunque differenti per i differenti giorni di campionamento, non consentendo di ottenere una stima accurata del TL. La stima effettuata sulla più breve distanza, cioè per i dati ottenuti alla distanza nominale di 100m, sono presentati nella Figura 16 per tutte le stagioni.

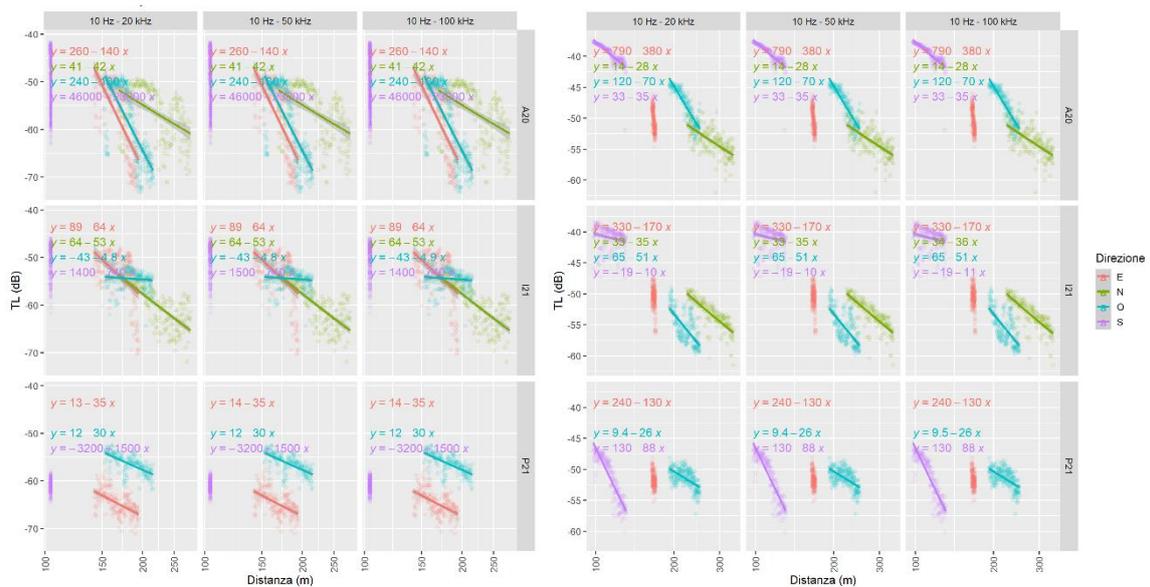


Figura 16. Grafico a dispersione della perdita di trasmissione massima sulla colonna d’acqua dalla sorgente al ricevitore (stazione di monitoraggio) per 8 (sinistra) e 55 (destra) metri di profondità.

I livelli di sorgente sono stati calcolati in ciascuna banda di frequenza per ogni stagione e profondità (Tabella 8) aggiungendo il TL ottenuto dalla modellizzazione ai dati di L_p nell’intervallo di 1 secondo.

Il novantesimo percentile dei valori delle sorgenti alle due profondità è stato usato come input al modello di propagazione per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini in modo da ottenere una stima conservativa (Figura 17).

Tabella 8. Livelli di sorgente (SL espressi in dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$) calcolati sulla banda larga (10Hz-25kHz) e per ogni banda 1/3 di ottava per ogni stagione combinando le diverse direzioni cardinali.

Frequenza (Hz)	A20 (SL dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$)	I21 (SL dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$)	P21 (SL dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$)
10.0	177.7	166.0	174.3
12.5	172.7	168.2	177.2
16.0	167.6	168.3	172.7
20.0	164.3	162.2	170.4
25.0	166.1	157.8	170.2
31.5	159.5	157.9	163.4
40.0	155.0	156.9	163.9
50.0	152.1	153.2	169.4
63.0	153.6	155.1	158.0
80.0	160.5	159.4	158.4
100.0	158.4	156.5	157.3
125.0	151.6	150.7	156.9
160.0	150.4	148.2	153.2
200.0	149.7	148.3	150.2
250.0	147.6	157.1	153.2
315.0	164.7	147.8	147.0
400.0	141.9	141.4	146.2
500.0	143.1	152.8	151.5
630.0	161.7	141.3	154.6
800.0	143.7	149.3	146.8
1000.0	147.8	146.8	146.0
1250.0	147.3	145.7	145.7
1600.0	142.7	143.4	145.6
2000.0	140.7	141.5	145.3
2500.0	136.9	137.1	142.8
3150.0	135.0	136.6	141.3
4000.0	134.3	135.3	141.4
5000.0	135.2	134.7	140.6
6300.0	132.6	135.1	141.1
8000.0	130.6	133.5	139.5
10000.0	129.3	131.8	138.2
12500.0	128.2	130.9	138.1
16000.0	134.2	129.0	135.5
20000.0	123.9	128.9	134.4
25000.0	120.0	125.0	131.6
Banda larga (10Hz-25kHz)	179.9	173.8	181.4

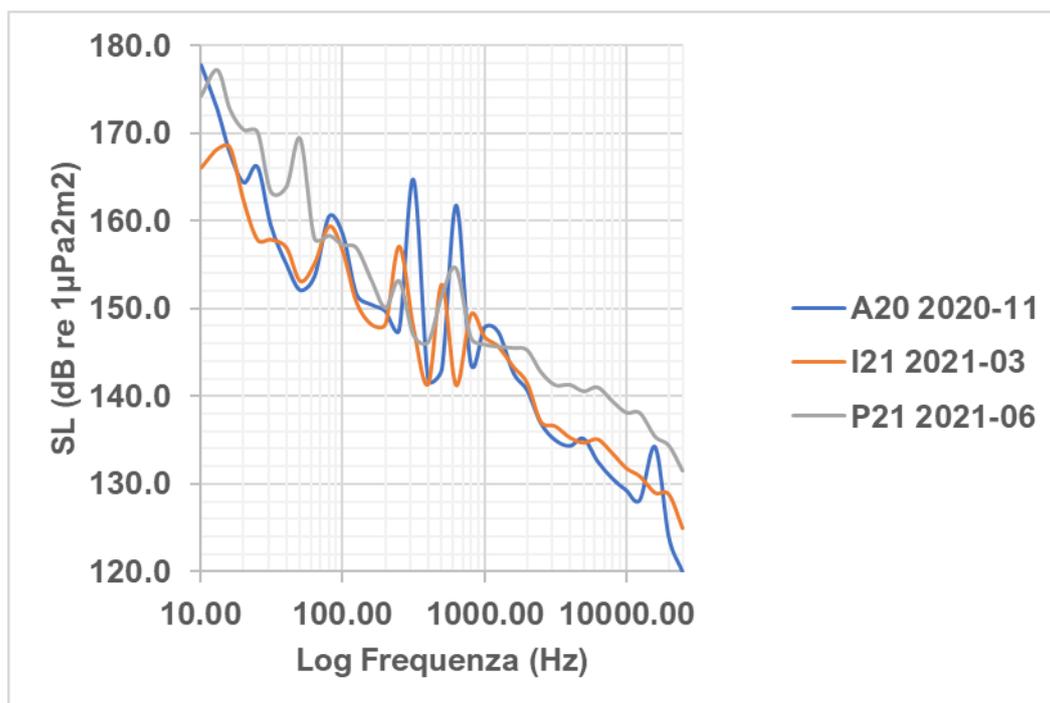


Figura 17. Livelli di sorgente (in bande decedecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.

3.3. Impatto sui mammiferi marini

L'impatto del rumore sui mammiferi marini è stato valutato principalmente con riguardo al disturbo comportamentale.

Le distanze a cui specifici livelli di L_P (valori soglia per i disturbi comportamentali) vengono ecceduti sono presentate nella Tabella 9 e nelle Figure 18-20 per ciascuna delle stagioni di monitoraggio. I risultati sono discussi nella Sezione 4, nel contesto delle soglie comportamentali identificate per i diversi gruppi uditivi da Borsani and Farchi (2011) e nel più recente studio di Gomez et al. (2016). Le distanze di impatto sono presentate in termini del livello sonoro massimizzato su tutte le profondità, tanto come distanze massime (R_{max}) che come $R_{95\%}$; quest'ultimo è più rappresentativo della distribuzione dei dati rispetto a R_{max} .

Le mappe mostrano che la propagazione avviene in una direzione preferenziale, cioè quella verso ovest, seguendo la batimetria dell'area. Verso la zona costiera, l'acqua diventa poco profonda e qui si ha una diminuzione rapida dal suono. Inoltre, l'isola di Gorgona, a sud-ovest del terminale FSRU Toscana, costituisce una barriera naturale (Figure 22-26).

La stagione che presenta le maggiori distanze d'impatto appare essere l'autunno 2020. Le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra 3.9 e 7.9 km per L_P di 100 dB re 1 μPa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a bassa frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011), fra 1.8-1.9 km per L_P di 110 dB re 1 μPa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011, ovvero alta frequenza secondo Southall 2019), e sono sempre al di sotto della soglia di L_P di 140 dB re 1 μPa (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei alta frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011, ovvero a frequenza molto alta secondo Southall 2019). Inoltre, i più recenti criteri sull'impatto comportamentale dei mammiferi marini (Southall et al. 2019, ACCOBAMS, 2020)

sono basati su una soglia unica per tutti i gruppi uditivi fissata a L_p di 120 dB re 1 μ Pa; questa soglia viene ecceduta per un massimo di ~500m dal terminale FSRU nel peggiore dei casi.

L'impatto cumulativo con riferimento alle soglie di insorgenza di Permanent Threshold Shift (PTS) e Temporary Threshold Shift (TTS) in base a Southall et al. (2019) sono state calcolate per determinare le distanze a cui sussiste il rischio di questi danni fisici ai mammiferi marini. I risultati tabulati per queste soglie sono presentati nella Tabella 10 per i gruppi uditivi potenzialmente presenti nell'area di studio. La PTS non viene mai ecceduta, mentre la TTS per i cetacei a bassa frequenza viene ecceduta entro un raggio di 110 metri nel peggiore dei casi (A20) e per i cetacei a frequenza molto alta solo nel caso di P21 entro 70 metri dal terminale (Tabella 10). Nell'area del Terminale, i cetacei più comuni sono delfinidi appartenenti al gruppo uditivo ad alta frequenza secondo la classificazione di Southall (2019), ovvero media Frequenza secondo Borsani 2011. Occasionalmente cetacei a bassa frequenza (balenottere) sono riscontrabili nell'area ma per lo più di passaggio; è quindi improbabile che essi vengano esposti al suono del Terminale per 24 ore consecutive. In ultimo, i cetacei sensibili a frequenze molto alte (VHF, Southall 2019) non sono presenti nell'area.

Tabella 9. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.

L_p non ponderato (dB re 1 μ Pa)	A20 2020-11		I21 2021-03		P21 2021-06	
	Rmax (km)	R95 (km)	Rmax	R95	Rmax	R95
170	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-
140 ^d	0.05	0.05	-	-	0.05	0.05
130	0.16	0.16	0.07	0.07	0.21	0.21
120 ^c	0.56	0.54	0.34	0.32	0.47	0.46
110 ^b	2.15	1.93	1.07	1.01	1.95	1.84
100 ^a	10.2	7.84	4.53	3.87	6.23	5.65

a: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (Borsani and Farchi 2011) e per i delfinidi (cetacei ad alta frequenza usando la nomenclatura di Southall 2019) secondo (Gomez et al. 2016).

b: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza e per i pinnipedi focidi in acqua (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011))

c soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale per tutti i gruppi uditivi esposti a rumore continuo secondo ([ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea and [CMS] The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals 2013)

d: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di frequenza molto alta (riferiti come di alta frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).

Tabella 10. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini.

Gruppo uditivo (nomenclatura secondo Southall 2019)	Danno uditivo	SEL ponderato (dB re 1 μPa^2 m)	A 20 2020-11		I21 2021-03		P21 2021-06	
			Rmax (km)	R95 (km)	Rmax (km)	R95 (km)	Rmax (km)	R95 (km)
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	PTS	199	-	-	-	-	-	-
	TTS	179	0.11	0.11	0.05	0.05	0.05	0.05
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	PTS	198	-	-	-	-	-	-
	TTS	178	-	-	-	-	-	-
Cetacei – frequenze molto alte Very High frequency (VHF) cetaceans	PTS	173	-	-	-	-	-	-
	TTS	153	-	-	-	-	0.07	0.07
Pinnipedi focidi in acqua Phocid Pinnipeds in Water	PTS	201	-	-	-	-	-	-
	TTS	181	-	-	-	-	-	-

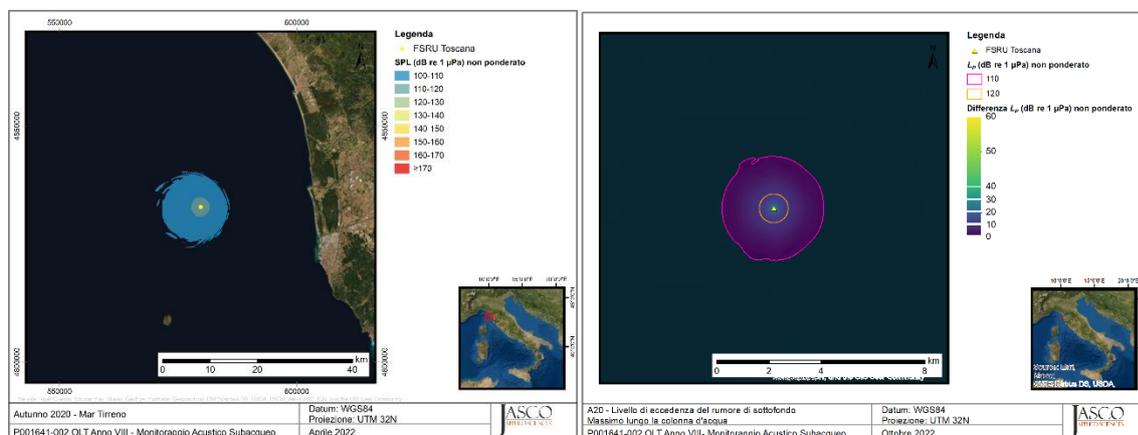


Figura 18. Stagione A20 2020-11: Mappa che mostra la L_p e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

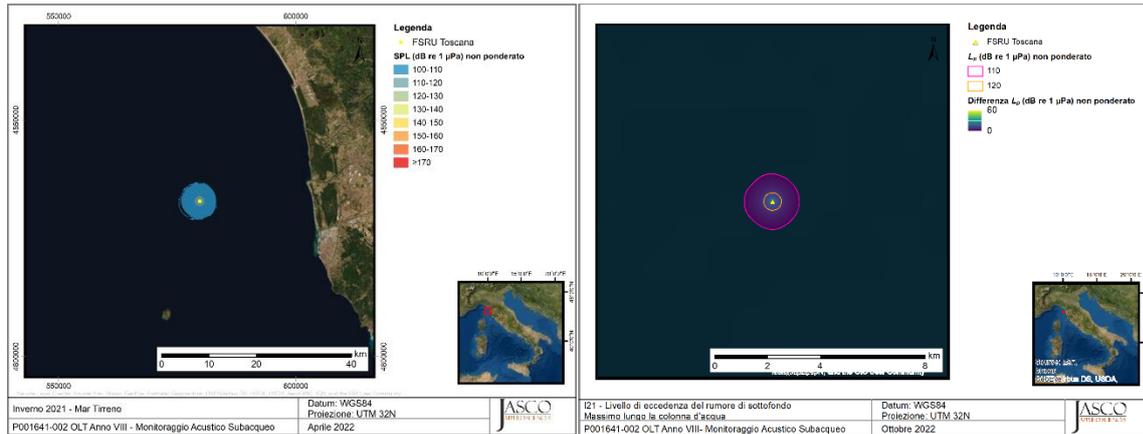


Figura 19. Stagione I21 2021-03: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

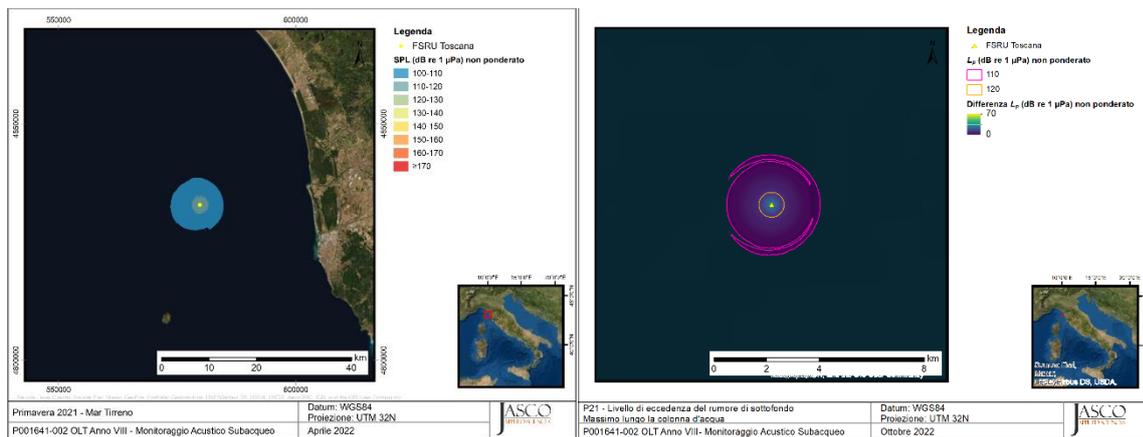


Figura 20. Stagione P21 2021-06: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

4. Discussione e Conclusioni

Lo scopo di questo studio è di presentare i livelli sonori misurati in quattro campagne di registrazione durante le operazioni standard del terminale FSRU Toscana nell'ottavo anno di monitoraggio, ottenere i relativi livelli di sorgente tramite retro-propagazione dei livelli ricevuti sino a 1 metro dalla sorgente, ed infine determinare le distanze di impatto sui mammiferi marini per queste attività. Il monitoraggio è eseguito con frequenza stagionale in ottemperanza col piano di monitoraggio dell'ambiente marino. Di conseguenza, i dati acustici sul rumore subacqueo sono stati acquisiti per ogni stagione dell'anno a partire dall'autunno 2020 fino all'estate 2021, inclusi (A20, I21, P21, E21).

Poiché i dati dell'estate 2021 sono stati acquisiti durante un periodo di manutenzione straordinaria/modifica non si sono potuti includere nella stima dei livelli di sorgente in quanto il terminale era non operativo e lavori di natura differente rispetto alla rigassificazione avevano luogo. Inoltre, alcuni dati registrati nelle altre stagioni hanno dovuto essere esclusi perché contaminati dalla presenza di navi che hanno mascherato le caratteristiche acustiche del terminale.

Le sorgenti riscontrate nelle registrazioni sono tutte di tipo continuo, come definito nella MSFD. Gli indicatori del Descrittore 11 Criterio 2 (D11C2) della MSFD sono le frequenze di 63 Hz e 125 Hz. I livelli mediani di L_{P1s} misurati a 63 Hz sono compresi fra i 92 e 97 dB re 1 μ Pa a 55m di profondità e fra i 92 e 98 dB re 1 μ Pa a 8m di profondità per tutte le stagioni basandosi sulla distanza nominale di 100m (Figura 12, Tabella 7). I livelli mediani di L_{P1s} misurati a 125Hz sono compresi fra i 93 e 100 dB re 1 μ Pa a 55m di profondità e fra i 96 e 104 dB re 1 μ Pa a 8m di profondità per tutte le stagioni (Figura 12, Tabella 7).

I livelli misurati sopra il termoclino sono meno elevati di quelli misurati sotto il termoclino per le stagioni di autunno e inverno, mentre l'opposto è vero per la primavera. Non sono state rilevate differenze sostanziali nei livelli ricevuti a seconda della direzione di monitoraggio (cioè in base al punto cardinale); bisogna però considerare che le registrazioni sono di durata molto breve, tipicamente 3 o 4 minuti e quindi esse non consentono di valutare statisticamente qualsiasi differenza. Inoltre, non tutti i dati alla stessa distanza dalla sorgente sono stati ottenuti durante lo stesso giorno, ma a volte essi sono stati registrati a distanza di una settimana o più. È dunque difficile trarre conclusioni sulla direttività e propagazione del segnale nelle diverse direzioni.

Durante tutte le stagioni A20, I21 e P21 è possibile osservare toni continui e discreti associati all'attività dei generatori e delle turbine del terminale, ed ogni tono è stato rilevato con le sue armoniche (fino a 4 o 5 armoniche).

I livelli di sorgente calcolati includono picchi di frequenze che non sono dovuti alle operazioni del terminale ma alla metodologia di acquisizione dei dati acustici; questi picchi non possono però essere esclusi dall'analisi in quanto concomitanti ad altre frequenze di rilievo. Per esempio, sotto i 50 Hz il rumore di flusso attorno all'idrofono a volte maschera il tono radiato da sistemi elettrici a 50 Hz del terminale.

Le distanze a cui il livello soglia di 120 dB re 1 μ Pa L_P , preso in considerazione da (ACCOBAMS, 2013) per l'insorgenza del disturbo comportamentale per tutti i gruppi uditivi di mammiferi marini, sono raggiunte sono estremamente limitate; in effetti, i raggi di distanza dove sono state verificate potenziali eccedenze nei dintorni della lunghezza totale del terminale FSRU.

Se invece, si considerano i range delle soglie presentate in (Borsani and Farchi 2011), le eccedenze sono riscontrate per alcuni chilometri per i cetacei a bassa frequenza e per i cetacei ad alta frequenza; questi ultimi non sono però presenti nell'area d'interesse. Nonostante alcune soglie vengano eccedute secondo i criteri descritti in (Borsani and Farchi 2011), si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1 μ Pa L_P (livelli ecceduti per qualche chilometro) sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo e che la zona del Nord Tirreno è stato identificato come un hotspot di rumore subacqueo (Maglio et al. 2016). Sebbene nella letteratura non siano stati trovati studi del rumore ambientale per quest'area specifica, un recente

studio presentato per il mar Adriatico (Sertlek 2021) ha mostrato che livelli oltre i 120 dB re 1 μ Pa L_p (10Hz-10kHz) sono raggiunti nelle medie mensili in zone con traffico navale paragonabile all'area dell'FSRU che è situato fra importanti rotte di navigazione. Inoltre, uno studio condotto al largo del nord della Corsica ha verificato tramite misure sul campo che i livelli di sottofondo eccedono l' L_p di 100 dB re 1 μ Pa regolarmente data la presenza di rotte di navigazione altamente frequentate (Magnier and Gervaise 2020). La densità di traffico circostante al terminale FSRU Toscana (Figura 3) è paragonabile a quella riportata in questo studio. Dove hanno misurato nel mare a nord/nord-est della Corsica L_p di circa 110 dB re 1 μ Pa nella banda 100Hz-30kHz nel mese di luglio. È plausibile considerare che il livello a banda larga del rumore di fondo possa essere anche superiore se si considerassero le frequenze al di sotto dei 100Hz che sono prominenti nel rumore delle navi.

4.1. Migliorie implementate nelle future campagne

L'analisi e i risultati presentati in questa relazione sono limitati da alcuni fattori legati alla metodologia di acquisizione dei dati. Alcune di queste sono riscontrabili in tutti gli studi di acustica subacquea, come ad esempio l'incertezza dell'idrofono. In questa sezione le limitazioni constatate sono riassunte. Inoltre, eventuali migliorie proposte sono specificate e in molti casi già implementate per il monitoraggio dell'anno IX.

- Le registrazioni di breve durata non hanno permesso di ottenere le statistiche relative alla sorgente, ma già dalla fine del monitoraggio dell'anno VIII questo punto è stato risolto aumentando la durata di acquisizione dati per ogni campionamento.
- Alcune delle registrazioni sono state effettuate in concomitanza alla presenza di navi vicino al terminale e/o al ricevitore. Sebbene le note di campo riportino l'evento e il nome delle imbarcazioni, i dati risultano inutilizzabili per la stima dei livelli di sorgente del terminale per tali registrazioni. Nelle campagne del 9° anno quanto sopra è stato implementato per quanto possibile.
- Il paragone fra le coordinate di messa in acqua e recupero dell'idrofono per ogni campionamento ha rivelato che in alcuni casi il ricevitore è andato alla deriva di parecchie centinaia di metri dalla posizione originale e desiderata. Questi punti sono dunque stati esclusi dall'analisi. Questo punto è già stato preso in carico da CIBM e una miglioria nel controllo delle coordinate sarà attuata. Data la profondità del fondale e la metodologia di acquisizione dati approvata dalle autorità non è possibile effettuare le misurazioni gettando l'ancora per mantenere una posizione statica.
- Il metodo di retro-propagazione utilizzato per ottenere i livelli di sorgente è robusto quando le registrazioni rispettano criteri specifici come il fatto che l'angolo di incidenza fra sorgente e ricevitore debba essere compreso fra 15 e 45 gradi o che la distanza del ricevitore non debba essere maggiore a 1000m. Dato che non è possibile effettuare le misurazioni mantenendo una posizione fissa del ricevitore perché il catamarano deve spegnere i motori, non è possibile apportare una miglioria su questo punto. Sarà però tenuto presente che il livello di incertezza nella stima dei livelli di sorgente è maggiore rispetto a campionamenti effettuati da una piattaforma statica.
- La calibrazione dell'idrofono e dell'intero sistema di acquisizione del segnale dovrebbe essere effettuata almeno ogni due anni e includere le basse frequenze (al di sotto di 1kHz) dato che tali bande sono rilevanti per caratterizzare l'impronta acustica del terminale FSRU. CIBM ha già messo in atto dei nuovi protocolli per la calibrazione, incluso l'utilizzo di un pistonofono a bordo per verificare la sensibilità dell'idrofono a basse frequenze, a partire dalla stagione P22.
- La presenza della nave LNG Guardian che è sempre presente sul campo per garantire il rispetto della zona di interdizione alla navigazione sarà in futuro inserita nella modellizzazione e nella

valutazione d'impatto. Questo è possibile a partire dall'allibo 2022 perché è stato effettuato un campionamento dedicato a ottenere i livelli di sorgente di questa imbarcazione.

5. Glossario

Se non diversamente indicato in una voce, queste definizioni sono coerenti con ISO 80000-3 (2017b).

1/3-ottava

Un terzo di ottava. Nota: un terzo di ottava è approssimativamente uguale a un decidecade ($1/3 \text{ oct} \approx 1.003 \text{ ddec}$).

1/3-banda-di-ottava

Banda di frequenza la cui larghezza di banda è un terzo di ottava. Nota: la larghezza di banda di una banda di un terzo d'ottava aumenta con l'aumento della frequenza centrale.

90%-energia nella finestra temporale

L'intervallo di tempo durante il quale l'energia cumulativa aumenta dal 5 al 95% dell'energia totale dell'impulso. Questo intervallo contiene il 90% dell'energia totale dell'impulso. Simbolo T_{90} .

90% livello di pressione sonora (90% L_p)

Il livello di pressione sonora calcolato sulla finestra temporale del 90% di energia di un impulso.

analisi manuale

Esame umano dei dati acustici tramite revisione visiva degli spettrogrammi e/o ispezione uditiva dei dati.

armonica

Componente sonora sinusoidale che ha una frequenza che è un multiplo intero della frequenza di un suono a cui è correlato. Ad esempio, la seconda armonica di un suono ha una frequenza doppia della frequenza fondamentale del suono.

assorbimento

La riduzione dell'ampiezza della pressione acustica dovuta all'energia del movimento delle particelle acustiche che si converte in calore nel mezzo di propagazione.

attenuazione

La graduale perdita di energia acustica per assorbimento e diffusione mentre il suono si propaga attraverso un mezzo.

banda di decidecade band

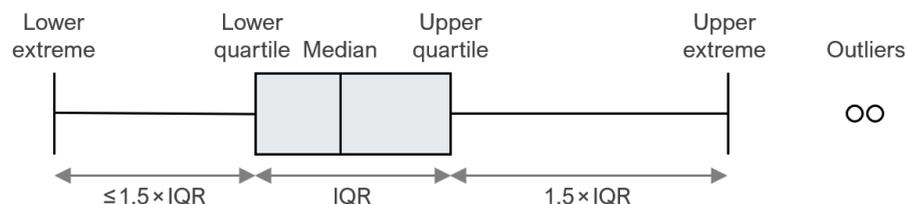
Banda di frequenza la cui larghezza di banda è un deciso. Nota: la larghezza di banda di una banda decidecade aumenta con l'aumentare della frequenza centrale.

bar

Unità di pressione pari a 100 kPa, che è approssimativamente uguale alla pressione atmosferica sulla Terra al livello del mare. 1 bar è uguale a 10⁵ Pa o 10¹¹ μPa.

box-and-whisker grafico

Un grafico che illustra il centro, la diffusione e la gamma complessiva di dati da un riepilogo visivo di 5 numeri. Il riquadro è l'intervallo interquartile (IQR), che mostra il 50% centrale dei dati, dal quartile inferiore (25esimo percentile) al quartile superiore (75esimo percentile). La linea all'interno della casella è la mediana (50° percentile). I baffi mostrano gli estremi inferiore e superiore esclusi i valori anomali, che sono punti dati che cadono più di $1,5 \times \text{IQR}$ oltre i quartili superiore e inferiore.



campo sonoro

Regione contenente onde sonore.

cavitazione

Una rapida formazione e collasso di cavità di vapore (cioè bolle o vuoti) nell'acqua, il più delle volte causati da un rapido cambiamento di pressione. Le eliche delle navi a rotazione rapida in genere causano la cavitazione, che crea molto rumore.

cetaceo

Qualsiasi animale nell'ordine Cetacea. Queste sono specie acquatiche e includono balene, delfini e focene.

conductivity-temperature-depth (CTD)

Dati di misurazione della conduttività, della temperatura e della profondità dell'oceano; utilizzato per calcolare la velocità e la salinità del suono.

contorno di uguale volume

Curva che mostra, in funzione della frequenza, il livello di pressione sonora richiesto per produrre un dato volume per un ascoltatore con udito normale, ascoltando un determinato tipo di suono in un modo specificato (ANSI S1.1-2013).

decade

Intervallo di frequenza logaritmico il cui limite superiore è dieci volte maggiore del suo limite inferiore (ISO 80000-3:2006).

decibel (dB)

Unità di livello utilizzata per esprimere il rapporto tra un valore di una grandezza di potenza e un altro su scala logaritmica. Unità: dB.

decidecade

Un decimo di decennio. Nota: un nome alternativo per decidecade (simbolo ddec) è "un decimo decennio". Un decidecade è approssimativamente uguale a un terzo di ottava ($1 \text{ ddec} \approx 0,3322 \text{ ott}$) e per questo motivo viene talvolta chiamato "terzo d'ottava".

energia livello di sorgente

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al livello di esposizione sonora misurato nel campo lontano la perdita di propagazione dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$.

Energie densità spettrale

Rapporto tra energia (quadrato integrato nel tempo di una variabile di campo specificata) e larghezza di banda in una banda di frequenza specificata f_1 a f_2 . In forma di equazione, la densità spettrale di energia E_f è dato da:

$$E_f = \frac{2 \int_{f_1}^{f_2} |X(f)|^2 df}{f_2 - f_1},$$

dove $X(f)$ è la trasformata di Fourier della variabile $x(t)$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-2\pi i f t) dt.$$

La variabile $x(t)$ è una quantità scalare, come la pressione sonora. Può anche essere la grandezza o un componente specificato di una quantità vettoriale come lo spostamento delle particelle sonore, la velocità delle particelle sonore o l'accelerazione delle particelle sonore. L'unità di densità spettrale di energia dipende dalla natura di x , come segue:

- If x = pressione sonora: $\text{Pa}^2 \text{ s/Hz}$
- If x = spostamento delle particelle sonore: $\text{m}^2 \text{ s/Hz}$
- If x = velocità delle particelle sonore: $(\text{m/s})^2 \text{ s/Hz}$
- If x = accelerazione delle particelle sonore: $(\text{m/s}^2)^2 \text{ s/Hz}$

Il fattore due a destra dell'equazione per E_f è necessario per esprimere uno spettro simmetrico rispetto a $f = 0$, solo in termini di frequenze positive. Vedi voce 3.1.3.9 of ISO 18405 (2017b).

esposizione sonora

Integrale temporale della pressione sonora al quadrato in un intervallo di tempo stabilito. L'intervallo di tempo può essere una durata specificata (ad es. 24 ore) o dall'inizio alla fine di un evento specificato (ad es. un colpo di palo, un impulso di fucile ad aria compressa, un'operazione di costruzione).
Unità: $\text{Pa}^2 \text{ s}$.

far field

La zona in cui, ad un osservatore, il suono proveniente da una serie di sorgenti (o una sorgente distribuita nello spazio) sembra irradiarsi da un singolo punto.

focidi

Un termine comune usato per descrivere tutti i membri della famiglia Phocidae. Queste foche vere/senza orecchie sono più adatte alla vita in acqua rispetto agli otariidi, che hanno adattamenti più terrestri. I focidi usano le pinne posteriori per spingersi. I focidi sono uno dei tre gruppi principali della superfamiglia Pinnipedia; gli altri due gruppi sono otariidi e trichechi.

frequenza

La velocità di oscillazione di una funzione periodica misurata in cicli per unità di tempo. Il reciproco del periodo. Unità: hertz (Hz). Simbolo: f . 1 Hz è uguale a 1 ciclo al secondo.

funzione di ponderazione della frequenza

L'ampiezza al quadrato della funzione di trasferimento della pressione sonora. Per il suono di una data frequenza, la funzione di ponderazione della frequenza è il rapporto tra la potenza in uscita e la potenza in ingresso di un filtro specificato, talvolta espresso in decibel. Gli esempi includono quanto segue:

Funzione di ponderazione della frequenza uditiva: funzione di ponderazione della frequenza compensativa che tiene conto della sensibilità uditiva specifica della frequenza di una specie (o di un gruppo uditivo funzionale).

Funzione di ponderazione della frequenza del sistema: funzione di ponderazione della frequenza che descrive la sensibilità di un sistema di acquisizione acustica, tipicamente costituito da un idrofono, uno o più amplificatori e un convertitore analogico-digitale.

funzione di ponderazione della frequenza uditiva

Funzione di ponderazione della frequenza che descrive un approccio compensatorio che tiene conto della sensibilità uditiva specifica della frequenza di una specie (o di un gruppo uditivo funzionale). Esempi di gruppi udenti sono i cetacei a bassa, media e alta frequenza, i pinnipedi focidi e otariidi.

geoacustica

Relativo alle proprietà acustiche del fondale marino.

Global Positioning System (GPS)

Un sistema di navigazione satellitare che fornisce informazioni accurate sulla posizione e sull'ora in tutto il mondo.

gruppo uditivo

Categoria di specie animali se classificate in base alla loro sensibilità uditiva e alla suscettibilità al suono. Esempi di mammiferi marini includono cetacei a frequenza molto bassa (VLF), cetacei a bassa frequenza (LF), cetacei a media frequenza (MF), cetacei ad alta frequenza (HF), cetacei ad altissima frequenza (VHF), pinnipedi otariidi in acqua (OPW), pinnipedi focidi in acqua (PPW), sireniani (SI), altri carnivori marini nell'aria (OCA) e altri carnivori marini nell'acqua (OCW) (NMFS 2018, Southall et al. 2019). Vedi **funzione di ponderazione della frequenza**, che sono spesso applicate a questi gruppi. Esempi di pesci includono specie per le quali la vescica natatoria è coinvolta nell'udito, specie per le quali la vescica natatoria non è coinvolta nell'udito e specie senza vescica natatoria (Popper et al. 2014).

hertz (Hz)

Un'unità di frequenza definita come un ciclo al secondo.

high-frequency (HF) cetacean

vedi gruppo uditivo

idrofono

Un trasduttore di pressione sonora subacqueo. Un dispositivo elettronico passivo per la registrazione o l'ascolto del suono subacqueo.

Impedenza acustica

Il rapporto tra la pressione sonora in un mezzo e la portata in volume del mezzo attraverso una superficie specificata a causa dell'onda sonora.

insonificato

esposto a un suono.

intensità sonora

Prodotto della pressione sonora e della velocità delle particelle sonore. La grandezza dell'intensità sonora è l'energia sonora che fluisce attraverso un'area unitaria perpendicolare alla direzione di propagazione per unità di tempo.

isopleto

Una linea tracciata su una mappa attraverso tutti i punti aventi lo stesso valore di una certa quantità.

larghezza di banda

La gamma di frequenze su cui si verifica un suono. La banda larga si riferisce a una sorgente che produce suoni su un'ampia gamma di frequenze (ad esempio, fucili ad aria compressa sismici, navi) mentre le sorgenti a banda stretta producono suoni su una gamma di frequenze ristretta (ad esempio, sonar) (ANSI R2010).

livello

Una misura di una quantità espressa come logaritmo del rapporto tra la quantità e un valore di riferimento specificato di quella quantità. Gli esempi includono il livello di pressione sonora, il livello di esposizione al suono e il livello di pressione sonora di picco. Ad esempio, un valore del livello di esposizione sonora con riferimento a $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$ può essere scritto nella forma $x \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

livello a banda larga

Il livello totale misurato su un intervallo di frequenza specificato.

livello di esposizione sonora

Il livello (L_E) dell'esposizione sonora (E). Unità: decibel (dB). Valore di riferimento (E_0) per il suono in acqua: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

$$L_E = 10 \log_{10}(E/E_0) \text{ dB} = 20 \log_{10}(E^{1/2}/E_0^{1/2}) \text{ dB}$$

È necessario specificare la banda di frequenza e il tempo di integrazione. Abbreviazione: SEL.

livello di pressione sonora (rms sound pressure level)

Il livello ($L_{p,rms}$) della pressione sonora quadratica media del tempo (p_{rms}^2). Unità: decibel (dB). Valore di riferimento (p_0^2) per il suono in acqua: $1 \mu\text{Pa}^2$.

$$L_{p,rms} = 10 \log_{10}(p_{rms}^2/p_0^2) \text{ dB} = 20 \log_{10}(p_{rms}/p_0) \text{ dB}$$

È necessario specificare la banda di frequenza e il tempo medio. Abbreviazione: L_p o L_{rms} .

livello di sorgente di densità spettrale di energia

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al livello di densità spettrale di energia della pressione sonora misurata nel campo lontano la perdita di propagazione dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ m}^2/\text{Hz}$.

livello di sorgente source level (SL)

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al livello di pressione sonora misurato nel campo lontano la perdita di propagazione dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ m}^2$.

livello ricevuto

Il livello misurato (o che verrebbe misurato) in una posizione definita. Il tipo di livello dovrebbe essere specificato.

low-frequency (LF) cetacean

vedi gruppo uditivo

lunghezza d'onda

Distanza sulla quale un'onda completa un ciclo di oscillazione. Unità: metro (m). Simbolo: λ .

mascheramento

Oscuramento di suoni di interesse da suoni a frequenze simili.

mediana

Il 50° percentile di una distribuzione statistica.

mid-frequency (MF) cetacean

vedi gruppo uditivo

misticete

Un sottordine di cetacei che utilizzano piastre di fanoni per filtrare il cibo dall'acqua. I membri di questo gruppo includono rorquals (*Balaenopteridae*), balene franche (*Balaenidae*) e balene grigie (*Eschrichtius robustus*).

M-weighting

Vedere la funzione di ponderazione della frequenza uditiva (as proposed by Southall et al. 2007).

nodo

Un miglio nautico all'ora. Simbolo: kn.

non ponderato

Termine che indica che non viene applicata alcuna funzione di ponderazione della frequenza.

odontocete

La presenza dei denti, più che dei fanoni, caratterizza queste balene. I membri degli Odontoceti sono un sottordine di cetacei, un gruppo composto da balene, delfini e focene. I crani delle balene dentate sono per lo più asimmetrici, un adattamento per la loro ecolocalizzazione. Questo gruppo comprende capodogli, orche, beluga, narvali, delfini e focene.

onda compressionale

Un'onda di vibrazione meccanica in cui la direzione del movimento delle particelle è parallela alla direzione di propagazione. Chiamata anche onda primaria o onda P.

onda di taglio

Un'onda di vibrazione meccanica in cui la direzione del movimento delle particelle è perpendicolare alla direzione di propagazione. Chiamata anche onda secondaria o onda S. Le onde di taglio si propagano solo in mezzi solidi, come sedimenti o roccia. Le onde di taglio nel fondo del mare possono essere convertite in onde di compressione nell'acqua all'interfaccia acqua-fondale.

otaridi

Un termine comune usato per descrivere i membri degli Otariidae, foche dalle orecchie, comunemente chiamate leoni marini e otarie da pelliccia. Gli otariidi sono adattati a una vita semiacquatica; usano le loro grandi pinne anteriori per la propulsione. Le loro orecchie li distinguono

dai focidi. Gli otariidi sono uno dei tre gruppi principali della superfamiglia Pinnipedia; gli altri due gruppi sono focidi e trichechi.

otariid pinnipeds in water (OPW)

vedi gruppo uditivo

other marine carnivores in air (OCA)

vedi gruppo uditivo

other marine carnivores in water (OCW)

vedi gruppo uditivo

ottava

L'intervallo tra un suono e un altro suono con doppia o metà della frequenza. Ad esempio, un'ottava sopra i 200 Hz è 400 Hz e un'ottava sotto i 200 Hz è 100 Hz.

permanent threshold shift (PTS)

Una perdita irreversibile della sensibilità uditiva causata da un'eccessiva esposizione al rumore. La PTS è considerata una lesione uditiva.

phocid pinnipeds in water (PPW)

vedi gruppo uditivo

pinnipede

Un termine comune usato per descrivere tutti e tre i gruppi che formano la superfamiglia Pinnipedia: focidi (veri foche o foche senza orecchie), otariidi (foche dalle orecchie o foche e leoni marini) e trichechi.

ponderazione della frequenza uditiva

Il processo di applicazione di una funzione di ponderazione della frequenza uditiva. Nell'audiometria umana, la ponderazione C è la funzione più comunemente utilizzata, un esempio per i mammiferi marini sono le funzioni di ponderazione della frequenza uditiva pubblicate da Southall et al. (2007).

ponderazione in frequenza

Il processo di applicazione di una funzione di ponderazione della frequenza.

pressione sonora

Il contributo alla pressione totale causato dall'azione del suono.

pressione, acustica

La deviazione dalla pressione ambiente causata da un'onda sonora. Chiamato anche pressione sonora. Unità: pascal (Pa).

pressione, idrostatica

La pressione a una data profondità in un liquido statico che è il risultato del peso del liquido che agisce su un'area unitaria a quella profondità, più qualsiasi pressione che agisce sulla superficie del liquido. Unità: pascal (Pa).

profilo di velocità del suono

La velocità del suono nella colonna d'acqua in funzione della profondità al di sotto della superficie dell'acqua.

propagation loss (PL)

Differenza fra un livello di sorgente (SL) e il livello in un luogo specificato, $PL(x) = SL - L(x)$. Vedi anche **transmission loss**.

rilevamento automatico

L'output di un rilevamento automatico.

rilevatore automatizzato

Un algoritmo che include sia il rilevamento automatico di un suono di interesse in base a come si distingue dallo sfondo, sia la sua classificazione automatizzata basata sulle somiglianze con i modelli in una libreria di segnali di riferimento.

rms

abbreviazione per root-mean-square.

rumore acustico

Suono che interferisce con un processo acustico.

rumore di sottofondo

Combinazione di suono ambientale, auto-rumore acustico e riverbero del sonar. Il suono ambientale rilevato, misurato o registrato con un segnale fa parte del rumore di fondo.

self-noise acustico

Suono in un ricevitore causato dall'installazione, dal funzionamento o dal ripristino di un ricevitore specifico e dalla sua piattaforma associata.

sorgente puntiforme

Una sorgente che irradia il suono come da un unico punto.

suono di sottofondo

Suono che sarebbe presente in assenza di un'attività specifica, di solito un composto di suoni provenienti da molte fonti vicine e lontane, ad esempio navi da trasporto, attività sismica, precipitazioni, movimento del ghiaccio marino, azione delle onde e attività biologica.

spettro

Un segnale acustico rappresentato in termini di potenza, energia, pressione sonora quadratica media o distribuzione dell'esposizione sonora con la frequenza.

spettrogramma

Una rappresentazione visiva dell'ampiezza acustica rispetto al tempo e alla frequenza.

suono

Un disturbo variabile nel tempo nella pressione, nella sollecitazione o nello spostamento del materiale di un mezzo propagato dalla compressione e dall'espansione locali del mezzo.

suono continuo

Un suono il cui livello di pressione sonora rimane al di sopra del suono ambientale durante il periodo di osservazione. Un suono che varia gradualmente di intensità nel tempo, ad esempio il suono di una nave marina.

suono impulsivo

Termine qualitativo che indica suoni che sono tipicamente transitori, brevi (meno di 1 secondo), a banda larga, con tempi di salita e decadimento rapidi. Possono verificarsi in ripetizione o come un singolo evento. Esempi di sorgenti sonore impulsive includono esplosivi, fucili ad aria compressa sismici e battipalo a impatto.

suono intermittente

Un suono il cui livello scende bruscamente al di sotto del livello del rumore di fondo più volte durante un periodo di osservazione.

suono non impulsivo

Suono che non è un suono impulsivo. Un suono non impulsivo non è necessariamente un suono continuo.

temporary threshold shift (TTS)

Perdita reversibile della sensibilità uditiva. Il TTS può essere causato dall'esposizione al rumore.

termoclino

L'intervallo di profondità vicino alla superficie dell'oceano che subisce gradienti di temperatura dovuti al riscaldamento o al raffreddamento per conduzione di calore dall'atmosfera e dal riscaldamento dovuto al riscaldamento solare.

transmission loss (TL)

La differenza tra un livello specificato in una posizione e quello in una posizione diversa, $TL(x_1, x_2) = L(x_1) - L(x_2)$. Vedi anche **propagation loss**.

Trasforme di Fourier (or sintesi di Fourier)

Una tecnica matematica che, sebbene abbia svariate applicazioni, viene citata nel contesto di questo rapporto come metodo utilizzato nel processo di derivazione di una stima dello spettro da dati di serie temporali (o il processo inverso, chiamato trasformata di Fourier inversa). Un algoritmo numerico efficiente dal punto di vista computazionale per il calcolo della trasformata di Fourier è noto come trasformata di Fourier veloce (FFT).

very high-frequency (VHF) cetacean

vedi gruppo uditivo

very low-frequency (VLF) cetacean

vedi gruppo uditivo

Letteratura Citata

- [ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area and [CMS] The Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. 2013. *Anthropogenic noise and marine mammals: Review of the effort in addressing the impact of anthropogenic underwater noise in the ACCOBAMS and ASCOBANS areas*. Fifth Meeting of the Parties to ACCOBAMS, 5-8 Nov 2013. Document Number 22, Rev 1, Tangier. 61 pp.
- [ACCOBAMS] Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area. 2020. *Guidelines to Address the Impact of Anthropogenic Noise on Cetaceans in the ACCOBAMS Area*. 12 pp. https://accobams.org/wp-content/uploads/2020/05/GL_Impact_anthropogenic_noise.pdf.
- [ANSI] American National Standards Institute and [ASA] Acoustical Society of America. S1.1-2013. *American National Standard: Acoustical Terminology*. NY, USA. <https://webstore.ansi.org/Standards/ASA/ANSIASAS12013>.
- [ISO] International Organization for Standardization. 2006. *ISO 80000-3:2006. Quantities and units -- Part 3: Space and time*. <https://www.iso.org/standard/31888.html>.
- [ISO] International Organization for Standardization. 2017a. *ISO 18406:2017(E). Underwater acoustics—Measurement of radiated underwater sound from percussive pile driving*. Geneva. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18406:ed-1:v1:en>.
- [ISO] International Organization for Standardization. 2017b. *ISO 18405:2017. Underwater Acoustics – Terminology*. Geneva. <https://www.iso.org/standard/62406.html>.
- [NMFS] National Marine Fisheries Service. 2018. *2018 Revision to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts*. U.S. Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59. 167 pp. <https://www.fisheries.noaa.gov/webdam/download/75962998>.
- [NRC] National Research Council. 2003. *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Research Council (U.S.), Ocean Studies Board, Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals. The National Academies Press, Washington, DC. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=10564.
- Ainslie, M.A. and J.G. McColm. 1998. A simplified formula for viscous and chemical absorption in sea water. *Journal of the Acoustical Society of America* 103(3): 1671-1672. <https://doi.org/10.1121/1.421258>.
- Ainslie, M.A., J.L. Miksis-Olds, B. Martin, K. Heaney, C.A.F. de Jong, A.M. von Benda-Beckmann, and A.P. Lyons. 2018. *ADEON Underwater Soundscape and Modeling Metadata Standard*. Version 1.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for ADEON Prime Contract No. M16PC00003.
- Ainslie, M.A., S.B. Martin, K.B. Troncone, D.E. Hannay, J.M. Eickmeier, T.J. Deveau, K. Lucke, A.O. MacGillivray, V. Nolet, et al. 2022. International harmonization of procedures for measuring and analyzing of vessel underwater radiated noise. *Marine Pollution Bulletin* 174: 113124. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X21011589>.
- ANSI/ASA S1.13-2005. R2010. *American National Standard Measurement of Sound Pressure Levels in Air*. American National Standards Institute and Acoustical Society of America, New York.
- Au, W.W.L., R.A. Kastelein, T. Rippe, and N.M. Schooneman. 1999. Transmission beam pattern and echolocation signals of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). *Journal of the Acoustical Society of America* 106(6): 3699-3705. <https://doi.org/10.1121/1.428221>.

- Borsani, J.F. and C. Farchi. 2011. *Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne:: 2a Parte*. 36 pp.
- Carnes, M.R. 2009. *Description and Evaluation of GDEM-V 3.0*. Document Number NRL Memorandum Report 7330-09-9165. U.S. Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS. 21 pp.
- Clark, C.W. 1990. Acoustic behaviour of mysticete whales. In Thomas, J. and R.A. Kastelein (eds.). *Sensory Abilities of Cetaceans*. Springer, Boston, MA. pp 571-583.
https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0858-2_40.
- Coppens, A.B. 1981. Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters. *Journal of the Acoustical Society of America* 69(3): 862-863. <https://doi.org/10.1121/1.382038>.
- Deane, G.B. 2000. Long time-base observations of surf noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 107(2): 758-770. <https://doi.org/10.1121/1.428259>.
- Edds-Walton, P.L. 1997. Acoustic communication signals of mysticetes whales. *Bioacoustics* 8(1-2): 47-60. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753759>.
- EMODnet Bathymetry Consortium. 2020. *EMODnet Digital Bathymetry (DTM)* (webpage). EMODnet Bathymetry Consortium. <https://doi.org/10.12770/18ff0d48-b203-4a65-94a9-5fd8b0ec35f6>.
- European Commission. 2017. Commission Decision 2017/848/EU of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU. *Official Journal of the European Union* L125/43.
<http://data.europa.eu/eli/dec/2017/848/oj>.
- Finneran, J.J. 2015. *Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for cetaceans and marine carnivores*. Technical report by SSC Pacific, San Diego, CA.
- Finneran, J.J. 2016. *Auditory weighting functions and TTS/PTS exposure functions for marine mammals exposed to underwater noise*. Technical Report for Space and Naval Warfare Systems Center Pacific, San Diego, CA. 49 pp.
<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1026445.pdf>.
- Fisher, F.H. and V.P. Simmons. 1977. Sound absorption in sea water. *Journal of the Acoustical Society of America* 62(3): 558-564. <https://doi.org/10.1121/1.381574>.
- Gomez, C., J.W. Lawson, A.J. Wright, A.D. Buren, D.J. Tollit, and V. Lesage. 2016. A systematic review on the behavioural responses of wild marine mammals to noise: The disparity between science and policy. *Canadian Journal of Zoology* 94(12): 801-819.
<http://dx.doi.org/10.1139/cjz-2016-0098>
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/cjz-2016-0098>.
- MacGillivray, A.O., S.B. Martin, Ainslie M.A. , Dolman J.N. , Li Z., Warner G.A. , Lawrence C.B., Pace F. , Schuster M. , et al. 2022. *Towards a Standard for Vessel URN Measurement in Shallow Water*. Document Number 02427. Technical report by JASCO Applied Sciences for Transport Canada Innovation Centre. .
- Maglio, A., G. Pavan, M. Castellote, and S. Frey. 2016. *Overview of the Noise Hotspots in the ACCOBAMS Area, Part I - Mediterranean Sea*.
- Magnier, C. and C. Gervaise. 2020. Acoustic and photographic monitoring of coastal maritime traffic: Influence on the soundscape. 147(6): 3749-3757.
<https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/10.0001321>.

- Martin, S.B., C. Morris, K. Bröker, and C. O'Neill. 2019. Sound exposure level as a metric for analyzing and managing underwater soundscapes. *Journal of the Acoustical Society of America* 146(1): 135-149. <https://doi.org/10.1121/1.5113578>.
- Merchant, N.D., A. Farcas, and C.F. Powell. 2018. *Acoustic metric specification. Report of the EU INTERREG Joint Monitoring Programme for Ambient Noise North Sea (JOMOPANS)*. https://vb.northsearegion.eu/public/files/repository/20180925143035_Jomopans_Acoustic_indicator_report.pdf.
- Nieukirk, S.L., D.K. Mellinger, S.E. Moore, K. Klinck, R.P. Dziak, and J. Goslin. 2012. Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999–2009. *Journal of the Acoustical Society of America* 131(2): 1102-1112. <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.3672648>.
- Panigada, S., O. Boisseau, A. Canadas, C. Lambert, S. Laran, R. McLanaghan, and A. Moscrop. 2021. *Estimates of abundance and distribution of cetaceans, marine mega-fauna and marine litter in the Mediterranean Sea from 2018-2019 surveys*. In: ACCOBAMS Survey Initiative Project, M. (ed.). ACCOBAMS. 177 pp.
- Popper, A.N., A.D. Hawkins, R.R. Fay, D.A. Mann, S. Bartol, T.J. Carlson, S. Coombs, W.T. Ellison, R.L. Gentry, et al. 2014. *Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI*. ASA S3/SC1.4 TR-2014. SpringerBriefs in Oceanography. ASA Press and Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06659-2>.
- Porter, M.B. and Y.-C. Liu. 1994. Finite-element ray tracing. In: Lee, D. and M.H. Schultz (eds.). *Proceedings of the International Conference on Theoretical and Computational Acoustics*. Volume 2. World Scientific Publishing Co. pp 947-956.
- Ross, D. 1976. *Mechanics of Underwater Noise*. Pergamon Press, New York.
- Sertlek, H.Ö. 2021. Hindcasting Soundscapes before and during the COVID-19 Pandemic in Selected Areas of the North Sea and the Adriatic Sea. 9(7): 702. <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/7/702>.
- Simon, M., K.M. Stafford, K. Beedholm, C.M. Lee, and P.T. Madsen. 2010. Singing behavior of fin whales in the Davis Strait with implications for mating, migration and foraging. *Journal of the Acoustical Society of America* 128(5): 3200-3210. <https://doi.org/10.1121/1.3495946>.
- Società Geologica Italiana. 2021. *ViDEPI: List of Well Logs with Consultable Profiles* (webpage). <https://www.videpi.com/videpi/pozzi/consultabili.asp>. (Accessed 26th May).
- 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, et al. 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals* 33(4): 411-521. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753846>.
- Southall, B.L., J.J. Finneran, C.J. Reichmuth, P.E. Nachtigall, D.R. Ketten, A.E. Bowles, W.T. Ellison, D.P. Nowacek, and P.L. Tyack. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 45(2): 125-232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>.
- Teague, W.J., M.J. Carron, and P.J. Hogan. 1990. A comparison between the Generalized Digital Environmental Model and Levitus climatologies. *Journal of Geophysical Research* 95(C5): 7167-7183.
- Tyack, P.L. and C.W. Clark. 2000. Communication and acoustic behavior of dolphins and whales. In *Hearing by whales and dolphins*. Springer, New York. pp 156-224.

- United Nations. 2009. *Specially Protected Areas of Mediterranean Importance*. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan. Regional Activity Centre for Specially Protected Areas.
- Urlick, R.J. 1983. *Principles of Underwater Sound*. 3rd edition. McGraw-Hill, New York, London. 423 pp.
- Van der Graaf, A.J., M.A. Ainslie, M. André, K. Brensing, J. Dalen, R.P.A. Dekeling, S. Robinson, M.L. Tasker, F. Thomsen, et al. 2012. *European Marine Strategy Framework Directive - Good Environmental Status (MSFD GES)*. : Report of the Technical Subgroup on Underwater Noise and Other Forms of Energy, Brussels.
- Wenz, G.M. 1962. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *Journal of the Acoustical Society of America* 34(12): 1936-1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>.

Appendice A. Terminologia

A.1. Acustica Sottomarina

Il suono è più comunemente descritto utilizzando la metrica del livello di pressione sonora (L_p). I livelli di ampiezza del suono sott'acqua sono comunemente misurati in decibel (dB) rispetto a una pressione di riferimento fissa di $p_0 = 1 \mu\text{Pa}$. L' L_p quadratico medio (root-mean square, rms) viene utilizzato per quantificare i suoni generati dall'attività target.

L_p (dB re $1 \mu\text{Pa}$) è il livello di decibel della pressione rms in una banda di frequenza stabilita entro una finestra temporale (T ; s) contenente l'evento acustico:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_T p^2(t) dt / p_0^2 \right) \quad (\text{A-1})$$

L' L_p è una misura del livello di pressione effettivo per la durata di un evento acustico, come l'emissione di un impulso acustico o di una scansione. Perché la lunghezza della finestra, T , è il divisore, gli eventi più distribuiti nel tempo hanno un L_p inferiore anche se possono avere una densità di energia acustica totale simile.

Il livello Power Spectral Density (PSD) è una descrizione di come la potenza acustica è distribuita su diverse frequenze all'interno di uno spettro. Si esprime in dB re $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.

Il livello di esposizione sonora (SEL, dB re $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$) è una misura dell'energia acustica totale contenuta in uno o più eventi acustici. Il SEL per un singolo evento viene calcolato dall'integrale temporale della pressione al quadrato sull'intera durata dell'evento (T_{100}):

$$\text{SEL} = 10 \log_{10} \left(\int_{T_{100}} p^2(t) dt / T_0 p_0^2 \right) \quad (\text{A-2})$$

dove T_0 è un intervallo di tempo di riferimento di 1 s. Il SEL rappresenta l'energia acustica totale ricevuta in un luogo durante un evento acustico; misura l'energia sonora totale a cui sarebbe esposto un organismo in quella posizione.

Poiché L_p e SEL sono entrambi calcolati dall'integrale della pressione al quadrato, queste metriche sono correlate dalla seguente espressione, che dipende solo dalla durata della finestra temporale dell'energia T :

$$L_p = \text{SEL} - 10 \log_{10}(T) \quad (\text{A-3})$$

Le statistiche del livello sonoro, ovvero i percentili di superamento, vengono utilizzate per quantificare la distribuzione dei livelli sonori registrati generati dall'attività. Seguendo la pratica acustica standard, il livello n -esimo percentile (L_n) è il livello (per es., PSD level, L_p , or SEL) ecceduto da $n\%$ dei dati. L_{99} è il livello sonoro massimo registrato. L_{eq} è la media aritmetica lineare della potenza sonora, che può essere sostanzialmente diversa dal livello sonoro mediano L_{50} . L_p può anche essere chiamato L_{eq} , che significa 'livello equivalente'. I due termini sono usati in modo intercambiabile. Il livello mediano, piuttosto che la media, è stato utilizzato per confrontare i livelli sonori più tipici tra registratori, poiché la mediana è meno influenzata da valori anomali di ampiezza elevata (ad esempio, un crostaceo che picchietta sull'idrofono) rispetto al livello sonoro medio. L_5 , il livello ecceduto da solo il 5% dei dati, rappresenta i livelli sonori tipici più alti misurati. I livelli sonori tra L_5 and L_{99} provengono generalmente da passaggi molto ravvicinati di navi, eventi meteorologici molto intensi e altre condizioni poco frequenti. L_{95} rappresenta le condizioni tipiche più tranquille.

A.2. Analisi in bande di un terzo d'ottava

La distribuzione della potenza di un suono con la frequenza è descritta dallo spettro del suono. Lo spettro sonoro può essere suddiviso in una serie di bande di frequenza adiacenti. La suddivisione di uno spettro in bande larghe 1 Hz, chiamate bande passanti, produce la densità spettrale di potenza del suono. Questi valori si confrontano direttamente con le curve di Wenz, che rappresentano i tipici livelli sonori dell'oceano profondo (Wenz 1962). Questa suddivisione dello spettro in bande passanti di ampiezza costante di 1 Hz, tuttavia, non rappresenta il modo in cui gli animali percepiscono il suono.

Poiché gli animali percepiscono aumenti esponenziali della frequenza piuttosto che aumenti lineari, l'analisi di uno spettro sonoro con bande passanti che aumentano esponenzialmente di dimensioni si avvicina meglio agli scenari del mondo reale. Nell'acustica subacquea, uno spettro è comunemente suddiviso in bande di 1/3 di ottava, che sono larghe un decimo di decade (circa un terzo di ottava). Ogni decade rappresenta un fattore 10 nella frequenza del suono. Ogni ottava rappresenta un fattore 2 nella frequenza del suono. La frequenza centrale della i -esima banda di 1/3 d'ottava, $f_c(i)$, è definito come:

$$f_c(i) = 10^{\frac{i}{10}} \text{ kHz} \quad (\text{A-4})$$

e il limite basso (f_{lo}) e alto (f_{hi}) della frequenza di un i -esimo a1/3-banda di ottava definita come:

$$f_{lo,i} = 10^{\frac{-1}{20}} f_c(i) \quad \text{and} \quad f_{hi,i} = 10^{\frac{1}{20}} f_c(i) \quad (\text{A-5})$$

Le bande di 1/3 d'ottava si allargano all'aumentare della frequenza, e su scala logaritmica le bande appaiono equidistanti (Figura A-1).

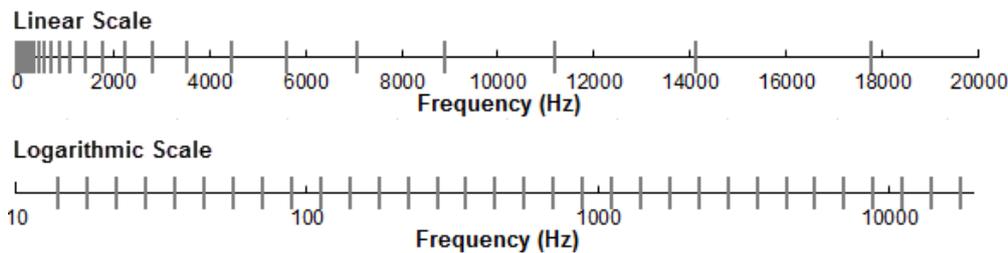


Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.

Il livello di pressione sonora nella i -esima banda ($L_{p,i}$) è calcolato dallo spettro $S(f)$ tra $f_{lo,i}$ e $f_{hi,i}$:

$$L_{p,i} = 10 \log_{10} \int_{f_{lo,i}}^{f_{hi,i}} S(f) df \text{ dB} \quad (\text{A-6})$$

Sommando il livello di pressione sonora di tutte le bande si ottiene il livello di pressione sonora a banda larga:

$$\text{Broadband } L_p = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \text{ dB} \quad (\text{A-7})$$

La figura A-2 mostra un esempio di come i livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava si confrontano con i livelli di densità spettrale della pressione sonora di un segnale sonoro ambientale. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più larghe di 1 Hz, l' L_p della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dei livelli spettrali, specialmente alle frequenze più alte. L'analisi per bande di terzo d'ottava viene

applicata a sorgenti di rumore continue e impulsive. Per le sorgenti impulsive viene tipicamente riportato il SEL in banda di 1/3 d'ottava.

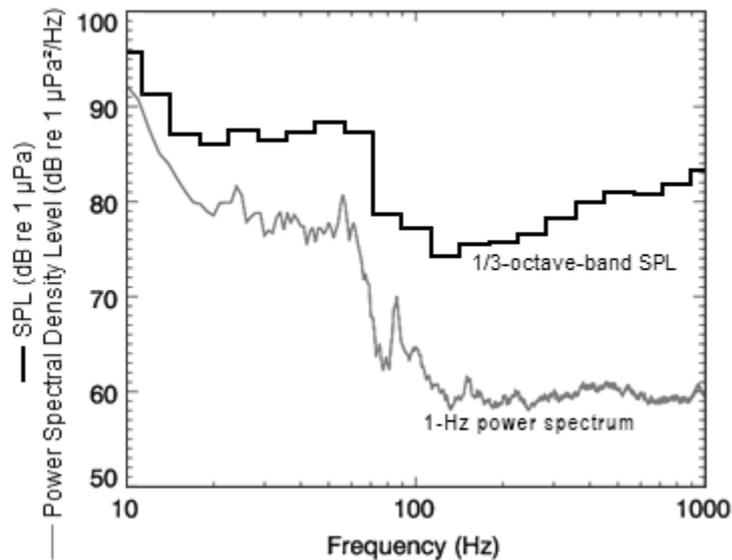


Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poichè le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l'LP della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dello spettro di potenza.

A.3. Southall (2019) Frequency Weighting Functions

Nel 2015, un rapporto tecnico della Marina degli Stati Uniti di Finneran (2015) raccomandò nuove funzioni di ponderazione uditiva. Le funzioni di ponderazione uditiva per i mammiferi marini vengono applicate in modo simile alla ponderazione A per le valutazioni del livello di rumore per gli esseri umani. Le nuove funzioni di ponderazione in frequenza sono espresse come:

$$G(f) = K + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{[1 + (f/f_1)^2]^a [1 + (f/f_2)^2]^b} \right\} \quad (\text{A-6})$$

Finneran (2015) ha proposto cinque gruppi uditivi funzionali per i mammiferi marini in acqua: cetacei a bassa, media e alta frequenza (rispettivamente cetacei LF, MF e HF), pinnipedi focidi e pinnipedi otariidi. I parametri per queste funzioni di ponderazione in frequenza sono stati ulteriormente modificati l'anno successivo (Finneran 2016) e sono stati adottati nella guida tecnica del NOAA che valuta gli impatti acustici sui mammiferi marini (NMFS 2018), e nell'ultima guida di Southall (2019). Gli aggiornamenti non hanno interessato i contenuti relativi nè alle definizioni delle funzioni di ponderazione della frequenza nè ai valori di soglia rispetto ai criteri definiti in Southall et al. (2007). La Tabella A-1 elenca i parametri di ponderazione della frequenza per ciascun gruppo uditivo. La figura A-3 mostra le curve di ponderazione in frequenza risultanti.

Tabella A-1. Parametri per le funzioni di ponderazione uditiva raccomandati da NMFS (2018).

Gruppo uditivo funzionale	a	b	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	K (dB)
Low-frequency cetaceans	1.0	2	200	19,000	0.13
High-frequency cetaceans	1.6	2	8,800	110,000	1.20
Very-high-frequency cetaceans	1.8	2	12,000	140,000	1.36
Phocid pinnipeds in water	1.0	2	1,900	30,000	0.75
Otariid pinnipeds in water	2.0	2	940	25,000	0.64

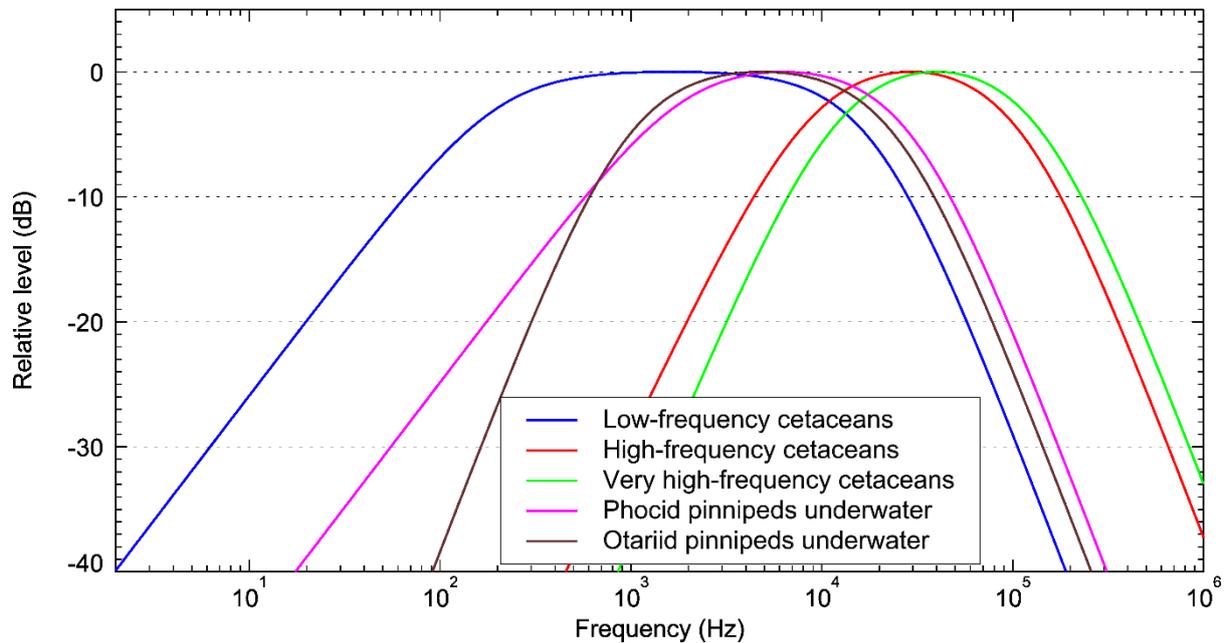


Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).

Appendice B. Propagazione del suono

B.1. Propagazione del suono col modello MONM-Bellhop

La propagazione del suono sott'acqua (cioè la perdita di trasmissione) è stata modellizzata con il Marine Operations Noise Model (MONM) della JASCO. Questo modello calcola la propagazione del suono da sorgenti acustiche tramite il modello di ray-trace acustico a fascio gaussiano BELLHOP (Porter and Liu 1994). Questa versione di MONM tiene conto dell'attenuazione del suono dovuta all'assorbimento di energia attraverso il rilassamento ionico e la viscosità dell'acqua oltre all'attenuazione acustica dovuta alla riflessione ai bordi del mezzo e agli strati interni (Fisher and Simmons 1977). Il primo tipo di attenuazione del suono è importante per le frequenze superiori a 5 kHz e non può essere trascurato senza influenzare notevolmente i risultati del modello.

MONM calcola i campi acustici in tre dimensioni modellando la perdita di trasmissione all'interno di piani verticali bidimensionali (2 D) allineati lungo radiali che coprono un'area di 360° dalla sorgente, un approccio comunemente indicato come $N \times 2$ D. Questi piani radiali verticali sono separati di un passo angolare definito, ottenendo $N = 360^\circ / \Delta\theta$ numero di piani (Figura B-1). La dimensione del gradino angolare dei radiali viene scelta per campionare sufficientemente la configurazione del fascio sorgente. MONM tiene conto della variabilità del livello sonoro dell'impulso emesso con angoli sia di azimut che di depressione secondo lo schema del fascio 3D della sorgente e stima i livelli sonori a varie distanze orizzontali dalla sorgente alle varie profondità.

Il livello sonoro ricevuto in una posizione di campionamento viene preso come il valore massimo che si verifica su tutti i campioni all'interno della colonna d'acqua sottostante, ovvero il livello sonoro ricevuto massimo in profondità (Figura B-1). Questi livelli di massima profondità vengono quindi presentati come contorni di colore attorno alla sorgente (ad esempio, Figura B-2).

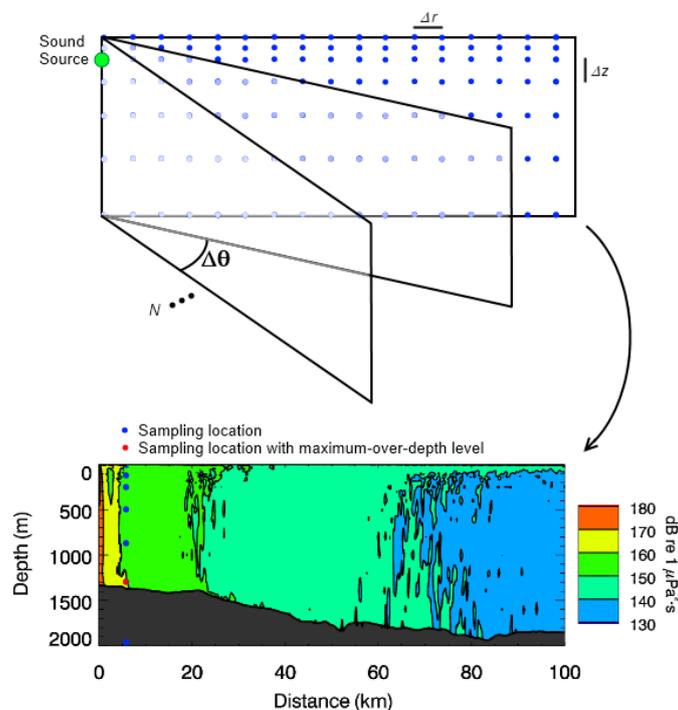


Figura B-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.

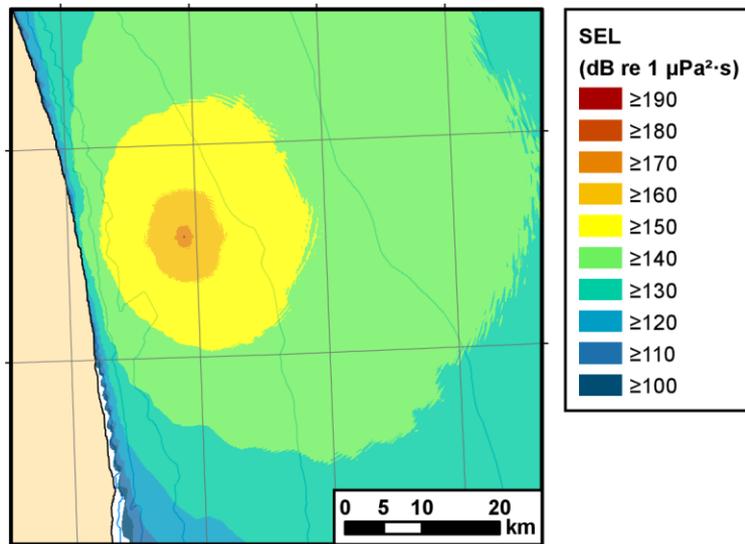


Figura B-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. SEL per una sorgente non specificata.

Appendice C. Dettagli Monitoraggio

C.1. Assetto del terminale FSRU Toscana

Tabella C-1. Descrizione delle possibili modalità operative del terminale FSRU Toscana.

MODALITÀ OPERATIVA	DESCRIZIONE DELLA MODALITÀ OPERATIVA
<p>Holding mode (impianto in funzione con send-out, cioè con invio di gas a terra)</p>	<p>È la modalità che si potrebbe definire di “normale operatività” e contempla l'attività di rigassificazione del Terminale in assenza di scarico di GNL da nave metaniera. La rigassificazione può essere effettuata con uno, due oppure tre vaporizzatori, in funzione della richiesta a terra di gas naturale, nel rispetto della massima capacità annua autorizzata, pari a 3,75 miliardi di Smc.</p>
<p>Unloading (disarica da nave e send-out)</p>	<p>Caratterizzata dalla contemporanea presenza della nave metaniera che rifornisce GNL al Terminale e del send-out. Durante questa fase vi è una maggiore produzione di BOG rispetto alle altre modalità di gestione operativa del Terminale, dovuta alla movimentazione del GNL che viene controllato e recuperato tramite un macchinario dedicato (il BOG compressor), per essere poi ricondensato nel recondenser.</p>
<p>Zero send-out (nessun invio di gas a terra)</p>	<p>Considera i periodi in cui non si svolge l'attività di rigassificazione all'interno del Terminale. In questo assetto, onde consentire il necessario mantenimento a temperatura criogenica di alcune parti dell'impianto (cisterne, modulo di rigassificazione), è necessario che un'esigua quantità di GNL venga fatta circolare all'interno del circuito per una portata complessiva di circa 50 mc/h; tuttavia, all'interno dei vaporizzatori non vi è alcun passaggio di GNL, e dunque non vi è immissione di gas naturale in rete. Tale condizione assorbe la maggior parte dei momenti transitori nella gestione dell'impianto (ad esempio la fase transitoria tra plant off e zero send-out e viceversa, ed il transitorio tra zero send-out e send-out).</p>
<p>Plant off-tank cold (impianto fermo con i soli serbatoi “freddi”)</p>	<p>Il Terminale in questa modalità funziona come stoccaggio del GNL, che resta all'interno dei serbatoi e non viene inviato al modulo di rigassificazione, che quindi risulta caldo. In questa modalità tutto il BOG formatosi nei serbatoi viene inviato al sistema di recupero tramite i compressori low-duty (LD), e viene bruciato in caldaia per produrre il vapore necessario alla produzione di energia elettrica per l'autosostentamento del Terminale.</p>

Tabella C-2. Descrizione assetto del terminale FSRU Toscana per ogni giorno di monitoraggio. H=Holding, ZSO=zero send out, and OFF = plant off, tank cold.

FSRU TOSCANA EQUIPMENT	Descrizione attrezzatura	11/7/20	11/9/20	11/10/20	11/13/20	12/14/20	12/15/20	3/6/21	3/9/21	3/17/21	3/23/21	3/30/21	4/2/21	6/2/21	6/3/21	6/4/21	6/15/21	9/8/21	9/28/21	9/29/21	10/1/21	10/2/21	10/3/21	
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	ZSO	ZSO	ZSO	OFF	OFF
NO.1 BALLAST PUMP (E/R FLOOR DK)	Pompa cassa di zavorra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
NO.3 BALLAST PUMP (E/R FLOOR DK)	Pompa cassa di zavorra									X														
IN TANK PUMP 1	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
IN TANK PUMP 2	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
IN TANK PUMP 3	Pompe LNG verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
SEA WATER PUMP N.1	Pompe di processo acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
SEA WATER PUMP N.2	Pompe di processo acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
SEA WATER PUMP N.3	Pompe di processo acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					

FSRU TOSCANA EQUIPMENT	Descrizione attrezzatura	11/7/20	11/9/20	11/10/20	11/13/20	12/14/20	12/15/20	3/6/21	3/9/21	3/17/21	3/23/21	3/30/21	4/2/21	6/2/21	6/3/21	6/4/21	6/15/21	9/8/21	9/28/21	9/29/21	10/1/21	10/2/21	10/3/21
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	ZSO	ZSO	ZSO	OFF
MAIN SW CIRC. PUMP	Pompa acqua mare in sala macchine																		X	X	X	X	X
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.1	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X				
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.2	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X				
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.3	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X				
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.4	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X				
WOBBE INDEX - FEED AIR COMPS N.5	Compressori di alimentazione Wobbe Index in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X						X				
BOG COMP - MAIN COMPRESSOR	Compressore del BOG in coperta									X													
LNG BOOSTER PUMP N.1	Pompe di alimentazione GNL ai vaporizzatori in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
LNG BOOSTER PUMP N.3	Pompe di alimentazione GNL ai vaporizzatori in coperta	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
BOILER FD FAN NO. 1	Tiraggio forzato delle caldaie	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

FSRU TOSCANA EQUIPMENT	Descrizione attrezzatura	11/7/20	11/9/20	11/10/20	11/13/20	12/14/20	12/15/20	3/6/21	3/9/21	3/17/21	3/23/21	3/30/21	4/2/21	6/2/21	6/3/21	6/4/21	6/15/21	9/8/21	9/28/21	9/29/21	10/1/21	10/2/21	10/3/21	
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	ZSO	ZSO	ZSO	OFF	OFF
BOILER FD FAN NO. 2	Tiraggio forzato delle caldaie	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NITROGEN COMPRESSOR	Compressore Azoto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X						
N.1 SEA WATER COOLING PUMP FOR N2 GEN		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X						
N.2 SW COOLING PUMP FOR N2 GEN		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X						
FGR FAN #1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FGR FAN #2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NO 1 MAIN COOLING SEA WATER PUMP		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
AZIMUTH THRUSTER MOTOR AFT	Thruster di posizionamento									X														
THRUSTER SW COOLING PUMP	Pompa di raffreddamento Thruster									X														
NO 1 LOW DUTY COMPRESSOR		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STG #1 (10 MW)	Turbina a vapore da 10 MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
STG #3 (3,35 MW)	Turbina a vapore da da 3,35 MW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

FSRU TOSCANA EQUIPMENT	Descrizione attrezzatura	11/7/20	11/9/20	11/10/20	11/13/20	12/14/20	12/15/20	3/6/21	3/9/21	3/17/21	3/23/21	3/30/21	4/2/21	6/2/21	6/3/21	6/4/21	6/15/21	9/8/21	9/28/21	9/29/21	10/1/21	10/2/21	10/3/21	
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	ZSO	ZSO	ZSO	OFF	OFF
Boiler #1	Caldaia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Boiler #2	Caldaia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

C.2. Coordinate e tempi del campionamento

Tabella C-3. Coordinate di sorgente/i e ricevitore (idrofono) durante il campionamento. Nell'indicazione della stazione, le lettere all'inizio fanno riferimento ai punti cardinali (E=Est, S=Sud, N=Nord e W=Ovest) e le lettere successive alla distanza indicano la profondità nominale dell'idrofono dove A=8m, B=55m e C=85m.

Stagione	Stazione	Inizio registrazione (gg mmm yyyy hh:mm:ss)	Fine registrazione (gg mmm yyyy hh:mm:ss)	Durata Monitoraggio (mm:ss)	Coordinate idrofono		Coordinate sorgente/i		Profondità del fondale (m)
					Latitudine	Longitudine	Latitudine	Longitudine	
					dd mm.mmm	dd mm.mmm	dd mm.mmm	dd mm.mmm	
2020-11	E10KA	11/13/2020 11:46	11/13/2020 11:49	3.00	43.64655	10.11205	43.64677	10.11082	50
2020-11	E10KB	11/13/2020 11:53	11/13/2020 11:57	4.00	43.64665	10.11102	43.64693	10.11078	50
2020-11	E1KA	12/14/2020 16:01	12/14/2020 16:04	3.00	43.64437	10.0007	43.6445	9.999783	106
2020-11	E1KB	12/14/2020 16:07	12/14/2020 16:10	3.00	43.64448	9.999983	43.64437	9.999717	106
2020-11	E100A	12/14/2020 13:18	12/14/2020 13:21	3.00	43.64515	9.991583	43.64622	9.990017	108
2020-11	E100B	12/14/2020 13:24	12/14/2020 13:27	3.00	43.64582	9.990967	43.6464	9.990283	108
2020-11	N10KA	11/9/2020 13:57	11/9/2020 14:00	3.00	43.73555	9.991383	43.73708	9.989617	100
2020-11	N10KB	11/9/2020 14:04	11/9/2020 14:07	3.00	43.73568	9.9898	43.73737	9.98855	100
2020-11	N1KA	12/14/2020 15:33	12/14/2020 15:36	3.00	43.65332	9.991	43.65328	9.989933	110
2020-11	N1KB	12/14/2020 15:40	12/14/2020 15:43	3.00	43.65328	9.98975	43.65322	9.989333	110
2020-11	N100A	12/14/2020 12:55	12/14/2020 12:58	3.00	43.64645	9.990133	43.64752	9.98815	111
2020-11	N100B	12/14/2020 13:05	12/14/2020 13:08	3.00	43.6471	9.989583	43.64783	9.9873	111
2020-11	S10KA	11/10/2020 14:18	11/10/2020 14:21	3.00	43.55063	9.993533	43.55487	9.986517	150
2020-11	S10KB	11/10/2020 14:26	11/10/2020 14:29	3.00	43.55317	9.9876	43.555	9.982567	150
2020-11	S1KA	12/14/2020 14:44	12/14/2020 14:47	3.00	43.63542	9.988783	43.63545	9.9889	110
2020-11	S1KB	12/14/2020 14:51	12/14/2020 14:54	3.00	43.63547	9.98885	43.63547	9.9887	110
2020-11	S100A	12/14/2020 14:13	12/14/2020 14:16	3.00	43.64417	9.989283	43.64427	9.988583	109
2020-11	S100B	12/14/2020 14:19	12/14/2020 14:22	3.00	43.64423	9.98895	43.64418	9.98815	109
2020-11	W10KA	11/7/2020 13:34	11/7/2020 13:37	3.00	43.6424	9.861067	43.64747	9.860083	220
2020-11	W10KB	11/7/2020 13:43	11/7/2020 13:46	3.00	43.64603	9.862333	43.64818	9.863133	220
2020-11	W1KA	12/14/2020 15:10	12/14/2020 15:13	3.00	43.64447	9.976983	43.64437	9.976733	115
2020-11	W1KB	12/14/2020 15:16	12/14/2020 15:19	3.00	43.64427	9.9768	43.6444	9.976633	115
2020-11	W100A	12/14/2020 13:53	12/14/2020 13:56	3.00	43.64527	9.987283	43.64543	9.986533	110
2020-11	W100B	12/14/2020 13:58	12/14/2020 14:02	4.00	43.6454	9.986817	43.64558	9.986117	110
2021-09	E10KA	9/8/2021 11:23	9/8/2021 11:33	10.00	43.6438	10.11112	43.64033	10.10597	50
2021-09	E10KB	9/8/2021 11:36	9/8/2021 11:45	9.00	43.63973	10.10698	43.63783	10.10417	50
2021-09	E1KA	9/28/2021 16:05	9/28/2021 16:15	10.00	43.64523	9.99865	43.64397	9.9987	106
2021-09	E1KB	9/28/2021 16:18	9/28/2021 16:28	10.00	43.64373	9.998767	43.64278	9.999433	106
2021-09	E1KC	9/28/2021 16:31	9/28/2021 16:41	10.00	43.64283	9.999383	43.64182	10	106
2021-09	E100A	10/1/2021 17:08	10/1/2021 17:18	10.00	43.64543	9.991717	43.6473	9.9896	108
2021-09	E100B	10/1/2021 17:20	10/1/2021 17:30	10.00	43.6458	9.9914	43.64692	9.988	108
2021-09	E100C	10/1/2021 17:38	10/1/2021 17:48	10.00	43.64545	9.992767	43.64628	9.9876	108
2021-09	N10KA	9/8/2021 14:01	9/8/2021 14:11	10.00	43.7382	9.997417	43.73517	10.00092	100

2021-09	N10KB	9/8/2021 14:16	9/8/2021 14:26	10.00	43.73383	10.00242	43.73103	10.00547	100
2021-09	N10KC	9/8/2021 14:30	9/8/2021 14:40	10.00	43.72988	10.00685	43.72692	10.01028	100
2021-09	N1KA	9/28/2021 12:51	9/28/2021 13:01	10.00	43.65325	9.986233	43.65328	9.984833	110
2021-09	N1KB	9/28/2021 13:04	9/28/2021 13:14	10.00	43.65323	9.984367	43.65285	9.983483	110
2021-09	N1KC	9/28/2021 13:24	9/28/2021 13:33	9.00	43.65247	9.982667	43.65155	9.982467	110
2021-09	N100A	10/1/2021 14:18	10/1/2021 14:28	10.00	43.64518	9.98485	43.64553	9.981933	111
2021-09	N100B	10/1/2021 14:36	10/1/2021 14:45	9.00	43.64547	9.9873	43.64612	9.981583	111
2021-09	N100C	10/1/2021 14:53	10/1/2021 15:02	9.00	43.64558	9.987467	43.6463	9.984967	111
2021-09	S10KA	10/2/2021 12:31	10/2/2021 12:40	9.00	43.55983	9.977	43.55773	9.975967	150
2021-09	S10KB	10/2/2021 12:44	10/2/2021 12:53	9.00	43.5906	9.975317	43.55538	9.97465	150
2021-09	S10KC	10/2/2021 12:57	10/2/2021 13:07	10.00	43.55497	9.974317	43.5529	9.97305	150
2021-09	S1KA	9/28/2021 15:00	9/28/2021 15:11	11.00	43.63593	9.988367	43.63558	9.989917	110
2021-09	S1KB	9/28/2021 15:15	9/28/2021 15:25	10.00	43.63545	9.99025	43.635	9.991567	110
2021-09	S1KC	9/28/2021 15:28	9/28/2021 15:37	9.00	43.63495	9.992	43.63487	9.993833	110
2021-09	S100A	10/1/2021 16:15	10/1/2021 16:25	10.00	43.64333	9.990383	43.643	9.9902	109
2021-09	S100B	10/1/2021 16:32	10/1/2021 16:41	9.00	43.64302	9.989717	43.6429	9.98685	109
2021-09	S100C	10/1/2021 16:47	10/1/2021 16:57	10.00	43.6417	9.989067	43.64153	9.98705	109
2021-09	W10KA	10/2/2021 14:34	10/2/2021 14:44	10.00	43.66508	9.862083	43.65093	9.862083	190
2021-09	W10KB	10/2/2021 14:47	10/2/2021 15:57	70.00	43.6516	9.861767	43.65368	9.86115	190
2021-09	W10KC	10/2/2021 15:00	10/2/2021 15:10	10.00	43.65428	9.860917	43.65333	9.85	190
2021-09	W1KA	9/28/2021 13:52	9/28/2021 14:02	10.00	43.64275	9.97705	43.64187	9.976717	115
2021-09	W1KB	9/28/2021 14:17	9/28/2021 14:26	9.00	43.64437	9.977183	43.64413	9.9778	115
2021-09	W1KC	9/28/2021 14:30	9/28/2021 14:40	10.00	43.64398	9.981067	43.64338	9.97935	115
2021-09	W100A	10/1/2021 13:08	10/1/2021 13:18	10.00	43.64315	9.982217	43.64232	9.979083	110
2021-09	W100B	10/1/2021 13:30	10/1/2021 13:39	9.00	43.64375	9.984317	43.64423	9.980933	110
2021-09	W100C	10/1/2021 13:48	10/1/2021 13:57	9.00	43.64407	9.983833	43.64335	9.980517	110
2021-03	E10KA	3/17/2021 12:21	3/17/2021 12:24	3.00	43.64655	10.11205	43.64677	10.11082	45
2021-03	E10KB	3/17/2021 12:32	3/17/2021 12:35	3.00	43.64665	10.11102	43.64693	10.11078	45
2021-03	E1KA	3/30/2021 15:49	3/30/2021 15:52	3.00	43.64437	10.0007	43.6445	9.999783	106
2021-03	E1KB	3/30/2021 15:57	3/30/2021 16:00	3.00	43.64448	9.999983	43.64437	9.999717	106
2021-03	E100A	3/23/2021 14:04	3/23/2021 14:07	3.00	43.64515	9.991583	43.64622	9.990017	108
2021-03	E100B	3/23/2021 14:20	3/23/2021 14:23	3.00	43.64582	9.990967	43.6464	9.990283	108
2021-03	N10KA	3/17/2021 14:15	3/17/2021 14:18	3.00	43.73555	9.991383	43.73708	9.989617	100
2021-03	N10KB	3/17/2021 14:22	3/17/2021 14:25	3.00	43.73568	9.9898	43.73737	9.98855	100
2021-03	N1KA	3/30/2021 15:25	3/30/2021 15:28	3.00	43.65332	9.991	43.65328	9.989933	110
2021-03	N1KB	3/30/2021 15:32	3/30/2021 15:35	3.00	43.65328	9.98975	43.65322	9.989333	110
2021-03	N100A	3/23/2021 13:18	3/23/2021 13:21	3.00	43.64645	9.990133	43.64752	9.98815	111
2021-03	N100B	3/23/2021 13:26	3/23/2021 13:29	3.00	43.6471	9.989583	43.64783	9.9873	111
2021-03	S10KA	3/6/2021 17:15	3/6/2021 17:18	3.00	43.55063	9.993533	43.55487	9.986517	150
2021-03	S10KB	3/6/2021 17:21	3/6/2021 17:24	3.00	43.55317	9.9876	43.555	9.982567	150
2021-03	S1KA	3/30/2021 14:38	3/30/2021 14:41	3.00	43.63542	9.988783	43.63545	9.9889	110
2021-03	S1KB	3/30/2021 14:45	3/30/2021 14:48	3.00	43.63547	9.98885	43.63547	9.9887	110
2021-03	S100A	3/23/2021 12:54	3/23/2021 12:57	3.00	43.64417	9.989283	43.64427	9.988583	109
2021-03	S100B	3/23/2021 13:01	3/23/2021 13:04	3.00	43.64423	9.98895	43.64418	9.98815	109

2021-03	W10KA	3/9/2021 14:59	3/9/2021 15:02	3.00	43.6424	9.861067	43.64747	9.860083	220
2021-03	W10KB	3/9/2021 15:06	3/9/2021 15:09	3.00	43.64603	9.862333	43.64818	9.863133	220
2021-03	W1KA	3/30/2021 15:02	3/30/2021 15:05	3.00	43.64447	9.976983	43.64437	9.976733	115
2021-03	W1KB	3/30/2021 15:10	3/30/2021 15:13	3.00	43.64427	9.9768	43.6444	9.976633	115
2021-03	W100A	3/23/2021 13:39	3/23/2021 13:42	3.00	43.64527	9.987283	43.64543	9.986533	110
2021-03	W100B	3/23/2021 13:52	3/23/2021 13:55	3.00	43.6454	9.986817	43.64558	9.986117	110
2021-06	E10KA	6/15/2021 14:54	6/15/2021 15:04	10.00	43.64655	10.11205	43.64677	10.11082	45
2021-06	E10KB	6/15/2021 15:10	6/15/2021 15:20	10.00	43.64665	10.11102	43.64693	10.11078	45
2021-06	E1KA	6/4/2021 14:45	6/4/2021 14:48	3.00	43.64437	10.0007	43.6445	9.999783	106
2021-06	E1KB	6/4/2021 14:52	6/4/2021 14:55	3.00	43.64448	9.999983	43.64437	9.999717	106
2021-06	E100A	6/4/2021 11:42	6/4/2021 11:45	3.00	43.64515	9.991583	43.64622	9.990017	108
2021-06	E100B	6/4/2021 11:48	6/4/2021 11:51	3.00	43.64582	9.990967	43.6464	9.990283	108
2021-06	N10KA	6/2/2021 10:39	6/2/2021 10:49	10.00	43.73635	9.990083	43.73642	9.989983	100
2021-06	N10KB	6/2/2021 10:55	6/2/2021 11:04	9.00	43.73555	9.991383	43.73708	9.989617	100
2021-06	N10KC	6/2/2021 11:09	6/2/2021 11:18	9.00	43.73568	9.9898	43.73737	9.98855	100
2021-06	N1KA	6/10/2021 15:12	6/10/2021 15:15	3.00	43.65332	9.991	43.65328	9.989933	110
2021-06	N1KB	6/10/2021 15:21	6/10/2021 15:24	3.00	43.65328	9.98975	43.65322	9.989333	110
2021-06	N100A	6/4/2021 12:01	6/4/2021 12:04	3.00	43.64645	9.990133	43.64752	9.98815	111
2021-06	N100B	6/4/2021 12:10	6/4/2021 12:13	3.00	43.6471	9.989583	43.64783	9.9873	111
2021-06	S10KA	6/15/2021 13:28	6/15/2021 13:37	9.00	43.55078	9.984633	43.55328	9.98715	150
2021-06	S10KB	6/15/2021 13:43	6/15/2021 13:52	9.00	43.55063	9.993533	43.55487	9.986517	150
2021-06	S10KC	6/15/2021 13:56	6/15/2021 14:05	9.00	43.55317	9.9876	43.555	9.982567	150
2021-06	S1KA	6/10/2021 14:17	6/10/2021 14:20	3.00	43.63542	9.988783	43.63545	9.9889	110
2021-06	S1KB	6/10/2021 14:24	6/10/2021 14:28	4.00	43.63547	9.98885	43.63547	9.9887	110
2021-06	S100A	6/4/2021 13:12	6/4/2021 13:15	3.00	43.64417	9.989283	43.64427	9.988583	109
2021-06	S100B	6/4/2021 13:19	6/4/2021 13:22	3.00	43.64423	9.98895	43.64418	9.98815	109
2021-06	W10KA	6/3/2021 12:13	6/3/2021 12:23	10.00	43.6424	9.861067	43.64747	9.860083	220
2021-06	W10KB	6/3/2021 12:27	6/3/2021 12:37	10.00	43.64603	9.862333	43.64818	9.863133	220
2021-06	W1KA	6/10/2021 13:42	6/10/2021 13:45	3.00	43.64447	9.976983	43.64437	9.976733	115
2021-06	W1KB	6/10/2021 13:50	6/10/2021 13:54	4.00	43.64427	9.9768	43.6444	9.976633	115
2021-06	W100A	6/4/2021 12:39	6/4/2021 12:42	3.00	43.64527	9.987283	43.64543	9.986533	110
2021-06	W100B	6/4/2021 12:58	6/4/2021 13:01	3.00	43.6454	9.986817	43.64558	9.986117	110

C.3. Calibrazione dell'idrofono

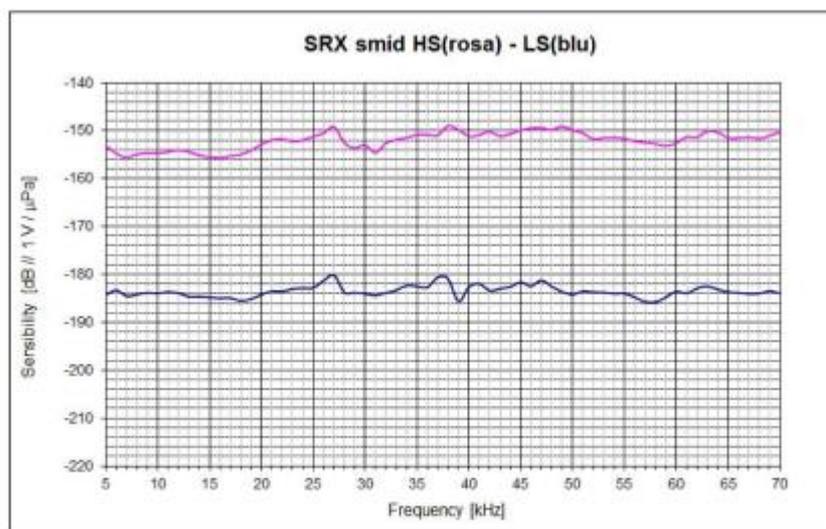


Figura 5. Curva alto guadagno (linea rosa) e basso guadagno (linea blu).

Per quanto riguarda la calibrazione del segnale digitale, si riporta di seguito una tabella con i valori determinati durante le misure. Al valore di pressione acustica registrato dall'idrofono di riferimento ad una determinata frequenza si associa il valore in dB re fondo scala ADC, ottenendo così la sensibilità espressa in dB re fondo scala ADC/uPa. Per leggere i segnali digitali e quindi i valori uPc riferiti al fondo scala ADC è stato utilizzato il programma Audacity (Tabella 3).

Tabella 3. Valori misurati sul canale digitale.

freq	sensibilita SN103	veff SN103 (dB re 1Vrms)		dB re 1uPa	uPc rif fondo scala ADC *	dB re fondo scala ADC/uPa
5000	-170,3154557	-16,30617138	0,153	154,0092843	0,45	-160,945034
7000	-170,6697036	-26,1960784	0,049	144,4706252	0,2	-158,4500253
9000	-171,0533734	-25,67993313	0,052	145,3734403	0,45	-152,30919
11000	-171,4673312	-11,0258736	0,281	160,4414576	1	-160,4414576
13000	-171,9009212	-16,19336604	0,155	155,7075552	0,75	-158,2063299
15000	-172,3409657	-17,13970399	0,139	155,2072617	0,9	-156,1224115
17000	-172,7987651	-16,83275016	0,144	155,9660149	0,85	-157,3776364
19000	-173,250098	-18,48906077	0,119	154,7610372	0,65	-158,5027701
21000	-173,696221	-21,61843815	0,083	152,0767828	0,5	-158,0973828
23000	-174,1288689	-21,41162149	0,085	152,7172474	0,55	-157,9099937
25000	-174,5462547	-23,47850395	0,067	151,0677507	0,45	-158,0035005
27000	-174,9430693	-21,61843815	0,083	153,3246311	0,7	-156,4226703
29000	-175,3154619	-17,32922183	0,136	157,98626	0,95	-158,4317879
31000	-175,6601397	-21,11034656	0,088	154,5497931	0,57	-159,432296
33000	-175,9741681	-22,15810795	0,078	153,8160602	0,6	-158,2530352
35000	-176,2551707	-17,45790403	0,134	158,7972667	1	-158,7972667
37000	-176,5012229	-21,41162149	0,085	155,0896075	0,8	-157,0278077
39000	-176,7109027	-21,11034656	0,088	155,6005561	0,7	-158,6985953
41000	-176,8832297	-24,15216621	0,062	152,7310635	0,65	-156,4727964
43000	-177,017726	-24,73144013	0,058	152,2862859	0,55	-157,4790321
45000	-177,1143857	-26,37517525	0,048	150,7392104	0,53	-156,253693
47000	-177,1736809	-27,95880017	0,04	149,2148807	0,5	-155,2354807
49000	-177,196592	-27,95880017	0,04	149,2377619	0,38	-157,6420899
51000	-177,1844575	-32,04119983	0,025	145,1432576	0,22	-158,294804

*-letto da audacity (1= full scale, 2uPCpp audacity)

Appendice D. Analisi dettagliata delle frequenze

D.1. Artefatti del sistema di acquisizione

Un tono interno, stabile e discreto senza interferenza della superficie con struttura armonica e uno spaziamento di 3.008kHz è osservato fino a 70kHz in tutte le stazioni campionate durante l'analisi manuale (da Figura D-1 a Figura D-5). In alcuni casi, altri rumori introdotti dalle misurazioni sono osservabili, come ad esempio presso la stazione a sud ad un kilometro dalla sorgente (Figura D-5): qui è possibile udire il rumore del cavo dell'idrofono, il rumore di flusso e battito intorno all'idrofono sotto i 20Hz (Figura D-7). Altri artefatti sono osservabili a 965.2Hz (vedi esempio stazione N1kA, Figura D-6) e a 20.25 kHz (stazione O1kA, Figura D-9).

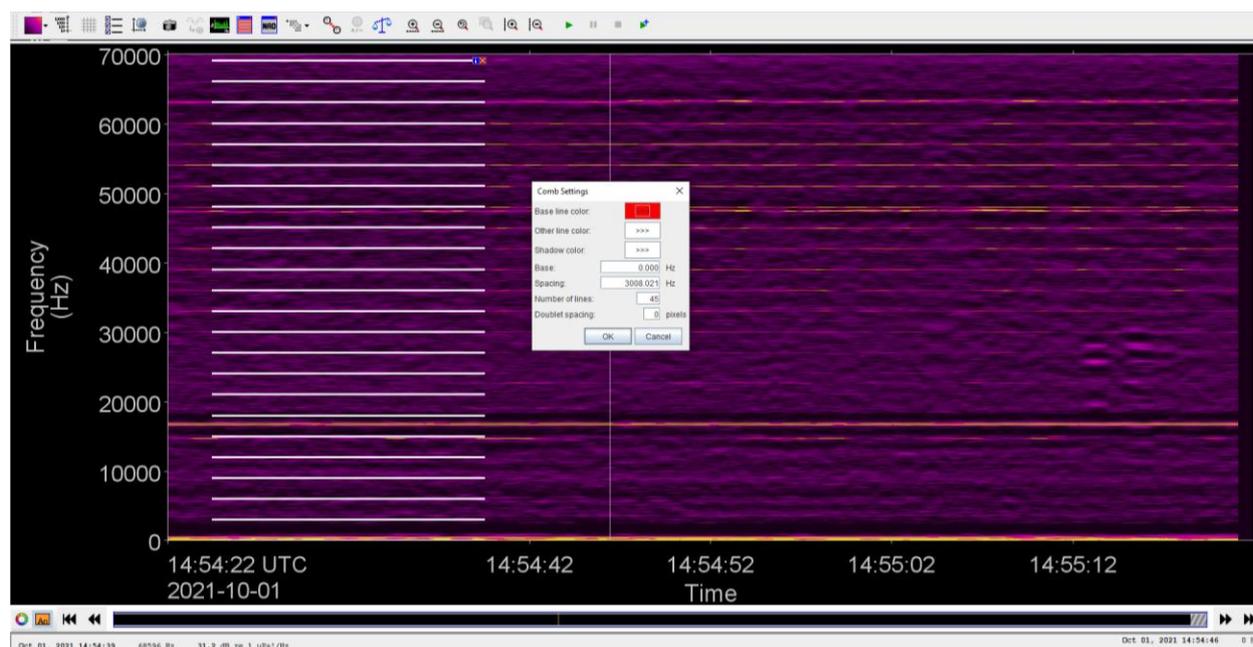


Figura D-1. Stazione N100A Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.

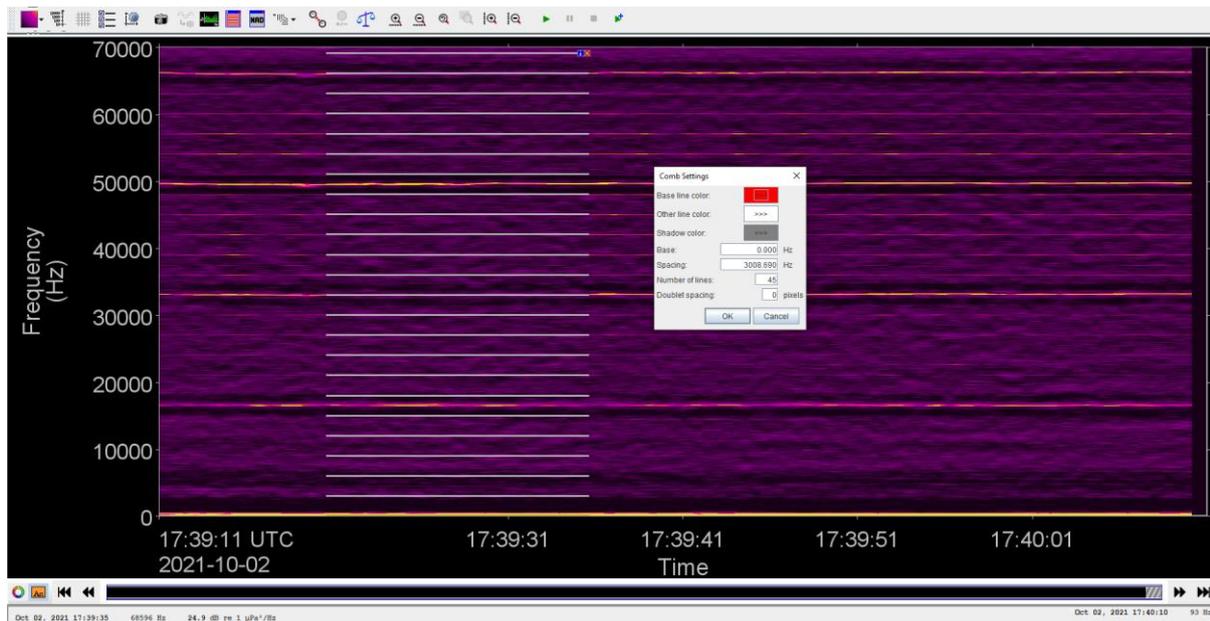


Figura D-2. Stazione E100A: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.

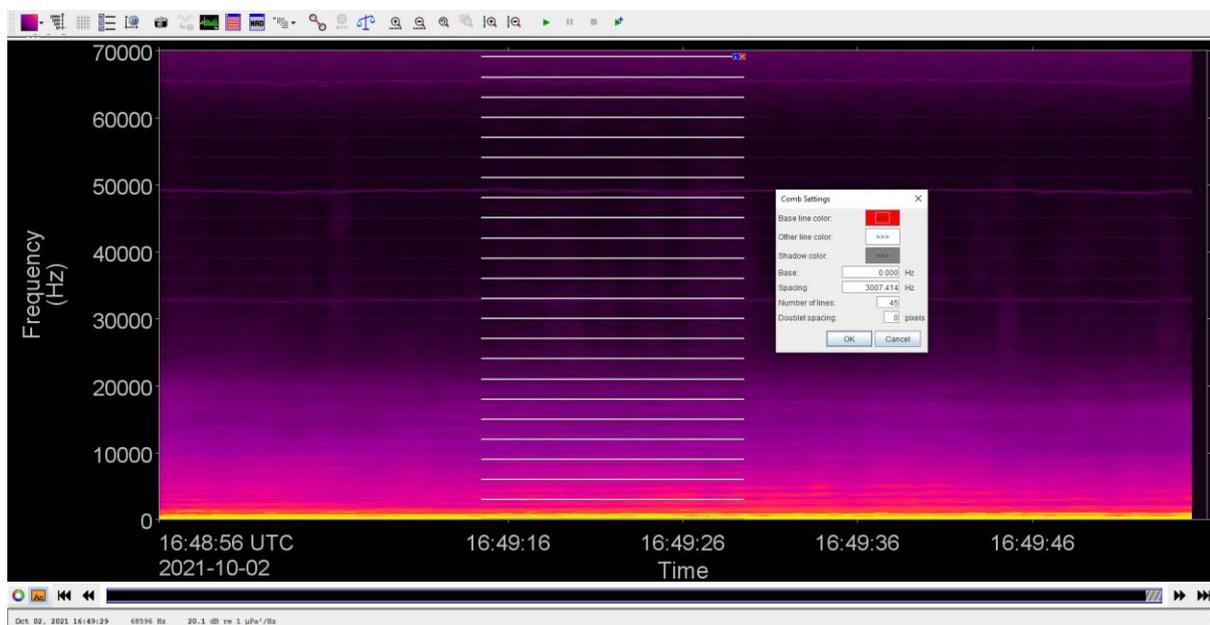


Figura D-3. Stazione S100A: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.

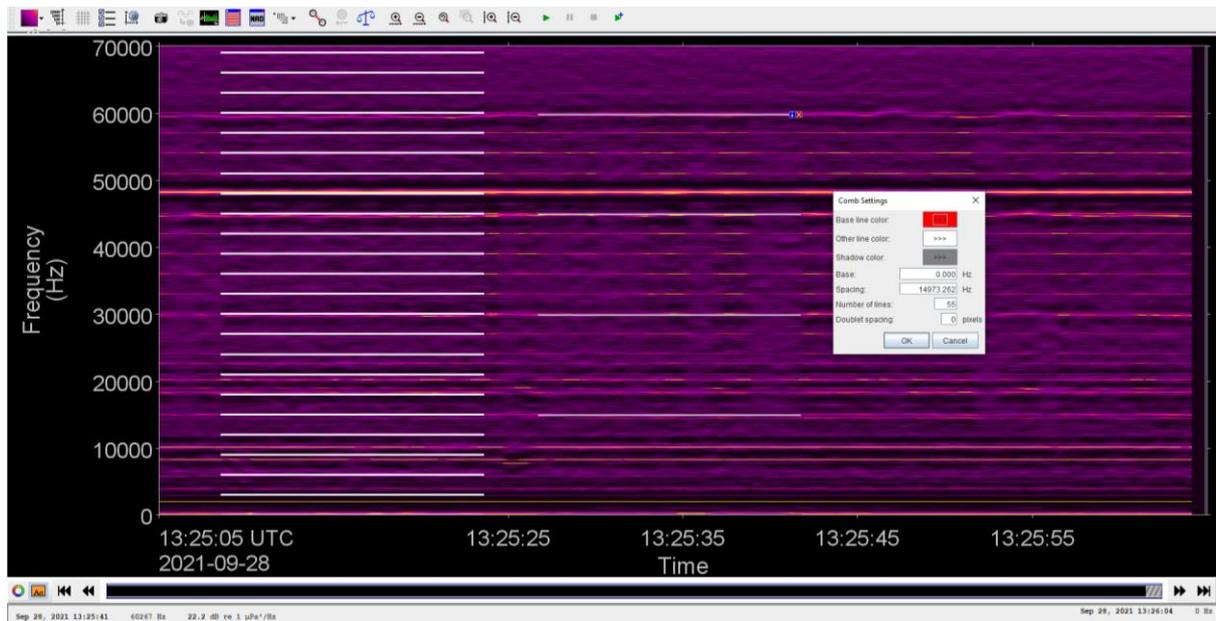


Figura D-4. Stazione N1kmA: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.

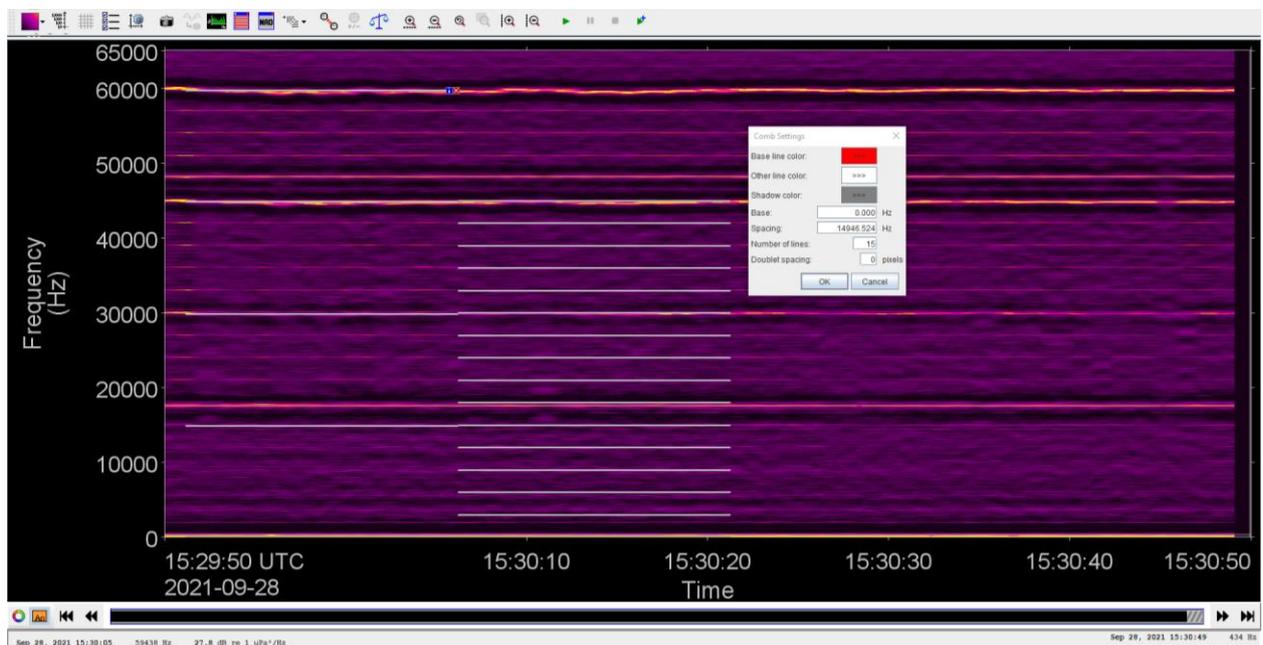


Figura D-5. Stazione S1kmA: Esempio del tono a 3.008kHz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.

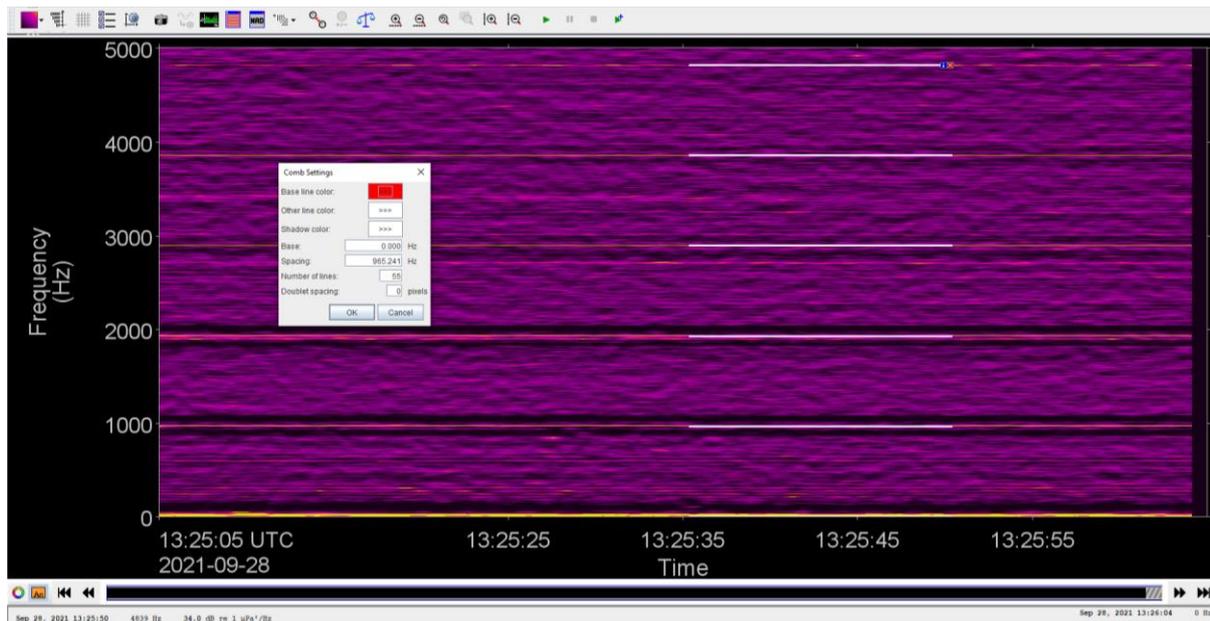


Figura D-6. Stazione N1kmA: Esempio di un tono a 965.2Hz di origine nota registrato durante il campionamento. Artefatto del Sistema di acquisizione.

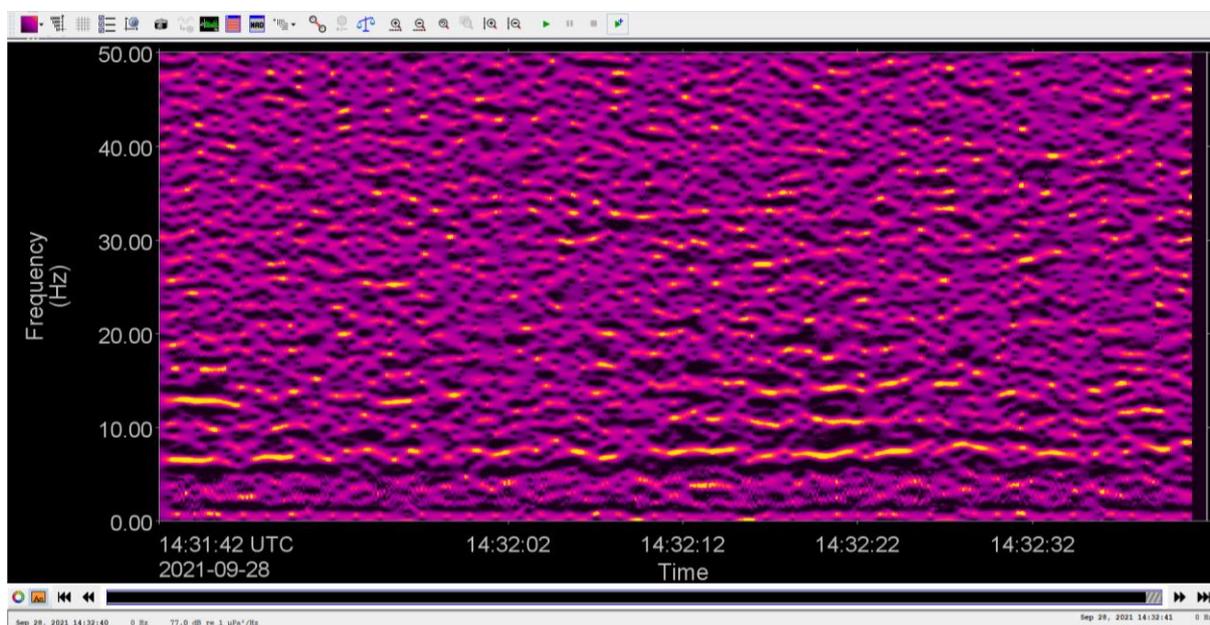


Figura D-7. Stazione O1kmA: Esempio del rumore di flusso attorno all'idrofono.

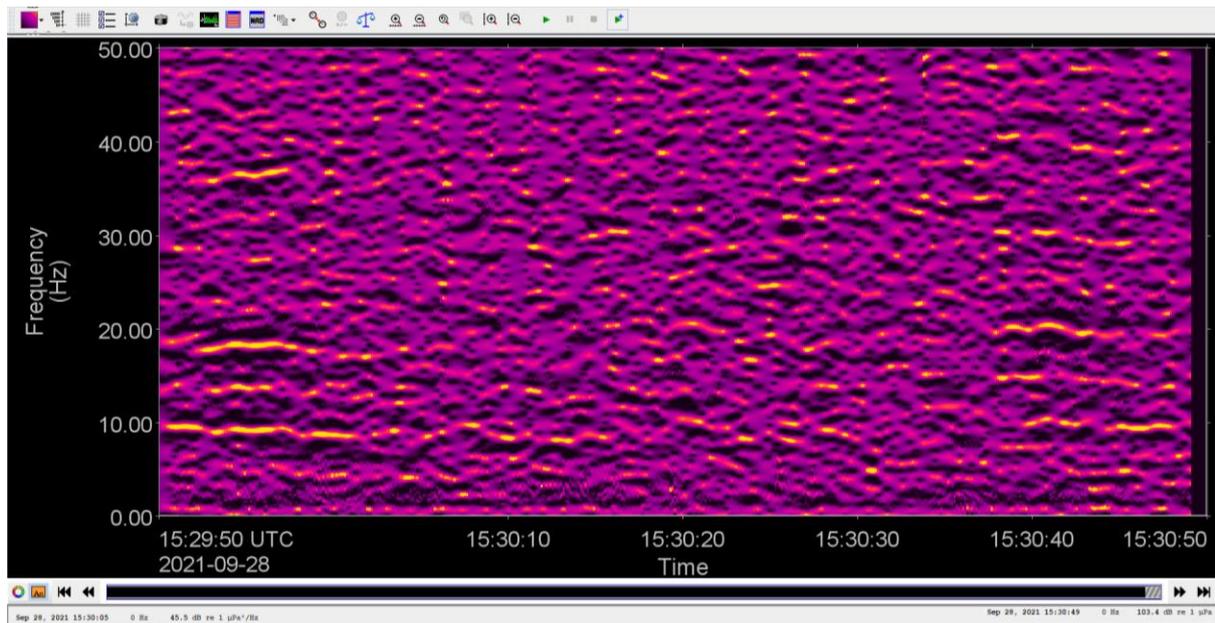


Figura D-8. Stazione S1kmA: Esempio del rumore di flusso attorno all'idrofono.

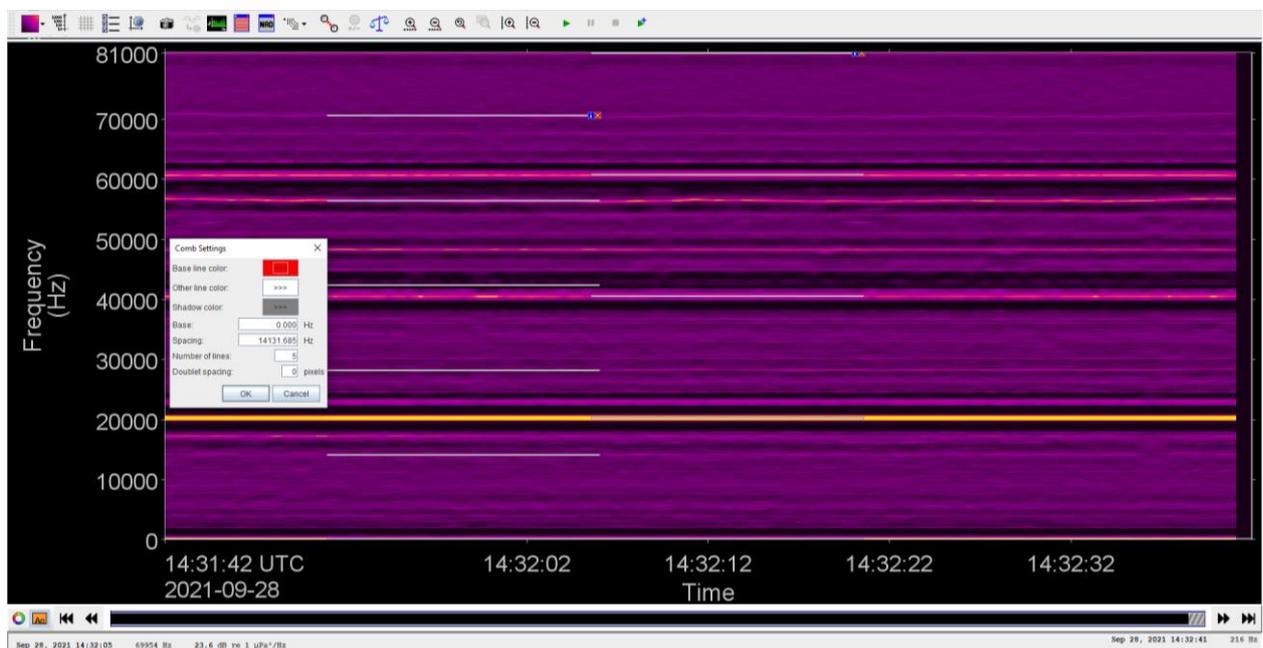


Figura D-9. Stazione O1kmA: Esempio del tono a 20.25kHz di origine nota registrato durante il campionamento (linea arancione orizzontale). Artefatto del Sistema di acquisizione. Nell'immagine, le righe bianche orizzontali evidenziano invece un tono ascrivibile al FSRU, discusso nelle prossime sezioni.

D.2. Terminale e turbine

Tono stabile e discreto di sorgenti a 16 kHz ritenute essere dovute al terminale e probabilmente al funzionamento della turbina. Nessun'altra sorgente è visibile e nessun effetto di superficie è presente. Non ci sono bande evidenti, tuttavia nelle emissioni sono evidenti doppiette e triplette della

sorgente sotto carico. Si tratta probabilmente di operazioni in regime stazionario con turbina sotto carico normale dell'hotel.

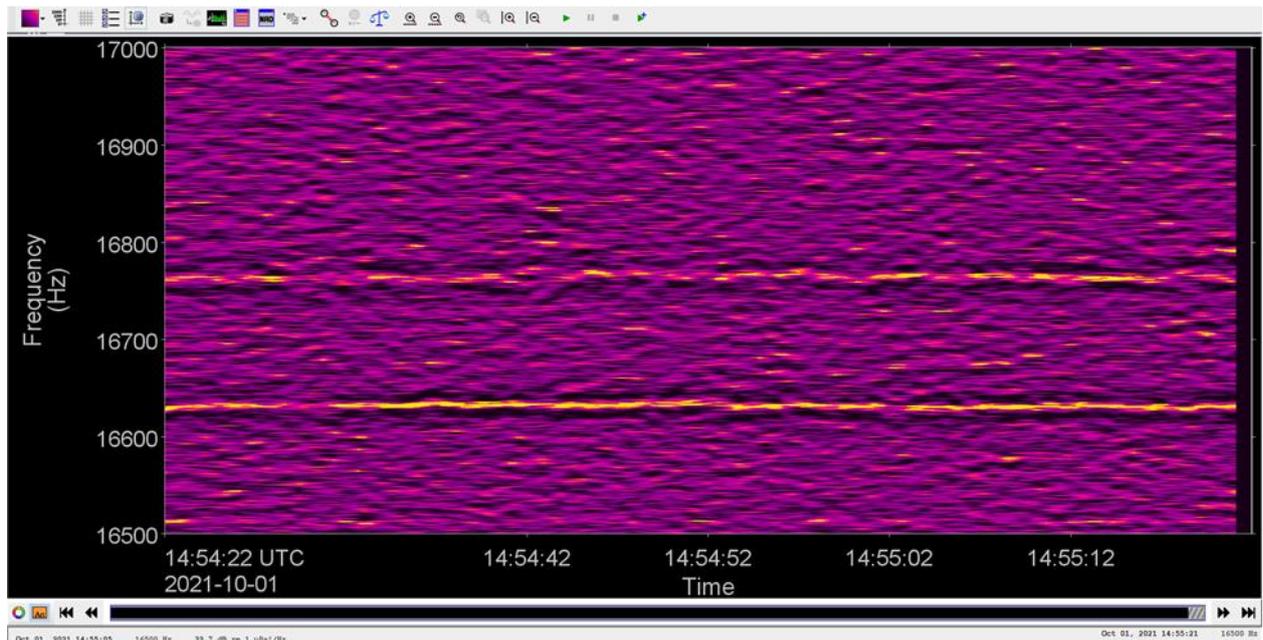


Figura D-10. Stazione N100A: Emissioni probabili di una turbina a 16.632kHz and 16.676kHz; la prima e la seconda armonica sono le uniche visibili.

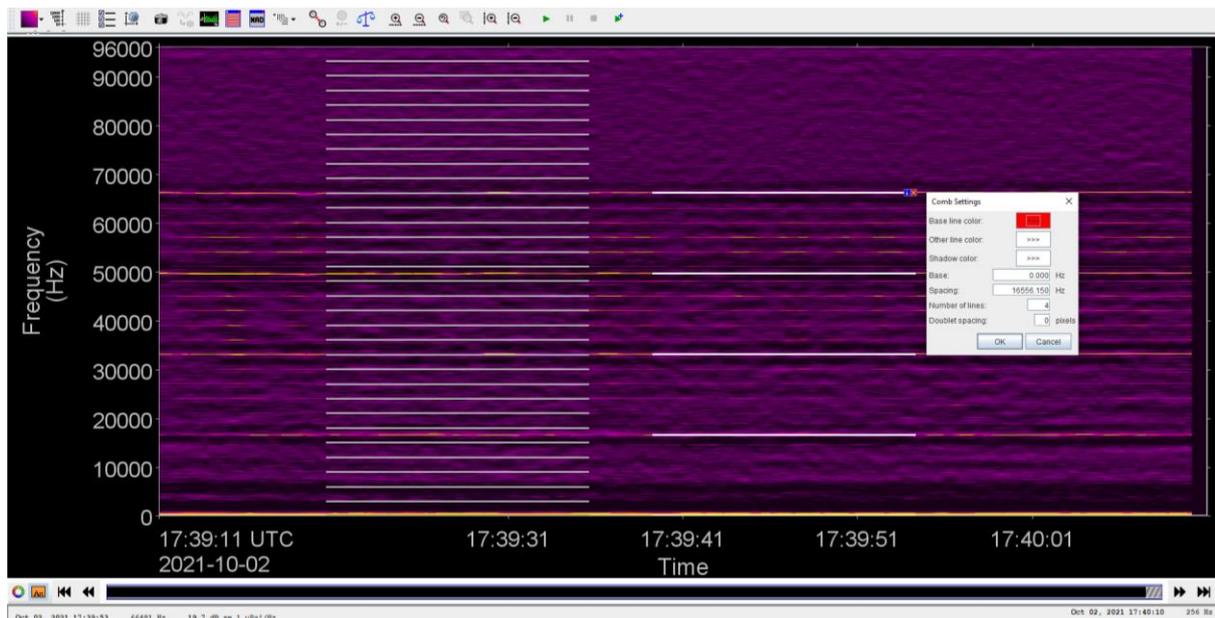


Figura D-11. Stazione E100A: Emissioni probabili di una turbina a 16.556kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili.

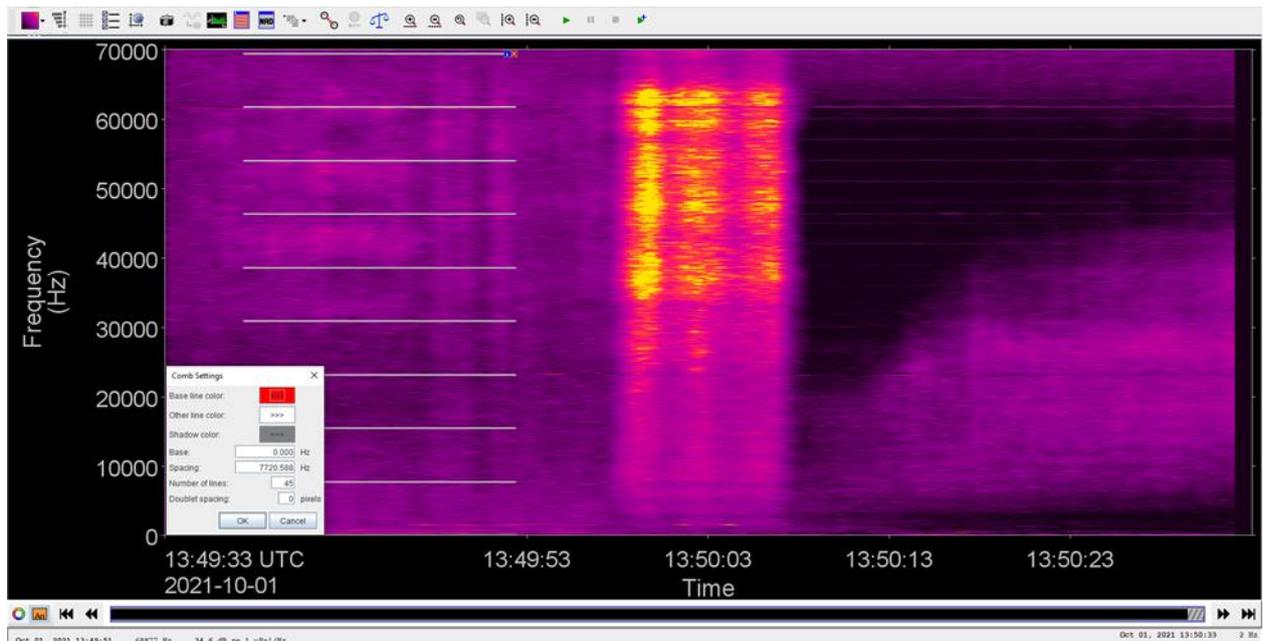


Figura D-12. Spettrogramma della turbina sospetta della FSRU che mostra la 3a e l'8a armonica prima dell'arrivo della seconda nave. Il propulsore domina lo spettro da MF a HF da 25 a 65 kHz. Immediatamente dopo il completamento delle operazioni del propulsore, ci sono ancora una chiara evidenza dell'artefatto del registratore a 3 kHz. Spettrogramma normalizzato per suoni impulsivi.

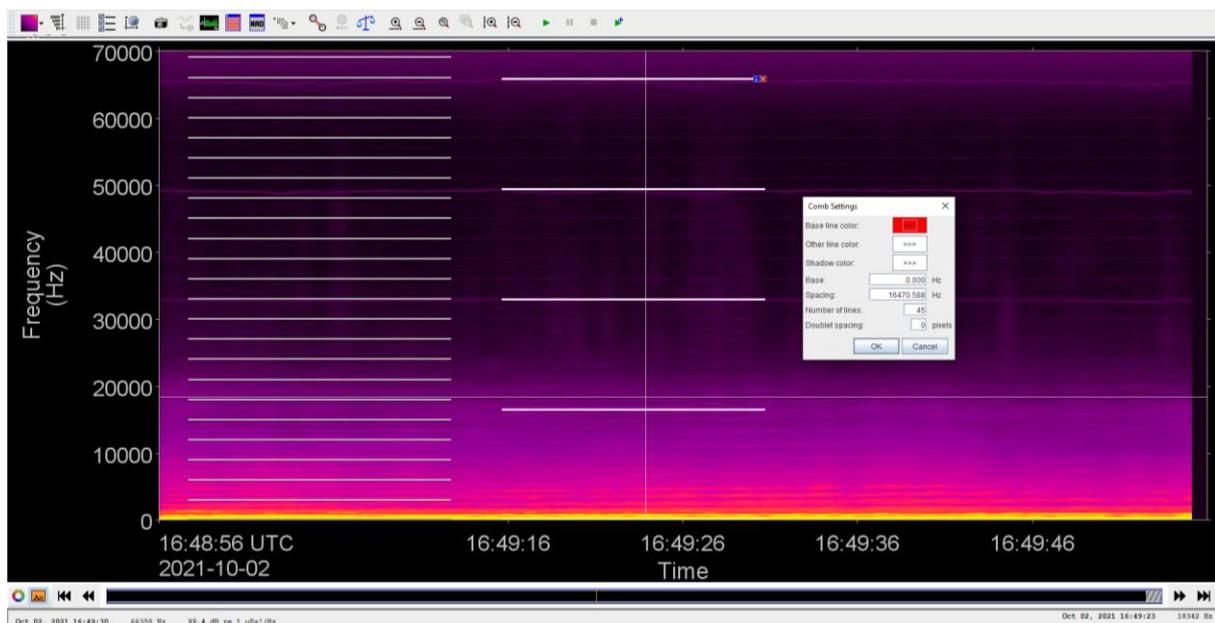


Figura D-13. Stazione S100A: Emissioni probabili di una turbina a 16.470kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili.

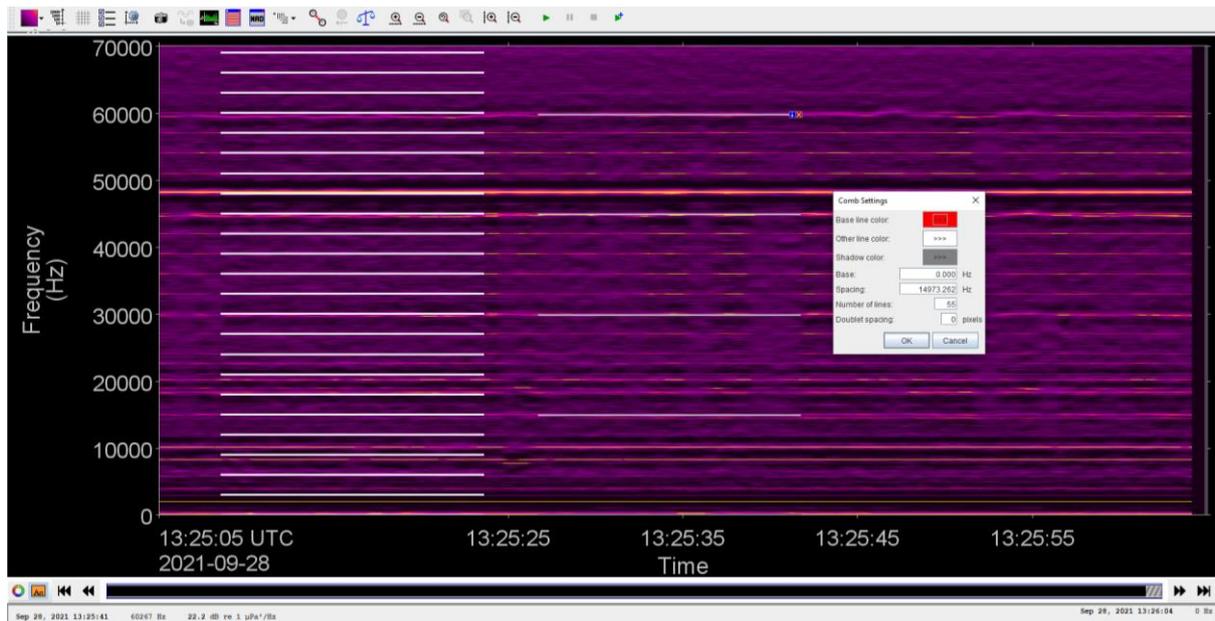


Figura D-14. Stazione N1kA: Emissioni di una sospetta turbina a 14. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine (evidenziati dalle linee bianche).

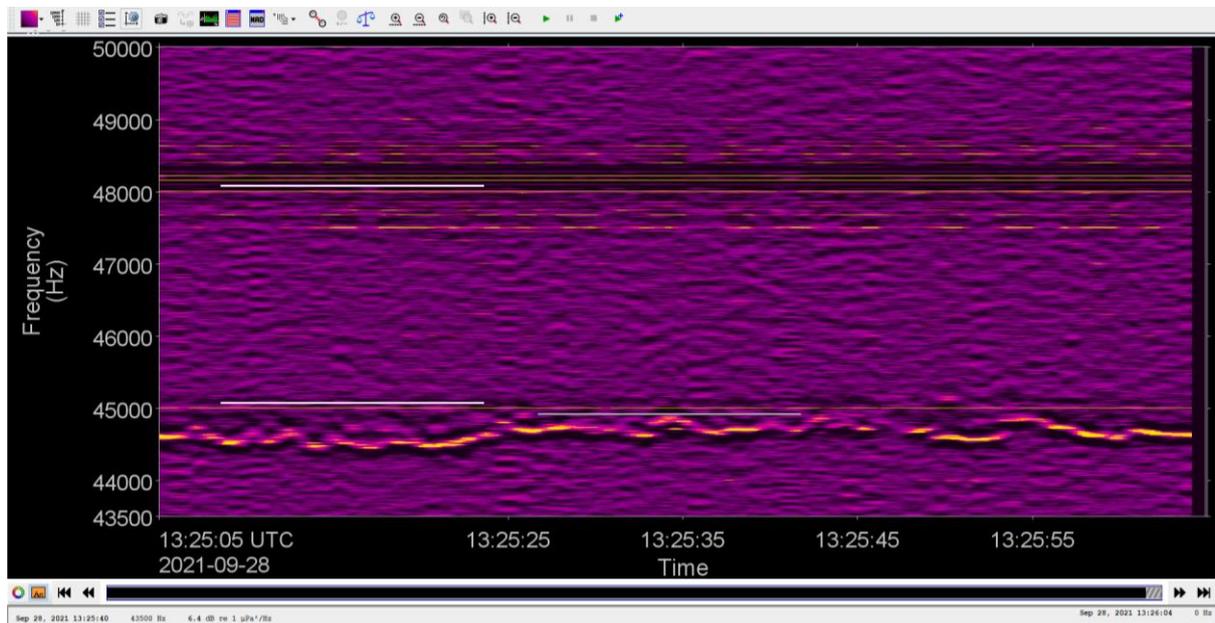


Figura D-15. Stazione N1kA: Emissioni di una turbina a 44.716kHz in stato stazionario sotto carico (linea arancione-viola). Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine a 48.15kHz.

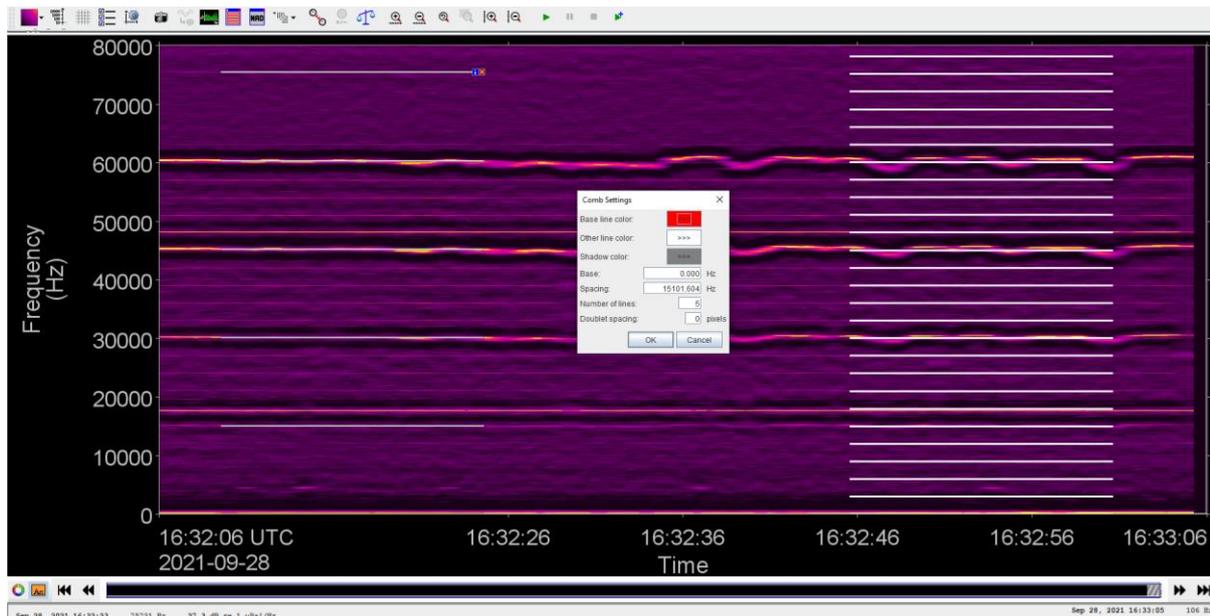


Figura D-16. Stazione E1kA: Emissioni di una turbina a 15.101kHz; armoniche dalla prima alla quinta sono visibili. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine.

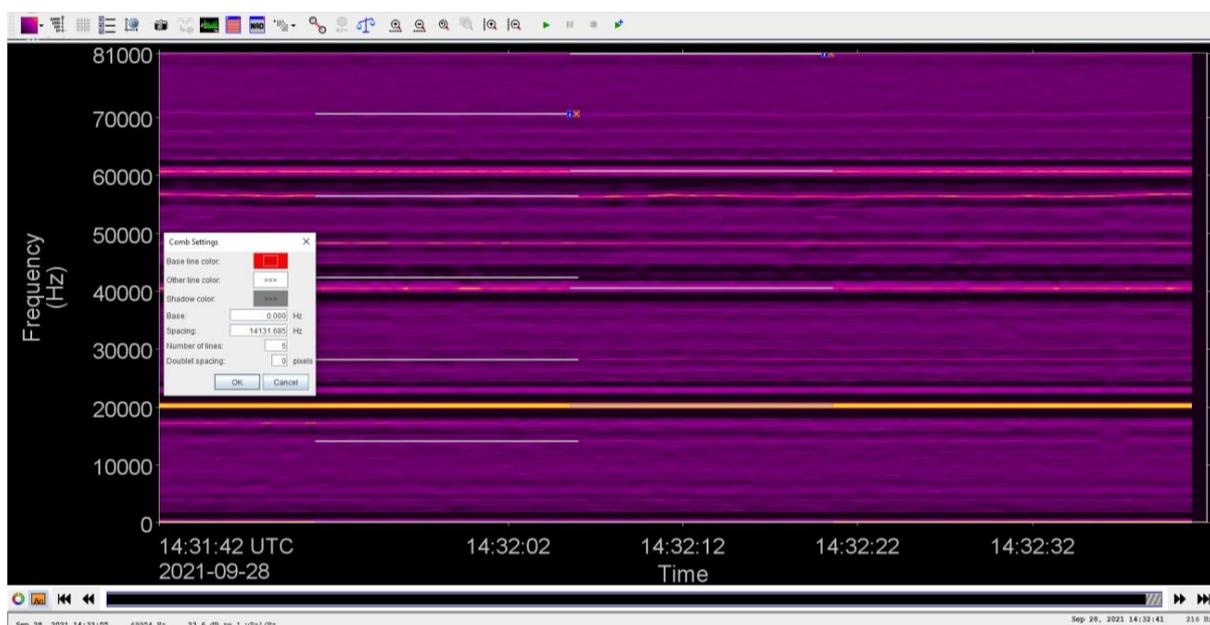


Figura D-17. Stazione O1kA: Emissioni di una turbina a 14.131kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine.

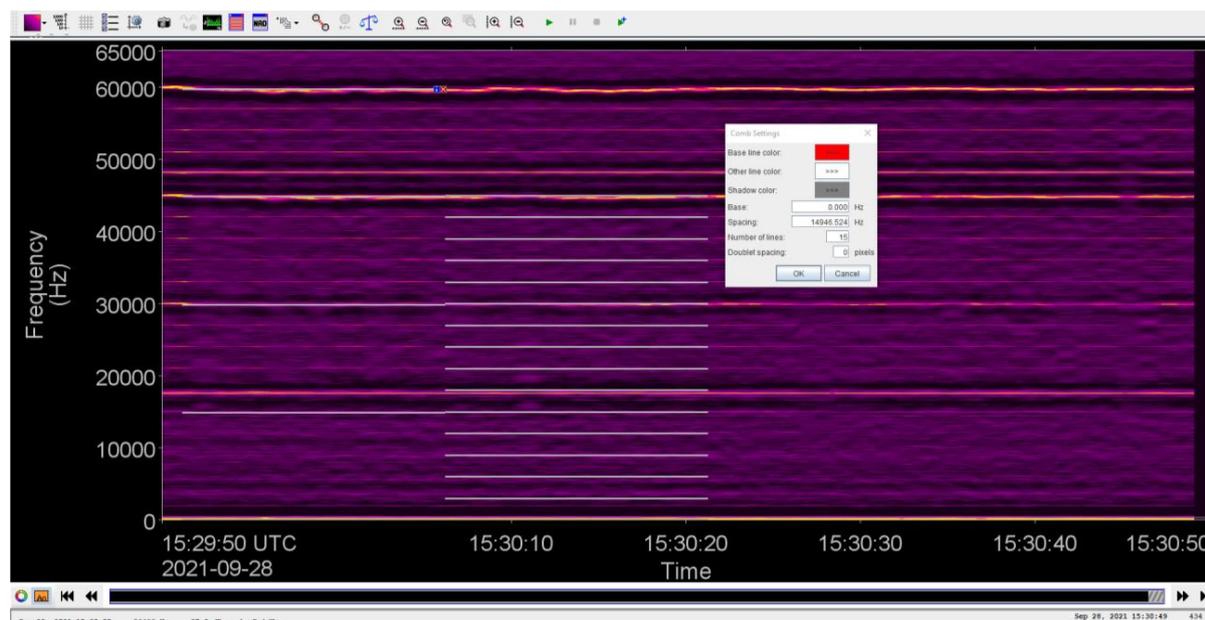


Figura D-18. Stazione S1kA: Emissioni di una turbina a 14.945kHz; armoniche dalla prima alla quarta sono visibili. Gli artefatti del sistema di acquisizione dei dati acustici sono anche visibili nell'immagine.

D.3. Altre sorgenti identificate

Le seguenti sorgenti non connesse alle attività del rigassificatore sono state identificate nelle registrazioni campionate per l'analisi manuale:

- Chiara velocità di rotazione del propulsore o della pala di una nave di superficie vicina al ricevitore ci si aspetta direttamente coinvolti in tali operazioni. La velocità di rotazione di PAL sembra essere correlata al propulsore in quanto è ad alta velocità e rallenta rapidamente come se la nave stesse mantenendo la posizione vicino alla FSRU. PAL è stato condotto a velocità 1/6 e 1/10 per accertare la fonte delle emissioni. La firma della FSRU è nulla in quanto la firma della nave al seguito supera qualsiasi emissione della FSRU. Si osservano velocità della lama (4° conteggio di fortuna) alle 13.03 prima di passare a velocità inferiori. Nessun componente della trasmissione è visto nella gamma a frequenze molto basse, basse o medie come previsto se le operazioni del propulsore sono in vigore. Le operazioni diventano stazionarie alle 13:50:09 del 1° Ottobre 2021 (Figura D-19).
- Toni di stato stazionario a ciclo non relativi a FSRU. Non è determinato se si tratti di un motore a poli di una nave nordamericana poiché non sono facilmente evidenti schemi di superficie. La 1a e la 3a armonica sono evidenti e non reagiscono allo stesso modo delle emissioni FSRU. L'analisi acustica mostra la presenza di due motori (Figura D-20).
- Motore rilevato di una nave, probabilmente attribuibile a LNG Express. Diesel di grandi dimensioni con una velocità di accensione di 949 Hz corrispondente a 569,4 rotazioni del motore al minuto. Il motore è a 2 tempi di apparente design rettilineo 10 o 12. Non sono stati identificati altri componenti relativi all'azionamento, pertanto non vengono forniti ulteriori dettagli. L'imbarcazione può essere in manovra o statica e produce pochissima acustica nelle regioni delle frequenze basse o bassissime (Figura D-21).
- Un motore a 2 cilindri identificabile tramite le linee dell'albero motore che si attenuano durante l'allontanamento dal ricevitore. Questo motore ha un apparente design a V-14 o 7 cilindri in linea che produce una velocità dell'albero motore CFR di $17,87 * 60/2 = 536$ rotazioni per minuto. Ci sono anche generatori diesel visibili nella registrazione, ma nessuna corrispondenza può essere

eseguita matematicamente. Hanno un design a 4 tempi e mostrano velocità dell'albero motore (CSR) intermittenti <1,4 kHz (Figura D-22).

- Nave lontana non correlata alla FSRU che mostra velocità di accensione del motore ma priva di componenti della trasmissione identificabili probabilmente a causa della distanza o della velocità. Classificata come portarinfuse con motore a 2 tempi (Figura D-23).
- Motore diesel a 4 tempi con una CSR = 14.3 corrispondente a 857,4 giri al minuto. Questa disposizione è simile a un'imbarcazione da diporto a distanza; tuttavia, non sono stati rilevati altri componenti della trasmissione. La fiducia è solo del 50% senza componenti corrispondenti (Figura D-24).



Figura D-19. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione O100A connessa alle attività del FSRU. La barca viene identificata col nome di Toscana nelle note di campo (rimorchiatore)

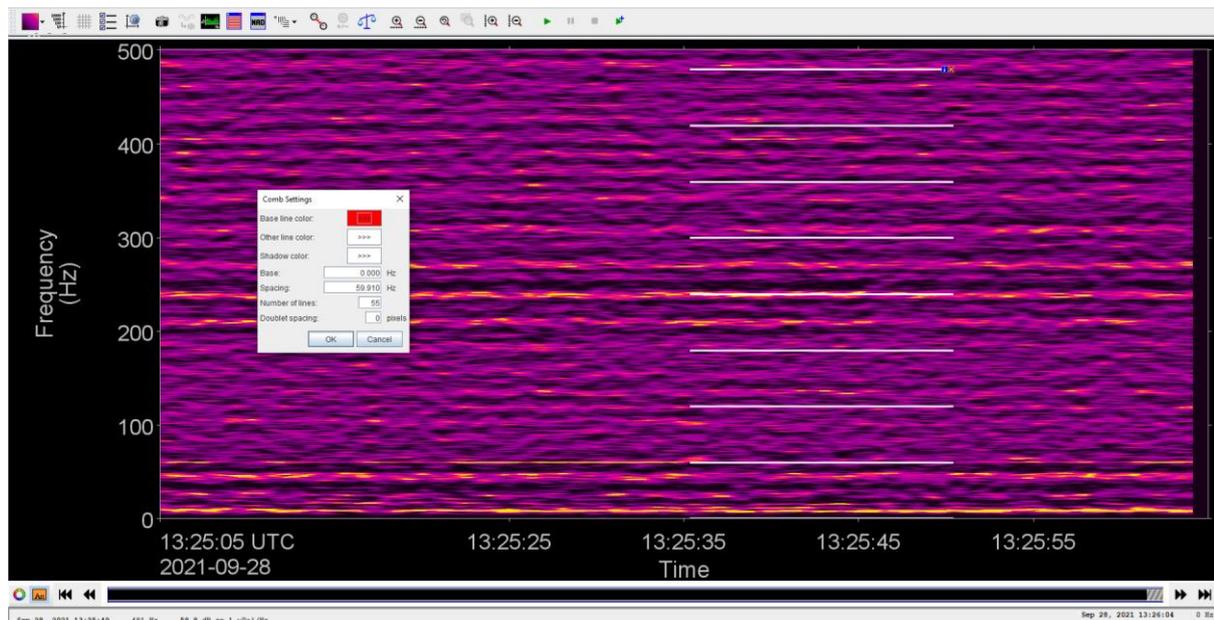


Figura D-20. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione N1kA non connessa alle attività del FSRU.

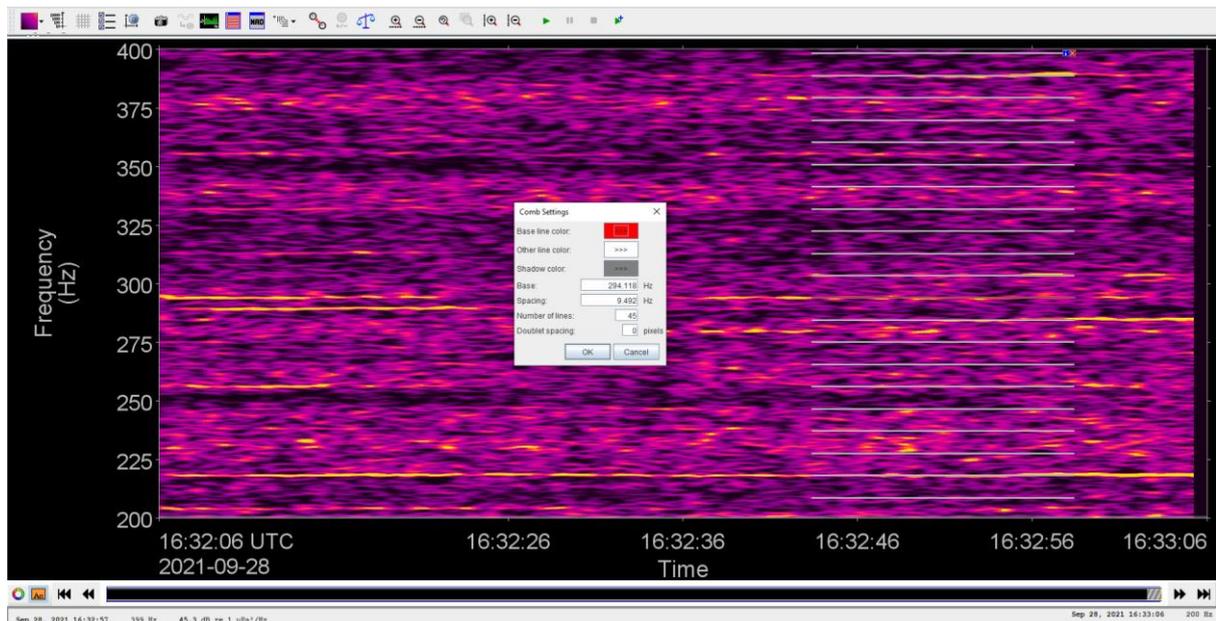


Figura D-21. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione E1kA che potrebbe essere connessa alle attività del FSRU in quanto registrata nei pressi del terminale.

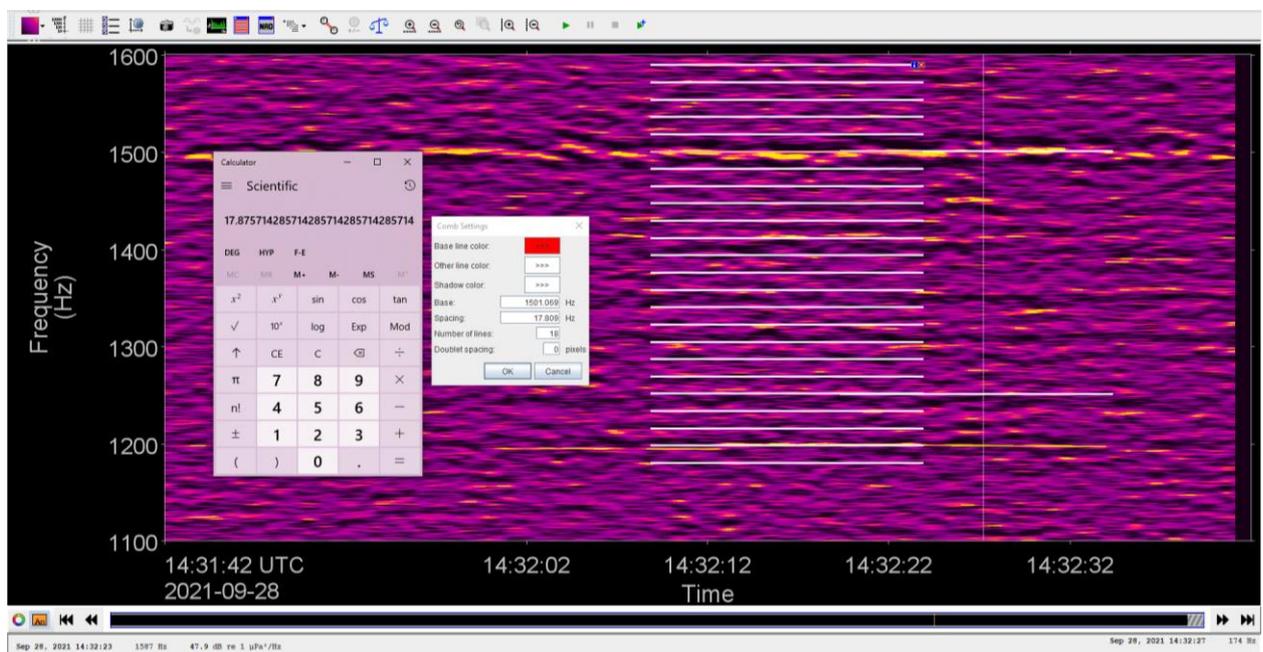


Figura D-22. Imbarcazione identificata nelle registrazioni presso la stazione O1kA non connessa alle attività del FSRU.

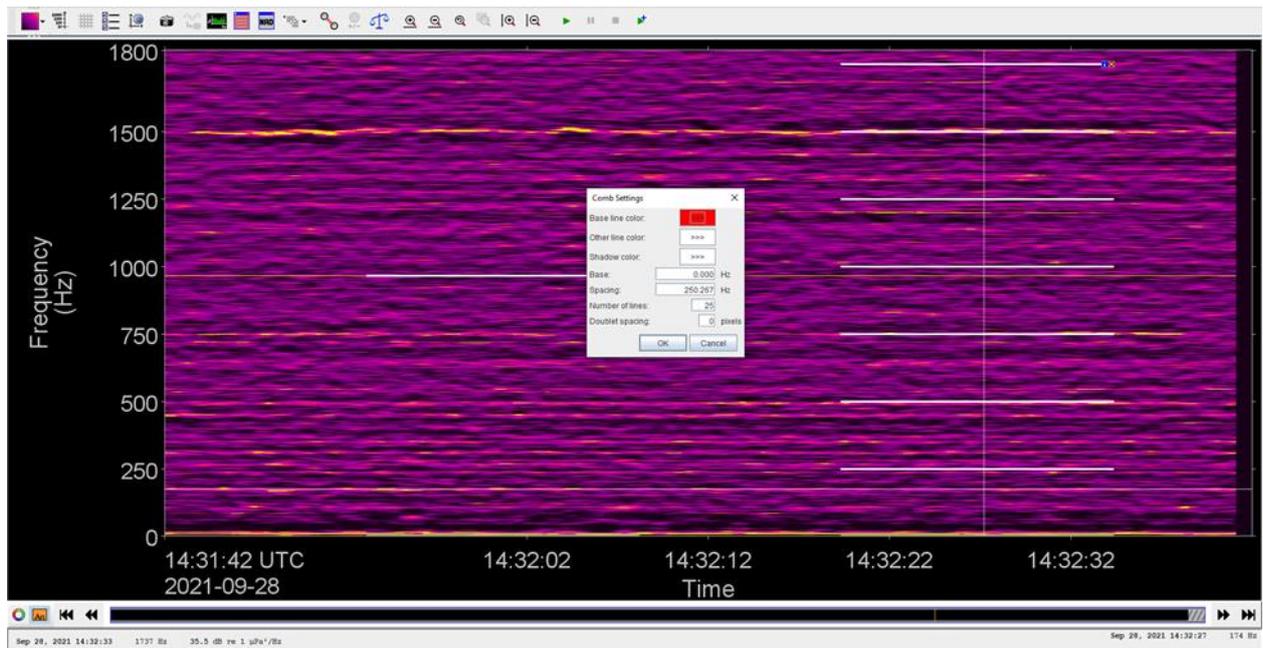


Figura D-23. Portarinfuse identificata nelle registrazioni presso la stazione O1kA non connessa alle attività del FSRU.

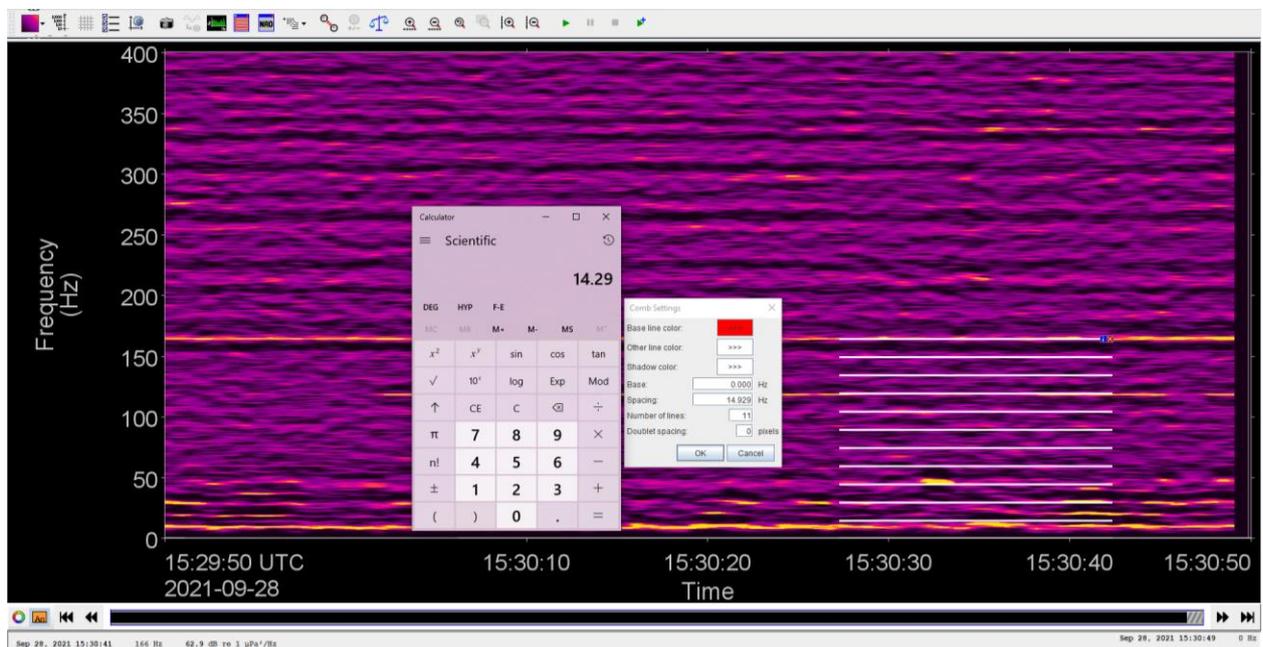


Figura D-24. Sospetta imbarcazione da diporto identificata nelle registrazioni presso la stazione S1kA non connessa alle attività del FSRU.

Appendice E. Stagione Estate 2021 (E21)

E.1. Livelli ricevuti

Tabella E-1. Livelli ricevuti corrispondenti alle distanze nominali del monitoraggio per i livelli a banda larga e le frequenze 63Hz e 125Hz.

Stagione	Distanza (m)	Banda larga - 10Hz - 20kHz		Banda larga 10Hz-50kHz		63 Hz		125 Hz	
		8m	55m	8m	55m	8m	55m	8m	55m
2021-09	100	115.2	119.2	115.2	119.2	103.0	103.1	101.6	103.5
	1000	108.2	112.4	108.2	112.4	88.3	91.2	87.6	89.8
	10000	117.5	119.7	117.5	119.6	99.1	98.7	91.8	93.8

E.2. Livelli di sorgente

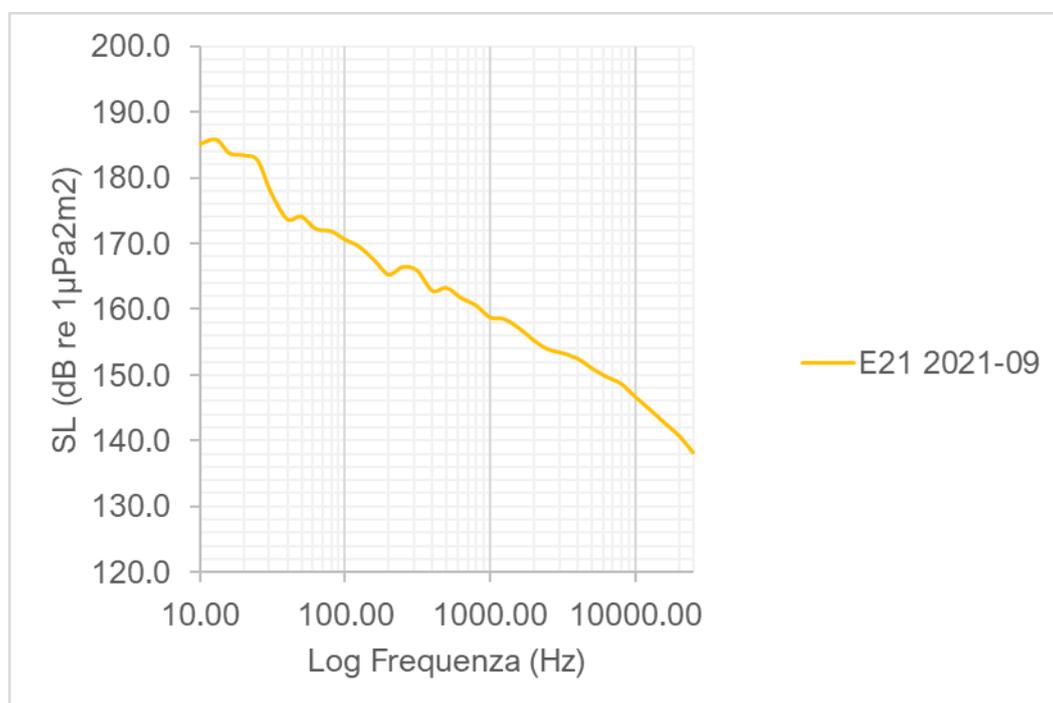


Figura E-1. Livelli di sorgente (in bande decidecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.

E.3. Distanze delle soglie comportamentali

Tabella E-2. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.

L _p non ponderato (dB re 1 μPa)	E21 2021-09	
	Rmax	R95
170	-	-
160	-	-
150	0.05	0.05
140	0.21	0.21
130	0.52	0.50
120	2.07	1.95
110	6.08	5.22
100	16.3	13.6

Tabella E-3. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi di mammiferi marini.

Gruppo uditivo	2021-09	
	Rmax (km)	R95 (km)
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	-	-
	0.29	0.29
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	-	-
	-	-
Cetacei – frequenze molto alte Very High frequency (VHF) cetaceans	-	-
	0.28	0.27
Phocid Pinnipeds in Water	-	-
	0.05	0.05

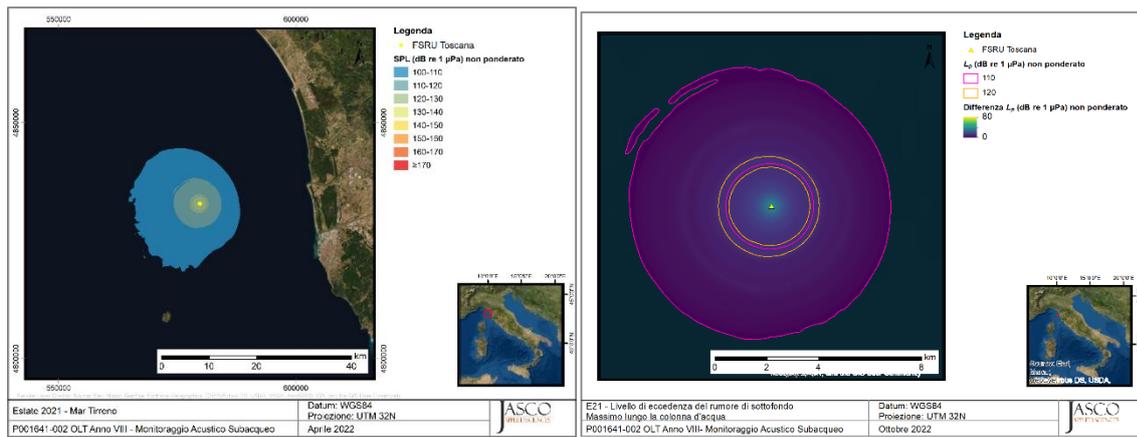


Figura E-2. Stagione E21 2021-09: Mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

Allegato B

Marine Operation Procedure 25 – Avvistamento Cetacei

Doc. No. P0029592-1-H1 Rev. 1 - Novembre 2022



 FRATELLI NERI S.p.A. Livorno	Date 28/07/2021	Revision 0	Page 1 of 10
MARINE OPERATION PROCEDURE AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING MOP 25			

MOP 25

AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING

<i>Author</i>	<i>Reviewed/Checked by</i>	<i>Approved by</i>
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

 FRATELLI NERI S.p.A. Livorno	Date 28/07/2021	Revision 0	Page 2 of 10
MARINE OPERATION PROCEDURE AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING MOP 25			

1. Generalità

Il terminale off-shore FSRU Toscana è posizionato all'interno del Santuario dei Cetacei, zona marina di 87.500 Km² nata da un accordo tra Italia, Francia e Principato di Monaco per la protezione dei mammiferi marini che la frequentano.

L'Accordo si prefigge di promuovere azioni concertate e armonizzate tra i tre paesi firmatari per la protezione dei cetacei e dei loro habitat contro tutte le eventuali cause di disturbo: inquinamento, rumore, cattura e ferite accidentali, turbativa, ecc.

Il Santuario Pelagos comprende le acque costiere e l'ambiente pelagico dell'area compresa tra il promontorio della penisola di Giens e il Fosso Chiarone nella Toscana meridionale. Esso incorpora le acque che bagnano numerose isole, quali la Corsica e la Sardegna settentrionale, nonché isole più piccole come quelle davanti a Hyères, oltre al litorale della Liguria, dell'arcipelago toscano e delle Bocche di Bonifacio.

Inoltre, nel Gennaio 2021 la regione Toscana ha proposto un nuovo SIC (Sito di Importanza Comunitaria) a mare dedicato ai delfini e denominato "Tutela del Tursiops Truncatus" (codice Natura 2000 IT5160021).

Si tratta di un'area di ben 3.740 km² già inclusa nel "Santuario Pelagos".

Nell'iter autorizzativo necessario per il futuro servizio dello SSLNG, (Small Scale LNG), OLT ha tenuto di conto del nuovo SIC e quindi delle implicazioni attuative dello stesso.

1. General

The FSRU Toscana is an off-shore terminal located inside the Sanctuary for Mediterranean Marine Mammals, a marine area of 87,500 km² created by an agreement between Italy, France and the Principality of Monaco for the protection of the marine mammals that frequent it.

The Agreement aims to promote concerted and harmonized actions between the three signatory countries for the protection of cetaceans and their habitats against all possible causes of disturbance: pollution, noise, capture and accidental injuries, disturbance, etc.

The Sanctuary for Mediterranean Marine Mammals includes the coastal waters and the pelagic environment of the area between the promontory of the Giens peninsula and the Fosso Chiarone in southern Tuscany. It incorporates the waters that bathe numerous islands, such as Corsica and northern Sardinia, as well as smaller islands such as those in front of Hyères, as well as the coast of Liguria, the Tuscan archipelago and the Strait of Bonifacio.

Furthermore, in January 2021 the Tuscan region proposed a new SIC (Site of Community Importance) at sea dedicated to dolphins and called "Tutela del Tursiops Truncatus" (code Natura 2000 IT5160021).

This is an area of 3,740 km² already included in the "Pelagos Sanctuary".

In the authorization process necessary for the future SSLNG service, (Small Scale LNG), OLT has taken into account the new SIC and therefore its implementation implications.

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

 FRATELLI NERI S.p.A. Livorno	Date 28/07/2021	Revision 0	Page 3 of 10
MARINE OPERATION PROCEDURE AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING MOP 25			

2. Scopo

OLT, proprietario del terminale FSRU Toscana, ha messo in atto una serie di azioni mitigatrici per la riduzione del rumore nell'area circostante il terminale al fine di ridurre ogni potenziale impatto sui cetacei e tartarughe marine, in particolare, a possibili eventi di collisione o al disturbo da emissioni sonore sottomarine a cui potrebbero essere esposti nel caso di transito nell'area circostante il terminale.

Una delle azioni mitigatrici richieste da OLT alla nave guardiana, è il monitoraggio visivo diurno dell'area circostante il terminale per rilevare eventuali presenze di cetacei.

Tale monitoraggio, deve essere svolto prevalentemente nelle ore diurne ed in particolare ad ogni accosto di navi metaniere o di navi SSLNGC (bettoline per rifornimento bunker GNL).

3. Avvistamento di cetacei

La nave guardiana, durante l'attività di pattugliamento dell'area circostante il terminale FSRU Toscana, deve svolgere attività diurna di avvistamento di eventuali cetacei.

In caso di avvistamento di cetacei, in qualsiasi posizione, la nave guardiana, deve avvertire il Terminale FSRU Toscana per le azioni di competenza e compilare la "scheda di avvistamento mammiferi marini", prodotta dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e disponibile in formato Pdf editabile, dove dovranno essere inseriti tutti i dati richiesti, compreso il tipo di mammifero marino avvistato in base alla descrizione disponibile nella scheda.

Per il riconoscimento della tipologia di cetacei è importante comprendere se si tratta di un cetaceo a bassa o alta frequenza, in modo da comunicarlo al terminale per le opportune azioni di mitigazione.

2. Scope

OLT, owner of the FSRU Toscana, has implemented a series of mitigating actions for the reduction of noise in the area surrounding the terminal in order to reduce any potential impact on cetaceans and sea turtles, in particular, to possible collision events or the disturbance from underwater noise emissions to which they could be exposed in case of transit in the area surrounding the terminal.

One of the mitigating actions required by OLT to the guardian vessel is the daytime visual monitoring of the area surrounding the terminal to detect any presence of cetaceans. This monitoring must be carried out mainly during the day and in particular at each berth of LNG carriers or SSLNGC ships (barges for refueling LNG bunker).

3. Sighting of cetaceans

The guardian vessel, while patrolling the area around the FSRU Toscana, must carry out daytime sighting of any cetaceans.

In case of sighting of cetaceans, in any position, the guardian vessel must notify the FSRU Toscana Terminal for the actions of competence and fill in "scheda di avvistamento mammiferi marini", produced by the Istituto Idrografico della Marina Militare and available in editable Pdf format, must be filled in, where all the required data must be entered, including the type of marine mammal sighted based on the description available in the form.

For the recognition of the type of cetaceans it is important to understand if it is a low or high frequency cetacean, in order to communicate it to the terminal for the appropriate mitigation actions.

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

 FRATELLI NERI S.p.A. Livorno	Date 28/07/2021	Revision 0	Page 4 of 10
MARINE OPERATION PROCEDURE AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING MOP 25			

Di seguito la classificazione dei cetacei in base alla sensibilità acustica (con LF si identificano i cetacei a bassa frequenza e con MF i cetacei a media frequenza come da linee guida ISPRA):

Balaenoptera physalus : LF
 Balaenoptera acutorostrata: LF
 Capodoglio MF
 Delphinus : MF
 Globicefalo: MF
 Grampo: MF
 Orca: MF
 Pseudorca :MF
 Stenella MF
 Tursiopo:MF
 Zifio: MF

Below is the classification of cetaceans based on acoustic sensitivity (LF identify low frequency cetaceans and MF identify medium frequency cetaceans as per the ISPRA guideline):

Balaenoptera physalus : LF
 Balaenoptera acutorostrata: LF
 Capodoglio MF
 Delphinus : MF
 Globicefalo: MF
 Grampo: MF
 Orca: MF
 Pseudorca :MF
 Stenella MF
 Tursiopo:MF
 Zifio: MF

La scheda di avvistamento mammiferi marini compilata, dovrà essere inviata via e-mail:

A: Istituto Idrografico della Marina Militare
maridrografico.genova@marina.difesa.it
 in copia a: OLT: Monica.Giannetti@oltoffshore.it
Veronica.Bianchi@oltoffshore.it
 ECOS: office.ecos@ecos-lng.com
tm@ecos-lng.com
 Fratelli Neri: d.costaglione@nerigroup.net

The filled in marine mammal sighting form must be sent by e-mail:

To: Istituto Idrografico della Marina Militare
maridrografico.genova@marina.difesa.it
 copy to: OLT: Monica.Giannetti@oltoffshore.it
Veronica.Bianchi@oltoffshore.it
 ECOS: office.ecos@ecos-lng.com
tm@ecos-lng.com
 Fratelli Neri: d.costaglione@nerigroup.net

Particolare attenzione dovrà essere prestata in caso di avvicinamento di cetacei verso il Terminale, alle distanze rispettivamente di 300 m per i Tursiopi e altri cetacei sensibili alle medie frequenze MF e di circa 1 km per i cetacei sensibili alle basse frequenze LF (distanze calcolate da OLT durante una campagna del rumore di allibio

Particular attention must be paid in case of approach of cetaceans towards the Terminal, at distances respectively of 300 m for bottlenose dolphins and other cetaceans sensitive to medium frequencies MF and of about 1 km for cetaceans sensitive to low frequencies LF (distances calculated by OLT during a September 2020 STS

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

 FRATELLI NERI S.p.A. Livorno	Date 28/07/2021	Revision 0	Page 5 of 10
MARINE OPERATION PROCEDURE AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING MOP 25			

del settembre 2020 alle quali i cetacei mostrano le prime risposte comportamentali), ed in caso di disorientamento degli individui, aggiornando costantemente il terminale FSRU Toscana sulla posizione dell'animale.

noise campaign to which the cetaceans show the first behavioral responses), and in case of disorientation of the individuals, constantly updating the FSRU Toscana terminal on the position of the animal.

In caso di avvistamenti a distanze maggiori, la nave guardiana effettuerà il monitoraggio dell'animale verificando l'eventuale avvicinamento dello stesso al terminale.

In the event of sightings at greater distances, the guardian vessel will monitor the animal by verifying its possible approach to the terminal.

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

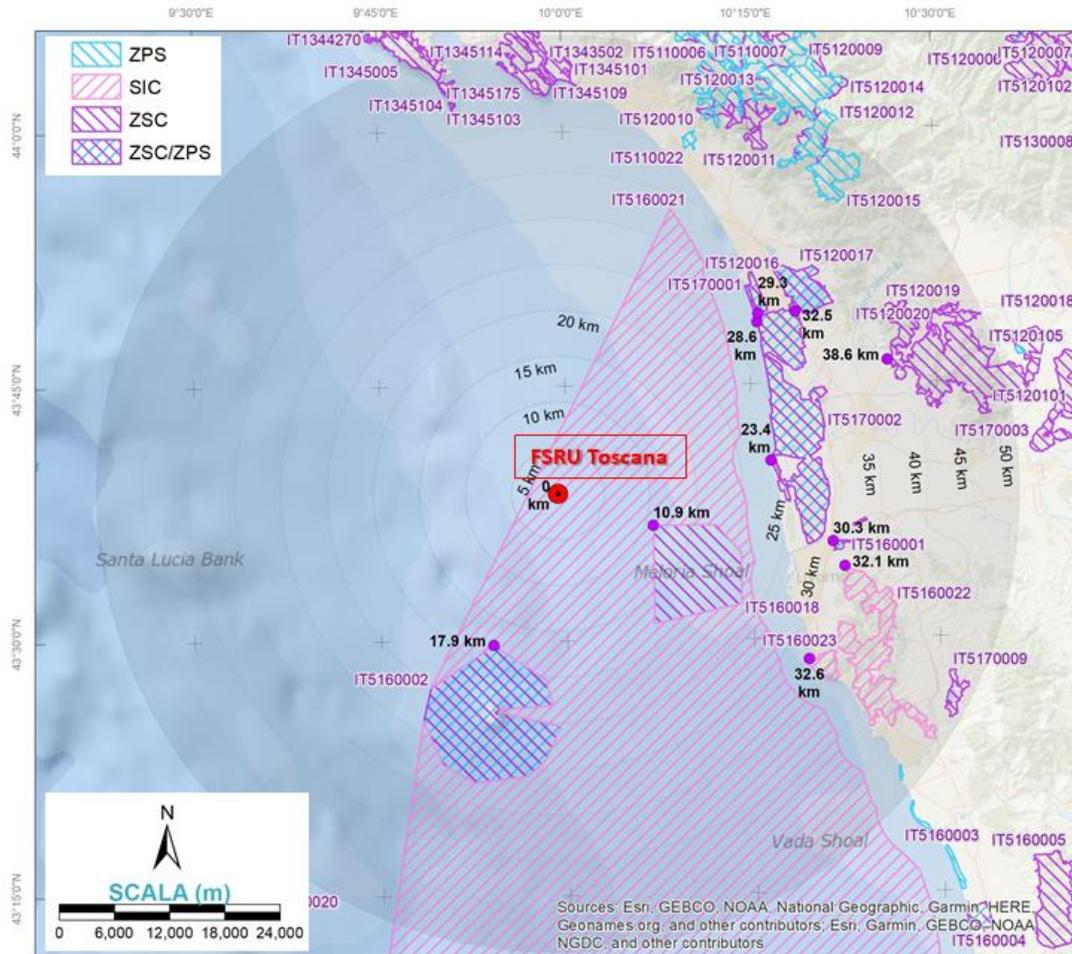
 FRATELLI NERI S.p.A. Livorno	Date 28/07/2021	Revision 0	Page 6 of 10
MARINE OPERATION PROCEDURE AVVISTAMENTO CETACEI CETACEAN SIGHTING MOP 25			



Santuario dei cetacei - Sanctuary for Mediterranean Marine Mammals

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

MARINE OPERATION PROCEDURE
AVVISTAMENTO CETACEI
CETACEAN SIGHTING
MOP 25



Nuovo SIC “Tutela del Tursiops Truncatus” – New SIC “Tutela del Tursiops Truncatus”

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

**MARINE OPERATION PROCEDURE
AVVISTAMENTO CETACEI
CETACEAN SIGHTING
MOP 25**



ISTITUTO IDROGRAFICO DELLA MARINA

Scheda di Avvistamento Mammiferi Marini



Nome della Nave / Indirizzo dell'avvistatore

Data Ora Latitudine N S Longitudine E W

Luogo dell'Avvistamento

Vento Direzione Vento Stato del Mare Direzione Onda

Note

DESCRIZIONE CETACEI

Numero Animali Adulti Giovani Grandezza stimata in m Foto Video

Descrizione del soffio: Altezza (m) Verticale Inclinato Nessuno

Identificazione: Certa Probabile Incerta

COMPORAMENTO

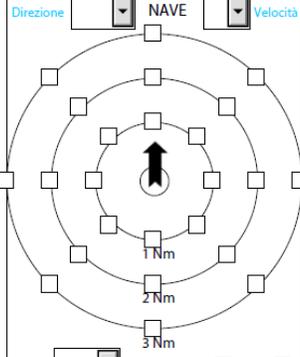
In movimento In riposo Spostamento casuale Foto

Altro

Posizione degli animali rispetto alla Nave

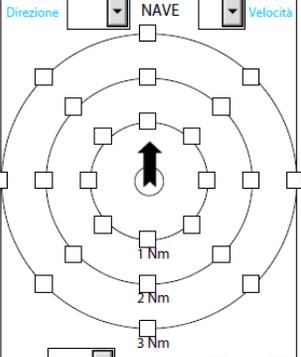
(spuntare e usare più di una figura per descrivere cambiamenti nel tempo)

Direzione NAVE Velocità



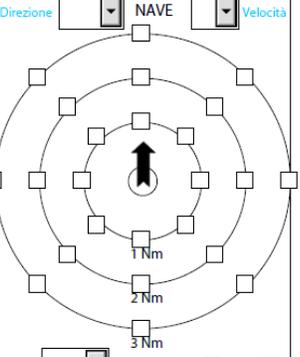
Ora Sonar On Off

Direzione NAVE Velocità



Ora Sonar On Off

Direzione NAVE Velocità



Ora Sonar On Off

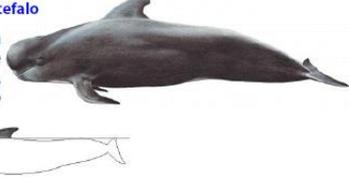
**COLLABORA PER LA TUTELA DELL' AMBIENTE MARINO
INVIANDO COPIA DI QUESTA SCHEDA A:**

Istituto Idrografico della Marina
Passo dell'Osservatorio, 4 - 16135 Genova - Tel. +39/01024431 - Fax +39/010261400 - e-mail maridrografico.genova@marina.difesa.it

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

MARINE OPERATION PROCEDURE
AVVISTAMENTO CETACEI
CETACEAN SIGHTING
MOP 25

RICONOSCIMENTO DELLA SPECIE

<input type="checkbox"/> <p>Lunga fino a 24 m, dorso grigio scuro-nero, ventre e parte destra della mandibola bianchi. Pinna dorsale arretrata, piccola e falcata. Soffio verticale e alto. E' il Mysticete più comune in Mediterraneo. Acque pelagiche.</p>	<p>Balaenoptera physalus, Balenottera comune</p> 
<input type="checkbox"/> <p>Lunga fino a 10 m (nei mari italiani non supera i 7 m) è la più piccola delle balene. Pinna dorsale arretrata, piccola e falcata. Nel Mediterraneo la sua presenza è segnalata solo nella porzione occidentale. Dopo 5-8 soffi a intervalli di 1 minuto compie un'immersione che dura circa 8 minuti, ma il suo soffio non è ben visibile.</p>	<p>Balaenoptera acutorostrata, Balenottera minore</p> 
<input type="checkbox"/> <p>Lungo fino a 18 m, capo squadrato, colore grigio/brunastro, pinna dorsale arretrata, bassa e triangolare. Profilo dentellato dalla pinna dorsale alla coda. Soffio basso e obliquo, inclinato a sinistra. All'inizio delle immersioni profonde solleva la coda fuori dall'acqua. Spesso si incontra sulla batimetrica dei 1000 metri.</p>	<p>Physeter macrocephalus, Capodoglio</p> 
<input type="checkbox"/> <p>Lungo fino a 2 m, corporatura piuttosto robusta, colorazione peculiare con il dorso molto scuro, quasi nero, e un ventre chiaro. Tra dorso e ventre, sui fianchi, si estende un disegno a forma di "dlessidra" composto da due macchie allungate, delle quali la più vicina al capo è di colore grigio giallognolo, mentre quella in direzione caudale è di colore grigio.</p>	<p>Delphinus delphis, Delfino comune</p> 
<input type="checkbox"/> <p>Lunghi fino a 6 m, sono così chiamati per la caratteristica forma a globo della loro testa. Spesso si osservano fermi sulla superficie dell'acqua. Colorazione nera assai brillante con riflessi bruni, ventre bianco. Pinne pettorali lunghe, pinna dorsale ampia alla base, inarcata e ricurva. Gli atti respiratori sono intervallati da immersioni della durata di circa 10 minuti.</p>	<p>Globicephala melas, Globicefalo</p> 
<input type="checkbox"/> <p>Lungo fino a 3.5 m, capo globoso, colore grigio con "cicatrici" bianche. I maschi adulti possono essere completamente bianchi. Pinna dorsale alta e falcata. E' più frequente nei bacini occidentali, cioè nel Mar Ligure e nel Mar Tirreno, in acque profonde. Ha un nuoto tranquillo, talvolta rimane in verticale, con la coda fuori dall'acqua, per qualche decina di secondi. Le sue immersioni possono protrarsi per oltre 20 minuti.</p>	<p>Grampus griseus, Grampo</p> 

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director

MARINE OPERATION PROCEDURE
AVVISTAMENTO CETACEI
CETACEAN SIGHTING
MOP 25



Orcinus Orca, Orca

Lunga fino a 5 m la femmina e 8 m il maschio, colorazione bianca sul ventre e nera sul dorso, interrotta solo da due macchie ovali, bianche, dietro gli occhi, e da una macchia allungata, detta sella, di colore grigio, dietro la base della pinna dorsale. Pinna dorsale alta e pinne pettorali di grandi dimensioni che crescono con l'età e nei maschi anziani possono arrivare a un quinto della lunghezza dell'intero animale. Molto rara nel Mediterraneo, dove gli avvistamenti sono sporadici ed occasionali. Le poche segnalazioni riguardano la parte occidentale; in Italia nel Mar Ligure e nelle acque intorno alla Sardegna e alla Sicilia.



Pseudorca crassidens, Pseudorca

Lunga fino a 6 m, di colore nero uniforme e a volte più chiaro sul ventre, presenta un rostro non molto lungo ma largo, mandibola poderosa. Molto rara nel Mediterraneo, è stata segnalata nel Mar Ligure, nelle Eolie, lungo la costa della Sicilia e della Sardegna e nelle Baleari.



Stenella coeruleoalba, Stenella

Lunga fino a 2 m, rostro distinto, tipico disegno bianco/grigio chiaro a "fiamma" sul fianco. Dorso grigio scuro/nero, striature nere dagli occhi alle pinne pettorali. E' il delfino più comune in Mediterraneo. Acque pelagiche.



Steno bredanensis, Steno

Lungo fino a 2.5 m, rostro evidente e tipica rima buccale bianca, capo piuttosto arrotondato, nessuna linea di discontinuità tra capo e rostro. Visto dall'alto il rostro ha forma triangolare. Pinna alta e falcata.



Tursiops truncatus, Tursiope

Lungo fino a 3-4 m, capo robusto con rostro corto. Colore grigio-grigio scuro sul dorso, più chiaro sui fianchi. Ventre bianco rosato. E' la tipica specie da delfinario. Acque costiere.



Ziphius cavirostris, Zifio

Lungo fino a circa 6.5 m, capo piccolo, rostro corto, colore da grigio a bruno con segni bianchi di forma circolare e a "cicatrice". Pinna dorsale piccola e falcata.



Invia tramite mail

COLLABORA PER LA TUTELA DELL' AMBIENTE MARINO
INVIANDO COPIA DI QUESTA SCHEDA A:

Stampa

Istituto Idrografico della Marina
Passo dell'Osservatorio, 4 - 16135 Genova - Tel. +39/01024431 - Fax +39/010261400 - e.mail maridrografico.genova@marina.difesa.it

Author	Reviewed/Checked by	Approved by
David Costaglione Operation Manager	Gianluca Iannone DPA	Enrico Mucci Director



RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.
Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.