



OLT Livorno, Italia

Terminale di Rigassificazione FSRU Toscana

Analisi dei Dati delle 4 Campagne del IX° Anno di Monitoraggio (A21, I22, P22, E22) e Modellizzazione del Rumore Sottomarino

Doc. No. P0029592-1-H4 Rev. 0 - Aprile 2023

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	F. Fossa	A. Giovanetti	M. Compagnino	Aprile 2023

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.

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 APPENDICI	1
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

LISTA DELLE APPENDICI

Appendice A: Rapporto Tecnico "Monitoraggio Del Rumore Subacqueo Presso Il Terminale Fsrु Toscana – Monitoraggio Anno VIII"

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 $1 \mu\text{Pa}^{2\text{s}}$ sott'acqua e dB re $(20 \mu\text{Pa})^{2\text{s}}$ in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). 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 (valori per il 95° percentile).	13
Tabella 4.2:	Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini (valori per il 95° percentile)	14

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	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).

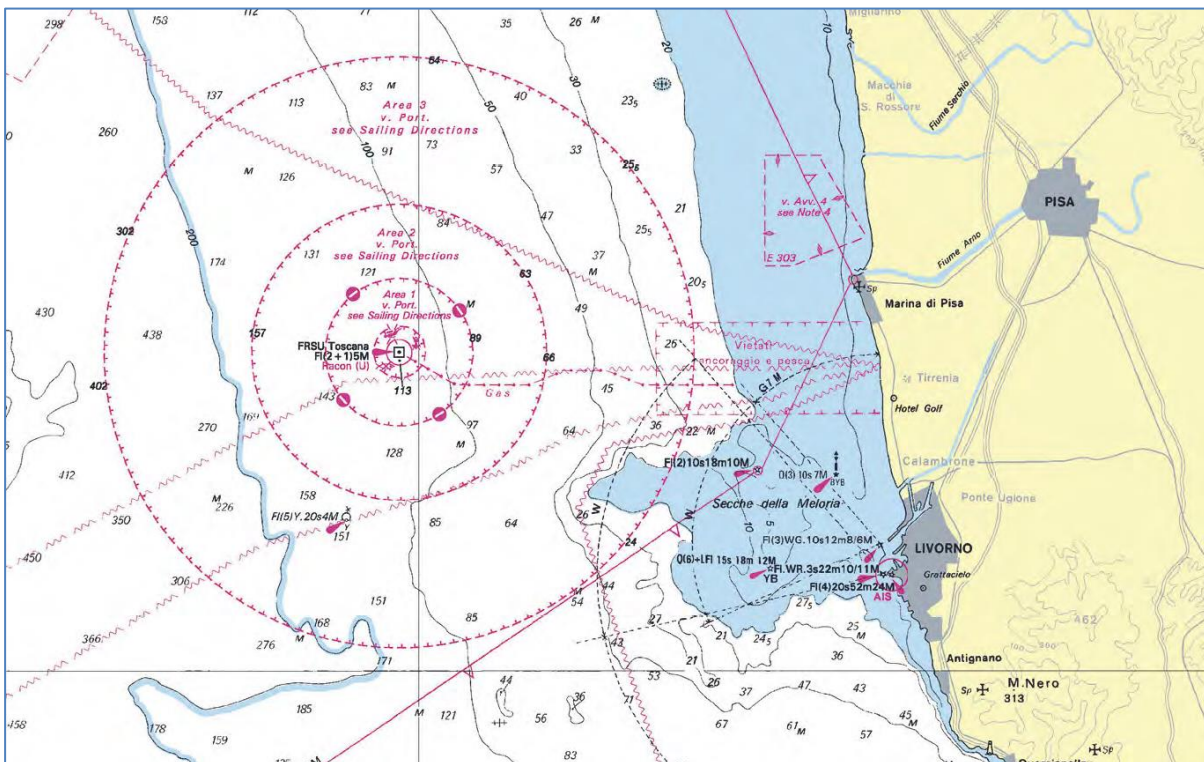


Figura 1.1: Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana

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 standard metri cubi¹ 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 oggi MASE) **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.

¹ Attualmente OLT sta completando le autorizzazioni per aumento di capacità fino a 5 miliardi di standard metri cubi

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:

[...]

- 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;*

[...]

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 n. 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 8 anni di esercizio** (dall’Autunno 2013 all’Estate 2021), per ciascuna delle quali (con l’eccezione del VII° e dell’VIII° 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 V° 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”*.

Inoltre, a corredo della documentazione di ottemperanza per il VI° anno di monitoraggio, il Ministero ha condiviso con 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 ed in maniera completa a partire dal report dell’8° anno. Si sottolinea altresì che OLT ha messo in atto le richieste di modifiche nella raccolta dati sul campo contenute nelle citate note tecniche, già a partire dalla campagna della primavera 2021 (P21) dell’8° anno di monitoraggio.

Nel corso del 2021-2022 hanno avuto luogo dei confronti (interlocuzioni) con i tecnici competenti di ISPRA e ARPAT finalizzati a concordare le modifiche da apportare alla metodologia di campionamento ed analisi dei dati sin qui utilizzate per il monitoraggio del rumore sottomarino per allinearle con le migliori pratiche ingegneristiche del settore, le più aggiornate tecniche di modellizzazione del rumore sottomarino, le linee guida aggiornate della letteratura scientifica e con la nomenclatura ISO attualmente in vigore.

Per ottemperare alla prescrizione contenuta nel decreto di ottemperanza relativo alla citata prescrizione 7 per il V anno di monitoraggio del Terminale (**Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020**), nell’Agosto 2022 OLT ha presentato agli Enti competenti (prot. 2022/OUT/GENER/B/0198) i risultati del monitoraggio del rumore sottomarino durante un allibo eseguito nel mese di Giugno 2022 (Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0), ottenuti sulla base di una metodologia di campionamento e di analisi dei dati aggiornata, previamente discussa e concordata con ISPRA ed ARPAT.

La Direzione Generale Valutazioni Ambientali del MASE, con **Decreto Direttoriale N. 126 del 02 Marzo 2023** (ID VIP 6049) corredato dal Parere della Commissione Tecnica di Verifica dell’Impatto Ambientale VIA e VAS – Sottocommissione VIA n. 646 del 09 gennaio 2023, ha decretato la modifica della Prescrizione No. 7 che relativamente al monitoraggio del rumore sottomarino, stabilisce quanto segue:

“Per tutto il periodo di funzionamento del terminale dovranno essere effettuati i seguenti monitoraggi in mare con cadenza annuale (tranne dove diversamente specificato):

[...]

c. misura del rumore in acqua su due profili perpendicolari a 100 m, 1 km e 10 km dal terminale sia durante il funzionamento normale del Terminale (Stand-alone), nel periodo estivo e nel periodo invernale con cadenza triennale, che durante le fasi di allibo (sia per grandi metaniere, sia per metaniere small scale), nel periodo estivo e nel periodo invernale con cadenza annuale per i primi 4 anni, quindi triennale, al fine di verificare quanto affermato nello studio ambientale preliminare;

[...]

Il monitoraggio dovrà essere effettuato anche un anno dopo la dismissione del Terminale (una campagna estiva, in analogia alla fase ante operam).”

Oggetto del presente documento è dunque la 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 del IX° anno di monitoraggio (campagne A21, I22, P22, E22).

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). Si evidenzia che durante il 9° anno sono state messe in atto anche le migliorie di acquisizione richieste dall'autorità e riportate nelle citate note tecniche. Si rimanda al Rapporto Tecnico allegato al presente documento (Allegato A), per gli approfondimenti tecnici.

In particolare, il presente rapporto annuale contiene i risultati delle attività di monitoraggio svolte a cura del Centro Interuniversitario di Biologia Marina (CIBM) durante il nono anno di esercizio del Terminale nell'ambito di 4 campagne di indagine condotte dall'Autunno 2021 all'Estate 2022 (A21, I22, P22, E22), 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). Inoltre, nel documento sono riportati gli esiti di un confronto tra l'analisi dei dati raccolti nella campagna primaverile (P22) con quelli campionati nello stesso periodo dell'anno nei giorni immediatamente precedenti un allibio nel Giugno 2022 (Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0) ed i cui risultati sono stati presentati da OLT agli Enti competenti nell'Agosto 2022 (prot. 2022/OUT/GENER/B/0198). Il confronto ha permesso di individuare picchi di energia dovuti verosimilmente a rumore spurio di flusso dell'idrofono, non attribuibili al Terminale e dunque escludibili dall'analisi ai fini di ottenere una rappresentazione più fedele del contributo del rumore sottomarino attribuibile al Terminale FSRU Toscana sull'ambiente circostante.

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 (Sound Pressure Level, SPL) 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 state 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 2011², ACCOBAMS, 2013³, ACCOBAMS, 2020⁴) usando:

- ✓ una soglia di riferimento corrispondente a un livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, SPL) 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)⁵ che identificano soglie comportamentali variabili a seconda dei gruppi uditivi come segue:
 - Cetacei di bassa frequenza: SPL 100–110 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - Cetacei di media frequenza (corrispondente ai cetacei ad alta frequenza in Southall et al. (2019)): SPL 110–120 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - Cetacei di alta frequenza (corrispondente ai cetacei frequenza molto alta in Southall et al. (2019)): SPL 140–150 dB re 1 μ Pa non ponderato

Inoltre, i risultati dell'analisi dei dati raccolti nella campagna primaverile (P22) sono stati confrontati con quelli campionati nello stesso periodo dell'anno nei giorni immediatamente precedenti un allibio nel Giugno 2022 (Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0) al fine di individuare contributi spuri del rumore di fondo dovuti alla differente metodologia di acquisizione acustica.

Infine, sono state calcolate 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)⁶, che rappresentano le linee guida più recenti e complete per valutare l'impatto del rumore antropogenico sui mammiferi marini (Tabella seguente).

² 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.

³ 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.

⁴ 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.

⁵ 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.

⁶ 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 $\mu\text{Pa}^{2\text{s}}$ sott'acqua e dB re (20 μPa)^{2\text{s}}} in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA)⁷. 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

Le distanze di impatto sui mammiferi marini sono state calcolate per ogni stagione con due modalità differenti, in un caso considerando il rumore irradiato per tutte le frequenze fra i 10Hz e i 25kHz e in un secondo caso escludendo le frequenze in bande di terzi di ottava al di sotto di 30 Hz, al fine di non considerare i picchi di energia attribuibili molto probabilmente a rumore spurio di flusso dell'idrofono e non ascrivibili direttamente ad una sorgente di rumore prodotta dal Terminale. Questa considerazione è suffragata inoltre dal confronto dei risultati dell'analisi sui dati campionati durante P22 e a quelli raccolti nei giorni immediatamente precedenti un allibio nel Giugno 2022 (Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0) ed i cui risultati sono stati presentati da OLT agli Enti competenti nell'Agosto 2022 (prot. 2022/OUT/GENER/B/0198). L'esito del confronto suggerisce che escludere dall'analisi i rumori sulle frequenze inferiori ai 30 Hz possa rappresentare più fedelmente il contributo del rumore sottomarino attribuibile al Terminale FSRU Toscana sull'ambiente circostante.

⁷ 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.

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 applicando il filtro per i contributi del rumore inferiore ai 30 Hz⁸ 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;
- ✓ i dati per la stagione dell'autunno 2021 (A21) sono stati registrati fra il 14 e il 22 dicembre 2021, periodo nel quale il Terminale era in fase "Plant off" ovvero con l'impianto di rigassificazione fermo e con in funzione i soli sistemi/impianti deputati allo stoccaggio del GNL;
- ✓ il monitoraggio della stagione P22 è risultato caratterizzato da un intenso passaggio di navi nei pressi dei punti del monitoraggio, soprattutto per i dati registrati a 1 km a Est dal Terminale. L'analisi degli spettrogrammi ha rivelato un evidente mascheramento del segnale soprattutto per frequenze comprese tra 100Hz e circa 2 kHz.

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 risultati compresi tra i 117,7 (A21) e i 148,3 (P22) 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 e considerati rappresentativi del rumore emesso dal Terminale stesso sono risultati compresi tra i 108,7 (A21) e i 139,3 (P22) 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 e considerati rappresentativi del rumore emesso dal Terminale stesso sono risultati compresi tra i 88,9 (I22) e i 122,1 (P22) 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 e considerati rappresentativi del rumore emesso dal Terminale stesso sono risultati compresi tra i 85,3 (I22) e i 117,6 (P22) 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 crescente 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.

Le distanze di impatto sui mammiferi marini che possano essere presenti nell'area sono state calcolate per ogni stagione per due casi: il primo includendo tutte le frequenze fra i 10Hz e i 25kHz e il secondo escludendo le

⁸ Sono stati filtrati i contributi al rumore provenienti da frequenze inferiori ai 30 Hz al fine di escludere picchi di energia dovuti a rumore spurio di flusso dell'idrofono e non determinati dal Terminale. Si ritiene dunque che i valori calcolati a seguito di questa esclusione rappresentino più fedelmente il livello del rumore apportato da FSRU Toscana, come evidenziato anche dal paragone con P22 pre-allibo (dati acquisiti nello stesso periodo dell'anno della campagna P22, ma con registratore autonomo posizionato nei pressi del fondale, invece che con idrofono a trascinamento).

frequenze in bande di terzi di ottava al di sotto di 30 Hz, per escludere picchi di energia dovuti a rumore spurio di flusso dell'idrofono. Si ritiene dunque che i secondi valori rappresentino più fedelmente l'impatto del rumore associabile a FSRU Toscana, come evidenziato anche dal paragone con P22 pre-allibo, cioè i dati registrati direttamente dalla JASCO nel giugno 2022 con strumenti stazionari, che non presentano rumore di flusso. 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 nel nono anno di monitoraggio, è il seguente:

1. Disturbi comportamentali: la stagione che presenta le maggiori distanze d'impatto potenziale sembra essere P22. Applicando un filtro a 30 Hz per eliminare i rumori di probabile origine spuria, le distanze stimate di impatto R₉₅, sono risultate comprese fra 6.1 (I22) e 102 (P22) km per un valore L_p di 100 dB re 1 µPa (soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei a bassa frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011), fra 1.9 (I22) e 19.6 km per un valore 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 compresi tra 0.1 e 1.0 km per un valore di 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 molto alta frequenza secondo Southall 2019). Si veda dettagli nella Tabella 4.1.

Considerando i più recenti criteri sull'impatto comportamentale dei mammiferi marini basati su una soglia unica per tutti i gruppi uditivi fissata a SPL di 120 dB re 1 µPa (Southall et al, 2019, ACCOBAMS, 2020), le distanze variano da circa 600 m dal terminale FSRU per I22 a circa 7.9 km per P22 nel peggiore dei casi (Tabella 4.1).

Il confronto con i risultati delle analisi eseguite sui dati campionati con registratori autonomi posizionati in prossimità del fondale nei giorni immediatamente precedenti le operazioni di allibo nel giugno 2022, mostrano una notevole riduzione delle distanze di raggiungimento delle soglie quando il campionamento viene eseguito con i registratori autonomi. Questa considerazione è valida per tutte le soglie di disturbo comportamentale.

Nel dettaglio, si segnalano le seguenti riduzioni delle soglie di impatto comportamentale:

- soglia LP non ponderato di 100 dB (re 1 µPa)⁹: per P22 si osserva il raggiungimento a distanza di circa 100 km (R₉₅ 30Hz-25kHz), mentre nel pre-allibo di Giugno 22 la stessa soglia è raggiunta a distanza inferiore ai 10 km,
- soglia LP non ponderato di 110 dB (re 1 µPa)¹⁰: per P22 si osserva il raggiungimento a distanza di circa 20 km (R₉₅ 30Hz-25kHz), mentre nel pre-allibo di Giugno 22 la stessa soglia è raggiunta a meno di 5 km,
- soglia LP non ponderato di 120 dB (re 1 µPa)¹¹: per P22 si osserva il raggiungimento a distanza di 7.2 km (R₉₅ 30Hz-25kHz), mentre nel pre-allibo di Giugno 22 la stessa soglia è raggiunta a 1.6 km,
- soglia LP non ponderato di 140 dB (re 1 µPa)¹²: per P22 si osserva il raggiungimento a distanza di 1 km (R₉₅ 30Hz-25kHz), mentre nel pre-allibo di Giugno 22 la stessa soglia è raggiunta a 0.2 km,

Inoltre, con riferimento a quanto sopra, si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1µPa L_p sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo e che la zona del Nord Tirreno è stata identificata da ACCOBAMS come un hotspot di rumore subacqueo¹³. Sebbene nella letteratura non siano stati trovati studi del rumore ambientale per quest'area

⁹ soglia inferiore di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011))

¹⁰ 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))

¹¹ 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) 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).

¹² soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di frequenza molto alta (riferiti come di alta frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).

¹³ Maglio, A., G. Pavan, M. Castellote, and S. Frey. 2016. Overview of the Noise Hotspots in the ACCOBAMS Area, Part I - Mediterranean Sea.

specificata, un recente studio presentato per il mar Adriatico¹⁴ ha mostrato che livelli oltre i 120 dB re 1 μ Pa SPL (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. Pertanto, le distanze di insorgenza delle soglie di impatto acustico comportamentale per i mammiferi marini devono quindi essere valutate e contestualizzate rispetto all'eccedenza dei livelli sonori di fondo presenti nell'area di studio (per i dettagli si rimanda all'allegato A).

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) relativi al 95° percentile dei dati analizzati, ha evidenziato potenziale superamento delle soglie esclusivamente a distanze estremamente ridotte rispetto alla sorgente del rumore. In particolare, le distanze risultano inferiori alla lunghezza totale del terminale stesso per tutte i set di dati analizzati, con la sola eccezione di P22 per la quale si assiste al superamento della soglia di alterazione temporanea (TTS) per i cetacei a basse frequenze (balenottere, non stazionarie ma di passaggio nell'area del terminale) ad una distanza di circa 2.7 km, mentre si osserva un potenziale superamento della soglia di alterazione permanente (PTS) per i cetacei a bassa frequenza a distanze dell'ordine della lunghezza totale del terminale stesso. Si veda dettagli nella Tabella 4.2. Per i cetacei ad alta frequenza secondo Southall et al. (2019) (maggiormente presenti nell'area del Terminale) le soglie TTS sono raggiunti all'interno della lunghezza del Terminale (60 m) mentre le PTS praticamente non vengono mai raggiunte. Anche in questo caso il confronto con i risultati delle analisi eseguite sui dati campionati con registratori autonomi posizionati in prossimità del fondale nei giorni immediatamente precedenti le operazioni di allibio nel Giugno 2022, mostrano una riduzione dei valori, passando da 2.7 a 1.56 km per il raggiungimento della soglia di TTS per i cetacei a basse frequenze (balenottere) a valori pressoché nulli di TTS per cetacei ad alta frequenza e PTS per tutti i cetacei.

Il calcolo delle soglie di alterazioni temporanea e permanente (TTS e PTS) sulla base dei livelli ponderati per le frequenze a seconda del gruppo uditivo dei cetacei, assumono che i ricevitori (animali esposti al rumore) rimangano statici per l'intera durata dell'esposizione cosa che difficilmente trova applicazione in situazioni reali.

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).

¹⁴ 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>.

Tabella 4.1: Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini (valori per il 95° percentile).

LP non ponderato (dB re 1 µPa)	A21 2021-12		I22 2022-03		P22 2022-06		Pre-allibo 2022-06		E22 2022-10	
	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)
	10Hz-25kHz	30Hz-25kHz	10Hz-25kHz	30Hz-25kHz	10Hz-25kHz	30Hz-25kHz	10Hz-25kHz	30Hz-25kHz	10Hz-25kHz	30Hz-25kHz
170	-	-	-	-	0.0	0.0	<0.02	n.a.	-	-
160	<0.02	-	0.1	-	0.1	0.1	<0.02	n.a.	0.1	0.0
150	0.1	0.0	0.2	-	0.5	0.5	0.1	n.a.	0.2	0.2
140 ^a	0.2	0.1	0.3	0.1	1.0	1.0	0.2	n.a.	0.6	0.5
130	0.5	0.3	1.8	0.2	2.9	2.8	0.7	n.a.	2.1	1.6
120 ^b	2.8	0.7	6.3	0.6	8.3	7.2	1.6	n.a.	6.4	4.5
110 ^c	8.6	2.6	16.3	1.9	27.5	19.6	4.9	n.a.	16.9	10.1
100 ^d	24.4	7.8	64.1	6.1	105	102	9.8	n.a.	79.9	37.2

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

I risultati filtrati per frequenze inferiori ai 30 Hz sono da considerarsi più rappresentativi delle emissioni effettive del Terminale, come confermato dal confronto tra i risultati delle analisi sui dati di P22 (campionamento in Giugno 2022 con idrofono a trascinamento) e quelli acquisiti in un periodo precedente ad un allibo (campionamento in Giugno 2022 con registratore autonomo).

Tabella 4.2: Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini (valori per il 95° percentile)

Gruppo uditivo (nomenclatura secondo Southall 2019)	Danno uditivo	SEL ponderato (dB re 1µPa2 m)	A21		I22		P22		Pre Allibo		E22	
			2021-12		2022-03		2022-06		2022-06		2022-10	
			R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)	R ₉₅ (km)
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	PTS	199	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.35	0.35	0.15	n.a.	0.1	0.1
	TTS	179	0.14	0.13	0.14	0.13	2.7	2.7	1.56	n.a.	0.97	0.97
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	PTS	198	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.a.	<0.01	<0.01
	TTS	178	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.06	0.05	n.a.	0.01	0.01

In conclusione, sulla base dell'analisi dei dati del monitoraggio del IX 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 limitata entità, in considerazione delle distanze stimate in base al criterio di soglia di insorgenza delle prime risposte comportamentali per i cetacei che variano da circa 2 km (I22) ad un massimo di 19.6 (P22) per i cetacei a media frequenza (secondo le linee guida Borsani e Farchi, 2011), ovvero i delfinidi, ritenuti le specie più probabili nell'area del terminale) e del livello di rumore ambientale riscontrabile in un'area caratterizzata da elevato traffico marittimo, quale quella in cui è ubicato il terminale. I range di impatto di maggior estensione sono quelli della campagna P22, ma sembrano essere notevolmente influenzati dalla presenza di componenti spurie di rumore di fondo non attribuibili al Terminale, come emerge dai risultati del confronto con l'analisi dei dati campionati nello stesso periodo dell'anno, ma con una metodologia diversa (registratori autonomi posizionati nei pressi del fondale). Si ritiene dunque che i raggi di impatto stimati per il periodo pre-allibo siano più rappresentativi dell'impatto reale del Terminale attivo. 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 1µPa) non sono sorprendenti in quest'area del Mediterraneo, caratterizzata da elevato traffico marittimo e come dimostrato da studi effettuati in aree similari (es. (Magnier and Gervaise 2020)).

Al fine di monitorare costantemente la presenza di cetacei e tartarughe marine nei pressi del Terminale, OLT ha predisposto nel luglio 2021 un protocollo di avvistamento dedicato. Il monitoraggio effettuato in base a tale protocollo implementato a bordo della nave guardiana LNG Guardian non ha al momento della preparazione del presente documento, riportato alcuna segnalazione riguardo la presenza di cetacei nei pressi del Terminale.

FFO02/ANGIO/MACOM:eba04

**Appendice A:
Rapporto Tecnico “Monitoraggio Del Rumore
Subacqueo Presso Il Terminale Fsrु Toscana –
Monitoraggio Anno VIII”**

Monitoraggio del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana

Monitoraggio Anno IX

JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH

27 aprile 2023

Autori

Federica Pace
Calder Robinson
Hannes Wecker

P0011641-004
Documento 02972
Versione 2.0



JASCO
APPLIED SCIENCES

Citazione suggerita:

Pace F., Robinson C., Wecker H. 2023. **Monitoraggio del Rumore Subacqueo presso il Terminale FSRU Toscana: Monitoraggio Anno IX**. Documento 02972, 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	8
1. Introduzione	10
1.1. Criteri per la Valutazione degli Impatti sui Mammiferi Marini	10
1.1.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini	11
1.2. Effetti sulla propagazione del suono nell'ambiente marino	13
1.3. Rumore ambientale di fondo	14
2. Metodi	16
2.1. Sorgenti misurate	16
2.2. Acquisizione dei Dati Acustici.....	16
2.2.1. Registratori Acustici	16
2.2.2. Stazioni di Campionamento	18
3. Dati ambientali	20
3.1.1. Profilo della velocità del suono	20
3.1.2. Batimetria	21
3.1.3. Geoacustica	21
3.2. Analisi dei dati manuale.....	22
3.3. Analisi dei dati automatizzata.....	23
3.3.1. Livelli sonori complessivi.....	24
3.3.2. Livelli sonori ricevuti da FSRU Toscana.....	24
3.4. Modellizzazione	24
3.4.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione	24
3.4.2. Stima dell'impatto sui mammiferi marini	25
4. Risultati	27
4.1. Livelli ricevuti	27
4.1.1. Autunno 2021 (A21)	27
4.1.2. Inverno 2022 (I22).....	28
4.1.3. Primavera 2022 (P22).....	31
4.1.4. Estate 2022 (E22).....	32
4.1.5. Confronto inter-stagionale	33
4.1.6. Confronto con pre-allibo	39
4.2. Livelli di sorgente	43
4.3. Impatto sui mammiferi marini	47
5. Discussione e Conclusioni.....	60
Glossario	63
Letteratura Citata.....	72
Appendice A. Terminologia	A-1
Appendice B. Strumenti	B-5

Appendice C. Propagazione del suono.....	C-15
Appendice D. Dettagli Monitoraggio.....	D-1
Appendice E. Raggi di Impatto Massimi.....	E-8

Figure

Figura 1. Mappa dell'area circostante al terminal FSRU Toscana.	10
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.	14
Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019	15
Figura 4. Registratore acustico COL.MAR con idrofono SMID DH200GP	17
Figura 5. Immagine del catamarano Krill di CE.T.U.S. da cui è stato effettuato il campionamento.	18
Figura 6. Diagramma che mostra la posizione di FSRU Toscana e le posizioni di monitoraggio corrispondenti alla messa in acqua dell'idrofono all'inizio di ogni campionamento eseguito. Il cerchio indica la posizione teorica a 1km di distanza dal terminale.	19
Figura 7. Profilo della velocità del suono misurato per ogni periodo di campionamento e stazione di acquisizione dei dati.	20
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}	26
Figura 9. Stagione A21: 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) e a 1km (in basso, b) di distanza per le tre profondità di monitoraggio 8, 55 e >80m. Le parti nere identificano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio.	28
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) e a 1km (in basso, b) di distanza e profondità di 8 e 55 metri. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio e/o interruzioni nelle registrazioni.....	30
Figura 11. Stagione P22: spettrogramma (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 1km di distanza e profondità di 8 e 55 metri. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio.	31
Figura 12. Stagione E22: spettrogramma (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, 55m di profondità (in alto, a) e a 1km (in basso, b) di distanza e profondità di 8 e 55 metri. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio.....	33
Figura 13. <i>Profondità nominale 8m</i> : Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.....	35
Figura 14. <i>Profondità nominale 55m</i> : Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.....	36
Figura 15. <i>Profondità nominale 87m</i> : Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali. Questa profondità è stata misurata solo per A21. Non ci sono dati per Est 10km a questa profondità' in quanto la batimetria non la raggiunge in questa direzione cardinale.	37

Figura 16. SPL totale suddiviso per specifiche bande di frequenza (in alto) e media spettrale a lungo termine (in basso) per le tre stazioni di monitoraggio nel periodo pre-allibo.....	39
Figura 17. Rotte del terminale FSRU e delle navi coinvolte che le sue operazioni per il periodo di monitoraggio acustico.	40
Figura 18. Pre-allibo: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud (versione espansa del grafico in Figura 11) e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud.	40
Figura 19. Diagramma di densità spettrale di potenza (Power Spectral Density - PSD) (in basso) e diagramma a scatola e baffi (in alto) dell'SPL per ogni decedecade per il periodo pre-allibo. Nella PSD i livelli statici e i limiti massimi e minimi delle curve di Wenz sono rappresentati da linee di diverso colore, come indicato nella legenda.....	41
Figura 20. P22 e pre-allibo: livelli ricevuti per bande in terzi di ottava (mediana e 90° percentile) per ogni direzione cardinale di monitoraggio.	42
Figura 21. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente calcolati in bande di decedecadi suddivisi per ogni stagione (A21 in alto a sinistra, I22 in alto a destra, P22 in basso a sinistra, e E22 in basso a destra). Le linee verticali indicano la fascia di portata per gli angoli radenti a 15 gradi rispettivamente per l'idrofono.	44
Figura 22. 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.....	45
Figura 23. Diagramma che mostra la distanza (limitata a 2km) lungo la quale le singole bande di frequenza in terzi di ottava si propagano. Queste sono presentate in ordine per ogni stagione: A21 in alto a sinistra, I22 in alto a destra, P22 in basso a sinistra e E22 in basso a destra.	48
Figura 24. Stagione A21 2021-12: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo; risultati per i dati senza le frequenze al di sotto di 30Hz.	52
Figura 25. Stagione I22 2022-03: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo; risultati per i dati senza le frequenze al di sotto di 30Hz.	52
Figura 26. Stagione P22 2022-06: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo; risultati per i dati senza le frequenze al di sotto di 30Hz.	53
Figura 27. Stagione P22 Pre-allibo 2022-06: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo.	53
Figura 28. Stagione E22 2022-10: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo.	54
Figura 29. Stagione A21 2021-12: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 280°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	55
Figura 30. Stagione I22 2022-03: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	56
Figura 31. Stagione P22 2022-06: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 280°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	57
Figura 32. Stagione P22 pre-allibo 2022-06: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 235°).	58
Figura 33. Stagione E22 2022-10: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 265°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).....	59

Figura 34. Consumo energetico medio a bordo dell'FSRU Toscana durante i giorni di monitoraggio. SW= pompa d'acqua di mare, WI= Wobbe index.	61
Figura 35. Produzione di energia media per i giorni di monitoraggio registrata a bordo dell'FSRU Toscana per ogni turbina a gas per il generatore diesel (quest'ultimo è stato attivato solo qualche ora durante il 05 Giugno 22).	61
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 C-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.	C-15
Figura C-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. SEL per una sorgente non specificata.	C-16

Tabelle

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) nell'area di studio.	11
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 $(20 \mu\text{Pa})^2\text{s}$ 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).	12
Tabella 3. Specifiche delle navi misurate oggetto di questo studio.	16
Tabella 4. Sommario sull'acquisizione dei dati acustici.	17
Tabella 5. Profilo geoacustico stimato per il sito modellizzato. 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.	22
Tabella 6. Matrice di utilizzabilità delle registrazioni, ottenuta dalla revisione manuale. Le lettere a) e b) indentificano i due periodi da 10 minuti di monitoraggio per ognuna delle stazioni nominali a profondità di 8m (1), 55m (2) e 87m (3).	23
Tabella 7. Produzione di energia a bordo del terminale FSRU toscana durante i giorni di monitoraggio (somma giornaliera).	34
Tabella 8. 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. 'N.D.'=Non Disponibile in quanto la profondità di monitoraggio non era richiesta o possibile (direzione est) a causa della batimetria, e '-' significa che i risultati non sono presentati a causa di un problema nella registrazione. Livelli presentati in grigio non sono rappresentativi del terminale standalone in quanto altre sorgenti mascherano i toni del FSRU.	38
Tabella 9. 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.	46
Tabella 10. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini. Il raggio eccede il campo di modellizzazione nei valori che indicano '>120'. I valori riportati solo per il 95° percentile; i raggi massimi sono riportati in Appendice E.	50

Tabella 11. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini. I valori riportati solo per il 95° percentile; i raggi massimi sono riportanti in Appendice E.....	51
Tabella A-1. Parametri per le funzioni di ponderazione uditiva raccomandati da NMFS (2018).	A-4
Tabella D-1. Descrizione delle possibili modalità operative del terminale FSRU Toscana.	D-1
Tabella D-2. Descrizione assetto del terminale FSRU Toscana per ogni giorno di monitoraggio. H=Holding, ZSO=zero send out, and OFF = plant off, tank cold.	D-1
Tabella D-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.	D-1

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 il nono anno di monitoraggio in ottemperanza alle prescrizioni relative al monitoraggio in ambiente marino. Inoltre, i risultati ottenuti dai dati acquisiti dalla JASCO per il periodo di pre-allibo del giugno 2022 (P22) sono presentati a scopo comparativo (anche da un punto di vista metodologico).

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. 2019, 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 campagne di monitoraggio I22, P22 e E22 corrispondono alla condizione del Terminale in fase di “holding” che si potrebbe definire di “normale operatività” mentre i dati per A21 corrispondono a un periodo di inattività della rigassificazione del Terminale (chiamato ‘plant off tank cold’).

Durante l’anno IX di monitoraggio, delle migliorie sono state implementate nella metodologia di acquisizione dei dati acustici a seguito dei commenti delle autorità e sono risultate in differenze nel processo di campionamento. Ad esempio, il monitoraggio è stato effettuato a due sole profondità (8 e 55m) per I22, P22 e E22 invece delle tre per A21, e ad ogni profondità si è raddoppiata la durata delle registrazioni. Inoltre, una nuova calibrazione è stata effettuata prima di A21, e un nuovo idrofono è stato utilizzato a partire da P22.

Le registrazioni sono state analizzate dalla JASCO per ottenere i livelli di pressione sonora (L_p) e derivare i livelli di sorgente (SL) mediante la retro-propagazione del suono utilizzando il metodo SL.SCA (MacGillivray et al. 2022). Il modello di propagazione acustica MONM-Bellhop è stato poi utilizzato per ottenere le distanze di insorgenze delle soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini.

I seguenti segnali caratteristici relativi al funzionamento del terminale FSRU Toscana sono stati individuati nelle registrazioni per P22 e E22:

- Frequenze comprese fra i 200 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.
- 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.

La stagione che presenta le minori distanze d’impatto è A21, in quanto il terminale non stava rigassificando (modalità *plant off tank cold*). Sebbene durante I22 il terminale risultasse attivo in modalità Holding, cioè regolare operatività di rigassificazione, i livelli di rumore riscontrati sono affini a quelli di A21. Un esame dettagliato del registro della produzione e del consumo di energia a bordo ha rivelato che, sebbene in tutte e tre le stagioni (I22, P22 e E22) il Terminale fosse nella stessa modalità, il funzionamento dei macchinari era diverso. In particolare, i livelli più elevati riscontrati durante P22 e E22 potrebbero essere associati al funzionamento delle apparecchiature con un’elevata portata di rigassificazione e al funzionamento dei compressori Wobbe index; inoltre in tali campagne vi è stato utilizzo di una TG grande e di 2 G piccole a regime elevato al posto del utilizzo di una TG grande ed una piccola o di due TG grandi.

Le distanze di impatto sui mammiferi marini che possano essere presenti nell’area sono state calcolate per ogni stagione per due casi: il primo includendo tutte le frequenze fra i 10Hz e i 25kHz e il

secondo escludendo le frequenze in bande di terzi di ottava al di sotto di 30 Hz, per escludere picchi di energia dovuti a rumore spurio di flusso dell'idrofono. Si ritiene dunque che i secondi valori rappresentino più fedelmente l'impatto del rumore apportato da FSRU Toscana, come evidenziato anche dal paragone con P22 pre-allibo, cioè i dati registrati direttamente dalla JASCO nel giugno 2022 con strumenti stazionari, che non presentano rumore di flusso.

In base ai dati soggetti all'applicazione del filtro sotto i 30Hz, le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra 6.1 (I22) e 102 (P22) 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 1.9 (I22) e 19.6 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 entro 1km per 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).

Bisogna però sottolineare che il paragone eseguito con i dati registrati direttamente dalla JASCO nel giugno 2022 (P22 pre-allibo)¹ in un periodo simile a quello dei dati ottenuti da CETUS, mostrano delle distanze di impatto comportamentale molto inferiori. Per esempio, la soglia L_P di 100 dB re 1 μ Pa ($R_{95\%}$) viene raggiunta entro 10km dal terminale anziché 102km.

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 ad un massimo di ~7 km dal terminale FSRU nel peggiore dei casi (P22). Anche in questo caso i valori del P22-Preallibo effettuati con strumenti stazionari mostrano per la soglia L_P di 120 dB re 1 μ Pa, un impatto comportamentale limitato a meno di 2km dalla sorgente.

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 soggette ad intenso traffico navale come questa zona nel Mediterraneo. Il rumore generato dal Terminale diventa paragonabile entro relativamente brevi distanze al rumore presente nell'area, in base a studi di livelli ambientali effettuati in aree simili (es. (Magnier and Gervaise 2020)). Le distanze di insorgenza delle soglie di impatto acustico comportamentale per i mammiferi marini devono quindi essere valutate e contestualizzate rispetto all'eccedenza dei livelli sonori di fondo presenti nell'area di studio.

Relativamente alle soglie di insorgenza dei danni uditivi temporanei (TTS) o permanenti (PTS) si può affermare che la PTS potrebbe essere indotta soltanto in immediata adiacenza al terminale (e per un'improbabile esposizione di 24 ore), mentre la soglia TTS per i cetacei a bassa frequenza (secondo Southall 2019) viene ecceduta entro un raggio di ~2.5km nel peggiore dei casi (P22) e per i cetacei a frequenza molto alta (secondo Southall 2019) a soli 60 metri dal punto di ancoraggio del terminale (pertanto sotto allo stesso).

¹ Per P22 pre-allibo, i raggi di impatto stimati sono entro 5km per tutti i gruppi uditivi eccetto i mammiferi a bassa frequenza in riferimento alle linee guida di Borsani e Farchi, 2011 ed entro 10km per questi ultimi. Questi dati non sono stati filtrati in quanto non è stato riscontrato rumore di flusso dell'idrofono.

1. 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) durante la fase di “holding”. Le misurazioni sono state condotte durante quattro campagne di monitoraggio da dicembre 2021 a settembre 2022 (chiamate A21, I22, P22, E22), in linea con i requisiti di ottemperanza del piano di monitoraggio dell’ambiente marino approvato dall’autorità di controllo e tenendo in considerazione i commenti ricevuti da ISPRA e ARPAT sulle criticità riscontrate nelle relazioni presentate in precedenza (fino alla campagna per l’anno VII).

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).

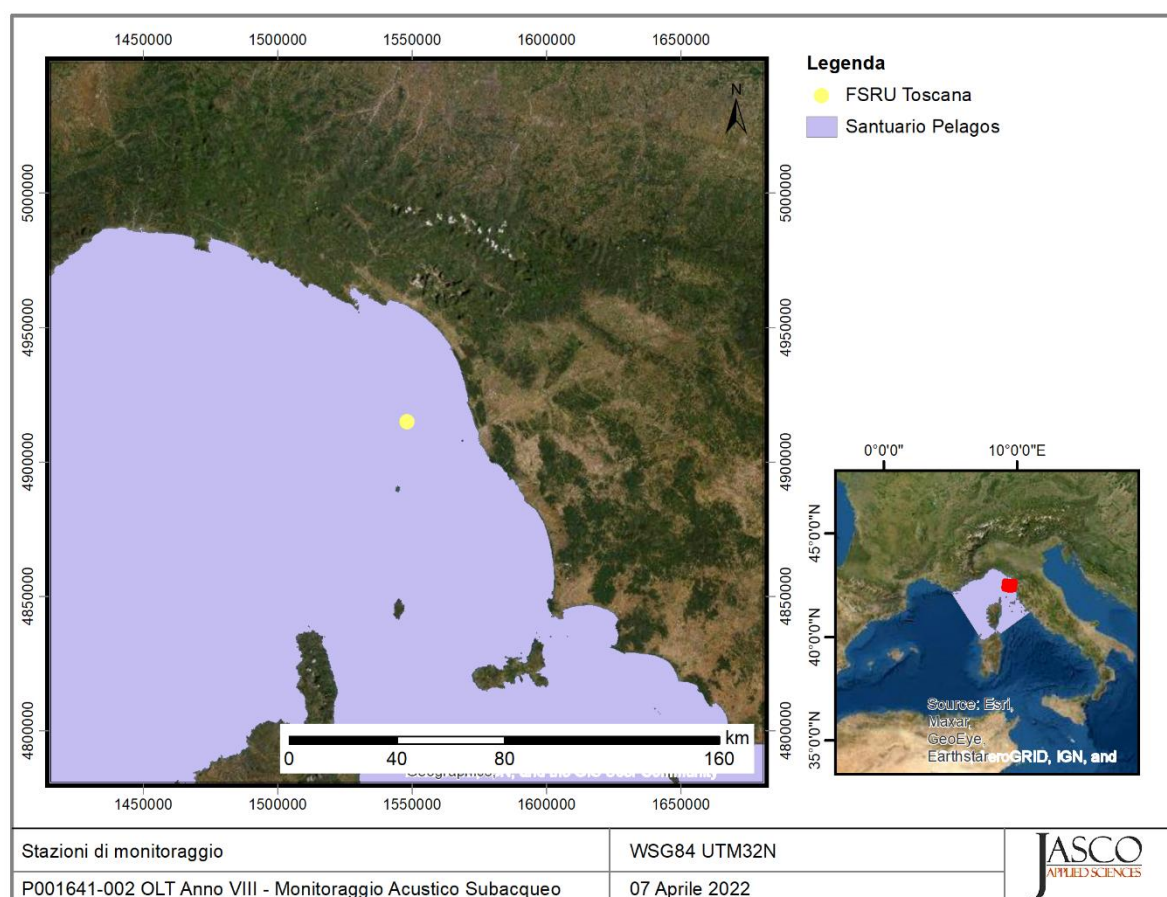


Figura 1. Mappa dell’area circostante al terminal FSRU Toscana.

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)
Tursiope	<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), considerate le linee guida più attuali 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. (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 di accumulo di 24 ore per ogni sorgente; il livello acustico è pertanto sommato su 24 ore, tenendo presenti variazioni o pause nel suono durante quel periodo.

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 modellizzare 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 (Nieukirk 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).

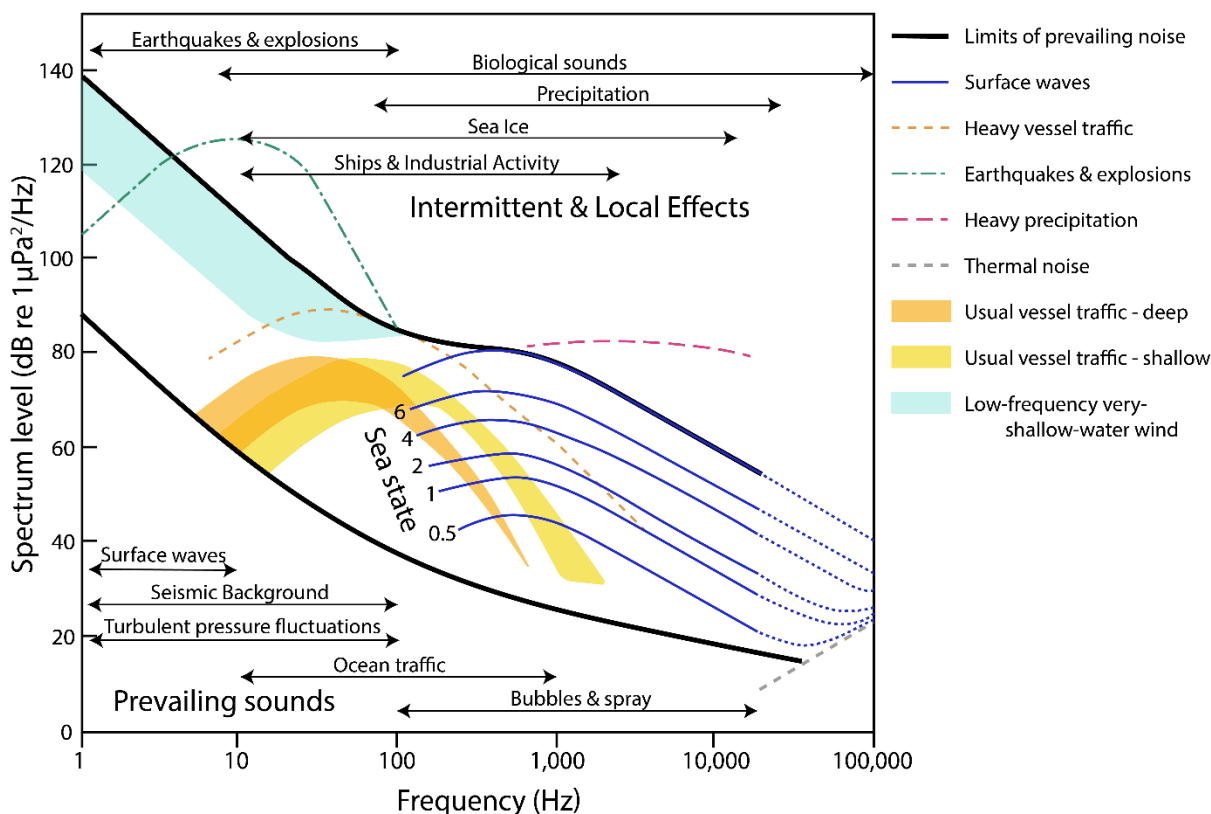


Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.

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).

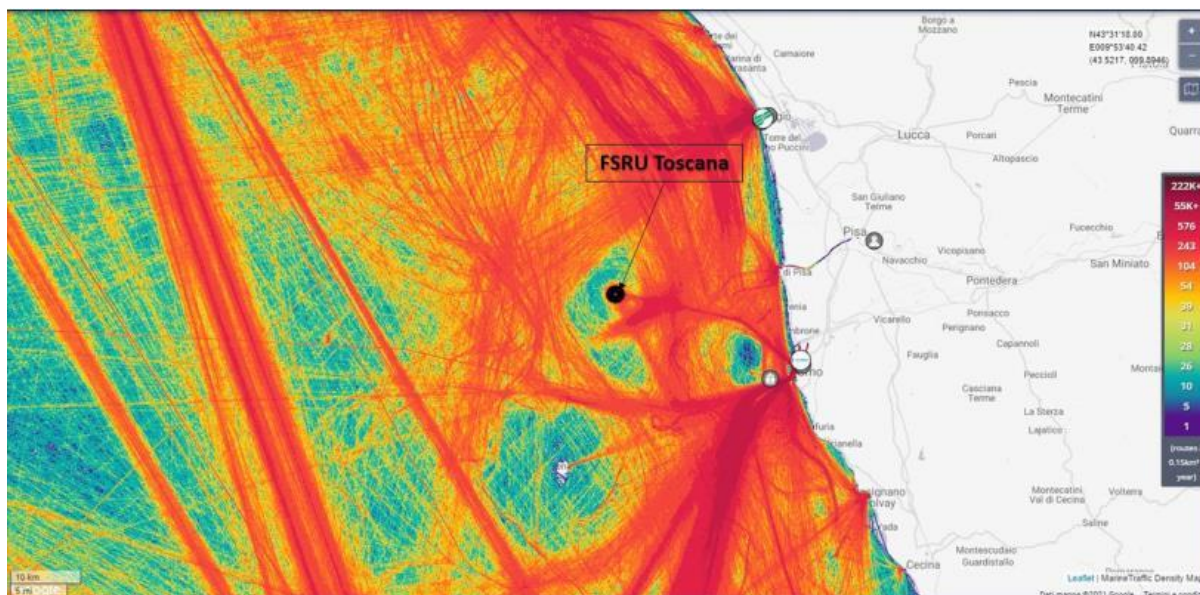


Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019 (sorgente: marinetraffic.com; visitato l'8 Ottobre 2021).

2. Metodi

Durante la stagione 2022 (IV anno di monitoraggio) CIBM apportò delle migliorie nella metodologia di acquisizione dei dati, avendo preso atto delle criticità riscontrate dalle autorità e dall'analisi effettuata per i dati dell'anno VIII. Le migliorie furono introdotte gradualmente per poter rispettare la pianificazione delle misurazioni sul campo; pertanto, sono presenti delle differenze nella metodologia fra le quattro campagne. Queste sono evidenziate nella sezione 2.2.

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 D.1. Le registrazioni sono state effettuate durante la 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.

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 per le campagne A21 e I22 come per le campagne di monitoraggio precedente.

I dettagli sull'acquisizione dei dati per ogni stagione sono riassunti nella Tabella 4. L'ultima calibrazione dell'idrofono usato per A21 e I22 è stata effettuata nel 2021 presso la COL.MAR per frequenze al di sopra dei 5kHz. Prima dell'inizio di P22 invece un nuovo sistema di acquisizione dati (e idrofono) è stato acquistato presso COL.MAR. Tale sistema è stato utilizzato insieme a un calibratore portatile che permette la verifica del corretto funzionamento dell'apparecchiatura a bordo. Il calibratore emette un suono a frequenza crescente (sweep) da 100 a 700 Hz di intensità precisamente controllata. Le tracce digitizzate di questo tono sono state utilizzate per calibrare le registrazioni.

I dati relativi alle specifiche tecniche degli strumenti e alla calibrazione sono presentati nell'Appendice B.

Tabella 4. Sommario sull'acquisizione dei dati acustici.

Stagione	Idrofono	Sensibilità (dB re 1 V/ μ Pa)	Riferimento per la calibrazione	Frequenza di campionamento (kHz)	Profondità di campionamento (m)	Durata registrazioni per ogni profondità (min)
A21	Aquatech DH200GP	-156.0	Dic 2021	96 ¹	8, 55 e 87	10
I22	Aquatech DH200GP	-156.0	Dic 2021	96	8,55	20
P22	COL.MAR GP1280	-165.7	Giu 2022	96 ²	8,55	20
E22	COL.MAR GP1280	-165.7	Ott 2022	48 ^{1,2}	8,55	20

¹Alcuni dati registrati a frequenza maggiore

²Alcuni dati registrati a frequenza inferiore



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

Durante l'analisi dei dati acquisiti, sono stati individuati degli artefatti della strumentazione utilizzata per il campionamento che consistono nella presenza dei seguenti segnali in molte delle registrazioni ottenute sia con il vecchio che con il nuovo idrofono.

- Tono interno, discreto e stabile con una spaziatura di 3 kHz.
- Tono a ~965Hz.
- Tono a ~20kHz.
- Tono a 50Hz.

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

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 tre profondità per ogni punto di acquisizione; le misurazioni a diverse profondità sono effettuate con lo stesso idrofono e quindi in maniera consecutiva l'una all'altra.

Le coordinate delle stazioni di campionamento riferite da CIBM sono presentate nella Tabella D-3, come pure i tempi di campionamento. Le posizioni effettive di monitoraggio risultano essere mobili in quanto il catamarano utilizzato per l'acquisizione dei dati era lasciato andare alla deriva seguendo la corrente (causa elevata profondità del fondale). 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 decine di metri di differenza.

Le distanze fra il terminale e l'idrofono sono state calcolate in base a tali coordinate. 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 registrati. Considerato che il campionamento ad ogni stazione è durato fra i 10 e 20 minuti, si assume che la deriva costante sia rappresentativa della realtà. Alcuni dati sono stati esclusi dalla stima dei livelli di sorgente in base all'entità della deviazione dalla posizione originale desiderata, come dettagliato nella sezione 3.4.1.



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

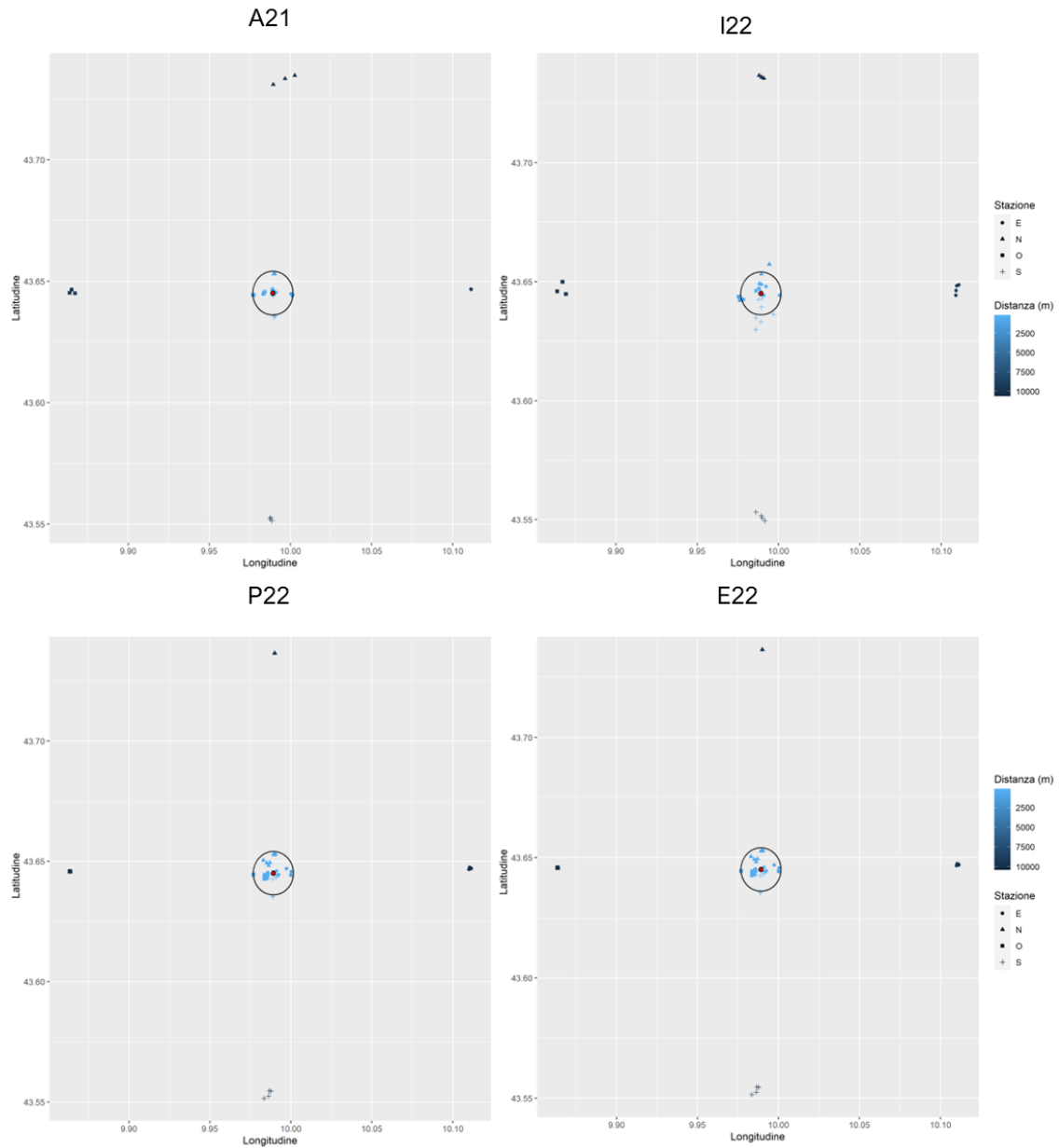


Figura 6. Diagramma che mostra la posizione di FSRU Toscana e le posizioni di monitoraggio corrispondenti alla messa in acqua dell'idrofono all'inizio di ogni campionamento eseguito. Il cerchio indica la posizione teorica a 1km di distanza dal terminale.

3. Dati ambientali

Questa sezione dettaglia i dati ambientali che sono stati utilizzati come input per la modellizzazione, sia per la retro-propagazione alla sorgente che per la stima dei raggi di impatto sui mammiferi marini.

3.1.1. 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 ogni campionamento fino ad una profondità massima di circa 55m (condizione richiesta dall'autorità preposta) (Figura 7).

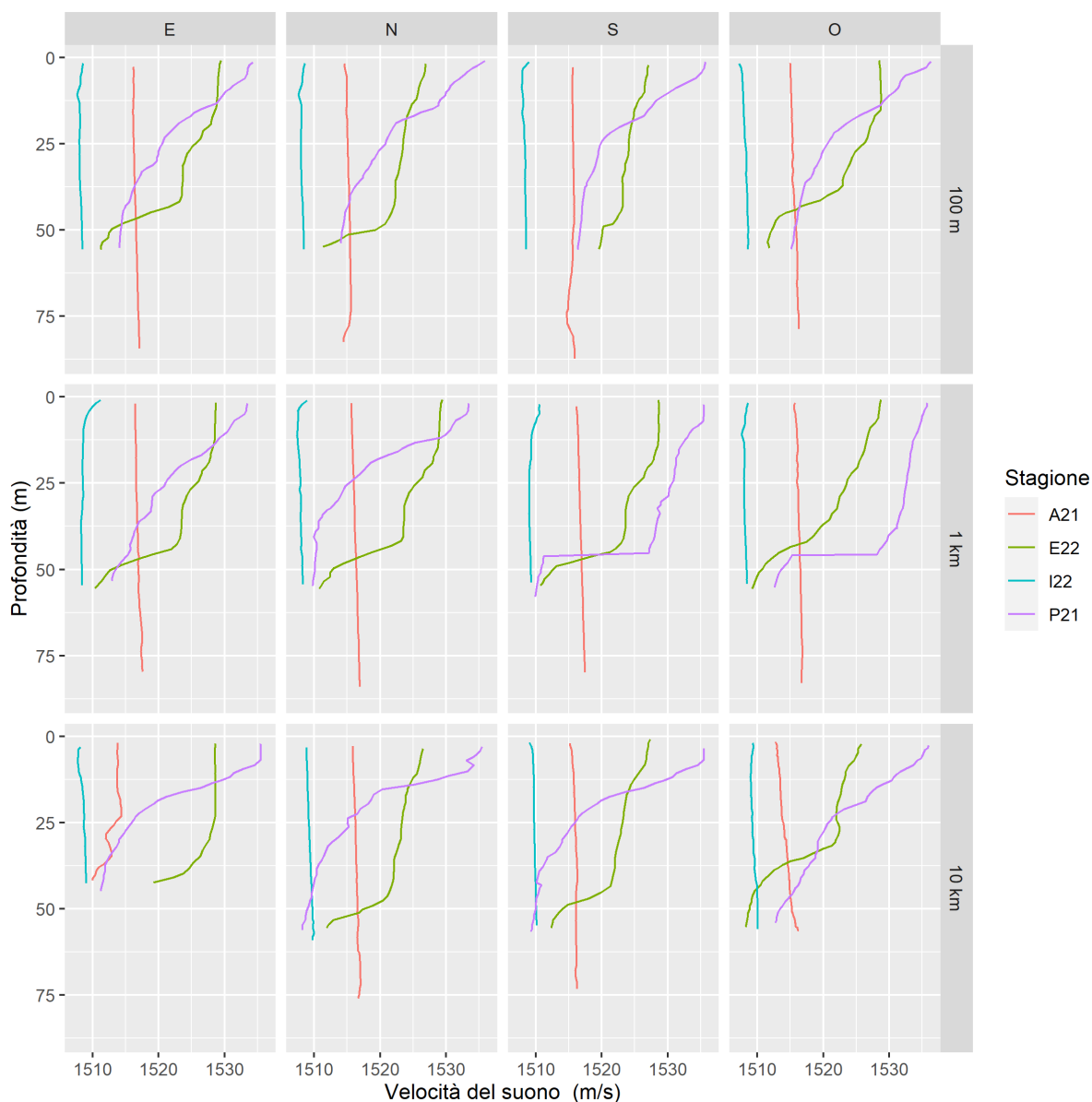


Figura 7. Profilo della velocità del suono misurato per ogni periodo di campionamento e stazione di acquisizione dei dati.

Il profilo di velocità del suono per gli scenari modellizzati 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 oltre 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 mensile di temperatura e salinità per tutti gli oceani del mondo su una griglia latitudine-longitudine con una risoluzione di 0,25°, 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 usando 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 per A21), e il valore mediano è stato estratto ad ogni punto di profondità. Un profilo medio composito di velocità del suono è stato quindi derivato dai dati 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.

3.1.2. Batimetria

Le profondità dell'acqua in tutta l'area modellizzata 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 ricampionati, 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.

3.1.3. 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 modellizzazione acustica. Le interazioni tra campo acustico e fondale marino diventano trascurabili in acque molto più profonde. Profili geoacustici generici sono quindi considerati validi per modellizzare 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 modellizzato.

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 modellizzati 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 5. 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:

$$\arccos(1508/1530) * 180/\pi \quad (1)$$

Tabella 5. Profilo geoacustico stimato per il sito modellizzato. 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	Sabbia-argilla	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		

3.2. Analisi dei dati manuale

Un'analisi manuale dettagliata è stata condotta al fine di identificare le caratteristiche acustiche principali del terminale e altresì in quanto un controllo sistematico di ogni registrazione fatta a 100m e 1km dal terminale ha evidenziato alcune anomalie. Lo scopo dell'analisi manuale è stato quindi duplice:

- Per verificare se i toni riscontrati nella relazione VIII anno e attribuiti a FSRU Toscana fossero confermati
- Per cercare di determinare la sorgente delle anomalie osservate

L'analisi è consistita nell'investigazione delle registrazioni sia uditiva che visiva tramite spettrogrammi da parte di un esperto in acustica marina specializzato nello studio delle caratteristiche sonore delle navi, utilizzando il software PAMLab (©JASCO).

A seguito del controllo sistematico e dell'analisi manuale, una matrice decisionale è stata sviluppata per scegliere quali dati potessero essere utilizzati per la stima dei livelli di sorgente dell'FSRU, come presentato nella Tabella 6.

Tabella 6. Matrice di utilizzabilità delle registrazioni, ottenuta dalla revisione manuale. Le lettere a) e b) identificano i due periodi da 10 minuti di monitoraggio per ognuna delle stazioni nominali a profondità di 8m (1), 55m (2) e 87m (3).

Stazione	A21	I22	P22	E22	Legenda
E100		a b	a b	a b	Non registrato, come da piano di monitoraggio
1					Si
2					Si, ma sorgenti distanti presenti
3					No - problema registrazione
E1K		a b	a b	a b	No - presenza altre sorgenti nelle vicinanze
1					
2					
3					
N100		a b	a b	a b	
1					
2					
3					
N1K		a b	a b	a b	
1					
2					
3					
S100		a b	a b	a b	
1					
2					
3					
S1K		a b	a b	a b	
1					
2					
3					
W100		a b	a b	a b	
1					
2					
3					
W1K		a b	a b	a b	
1					
2					
3					

3.3. Analisi dei dati automatizzata

Si è utilizzata una piattaforma informatica specializzata (PAMLab, ©JASCO), capace di elaborare i dati acustici centinaia di volte più velocemente del tempo reale, per eseguire l'analisi automatizzata del rumore totale dell'oceano e delle emissioni sonore delle navi.

3.3.1. Livelli sonori complessivi

La prima fase dell'analisi dei livelli sonori prevede il calcolo del livello di pressione di picco (PK) 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 sovrapposizione del 50% e applicazione della 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.

3.3.2. Livelli sonori ricevuti da FSRU Toscana

I livelli sonori dal terminale FSRU Toscana 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 ragionevole compromesso per la risoluzione in frequenza. Questa 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). **Sebbene la MSFD usi la terminologia di 1/3 di banda di ottava per il calcolo delle frequenze, esse sono effettivamente calcolate utilizzando le decedecadi. Questa relazione presenta dunque i risultati in decedecadi.**

3.4. Modellizzazione

3.4.1. 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 distanza 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 raccolti 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)

3.4.2. 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 modellizzate. 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 disuniformità spaziale dell'ambiente acustico.

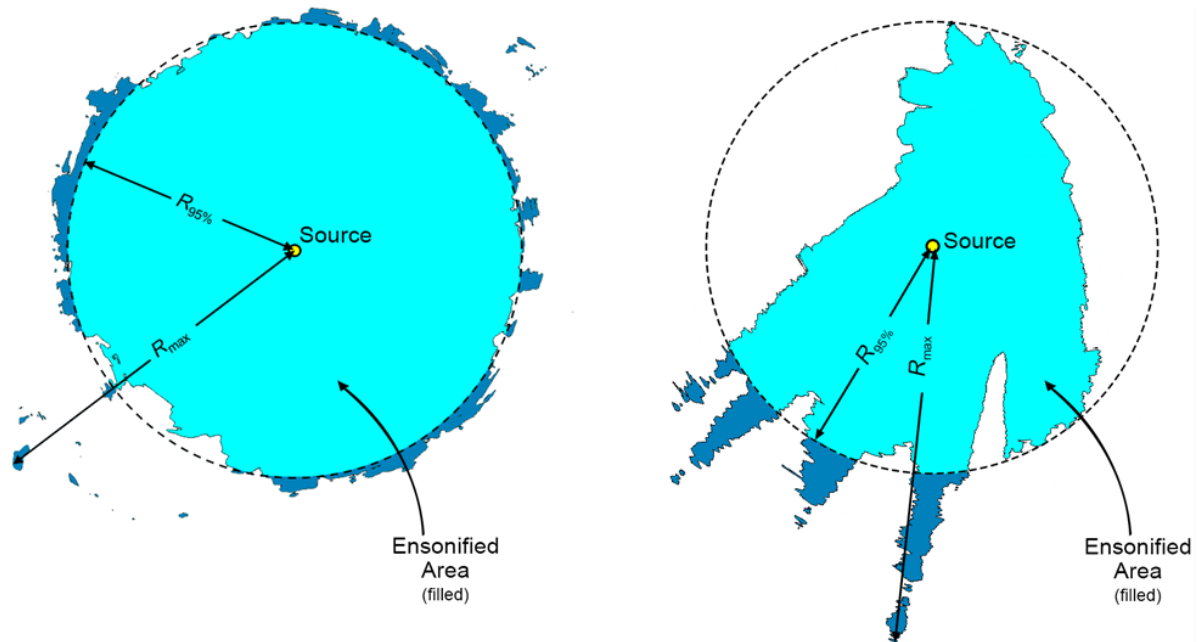


Figura 8. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; 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} .

4. 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 4.1. 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.

4.1. 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 4.1.1-4.1.3.

4.1.1. Autunno 2021 (A21)

I dati per la stagione dell'autunno 2021 (A21) sono stati registrati fra il 14 e il 22 dicembre 2021. Durante tutte le registrazioni, il terminale era in fase "Plant off tank cold" ovvero l'impianto era fermo con i soli serbatoi "freddi" e funzionava semplicemente per lo stoccaggio di GNL (no attività di rigassificazione) descritto in dettaglio nell' Appendice D, Tabella D-2). In questo assetto del terminale, una turbina a gas piccola (TG2 da 3.35 MW) e una grande (TG4 da 10MW) erano attive simultaneamente, entrambe a medio-basso regime.

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m e 1km dal terminale in una direzione cardinale (nord) sono presentati nella Figura 9. Negli spettrogrammi sono visibili le seguenti sorgenti:

- A bassissime frequenze sotto i 40Hz, sia a 100m che a 1km dal terminale è presente rumore di flusso dell'idrofono e dei rumori intermittenti che potrebbero essere attribuibili a catene (di origine non determinata).
- Artefatti del sistema di acquisizione dei dati (Figura 9) sono visibili in tutte le registrazioni; questi corrispondono a quanto riscontrato nell'anno precedente (VIII di monitoraggio), come ad esempio il tono a 20kHz.
- Passaggio di almeno una nave, maggiormente evidente nelle registrazioni effettuate a 1km dal terminale.

I toni a 250Hz e ~ 800 Hz rappresentativi dell'attività del rigassificatore, associati con l'attività di pompe e fluidi, e del generatore (descritti nella relazione per l'Anno VII) non sono stati individuati in queste registrazioni. Un tono a ~500Hz è visibile in alcune registrazioni che potrebbe essere associato con un artefatto del sistema di acquisizione dei dati acustici.

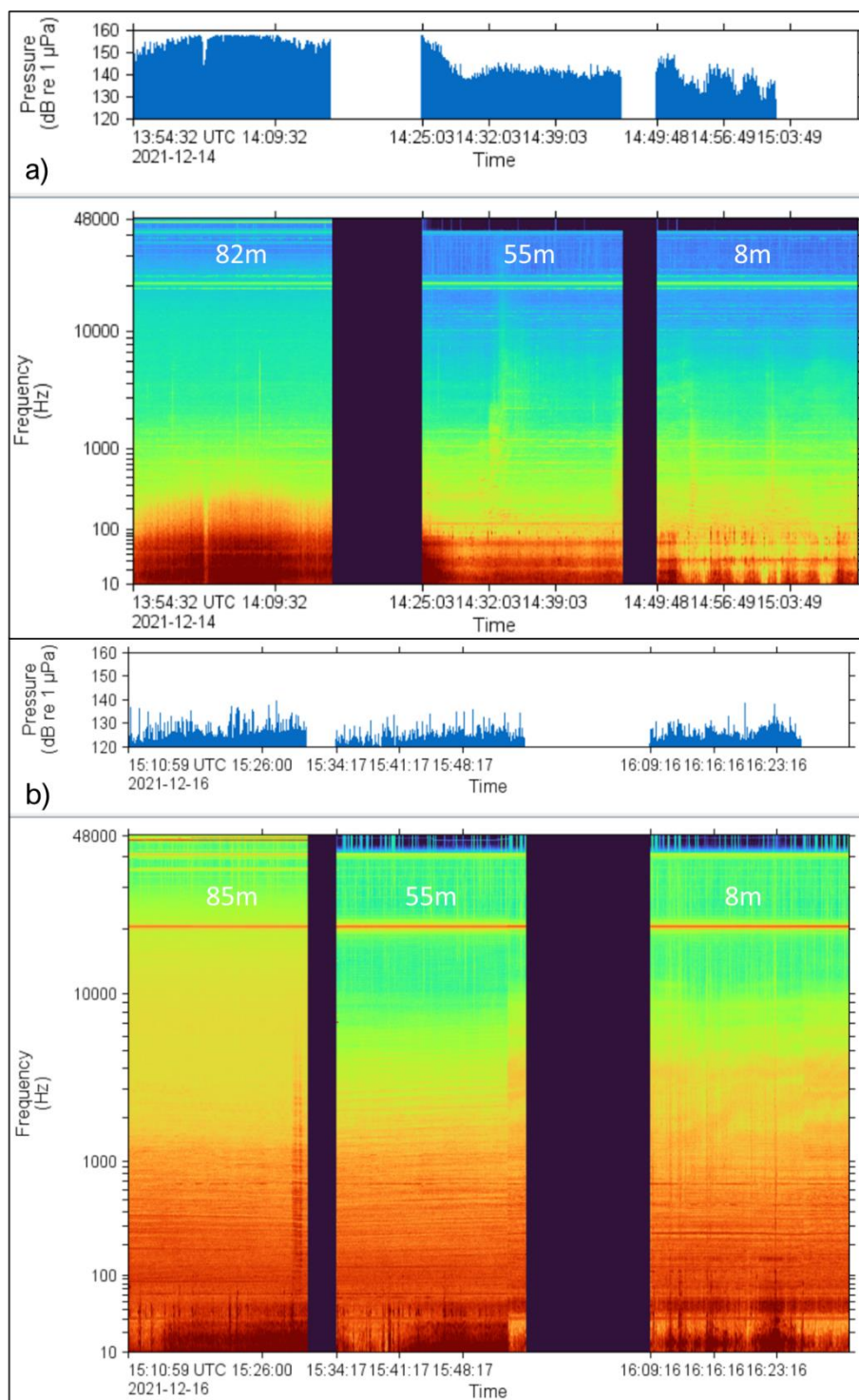


Figura 9. Stagione A21: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a nord del terminale FSRU a 100m (in alto, a) e a 1km (in basso, b) di distanza per le tre profondità di monitoraggio 8, 55 e >80m. Le parti nere identificano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio.

4.1.2. Inverno 2022 (I22)

I dati per l'inverno 2022 (I22) sono stati registrati fra il 2 e il 29 marzo 2022 quando FSRU Toscana era nello stato di Holding, cioè la sua attività regolare di rigassificazione; sebbene il monitoraggio sia

avvenuto in giorni diversi, la stessa attrezzatura risulta attiva secondo i registri di OLT (Tabella D-2). In particolare, il Terminale eserciva quasi sempre con le 2 Turbine a vapore grandi (10 MW) e l'impianto di correzione del Wobbe index (per la correzione della qualità del GN sempre spento tranne per il giorno del 24 marzo acceso dalle 11.00 alle 17.0). Mentre la rigassificazione si aggirava a ~400 ton/h (2 booster pump attive).

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m e 1km dal terminale in una direzione cardinale (nord) 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 (a 50 Hz e armoniche, 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
 - rumori metallici a frequenze bassissime associati con il movimento di catene
 - il rumore di un cavo in tensione meccanica messo in acqua, il cui rumore è visibile e udibile a ~4kHz, come evidenziato dall'analisi manuale dettagliata (file del 24 Marzo 2022 a 100m a est del terminale, ore 14:07).
- Suoni relativi alle operazioni del terminale evidenti come toni continui costanti a frequenze comprese fra i 250 e i 900 Hz che sono dovuti al funzionamento del terminale.

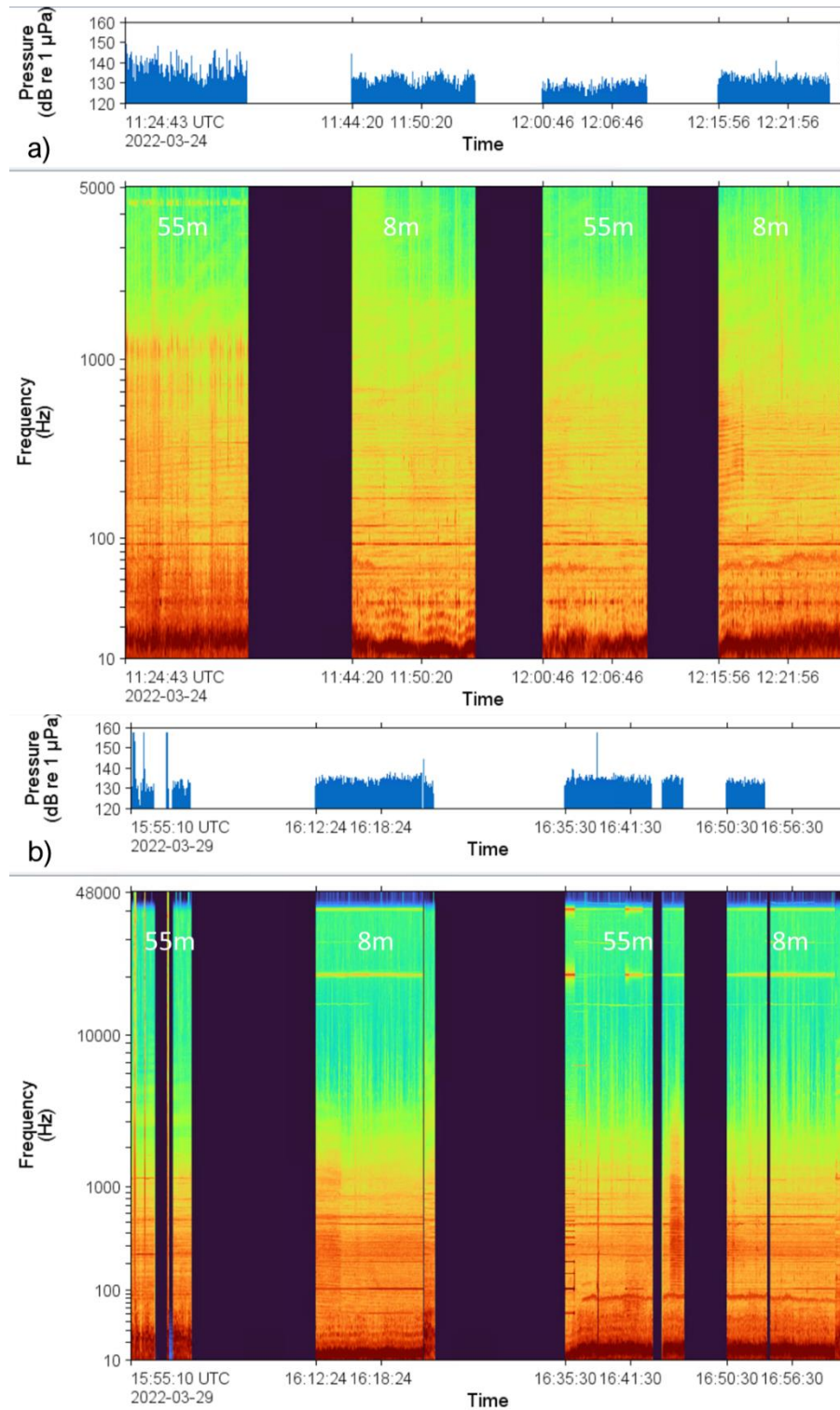


Figura 10. Stagione I21: esempi di spettrogrammi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m (in alto, a) e a 1km (in basso, b) di distanza e profondità di 8 e 55 metri. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio e/o interruzioni nelle registrazioni.

4.1.3. Primavera 2022 (P22)

I dati per la primavera 2022 (P22) sono stati registrati fra il 5 e il 13 giugno mentre il terminale era nella modalità operativa di holding (tabella C-2). Il Terminale eserciva con 3 Turbine a vapore attive (1 TG grande da 10 MW e 2 piccole da 3.35MW) e per il giorno 5/06/2022 anche il generatore diesel attivo (condizione di non normale operatività). Relativamente alla rigassificazione di evidenza che l'impianto di Wobbe index è stato attivo in modo alternato e che la portata di rigassificazione è stata bassa per il 5-6 giugno ed alta per 12-13 giugno.

In questo periodo è avvenuto un allibo ma le registrazioni sono state effettuate prima o dopo tale operazione (dal 10 al 12 giugno 2022).

Lo spettrogramma generato dai dati registrati a 1km a Est dal terminale in una direzione cardinale (nord) sono presentati nella Figura 11. In questo caso, è possibile notare la presenza di navi che mascherano il segnale del terminale FSRU, come visibile negli spettrogrammi fra 100Hz e circa 2kHz. A 20kHz si può notare un tono (artefatto del sistema di acquisizione) che improvvisamente si interrompe. Questo è probabilmente dovuto a un cambiamento di settaggio da parte dell'operatore.

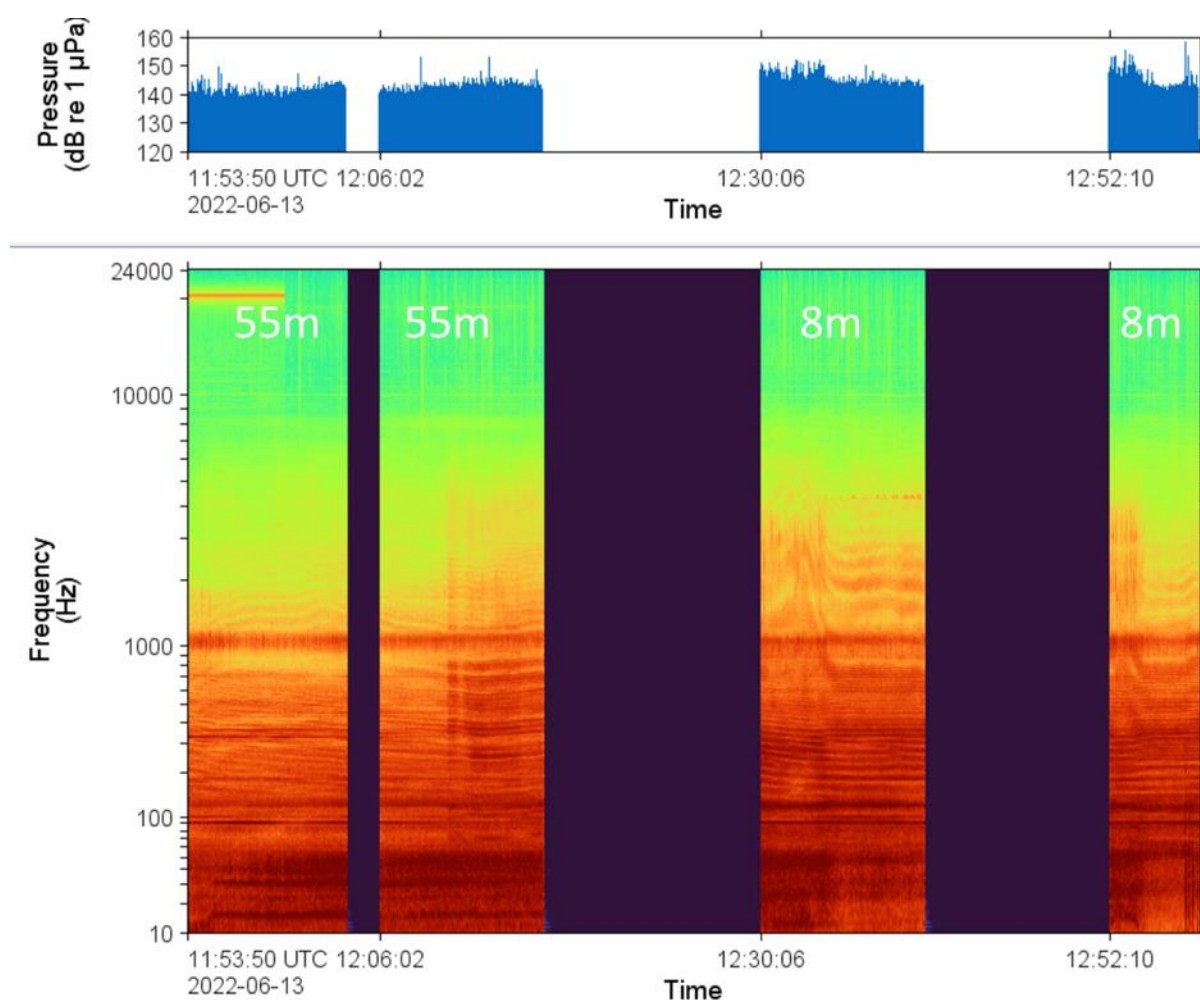


Figura 11. Stagione P22: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 1km di distanza e profondità di 8 e 55 metri. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio.

4.1.4. Estate 2022 (E22)

I dati per l'estate 2022 (E22) sono stati registrati fra il 6 e il 10 ottobre 2022 quando FSRU Toscana era nello stato di Holding, cioè la sua attività regolare di rigassificazione, sebbene una sola turbina da 10 MW fosse attiva congiuntamente alle 2 turbine piccole da 3.35 MW. Relativamente alla rigassificazione si evidenzia che l'impianto di Wobbe index è stato attivo tra le giornate del 6-7 ottobre e che la portata di rigassificazione in media compresa tra 400-420 ton/h (Tabella D-2).

Esempi di spettrogrammi generati dai dati registrati a 100m e 1km dal terminale in una direzione cardinale (ovest) sono presentati nella Figura 12. 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
- Suoni relativi alle operazioni del terminale come già descritti nella sezione precedente.

Inoltre, i dati sono stati acquisiti a una frequenza di campionamento minore di quella di 96 kHz accordata: in alcuni casi a 48kHz ed altri 32 kHz. Pertanto, alcune caratteristiche acustiche non possono essere confermate.

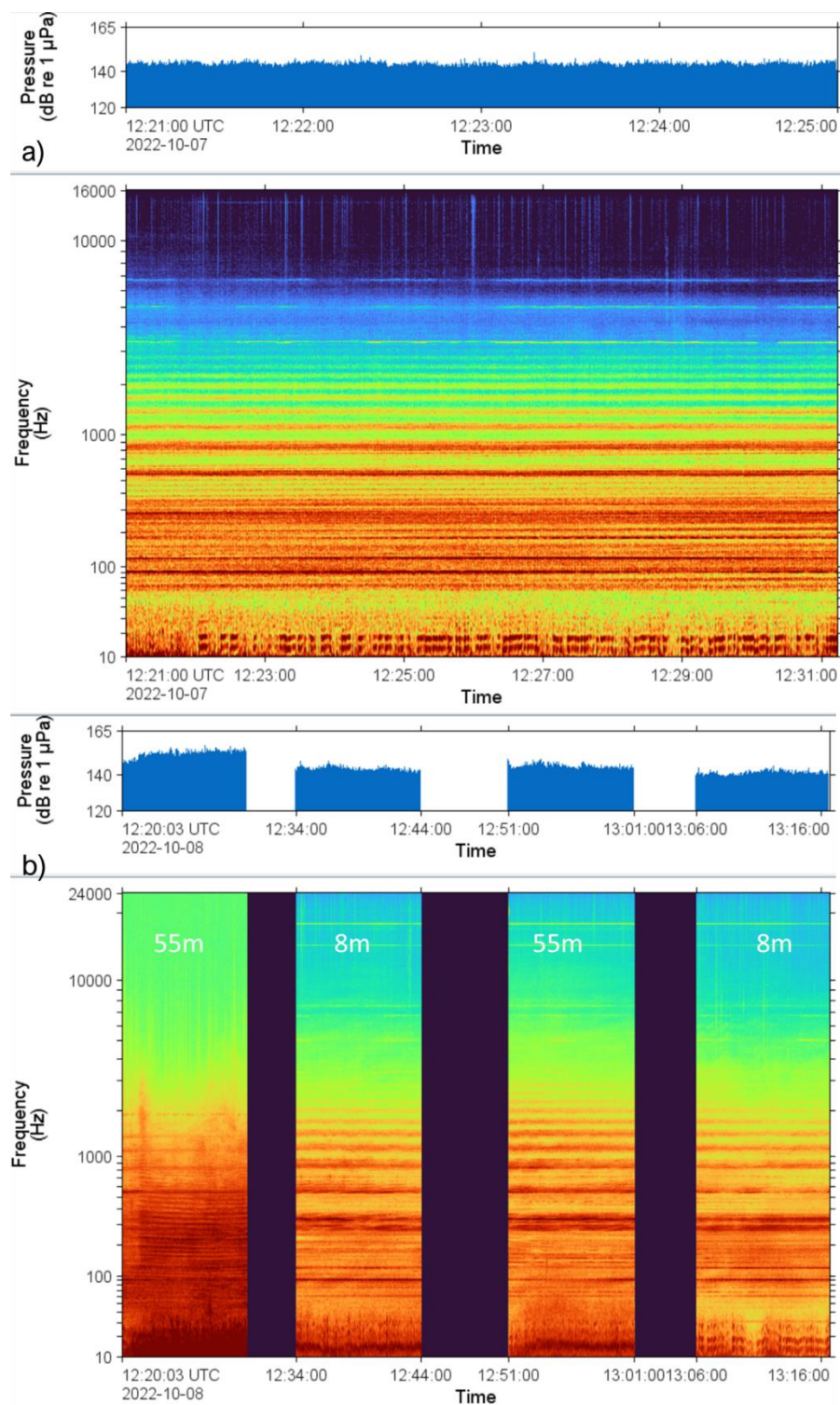


Figura 12. Stagione E22: spettrogramma (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming) per i dati relativi alla stazione a est del terminale FSRU a 100m, 55m di profondità (in alto, a) e a 1km (in basso, b) di distanza e profondità di 8 e 55 metri. Le parti nere indicano lacune nei dati durante la manipolazione dell'idrofono per passare da una profondità all'altra di monitoraggio.

4.1.5. Confronto inter-stagionale

In tutte le registrazioni sono stati individuati degli artefatti del sistema di acquisizione già descritti nella sezione 2.2.1, sebbene questi siano meno evidenti a partire da P22 con l'utilizzo del nuovo idrofono.

Inoltre, è possibile notare nelle basse frequenze (sotto i 40Hz) rumore spurio dovuto al flusso dell'acqua.

I seguenti segnali relativi al funzionamento del terminale FSRU Toscana sono stati individuati nelle registrazioni, e differenze riscontrate nel confronto inter-stagionale:

- Durante P22 e E22, frequenze comprese fra i 250 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.
- Durante E22 un 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.
- In generale, i livelli totali di pressione sonora riscontrati per E22 e i dati disponibili per P22 sono più elevati che per le altre stagioni di almeno 10 dB (L_p re $1\mu\text{Pa}^2$) (Tabella 8). Questa differenza è visibile anche nello spettro per le individuali bande di frequenza (Figura 13 a Figura 15).
- A21 e I22 presentano un profilo di densità spettrale simile come livelli assoluti, ma in A21 i picchi di frequenza associati all'attività del terminale non sono visibili, come già descritto.

Il livello mediano in banda larga non ponderato di L_{P1s} (10Hz-20kHz) e i livelli per le bande in decadi rappresentative del rumore continuo (63 Hz e 125 Hz) per ogni attività e profondità sono presentati nella Tabella 8. Per la distanza di 10km questi sono rappresentativi del traffico nell'area piuttosto che del funzionamento del terminale.

Tabella 7. Produzione di energia a bordo del terminale FSRU toscana durante i giorni di monitoraggio (somma giornaliera)².

Stagione	Data	TG1	TG2	TG3	TG4	Diesel
A21	14/12/2021	0.00	20690.17	0.00	60043.41	0.00
	16/12/2021	0.00	21079.41	0.00	60302.87	0.00
	17/12/2021	0.00	25031.60	0.00	72333.57	0.00
	18/12/2021	0.00	28268.87	0.00	83442.99	0.00
	19/12/2021	0.00	27343.97	0.00	80837.12	0.00
	22/12/2021	0.00	27343.97	0.00	80837.12	0.00
I22	2/03/2022	0.00	0.00	101100.39	100968.10	0.00
	9/03/2022	0.00	0.00	99787.58	99836.42	0.00
	11/03/2022	0.00	0.00	99869.59	101504.86	0.00
	24/03/2022	0.00	30442.61	89209.08	88984.21	0.00
	29/03/2022	0.00	29504.79	85552.02	87074.74	0.00
P22	5/06/2022	42274.83	43293.74	25117.62	0.00	33464.39
	6/06/2022	33369.93	34154.99	98306.33	0.00	0.00
Pre-allibo	8/06/2022	46343.89	47263.99	138659.76	0.00	0.00
	9/06/2022	44203.56	45078.73	131533.67	0.00	0.00
Allibo	10/06/2022	42203.8	43277.0	125965.4	0.0	0.0
	11/06/2022	44893.1	46181.7	133995.7	0.0	0.0
P22	12/06/2022	44893.14	46181.71	133995.69	0.00	0.00
	13/06/2022	44295.73	45505.69	132671.43	0.00	0.00
E22	6/10/2022	49085.05	50131.14	146471.95	0.00	0.00
	7/10/2022	48725.39	49607.05	145216.32	0.00	196.92
	8/10/2022	42190.51	42789.31	124924.72	0.00	0.00
	9/10/2022	42564.68	43031.20	125422.03	0.00	0.00

² la barra blu indica l'energia prodotta da ogni turbina rispetto alla sua capacità massima

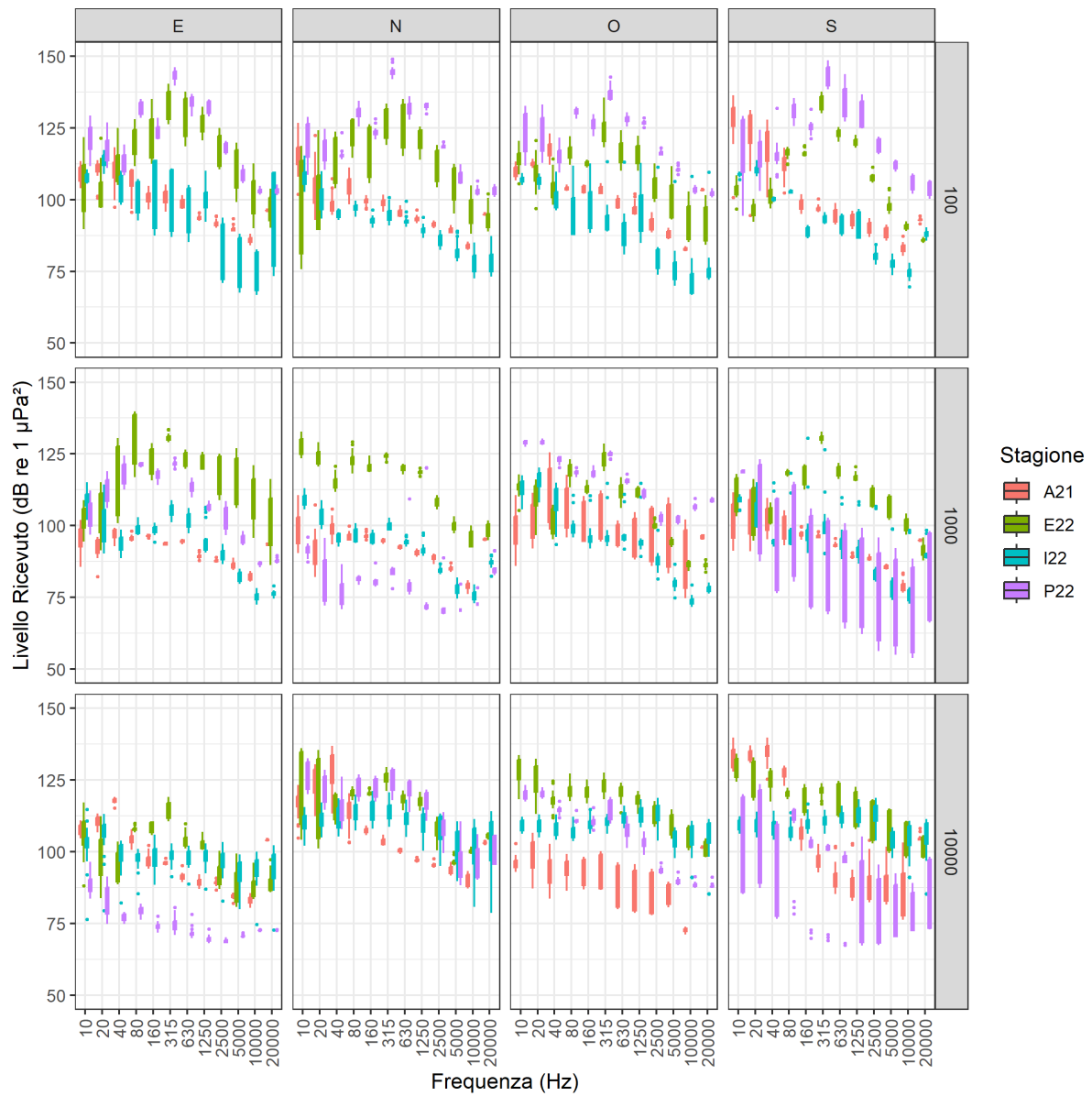


Figura 13. *Profondità nominale 8m*: Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1min per ogni frequenza (decidecade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.

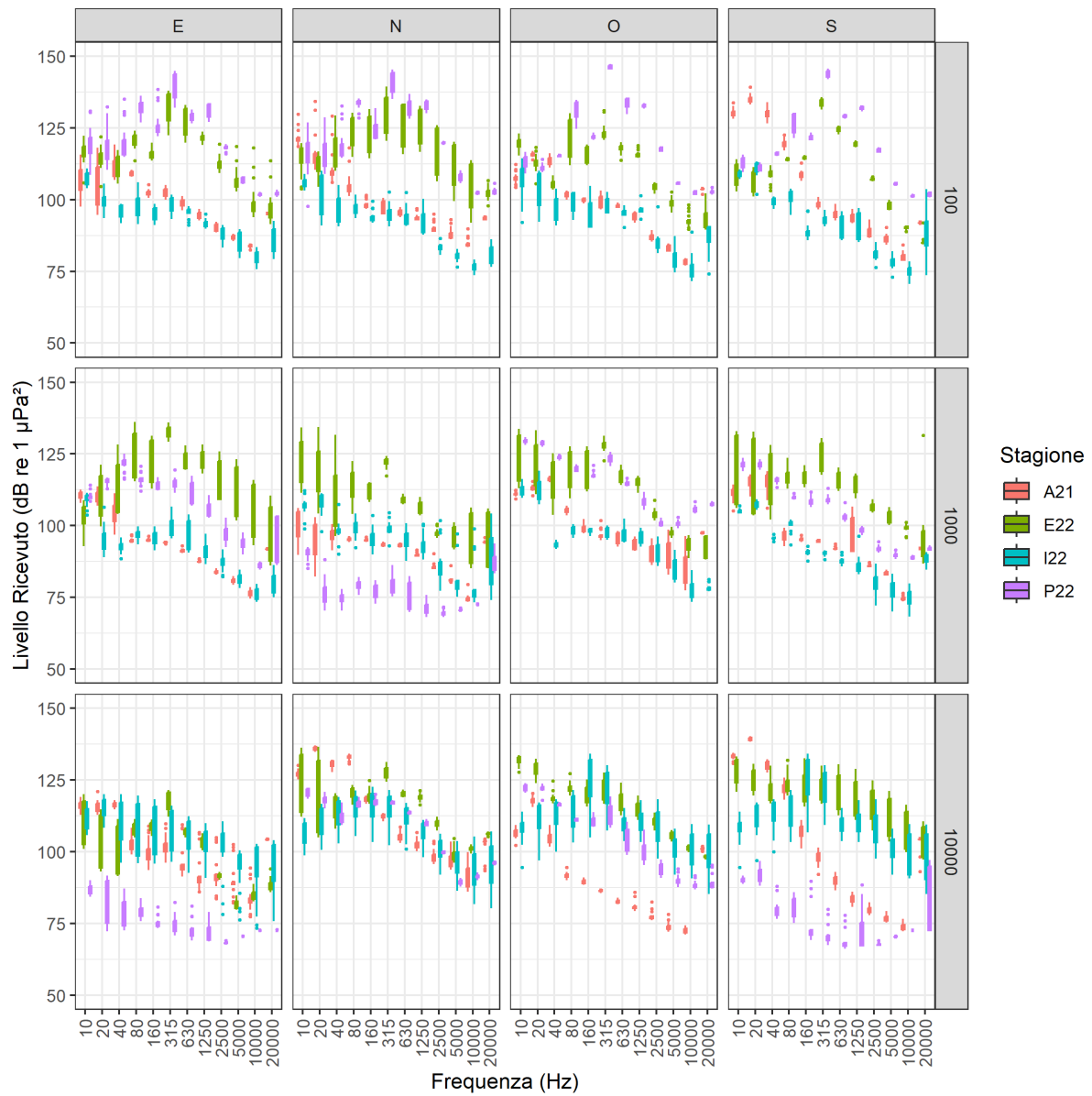


Figura 14. *Profondità nominale 55m*: Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali.

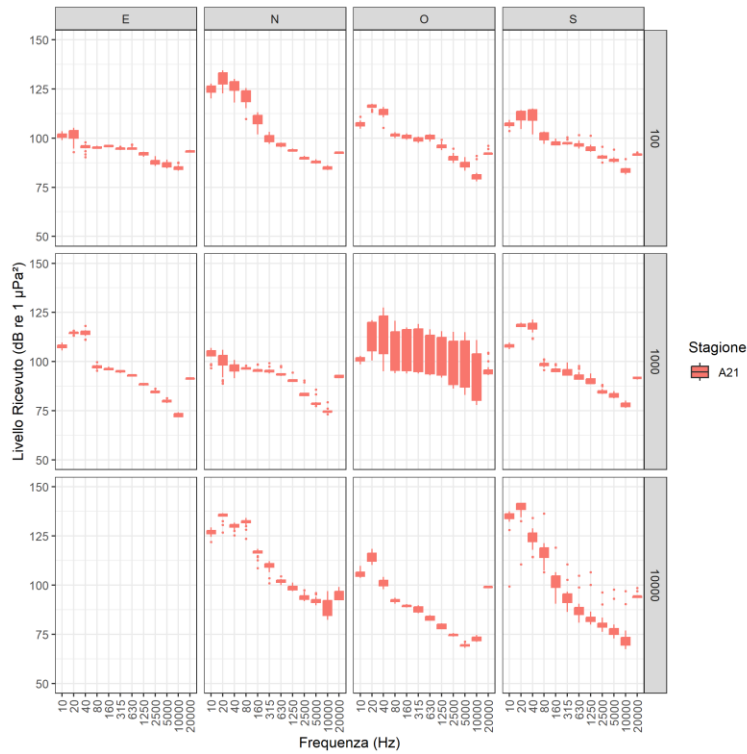


Figura 15. *Profondità nominale 87m*: Livelli ricevuti di pressione sonora (L_p) 1min per ogni frequenza (decade) misurati alle distanze di 100m, 1km e 10km dalla sorgente nelle diverse direzioni cardinali. Questa profondità è stata misurata solo per A21. Non ci sono dati per Est 10km a questa profondità' in quanto la batimetria non la raggiunge in questa direzione cardinale.

Tabella 8. 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. 'N.D.'=Non Disponibile in quanto la profondità di monitoraggio non era richiesta o possibile (direzione est) a causa della batimetria, e '-' significa che i risultati non sono presentati a causa di un problema nella registrazione. Livelli presentati in grigio non sono rappresentativi del terminale standalone in quanto altre sorgenti mascherano i toni del FSRU.

Direzione cardinale	Stagione	Distanza (m)	Banda larga - 10Hz - 20kHz			Decidecade - 63 Hz			Decidecade - 125 Hz		
			8m	55m	87m	8m	55m	87m	8m	55m	87m
Est	A21	100	120.8	118.8	112.8	120.8	118.8	112.8	107.1	109.2	99.6
		1000	108.7	118.6	122.4	108.7	118.6	122.4	94.7	94.4	97.1
		10000	126.1	125.6		126.1	125.6		103.5	101.5	
	I22	100	135.2	118.9		135.2	118.9		96.1	96.0	
		1000	118.2	118.6		118.2	118.6		95.1	89.1	
		10000	117.0	122.5		117.0	122.5		94.6	100.7	
	P22	100	147.4	145.1	N.D.	147.4	145.1	N.D.	122.2	124.0	N.D.
		1000	131.7	130.1		131.7	130.1		117.0	112.7	
		10000	116.8	115.0		116.8	115.0		93.2	96.8	
	E22	100	138.4	137.8		138.4	137.8		112.2	115.6	
		1000	137.1	137.6		137.1	137.6		122.2	117.9	
		10000	121.8	123.8		121.8	123.8		103.0	106.0	
Nord	A21	100	117.7	127.1	137.6	117.7	127.1	137.6	101.5	112.2	111.3
		1000	108.7	109.5	110.7	108.7	109.5	110.7	93.2	94.3	96.0
		10000	134.8	144.6	143.6	134.8	144.6	143.6	112.7	133.2	121.1
	I22	100	119.6	116.9		119.6	116.9		95.9	94.8	
		1000	121.6	120.7		121.6	120.7		92.8	93.5	
		10000	127.1	127.6		127.1	127.6		113.3	114.7	
	P22	100	147.0	145.3	N.D.	147.0	145.3	N.D.	122.7	124.3	N.D.
		1000	117.4	116.5		117.4	116.5		97.1	93.2	
		10000	138.8	131.2		138.8	131.2		120.5	113.8	
	E22	100	138.8	142.7		138.8	142.7		117.6	120.4	
		1000	136.7	128.8		136.7	128.8		116.5	106.8	
		10000	135.4	135.1		135.4	135.1		118.4	118.5	
Ovest	A21	100	124.8	125.3	-	124.8	125.3	-	103.9	102.8	-
		1000	114.1	123.7	-	114.1	123.7	-	97.6	107.4	-
		10000	110.0	119.6	116.9	110.0	119.6	116.9	93.0	93.2	86.7
	I22	100	121.6	110.8		121.6	110.8		88.0	87.5	
		1000	123.7	120.6		123.7	120.6		98.7	96.1	
		10000	126.1	135.9		126.1	135.9		108.7	113.8	
	P22	100	142.4	148.3	N.D.	142.4	148.3	N.D.	120.3	122.1	N.D.
		1000	139.3	139.2		139.3	139.2		116.6	117.6	
		10000	131.4	132.9		131.4	132.9		108.9	110.6	
	E22	100	130.1	132.6		130.1	132.6		108.2	111.8	
		1000	129.8	134.7		129.8	134.7		106.7	117.5	
		10000	137.5	138.3		137.5	138.3		119.9	121.4	
Sud	A21	100	133.9	-	118.9	133.9	-	118.9	116.6	-	99.9
		1000	112.0	123.3	124.4	112.0	123.3	124.4	94.6	99.7	97.4
		10000	145.4	147.0	146.4	145.4	147.0	146.4	131.2	121.1	99.1
	I22	100	121.4	120.6		121.4	120.6		88.9	88.9	
		1000	121.6	115.7		121.6	115.7		92.1	85.3	
		10000	126.3	135.9		126.3	135.9		109.0	113.7	
	P22	100	148.9	145.8	N.D.	148.9	145.8	N.D.	122.0	121.9	N.D.
		1000	127.3	131.6		127.3	131.6		97.1	108.9	
		10000	116.5	122.4		116.5	122.4		87.6	93.6	
	E22	100	135.6	135.7		135.6	135.7		110.9	110.3	
		1000	134.6	134.9		134.6	134.9		114.0	115.9	
		10000	138.6	137.5		138.6	137.5		118.2	119.7	

4.1.6. Confronto con pre-allibo

La JASCO ha effettuato il monitoraggio del rumore subacqueo presso il terminale FSRU Toscana dall'8 al 12 giugno 2022 in maniera indipendente dai dati finora presentati e con strumenti dedicati (vedi relazione Allibo 2022 per dettagli sulla metodologia). I dati ottenuti durante tale campagna includono un giorno di monitoraggio senza la presenza di navi il giorno precedente all'allibo e sono dunque comparabili ai dati per il terminale standalone; inoltre corrispondono a date simili a quelle del monitoraggio P22, anche se non c'è sovrapposizione esatta fra i due. Dal punto di vista dell'assetto del terminale, le misure condotte a 100m di distanza sono state eseguite fra il 5 e il 6 giugno, periodo in cui l'assetto del terminale era simile a quello del pre-allibo anche se il 5 giugno, un generatore diesel era attivo in via eccezionale. I dati raccolti per P22 a 1km dal terminale il 13 giugno rappresentano invece un assetto diverso, cioè l'holding standard, a differenza dei giorni precedenti all'allibo in cui altre apparecchiature erano attive, per es. i booster.

I risultati delle misure eseguite durante il periodo pre-alibo (8-9 giugno 2022) mostrano che:

- L' L_p totale per l'intera banda di frequenza di monitoraggio (10Hz-64kHz) si mantiene attorno ai 125 dB re 1 μ Pa (Figura 16);
- Il contributo maggiore all' L_p totale proviene dalla banda di frequenza compresa fra gli 89-891 Hz, indicativo della presenza di navi come visibile anche nelle medie spettrali, per esempio attorno alle ore 13 del 9 giugno. L'ispezione dei tracciati AIS delle imbarcazioni presenti nell'area di studio conferma la presenza delle navi LNG Express e Corrado Neri nelle vicinanze del terminale. Inoltre, l'LNG Guardian quel giorno ha effettuato un passaggio sopra lo strumento a sud del terminale, come richiesto per la stima dei livelli di sorgente, ed è poi rimasto a margine della zona di interdizione alla navigazione (2km dal terminale direzione sud-est) per la maggior parte del tempo (Figura 17).
- In tutte e tre le direzioni cardinali si osservano toni continui che interessano le frequenze a 250Hz, 500Hz e 800 Hz (Figura 16). Il picco a 500Hz è un'armonica del primo picco di frequenza; nelle registrazioni l'armonica è sempre visibile ma non la frequenza a 250Hz. Il picco a 500 Hz è attribuibile alle pompe o alla dinamica dei fluidi dell'FSRU mentre quello a 800 Hz al generatore dell'FSRU. Questi sono stati descritti anche nella relazione per l'anno VIII (Pace et al. 2022).
- Nella stazione sud si nota anche un picco di energia nella decidecade incentrata a 315Hz riconducibile a una sorgente acustica a 380 Hz dell'elica di prua di una nave di passaggio (rapporto di maglia dei denti dell'ingranaggio planetario dagli ingranaggi dell'elica) (Figura 18).
- Al di sotto di 30 Hz, il paesaggio sonoro è relativamente silenzioso in quanto non è presente alcun rumore di flusso, in contrasto con i dati raccolti durante la campagna P22 (Figura 20). Inoltre, è possibile identificare un tono a 18 Hz, correlato alla presenza dell'LNG Guardian.

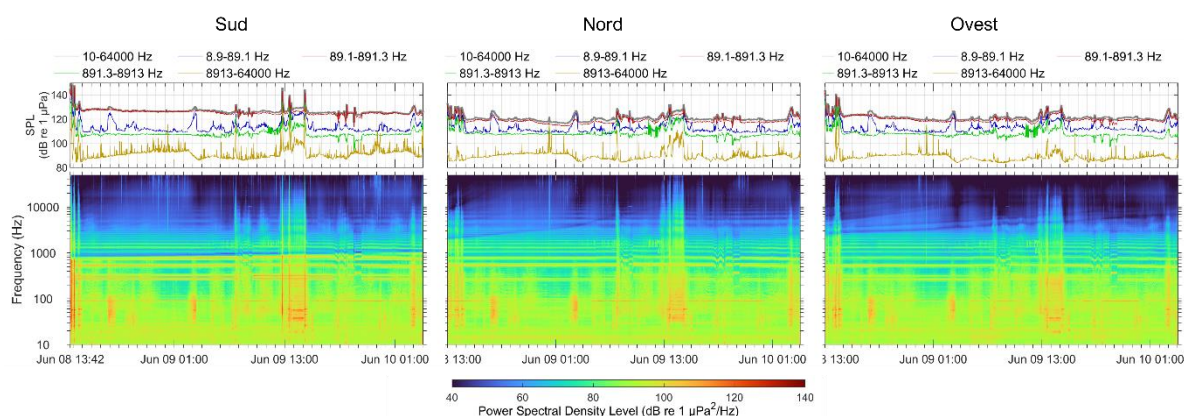


Figura 16. SPL totale suddiviso per specifiche bande di frequenza (in alto) e media spettrale a lungo termine (in basso) per le tre stazioni di monitoraggio nel periodo pre-allibo.

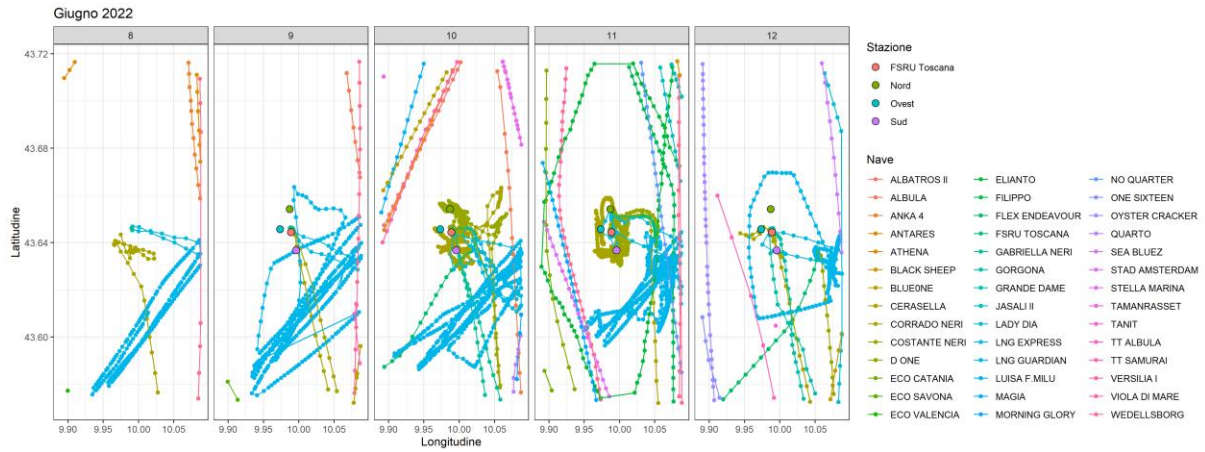


Figura 17. Rotte del terminale FSRU e delle navi coinvolte che le sue operazioni per il periodo di monitoraggio acustico.

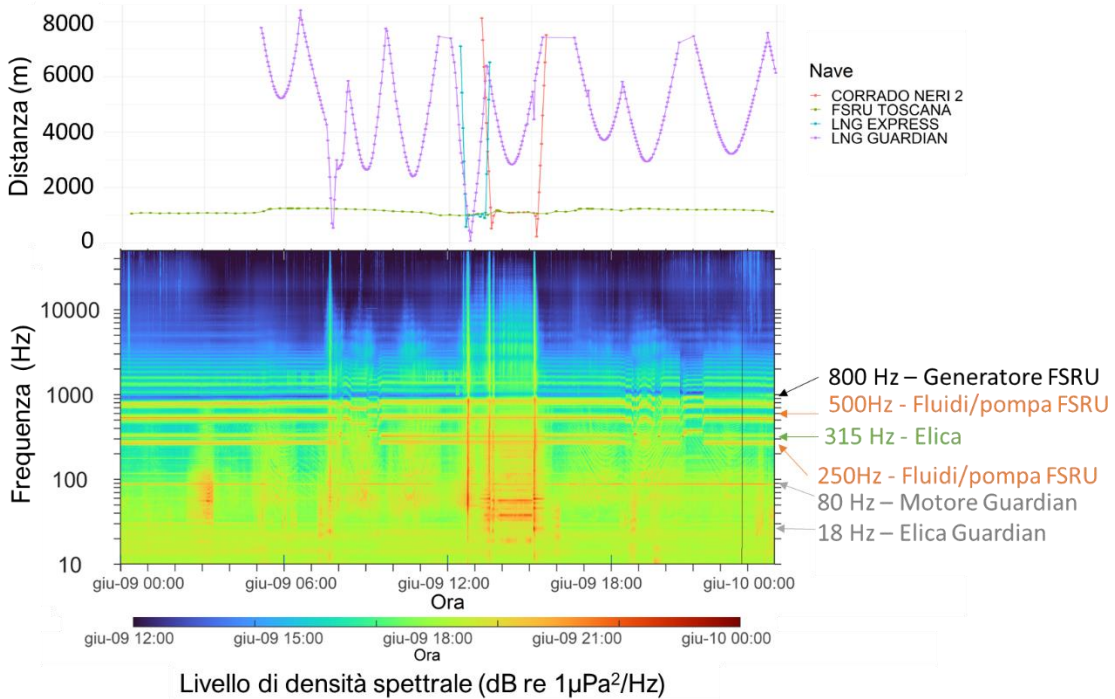


Figura 18. Pre-allibo: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud (versione espansa del grafico in Figura 11) e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud.

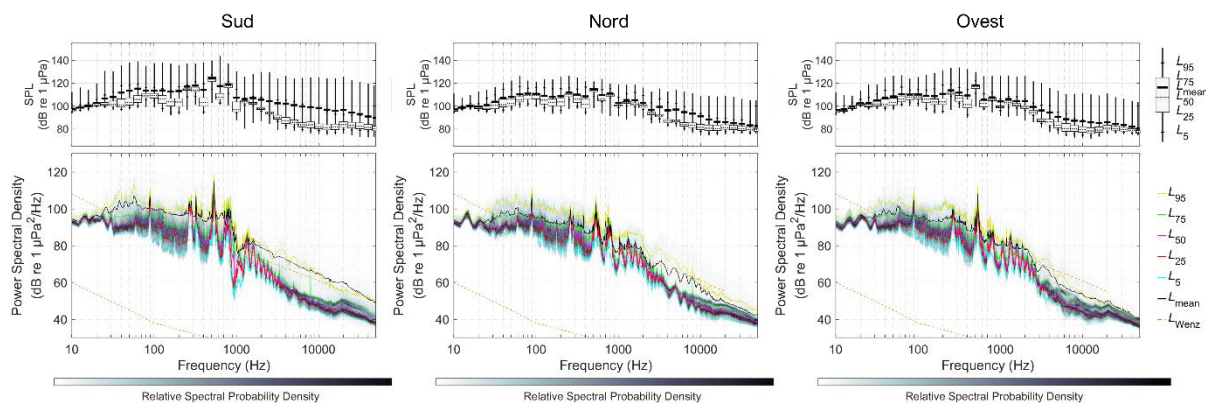


Figura 19. Diagramma di densità spettrale di potenza (Power Spectral Density - PSD) (in basso) e diagramma a scatola e baffi (in alto) dell'SPL per ogni decade per il periodo pre-allibo. Nella PSD i livelli statici e i limiti massimi e minimi delle curve di Wenz sono rappresentati da linee di diverso colore, come indicato nella legenda.

I livelli ricevuti nelle tre direzioni cardinali Ovest, Nord e Sud tramite gli strumenti posizionati a 1km da FSRU Toscana durante il pre-allibo e per P22 sono stati paragonati e sono presentati nella Figura 20. Nel paragonare le diverse stazioni, bisogna tenere presente che i livelli assoluti possono essere fuorvianti in quanto le misure per P22 sono state effettuate da una piattaforma mobile con distanza dal terminale variabile e compresa fra 520m e 1080 m.

Dal paragone dei due tipi di dato (statico a lungo termine, pre-allibo / mobile a breve termine, P22), si possono trarre le seguenti osservazioni:

- Sotto i 30 Hz, le misurazioni mobili mostrano un sostanziale rumore di flusso dell'idrofono che non è quindi correlato al funzionamento del FSRU. Il rumore di flusso maschera il picco a 18Hz che è invece evidente nelle statiche delle misure statiche, che è attribuito al Guardian.
- Negli spettri ottenuti dalle misure statiche, i picchi di energia a bande di frequenza specifiche sono più pronunciati rispetto alle misure mobili.
- Escluse le frequenze sotto i 30 Hz, i profili, e livelli ricevuti a nord del terminale combaciano per i due tipi di misurazioni, anche se nei livelli mediani riscontrati nel pre-allibo i picchi alle frequenze di massima energia dei toni attribuibili al terminale sono più elevati.

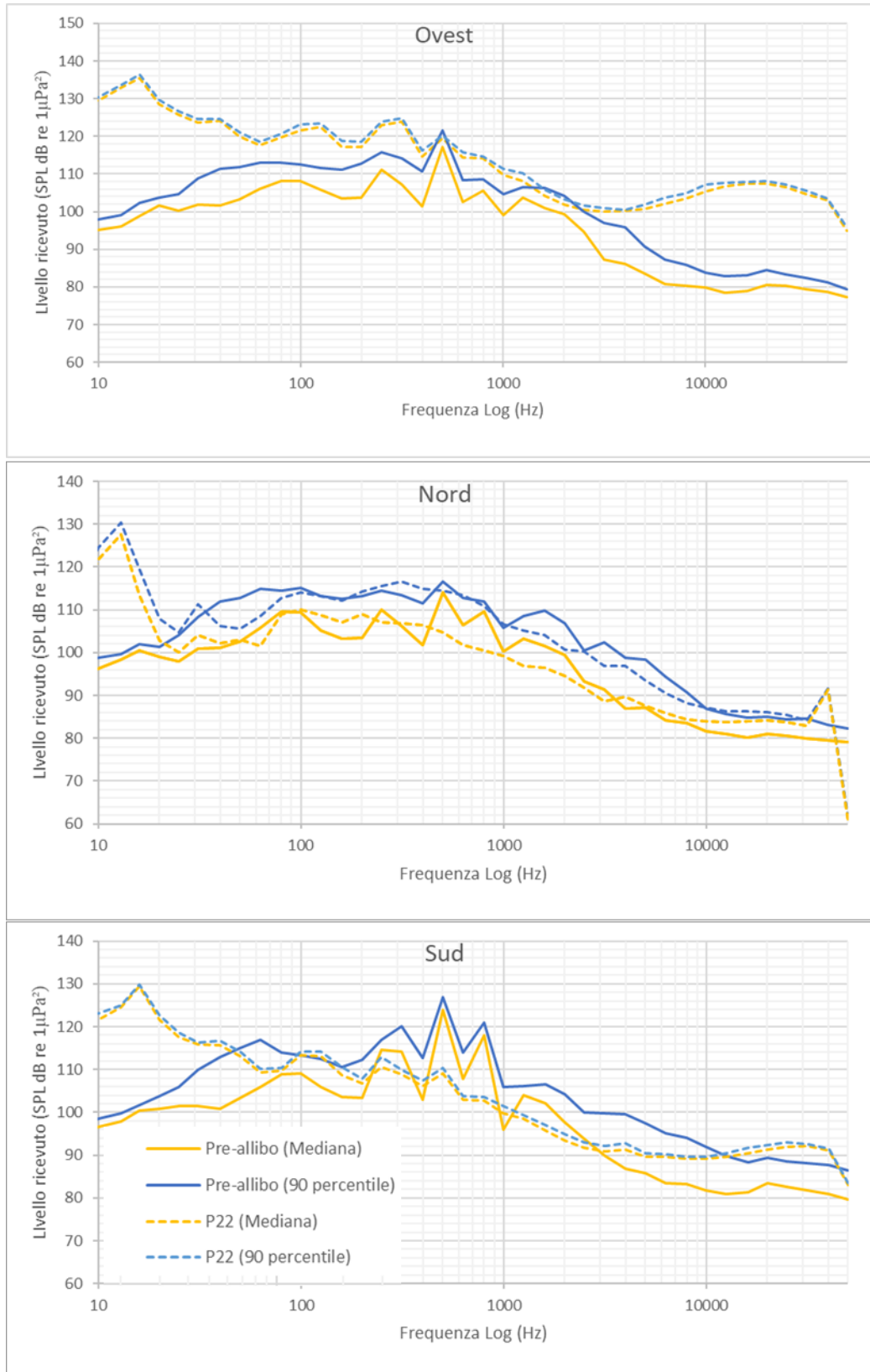


Figura 20. P22 e pre-allibo: livelli ricevuti per bande in terzi di ottava (mediana e 90° percentile) per ogni direzione cardinale di monitoraggio.

4.2. 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 21). Nella Figura 21 i livelli sono presentati per ogni banda di frequenza ed è possibile notare che in alcuni casi 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 21 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 ci si può attendere maggiore incertezza nel calcolo dei livelli di sorgente; 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). I livelli utilizzati per la stima dei raggi di impatto sui mammiferi sono stati selezionati tenendo conto dei dati in cui i livelli di sorgente sono stabili indipendentemente dalla distanza del ricevitore, e delle esclusioni necessarie date le considerazioni descritte nella Tabella 6. Tali dati sono identificati da riquadri verdi nella Figura 21. Dai dati presentati, che mostrano in ascissa la distanza effettiva del monitoraggio, si può anche evincere che la distanza del ricevitore in alcuni casi devia di parecchie centinaia di metri dalla distanza nominale, ad es. per la stazione ovest 100m della stagione A21).

Un'altra peculiarità dei dati è la stima dei livelli di sorgente attorno ai 20kHz (punti rosso scuro); questa frequenza è associata a un rumore elettronico interno del registratore e il suo apparente livello ricevuto non è quindi dipendente dalla distanza della sorgente (FSRU).

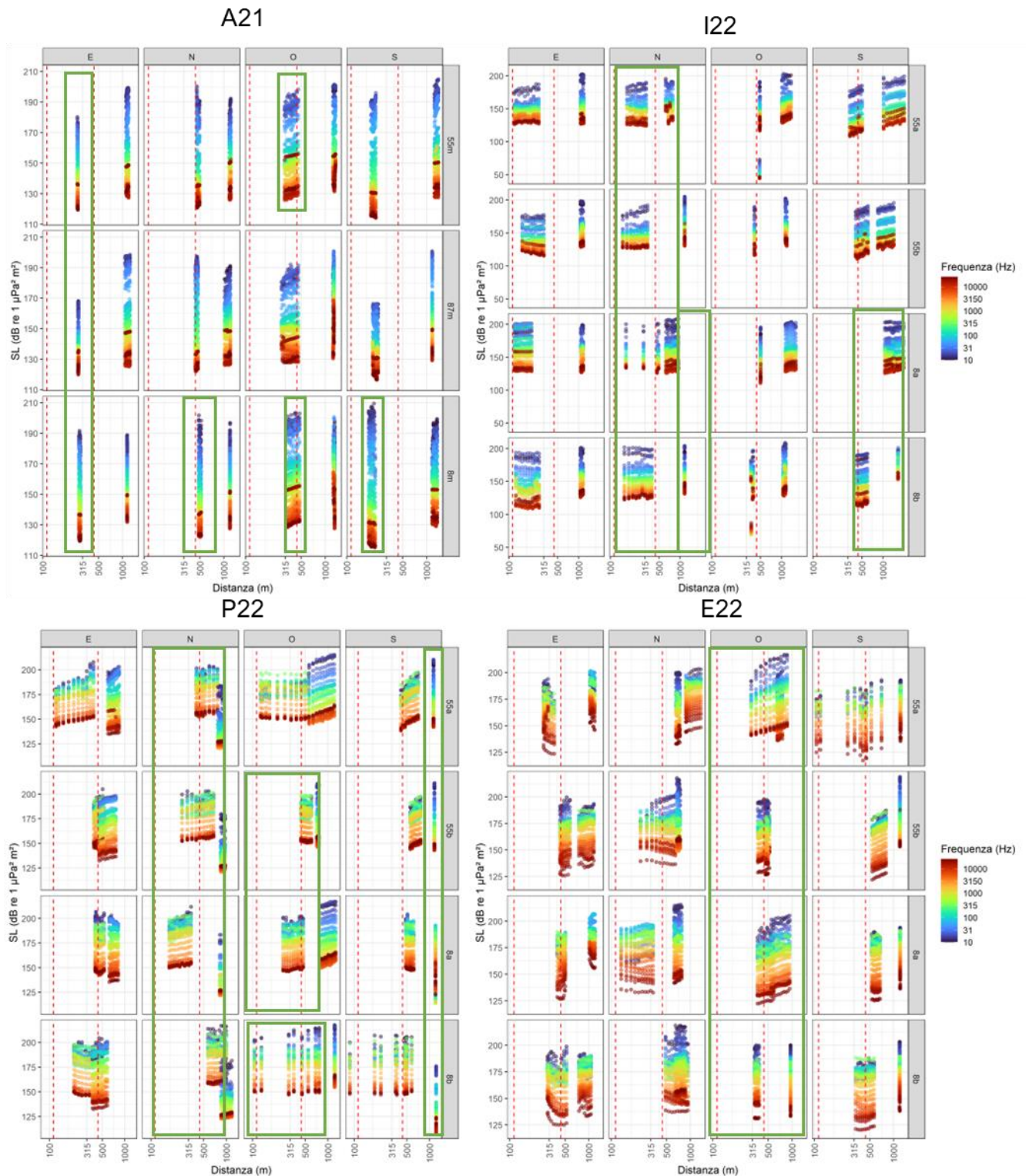


Figura 21. Grafico a dispersione dei livelli di sorgente calcolati in bande di decadedadi suddivisi per ogni stagione (A21 in alto a sinistra, I22 in alto a destra, P22 in basso a sinistra, e E22 in basso a destra). Le linee verticali indicano la fascia di portata per gli angoli radenti a 15 gradi rispettivamente per l'idrofono.

I livelli di sorgente sono stati calcolati in ciascuna banda di frequenza per ogni stagione e profondità (Tabella 9) aggiungendo il TL ottenuto dalla modellizzazione ai dati di L_p nell'intervallo di 1 minuto.

La mediana dei valori delle sorgenti per le stazioni e profondità selezionate è stata usata come input al modello di propagazione per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini in modo da ottenere una

stima conservativa (Figura 22). I livelli di sorgente calcolati per il pre-allibo sono presentati a scopo comparativo; questi sono stati stimati utilizzando il modello MONM-Bellhop poiché il ricevitore era stazionario, come descritto nella relazione presentata per l'allibo 2022. Ispezionando la Figura 22 e Tabella 9 si può notare che sotto i 30Hz i livelli sono più bassi di 5-23 dB per la campagna effettuata dalla JASCO (pre-allibo) paragonati a quelli dei dati ottenuti per le misurazioni dedicate al terminale standalone. Il divario è particolarmente evidente fra i 10 e i 20 Hz.

Inoltre, come già osservato per i livelli ricevuti, i livelli mediani di sorgente sono notevolmente inferiori per A21 e I22 rispetto a P22 e E22, escludendo le frequenze sotto i 30 Hz che sono caratterizzate dal rumore di flusso e la banda attorno ai 20kHz che è dominata dall'artefatto del registratore. Per quanto riguarda l'assetto del Terminale, durante A21 l'impianto non rigassificava, durante I22 l'impianto rigassificava (non alla massima portata ed in assenza di correzione del gas pertanto con l'impianto Wobbe index³ spento) mentre nelle campagne E22 e P22 l'impianto oltre a rigassificare alla massima portata provvedeva alla correzione del gas (impianto Wobbe index attivo) e la generazione dell'energia elettrica era data da tre Turbine (1 grande e due piccole).

Sempre escludendo le frequenze al di sotto dei 30 Hz e intorno alla banda dei 20kHz, gli spettri di sorgente per P22 e E22 presentano un'andatura comparabile alle misure effettuate in giugno 2022 per il pre-allibo, sebbene esista una discrepanza assoluta dei livelli di fino a 22 dB; i livelli derivati dal pre-allibo sono maggiori per le frequenze di picco e sopra i 10kHz, ma inferiori al di sotto dei 200 Hz.

I livelli di sorgente in banda larga (10Hz-20kHz) sono 190.3 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{m}^2$ per il pre-allibo, 203.5 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{m}^2$ per P22 e 200.9 dB re $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{m}^2$ per E22.

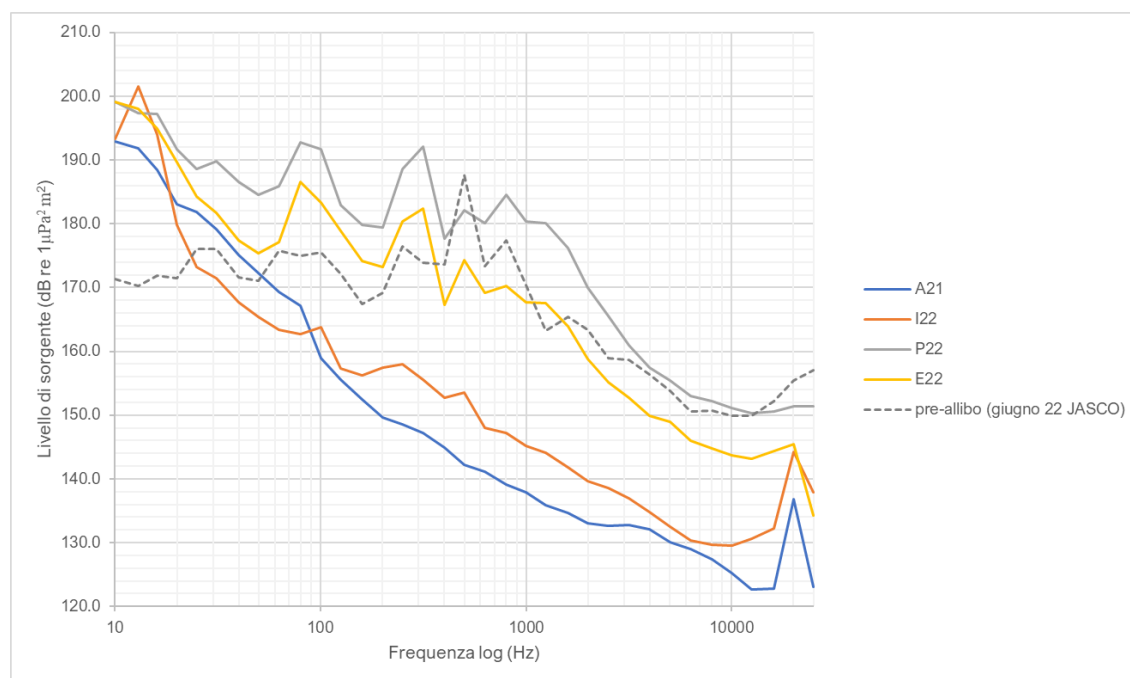


Figura 22. Livelli di sorgente (in bande decedecade) per le diverse stagioni riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana utilizzati per la modellizzazione per ottenere le distanze per le soglie d'insorgenza di impatto sui mammiferi marini. I valori rappresentati sono stati ottenuti calcolando il 90° percentile per ciascuna stagione utilizzando entrambe le profondità di acquisizione dei dati.

Tabella 9. 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)	SL dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$				
	A21	I22	P22	P22 (Pre-allibo 2022)	E22
10.0	192.9	193.4	199.1	171.3	199.1
12.5	191.9	201.5	197.4	170.3	198.1
16.0	188.5	194.1	197.2	171.9	194.9
20.0	183.1	179.9	191.7	171.4	189.7
25.0	181.9	173.2	188.6	176.0	184.3
31.5	179.1	171.5	189.8	176.1	181.8
40.0	175.2	167.8	186.6	171.6	177.4
50.0	172.3	165.3	184.6	171.0	175.4
63.0	169.4	163.4	186.0	175.8	177.1
80.0	167.2	162.7	192.8	175.0	186.5
100.0	158.9	163.7	191.7	175.5	183.4
125.0	155.6	157.2	183.0	172.1	178.9
160.0	152.4	156.3	179.8	167.5	174.2
200.0	149.6	157.5	179.4	169.1	173.2
250.0	148.6	158.1	188.6	176.5	180.4
315.0	147.2	155.6	192.1	173.9	182.4
400.0	144.9	152.8	177.7	173.7	167.3
500.0	142.2	153.6	182.1	187.7	174.3
630.0	141.1	148.0	180.1	173.3	169.2
800.0	139.2	147.2	184.5	177.5	170.2
1000.0	138.0	145.1	180.4	170.4	167.7
1250.0	135.9	144.0	180.1	163.2	167.5
1600.0	134.6	141.8	176.2	165.4	163.9
2000.0	133.0	139.7	170.0	163.4	158.8
2500.0	132.7	138.6	165.5	158.9	155.1
3150.0	132.7	137.0	160.9	158.7	152.8
4000.0	132.0	134.7	157.5	156.3	149.9
5000.0	130.0	132.5	155.5	153.9	148.9
6300.0	128.9	130.4	153.0	150.6	146.0
8000.0	127.3	129.7	152.3	150.6	144.8
10000.0	125.3	129.6	151.1	149.8	143.7
12500.0	122.6	130.6	150.3	149.9	143.1
16000.0	122.8	132.2	150.6	152.1	144.3
20000.0	136.8	144.2	151.4	155.4	145.5
25000.0	123.0	137.9	136.0	157.1	134.2
Banda larga (10Hz-25kHz)	196.7	202.8	204.8	190.3	203.1

4.3. 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 10 e nelle Figure 24-28 per ciascuna delle stagioni di monitoraggio, incluso il pre-allibo (P22) misurato dalla JASCO. I risultati sono discussi nella Sezione 5, 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 distanze massime sono presentate nell'Appendice E, mentre i percentili sono riportati in questo capitolo.

La modellizzazione dei raggi di impatto è stata effettuata per due casi: il primo considera i livelli di sorgente nelle frequenze in terzi di ottava comprese fra 10Hz e 25kHz, e il secondo esclude le bande in terzi di ottava al di sotto di 30 Hz per ridurre l'effetto introdotto artificialmente dal flusso dell'idrofono. Di fatto i raggi di impatto molto estesi riscontrati al di sotto della soglia L_P di 120 dB re 1 μ Pa si potrebbero ascrivere alla lunga propagazione delle frequenze molto basse, ma poiché i livelli elevati registrati a tali frequenze sono causati dal rumore stesso del sistema di acquisizione, essi non sono rappresentativi dell'emissione sonora dal terminale. La propagazione di ogni banda decidecade su una distanza di 2km è rappresentata nella Figura 23; questa mostra come per A21 e I22, stagioni in cui lo spettro non presenta frequenze caratteristiche delle operazioni del terminale, le frequenze più impattanti sono al di sotto dei 30 Hz. Per P22 ed E22, invece, il contributo dei picchi di frequenza compresi fra i 100 e i 1000 Hz sulla propagazione del rumore diventa visibile.

I risultati che escludono le frequenze al di sotto dei 30 Hz sono più rappresentativi delle emissioni del terminale, come confermato dal paragone con i dati acquisiti dalla JASCO per P22 pre-allibo, pertanto tali risultati sono stati considerati nell'analisi dell'impatto sui mammiferi.

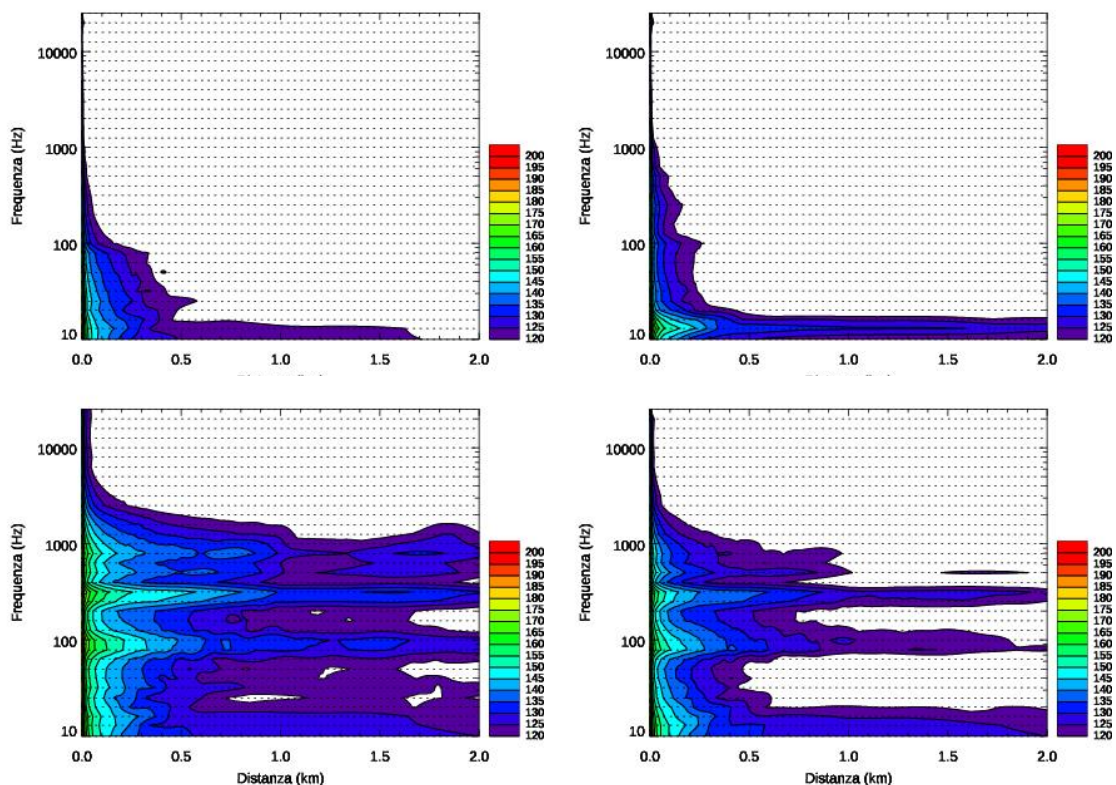


Figura 23. Diagramma che mostra la distanza (limitata a 2km) lungo la quale le singole bande di frequenza in terzi di ottava si propagano. Queste sono presentate in ordine per ogni stagione: A21 in alto a sinistra, I22 in alto a destra, P22 in basso a sinistra e E22 in basso a destra.

Le mappe (Figure 24-28) mostrano che la propagazione avviene in una direzione preferenziale, cioè verso ovest, seguendo la batimetria dell'area. Verso la zona costiera, l'acqua diventa poco profonda e induce una diminuzione rapida del suono. Inoltre, l'isola di Gorgona, a sud-ovest del terminale FSRU Toscana, costituisce una barriera acustica naturale.

La stagione che presenta le maggiori distanze d'impatto appare essere P22, e la minore A21; bisogna però notare che le distanze di impatto comportamentale minori in assoluto sono state ottenute per i dati di P22 (pre-allibo). Tale differenza può essere dovuta al fatto che le basse frequenze per le misurazioni non effettuate dalla JASCO includono un sostanziale rumore di flusso. Si ritiene dunque che i raggi di impatto stimati per P22 pre-allibo siano più realistici e rappresentativi dell'impatto del FSRU attivo. I livelli di sorgente riscontrati durante il pre-allibo sono in generale più bassi rispetto a quelli misurati durante P22 ed è quindi logico che i raggi di impatto per quest'ultima siano più estesi.

Escludendo le misurazioni fatte per P22 dalla JASCO (pre-allibo), le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra i 24.4 e i 105 km per L_p di 100 dB re $1 \mu\text{Pa}$ (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a bassa frequenza secondo Borsani e Farchi, 2011) per le misurazioni non filtrate, mentre si riducono a ~8km-102km per i valori filtrati (valori ritenuti più realistici). Per P22 rispetto a questa soglia non si nota una grande riduzione nei valori filtrati in quanto i livelli di sorgente (Figura 22) contengono anche altri picchi di frequenza sotto i 100 Hz che si propagano a grande distanza (Tabella 10).

Le distanze di impatto $R_{95\%}$ sono comprese fra i 8.6 e i 27.5 km per L_p di 110 dB re $1 \mu\text{Pa}$ (valore inferiore dell'insorgenza della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo

Borsani e Farchi, 2011, ovvero alta frequenza secondo Southall 2019) per i livelli di sorgente non filtrati, e si riducono a 2.6-19.6km per i valori filtrati (Tabella 10).

I livelli L_P cadono al di sotto della soglia 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 a frequenza molto alta secondo Southall 2019) entro al massimo 1km dalla sorgente (P22). Considerando per confronto i più recenti criteri sull'impatto comportamentale dei mammiferi marini (Southall et al. 2019, ACCOBAMS, 2020) 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 ad un massimo di ~8km dal terminale FSRU nel peggiore dei casi per i livelli non filtrati e ~7km per quelli filtrati al di sotto dei 30 Hz.

Per P22 pre-allibo, i raggi di impatto stimati sono entro 5km per tutti i gruppi uditivi eccetto i mammiferi a bassa frequenza in riferimento alle linee guida di Borsani e Farchi, 2011 ed entro 10km per questi ultimi. Facendo invece riferimento alla soglia L_P di 120 dB re 1 μ Pa, l'impatto comportamentale risulta limitato a meno di 2km dalla sorgente. Questi dati non sono stati filtrati in quanto non è stato riscontrato rumore di flusso dell'idrofono.

Per tutte le stagioni, inclusa A21, la soglia L_P di 100 dB re 1 μ Pa viene ecceduta a lunghe distanze dalla sorgente principalmente nella direzione ovest, mentre nelle altre tre direzioni cardinali questo raggio di impatto è notevolmente ridotto. Osservando inoltre i grafici a sezione verticale (Figure 29-33) che mostrano la distribuzione del suono nella colonna d'acqua nella direzione di propagazione preferenziale, si nota come il suono non sia uniformemente distribuito su tutta la profondità ma possa essere concentrato in zone limitate. Tenendo poi conto della presenza di un livello di rumore di fondo ambientale fino a L_P di 110 dB re 1 μ Pa, i raggi effettivi di impatto come eccedenza di tale sottofondo si riducono considerevolmente (Figure 24-28).

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 11 per i gruppi uditivi potenzialmente presenti nell'area di studio. La PTS viene ecceduta entro 350m nel peggiore dei casi (P22) per i cetacei a basse frequenze; questa distanza rientra però nelle dimensioni dello stesso FSRU e indica in pratica che la possibilità di sostenere tale effetto (che richiederebbe esposizione continua di 24 ore) è inesistente. La TTS per i cetacei a bassa frequenza viene ecceduta entro un raggio di ~3km (Tabella 11). 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, le cui soglie di PTS e TTS sono eccedute soltanto entro pochi metri dal terminale (<60m). 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 10. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini. Il raggio eccede il campo di modellizzazione nei valori che indicano '>120'. I valori riportati solo per il 95° percentile; i raggi massimi sono riportanti in Appendice E.

L _p non ponderato (dB re 1 μPa)	A21		I22		P22		P22 (Pre-allibo - JASCO)		E22	
	2021-12		2022-03		2022-06		2022-06		2022-10	
	R95 (km) 10Hz-25kHz	R95 (km) 30Hz-25kHz	R95 (km) 10Hz-25kHz	R95 (km) 30Hz-25kHz	R95 (km) 10Hz-25kHz	R95 (km) 30Hz-25kHz	R95 (km) 10Hz-25kHz	R95 (km) 30Hz-25kHz	R95 (km) 10Hz-25kHz	R95 (km) 30Hz-25kHz
170	-	-	-	-	0.0	0.0	<0.02	n.a.	-	-
160	<0.02	-	0.1	-	0.1	0.1	<0.02	n.a.	0.1	0.0
150	0.1	0.0	0.2	-	0.5	0.5	0.1	n.a.	0.2	0.2
140 ¹	0.2	0.1	0.3	0.1	1.0	1.0	0.2	n.a.	0.6	0.5
130	0.5	0.3	1.8	0.2	2.9	2.8	0.7	n.a.	2.1	1.6
120 ²	2.8	0.7	6.3	0.6	8.3	7.2	1.6	n.a.	6.4	4.5
110 ³	8.6	2.6	16.3	1.9	27.5	19.6	4.9	n.a.	16.9	10.1
100 ⁴	24.4	7.8	64.1	6.1	105	102	9.8	n.a.	79.9	37.2

- 1: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di frequenza molto alta (riferiti come di alta frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).
- 2: 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) 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).
- 3: 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))
- 4 soglia inferiore di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011))

Tabella 11. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini. I valori riportati solo per il 95° percentile; i raggi massimi sono riportanti in Appendice E.

Gruppo uditivo	Danno uditivo	SEL ponderato	A21		I22		P22		P22 (Pre-allibo - JASCO)		E22	
			2021-12		2022-03		2022-06		2022-06		2022-10	
			R95 (km) 10Hz - 25kHz	R95 (km) 30Hz - 25kHz	R95 (km) 10Hz - 25kHz	R95 (km) 30Hz - 25kHz	R95 (km) 10Hz - 25kHz	R95 (km) 30Hz - 25kHz	R95 (km) 10Hz - 25kHz	R95 (km) 30Hz - 25kHz	R95 (km) 10Hz - 25kHz	R95 (km) 30Hz - 25kHz
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	PTS	199	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.35	0.35	0.15	n.a.	0.1	0.1
	TTS	179	0.14	0.13	0.14	0.13	2.7	2.7	1.56	n.a.	0.97	0.97
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	PTS	198	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.a.	<0.01	<0.01
	TTS	178	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.06	0.05	n.a.	0.01	0.01

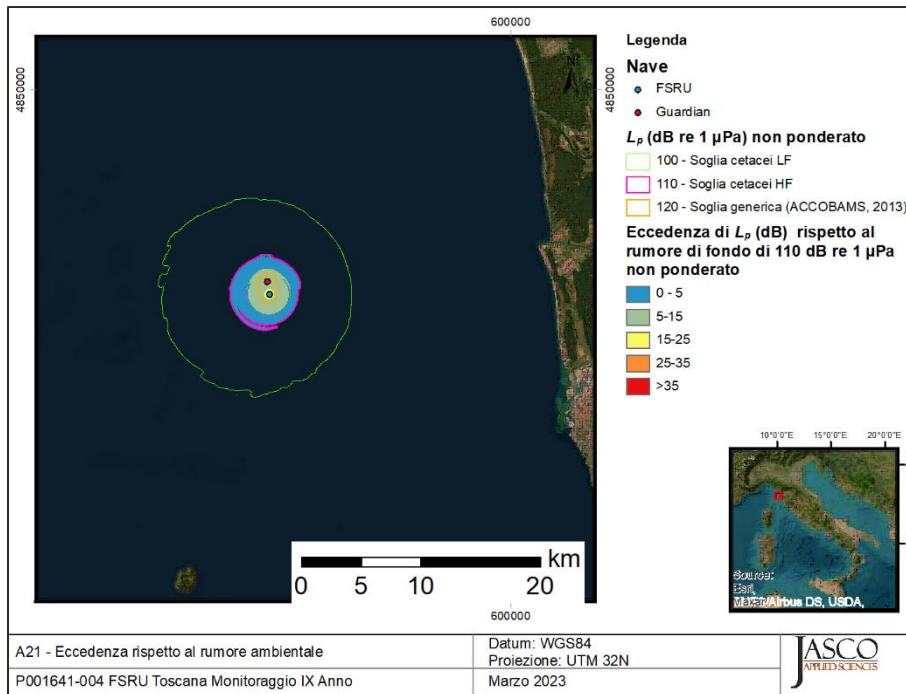


Figura 24. Stagione A21 2021-12: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo; risultati per i dati senza le frequenze al di sotto di 30Hz.

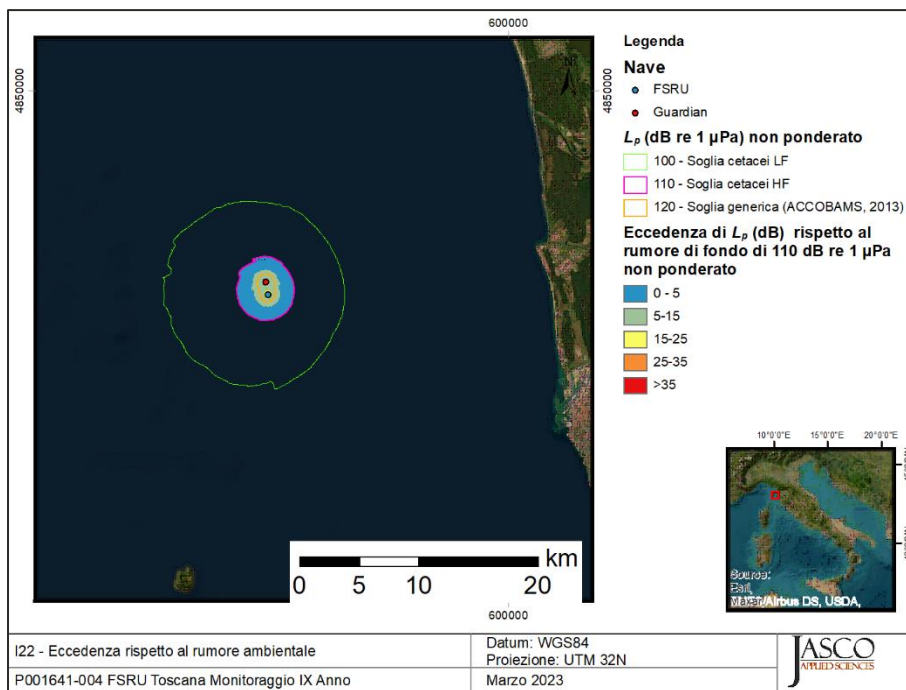


Figura 25. Stagione I22 2022-03: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo; risultati per i dati senza le frequenze al di sotto di 30Hz.

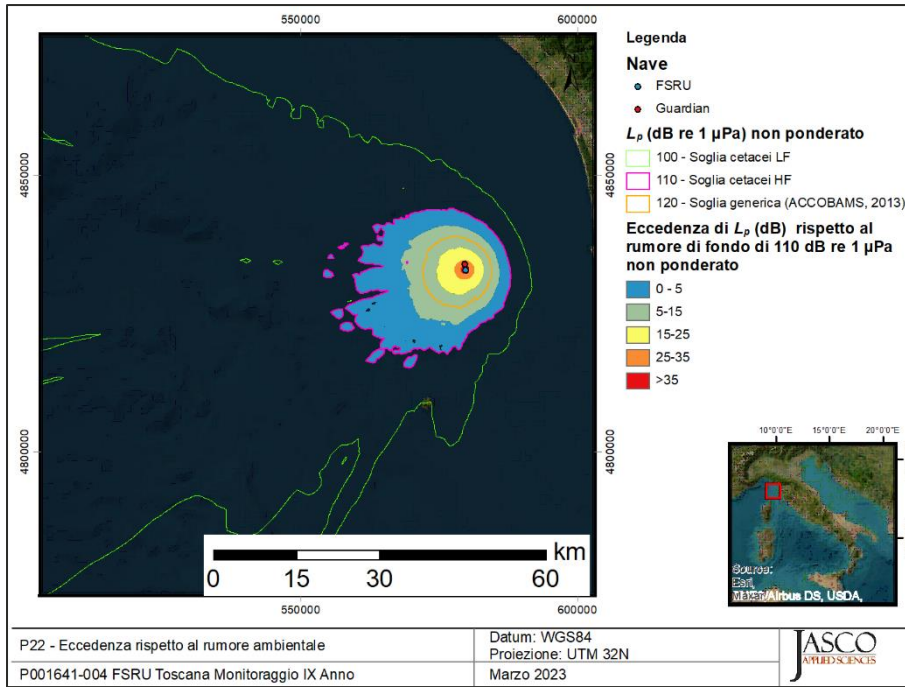


Figura 26. Stagione P22 2022-06: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo; risultati per i dati senza le frequenze al di sotto di 30Hz.

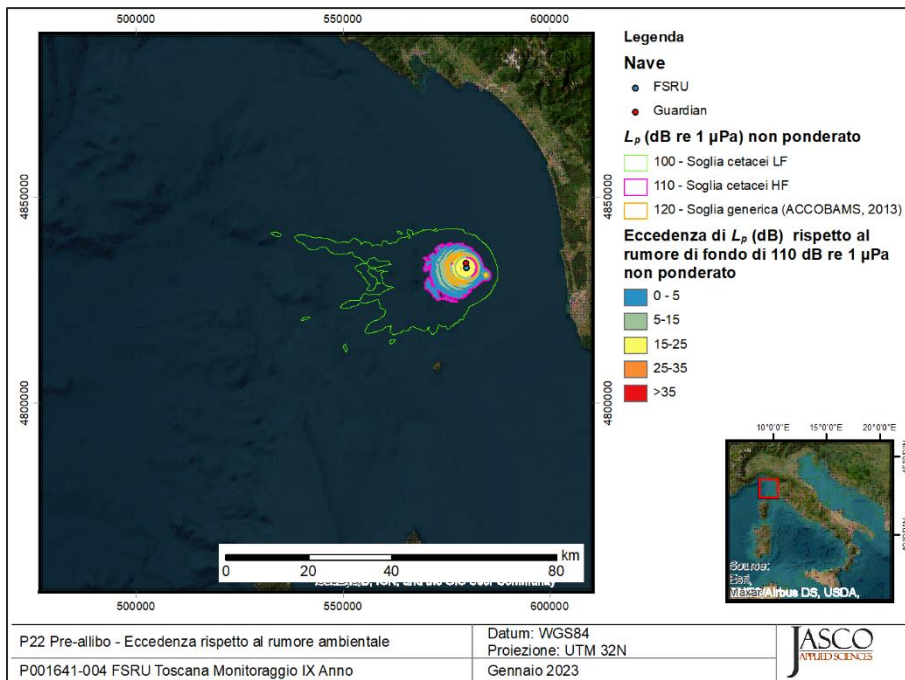


Figura 27. Stagione P22 Pre-allibo 2022-06: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo.

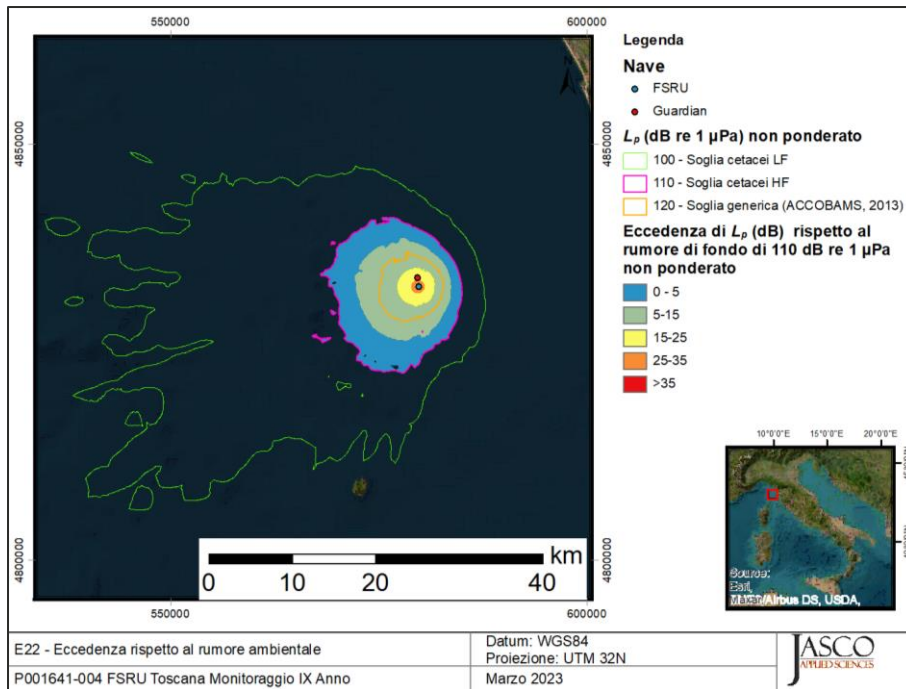


Figura 28. Stagione E22 2022-10: Mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini rispetto al rumore di fondo.

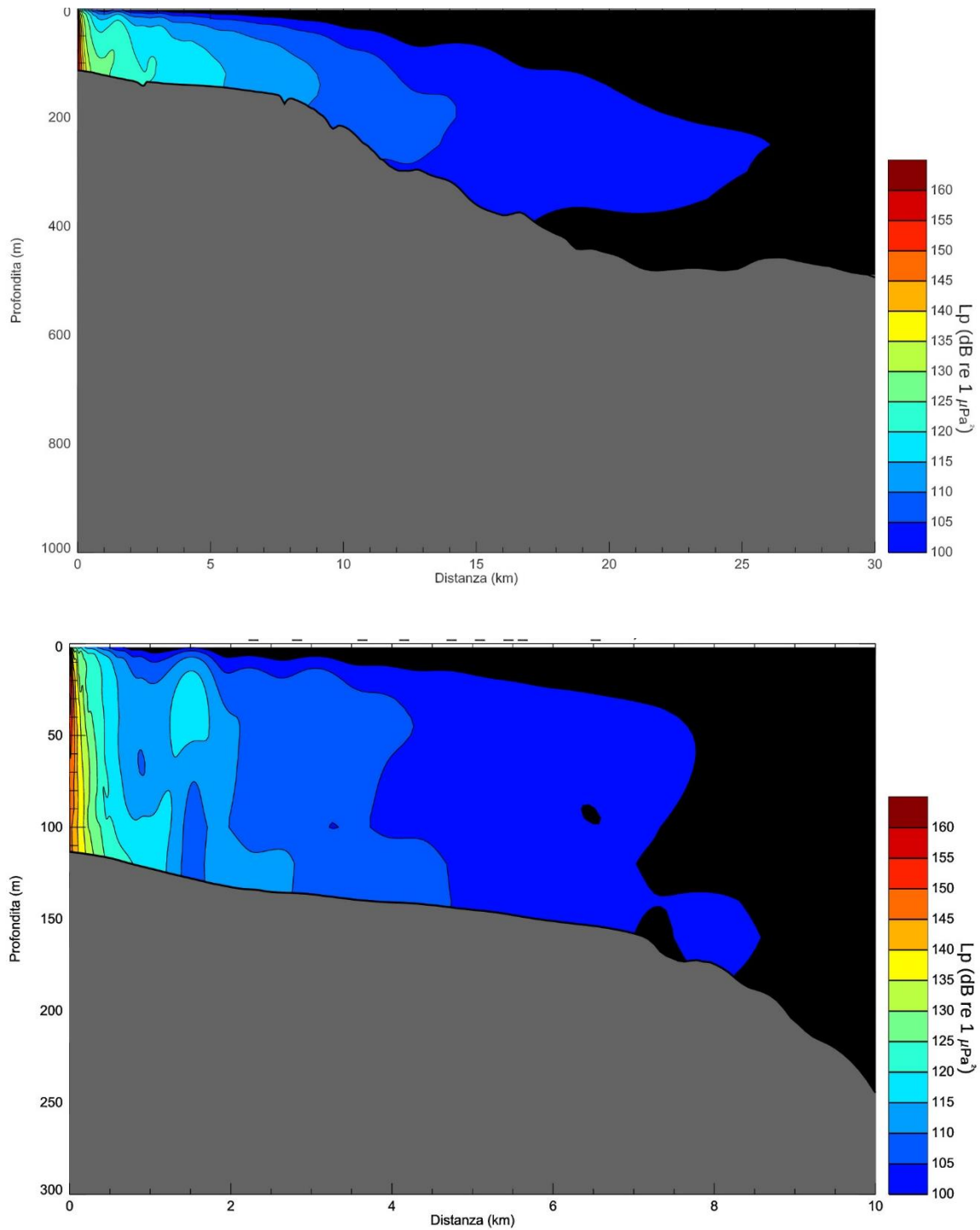


Figura 29. Stagione A21 2021-12: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 280°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

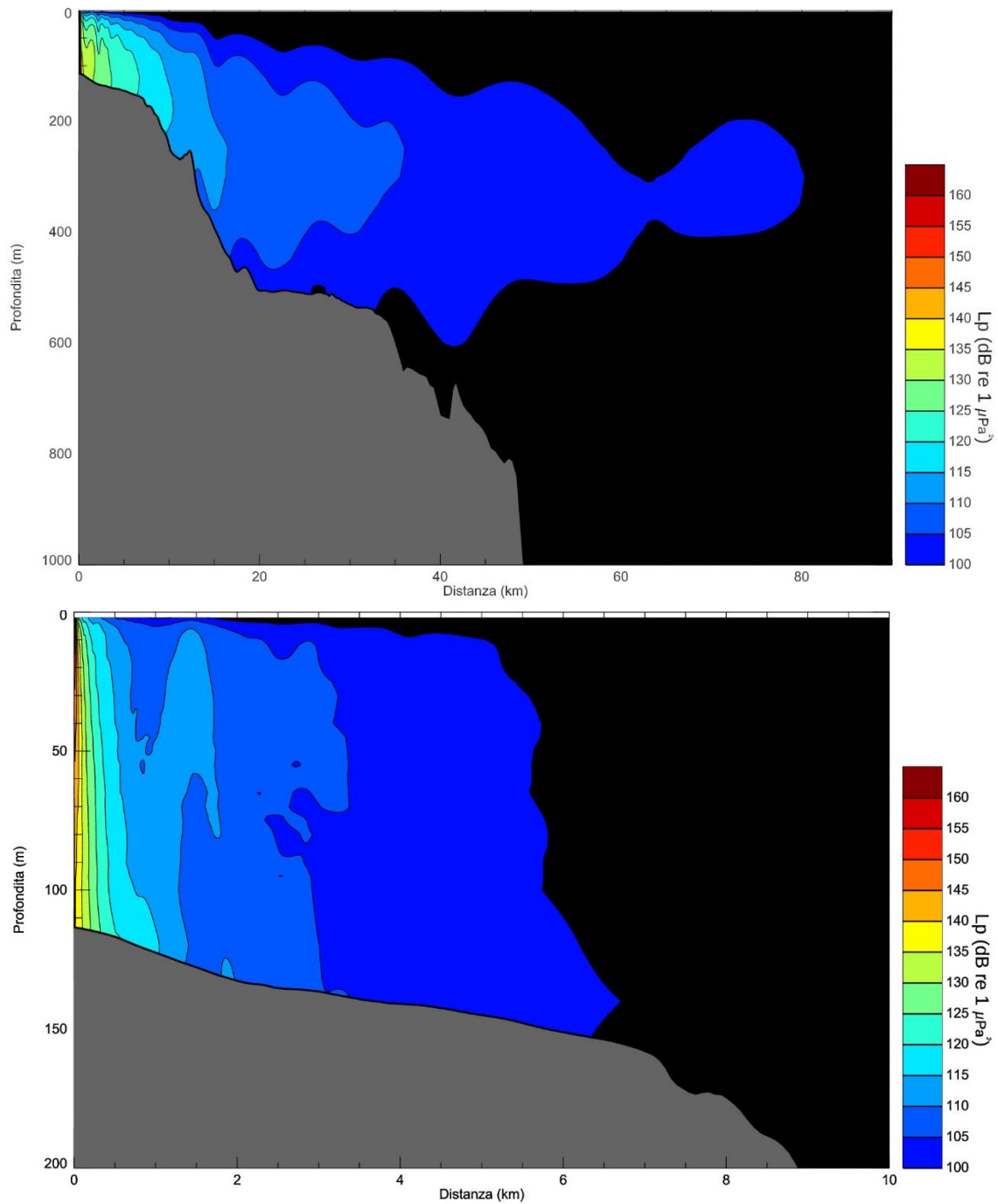


Figura 30. Stagione I22 2022-03: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 270°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

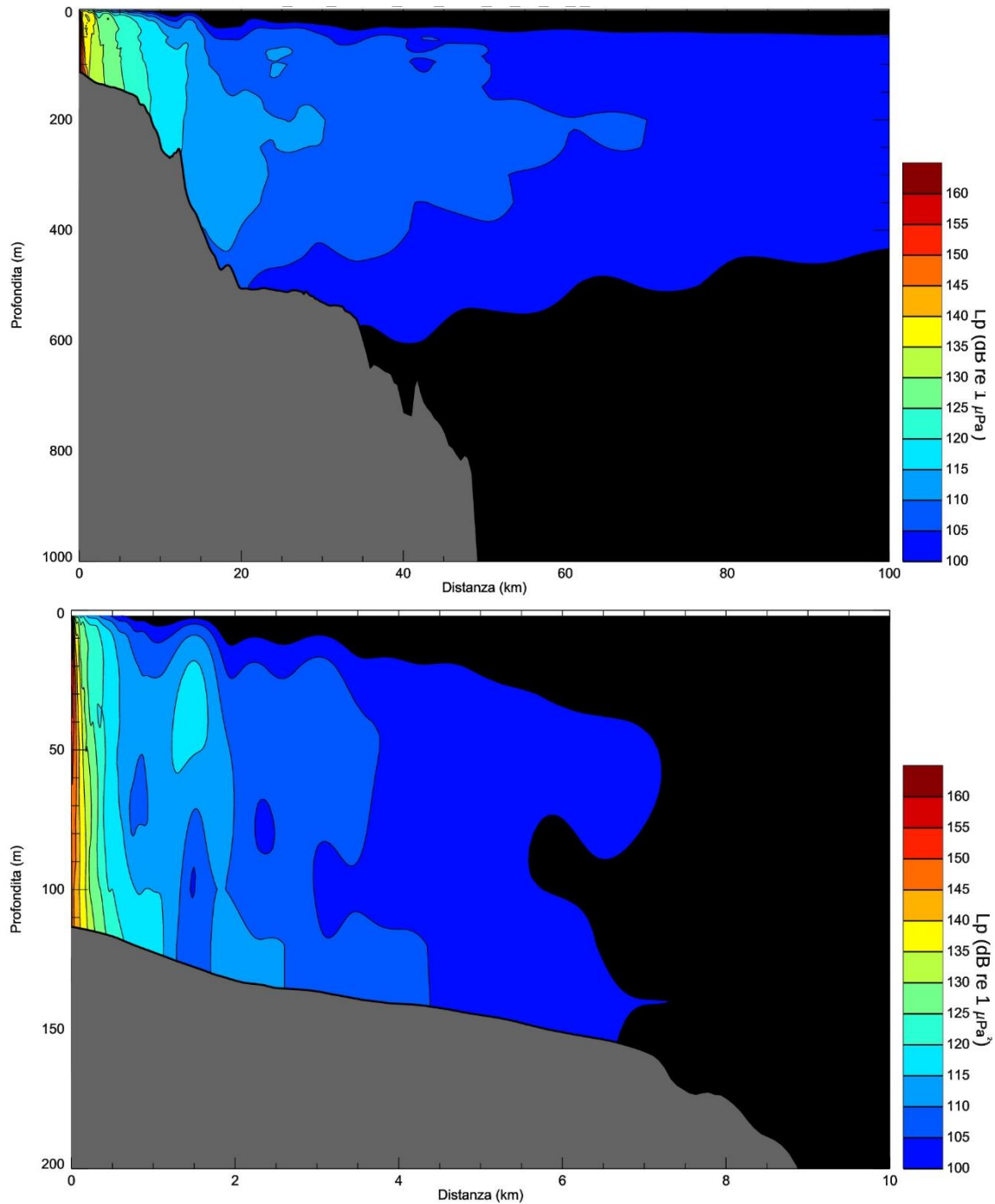


Figura 31. Stagione P22 2022-06: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 280°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

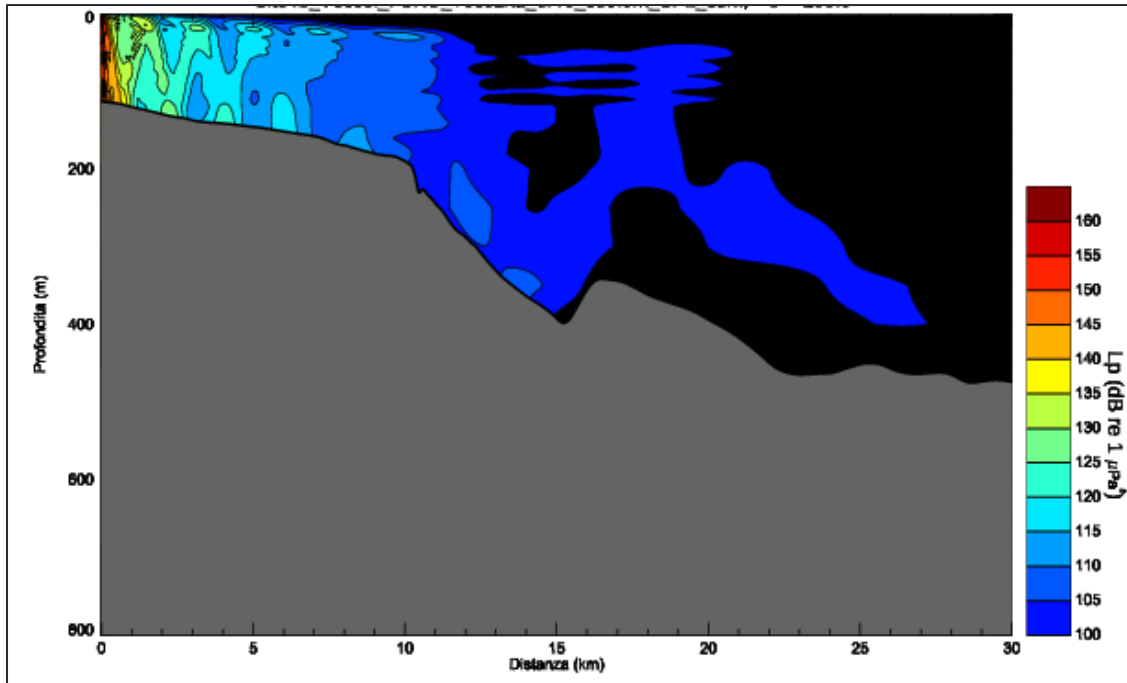


Figura 32. Stagione P22 pre-allibo 2022-06: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 235°).

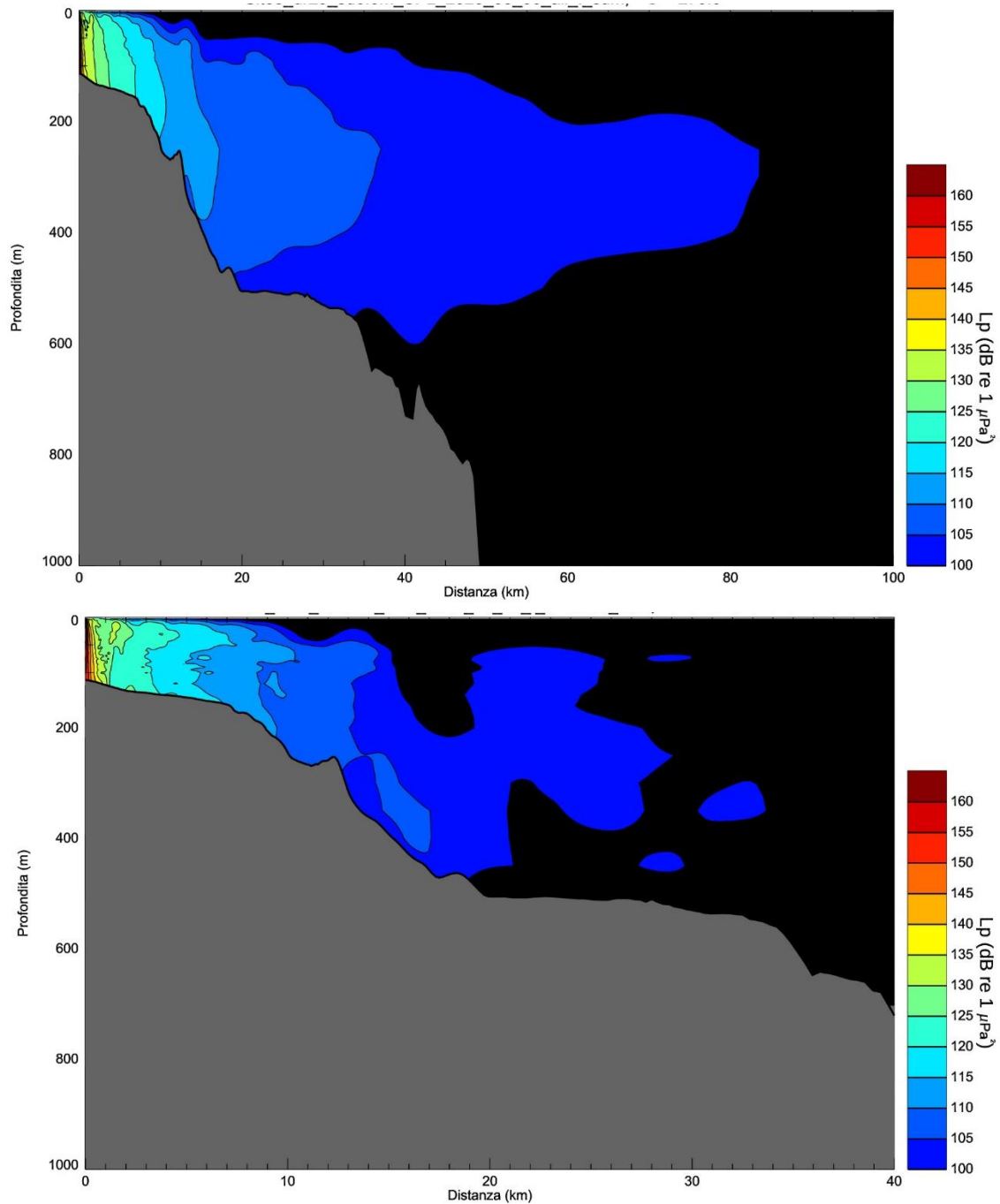


Figura 33. Stagione E22 2022-10: Sezione trasversale per la direzione di maggiore propagazione del suono (azimut 265°), includendo tutte le frequenze (in alto) e filtrando le frequenze sotto i 30 Hz (in basso).

5. 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 nel nono 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 2021 fino all'estate 2022 inclusi (A21, I22, P22, E22).

Nel corso del nono anno, sono state apportate delle modifiche nella metodologia di acquisizione dei dati acustici per migliorare la loro qualità e permettere un approfondimento nella loro interpretazione. A partire da I22, i dati sono stati registrati a due profondità per 20 minuti complessivi per ciascuna profondità, invece di 10 minuti a tre profondità; questo ha permesso di identificare anomalie nelle registrazioni dovute ad attività transitorie, come il passaggio di navi a distanza che mascheravano i toni del FSRU. I dati più a lungo termine così ottenuti hanno permesso di scegliere in modo più accurato i livelli di sorgente rappresentativi del terminale standalone da utilizzare per la modellizzazione.

I dati della stagione A21 sono stati acquisiti durante un periodo di interruzione della regolare attività di rigassificazione del Terminale (plant off-tank cold) e non hanno mostrato i picchi associati alle pompe dell'FSRU Toscana notati durante P22, E22, e l'anno precedente (anno VIII di monitoraggio). Pertanto, l'interruzione dell'attività di rigassificazione appare avere un impatto sui livelli acustici subacquei, in particolare nelle frequenze comprese fra 200-900 Hz. Data l'assenza dei picchi caratteristici dell'attività del rigassificatore, si potrebbe presumere che i dati raccolti per A21 rappresentino una situazione pressoché corrispondente al rumore di fondo ambientale. I dati per I22 mostrano livelli e andamento dello spettro simili a A21, anche se per I22, alcuni picchi caratteristici del terminale operativo sono riscontrabili; durante I22 l'impianto di Wobbe Index è stato sempre mantenuto spento eccetto il giorno 24 marzo con due compressori attivi dalle 11 alle 17 circa. La differenza dei profili di velocità del suono, cioè iso-velocità per I22 e rifrangente verso il basso per P22 e E22, non spiegano la differenza nei livelli ricevuti. Pertanto, un'analisi dettagliata dei sistemi operativi sul terminale è stata effettuata per poter stabilire se la differenza nei livelli spettrali sia riconducibile a una o più sorgenti a bordo del terminale. Lo stato di attivazione ed il consumo (Figura 34) e la produzione (Figura 35) di energia di pompe, turbine e generatori mostrano delle differenze riguardo al funzionamento del Terminale. Nello specifico, durante A21 e I22 tre dei cinque compressori Wobbe index non erano utilizzati; inoltre, nel caso di A21 era tutto spento tranne un Wobbe index acceso per inertizzare, solamente una turbina a gas grande ed una piccola erano attive e usate a basso regime. Nel caso di I22, la produzione di energia è stata effettuata utilizzando due turbine grandi e una piccola (Figura 35) (pompe acqua mare attive, pompe booster attive ed in tank pump attive, 2 compressori Wobbe index attivi nella sola giornata del 24 marzo dalle 11-17, poi sempre spento), mentre per P22 e E22 il Terminale era in fase di rigassificazione attiva (pompe acqua mare attive, pompe booster attive ed in tank pump attive, 2 compressori Wobbe index attivi nelle giornate del 6 e 13 giugno ed il 6-7 ottobre) e due turbine: una piccola ad alto regime e una grande (TG3), dato il guasto di TG4. Durante il 05 Giugno (P22) è infatti stato inoltre necessario attivare il diesel oltre alle altre turbine in via eccezionale.

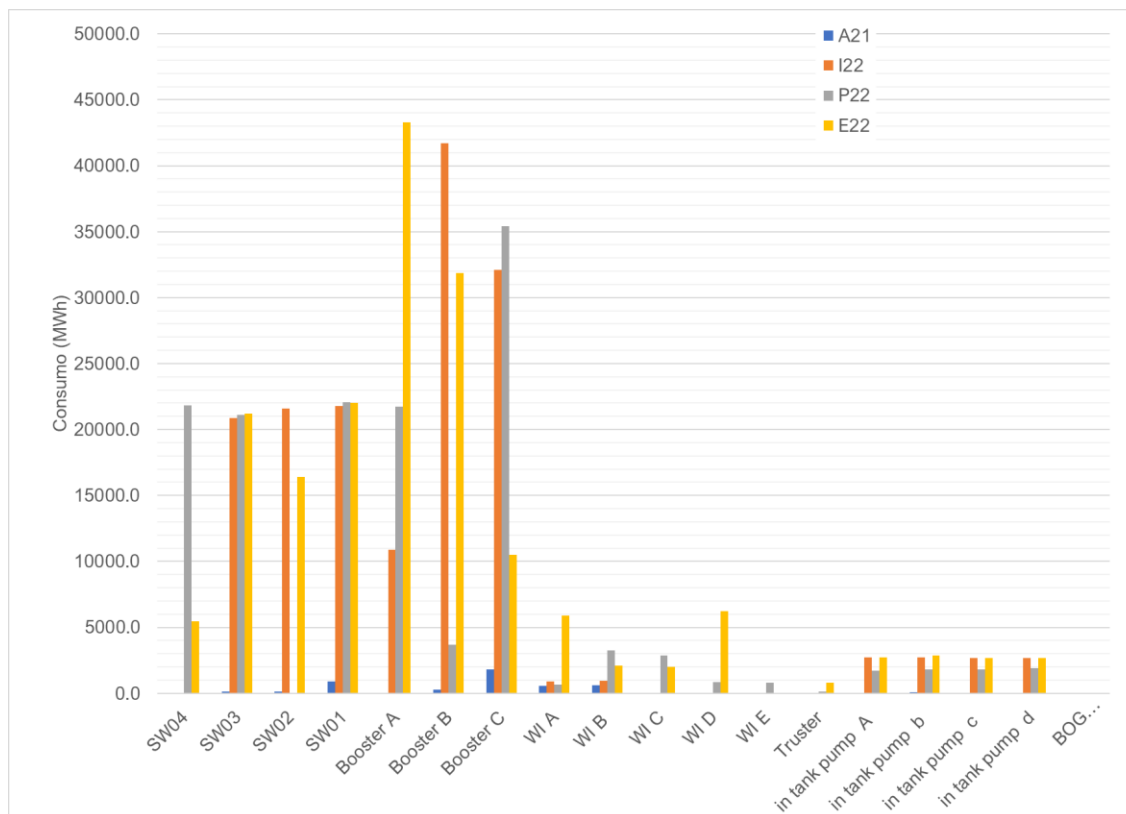


Figura 34. Consumo energetico medio a bordo dell'FSRU Toscana durante i giorni di monitoraggio. SW= pompa d'acqua di mare, WI= Wobbe index.

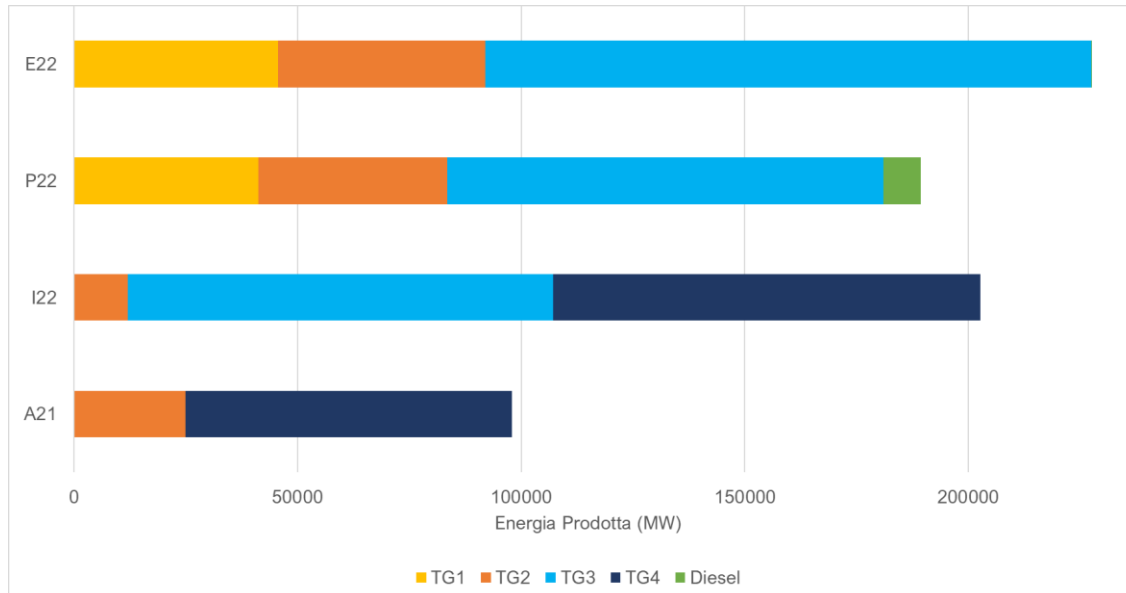


Figura 35. Produzione di energia media per i giorni di monitoraggio registrata a bordo dell'FSRU Toscana per ogni turbina a gas per il generatore diesel (quest'ultimo è stato attivato solo qualche ora durante il 05 Giugno 22).

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 bande in terzi di ottava centrate intorno alle frequenze di 63 Hz e 125 Hz.

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) né in base al termoclino. 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 eccetto A21 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). La mancata osservazione di questi toni può essere dovuta alla bassa potenza con cui le turbine lavoravano durante A21.

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.

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 tale studio, dove L_p di circa 110 dB re 1 μ Pa nella banda 100Hz-30kHz è stato misurato nel mese di luglio nel mare a nord/nord-est della Corsica. È plausibile presupporre che il livello a banda larga del rumore di fondo nella regione circostante l'FSRU possa essere anche superiore se si considerano le frequenze al di sotto dei 100Hz che sono prominenti nel rumore delle navi.

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

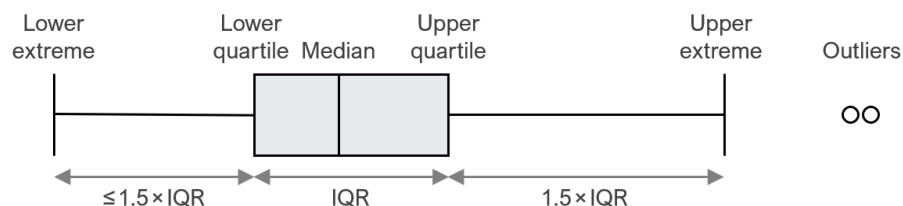
Banda di frequenza la cui larghezza di banda è un deciso. Nota: la larghezza di banda di una banda decidecade aumenta con l'aumentare della frequenza centrale.

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 10^{11} 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, $TL(x1,x2) = L(x1) - L(x2)$. 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).

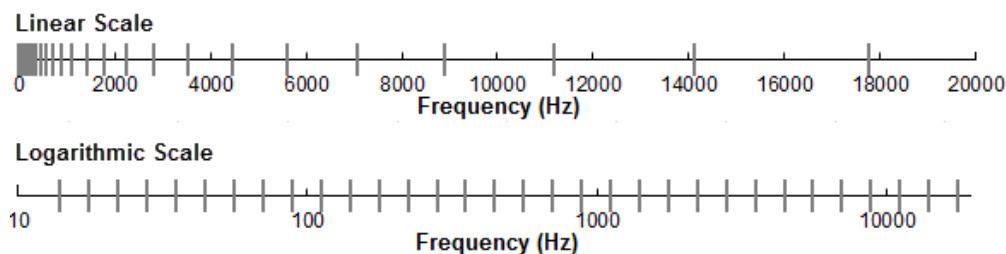


Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.

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.

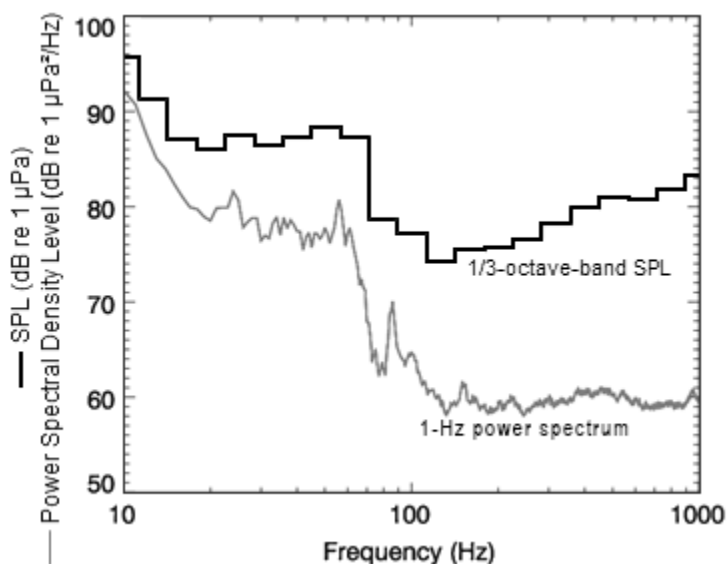


Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poichè le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l'LP della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

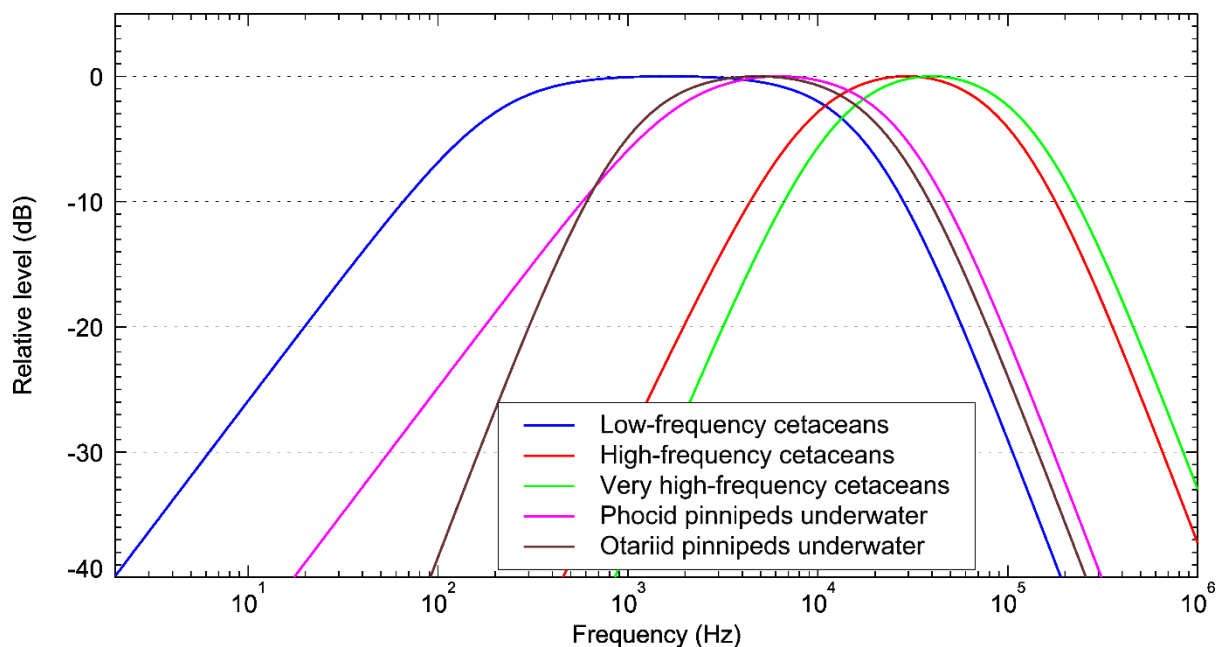


Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).

Appendice B. Strumenti

B.1. Idrofono e Calibrazione A21 e I22

Cetus



Calibrazione in vasca dell'idrofono digitale SMID mod DH200

Dicembre 2021

Our reference:
Author:

manual n°130219
Ing. Pietro Barbagelata

CO.LMAR. srl
Via delle Pianazze 74, 19136 - La Spezia -Italy
tel.+39 0187 982590 fax +390187943461
email: colmar@colmaritalia.it



Specifiche tecniche SMID DH200GP

TECHNICAL DATA		DH100	DH200GP (DH200HS <i>Note 1</i>)	DH600	DH800 (<i>Note 2</i>)
Model					
Sensitivity of low gain channel @ 10 kHz	dB re 1V/ μ Pa	- 186	- 186	- 186	- 196
Sensitivity of high gain channel @ 10 kHz	dB re 1V/ μ Pa	- 148	- 148	- 148	- 158
Frequency range	Hz	20 to 48000	10 to 90000	10 to 90000	4 to 90000
Sampling Frequency	kHz	96	100/200	100/200	50/100/200
Beam pattern	°		OMNIDIRECTIONAL		
Equivalent input noise (high gain ch @ 10 kHz)	dB re 1 μ Pa/√Hz	+ 35	+ 24	+ 37	+ 20
Maximum driven cable length	m	200	100	100	300
Power consumption	mW	700	800	150	850
Length	mm	180	180	180	250
Diameter	mm	30	30	35	40
Standard output connection		cable	cable	cable	underwater connector
Maximum depth	m	700	1000	4000	1000
Depth sensor range	m	-	-	-	300

Fig.1 specifiche tecniche DH200GP

L'idrofono è stato testato nella vasca acustica presso Colmar srl a La Spezia in data 06/12/2021. La calibrazione è avvenuta utilizzando il cavo in dotazione da 100m e il ricevitore dedicato.

Per i canali analogici sono state calcolate le curve di sensibilità prendendo le uscite dei due canali LS e HS del ricevitore e mandandoli all'acquisitore. La calibrazione è avvenuta per confronto utilizzando come riferimento l'idrofono Colmar mod TD0190 SN104 e, come proiettore, un trasduttore ITC1001.

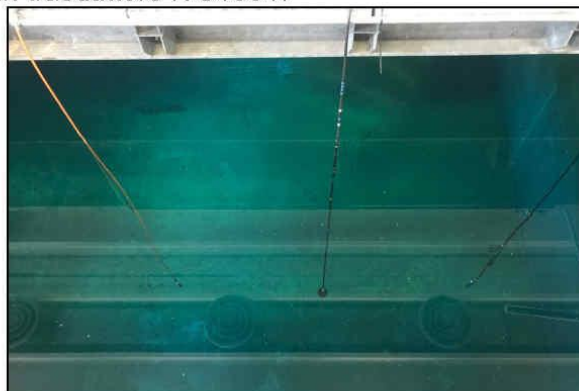


Fig.2 Calibrazione dell'idrofono SMID (a destra) con trasduttore ITC1001(al centro) e idrofono Colmar TD0190 di riferimento (a sinistra).



La misura della sensibilità è stata eseguita nella banda compresa tra i 5 e i 70 kHz.

Qui di seguito si riportano le curve risultanti dei due canali.

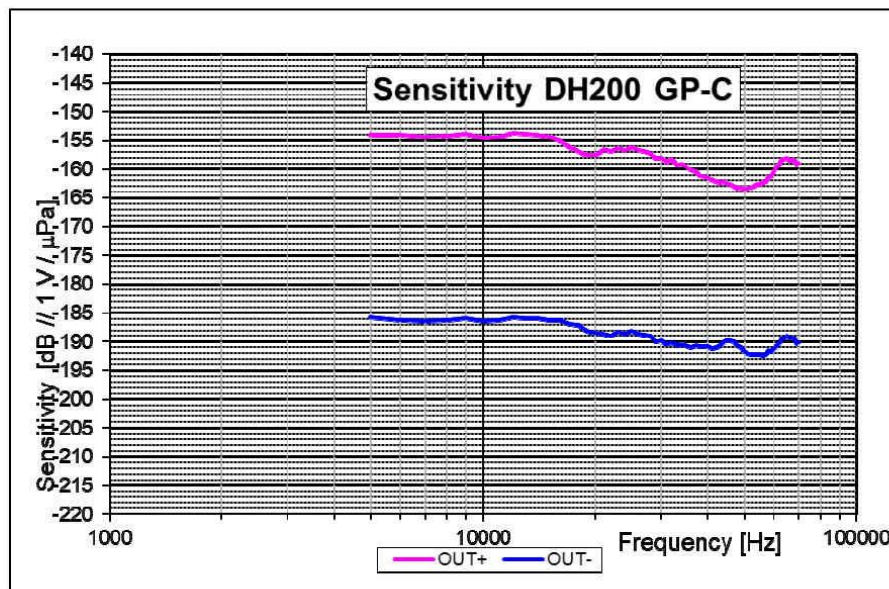
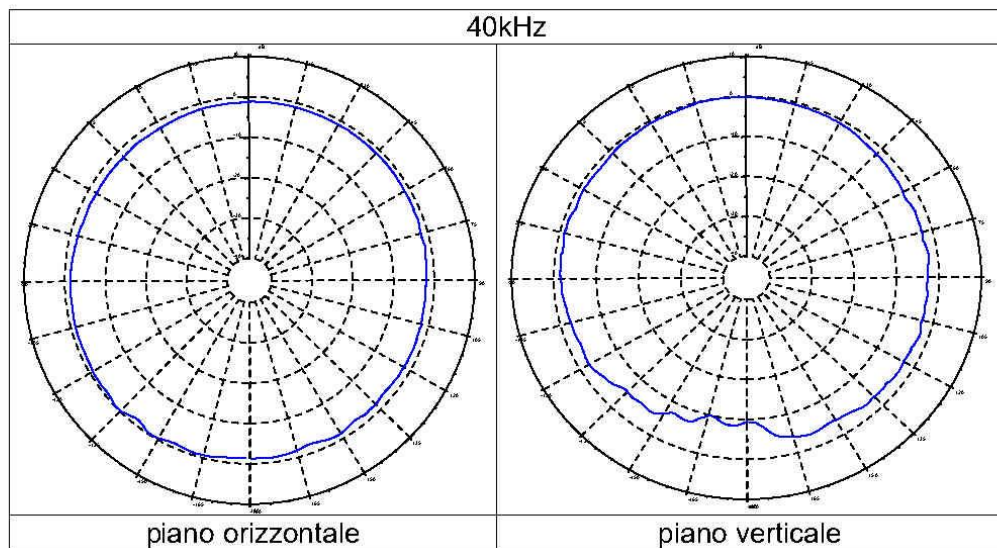
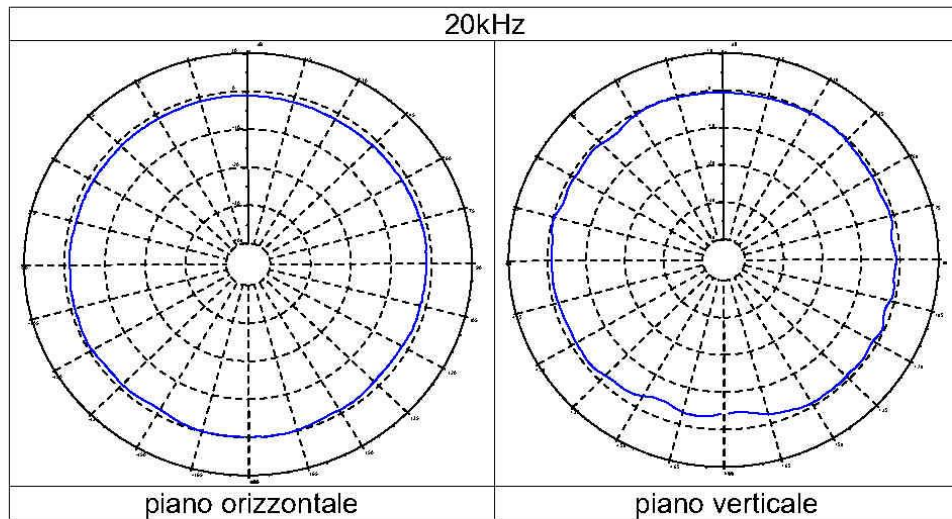


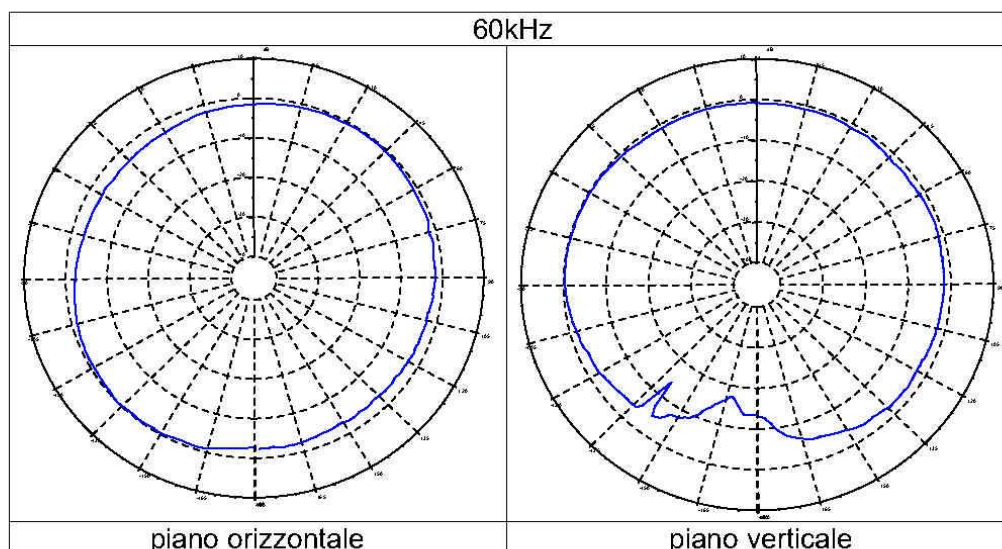
Fig.3 Curve di sensibilità in ricezione sui due canali analogici

Sono state eseguite anche le misure di direttività in ricezione rispettivamente sul piano orizzontale e sul piano verticale. Di seguito sono riportati i grafici polari relativi ai due piani e alle frequenze di 20kHz, 40kHz e 60kHz.



COLMAR, S.r.l. via delle Pianazze, 74 19136 La Spezia (I) Tel. +39 0187 982590 Fax +39 0187 943461 P.I.00742150113
www.colmaritalia.it – E-mail: colmar@colmaritalia.it





Per quanto riguarda la calibrazione del segnale digitale, quello che si riporta di seguito è una tabella con i valori misurati 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/ μ Pa.

Per leggere i segnali digitali e quindi i valori μ PC riferiti al fondo scala ADC è stato utilizzato il programma Audacity.



freq	sensibilità TD0190 SN104	Veff REF (3) [Vrms]	Veff REF (3) [dB re 1Vrms]	Veff HS (1) [Vrms]	dB re 1μPa	uPC rif fondo scala ADC *	dB re fondo scala ADC/μPa
5000	-207,5633377	0,063	-24,01318901	0,291	183,5501487	0,15	-160,0283235
7000	-207,400517	0,038	-28,40432807	0,170	178,996189	0,09	-159,9113388
9000	-207,7791785	0,180	-14,8945499	0,852	192,8846286	0,42	-160,4196428
11000	-207,6556506	0,265	-11,53508252	1,164	196,1205681	0,58	-160,8520082
13000	-207,3554767	0,343	-9,294117599	1,514	198,0613591	0,77	-160,3315446
15000	-208,1166765	0,133	-17,52296718	0,669	190,5937093	0,33	-160,2234305
17000	-208,6343076	0,172	-15,28943106	0,761	193,3448766	0,38	-161,7492046
19000	-208,8711222	0,211	-13,511435089	0,823	195,3567713	0,4	-163,3155715
21000	-209,0760298	0,259	-11,73400472	1,011	197,3420251	0,49	-163,5381035
23000	-209,0307074	0,316	-10,00625835	1,143	199,024449	0,58	-163,7558891
25000	-209,164208	0,375	-8,519374645	1,338	200,6448334	0,67	-164,1233373
27000	-209,8941483	0,415	-7,639038066	1,465	202,2551103	0,75	-164,753885
29000	-210,246284	0,151	-16,42046105	0,497	193,825823	0,25	-165,8670228
31000	-210,1783352	0,171	-15,34007779	0,636	194,8382574	0,32	-164,7352578
33000	-209,7102127	0,201	-13,93607885	0,826	195,7741338	0,41	-163,5184567
35000	-209,6471891	0,228	-12,84130306	0,925	196,8058861	0,48	-163,1810613
37000	-209,7272053	0,266	-11,50236727	0,995	198,2248381	0,51	-164,0734346
39000	-209,834925	0,282	-10,99501783	1,143	198,8399072	0,6	-163,2768822
41000	-210,2611586	0,300	-10,45757491	1,247	199,8035836	0,64	-163,6799842
43000	-210,1965626	0,331	-9,603440124	1,324	200,5931225	0,69	-163,8161406
45000	-210,5756969	0,344	-9,268831149	1,347	201,3068658	0,71	-164,2816988
47000	-210,9036676	0,323	-9,815949553	1,360	201,0877181	0,7	-164,1857573
49000	-211,2696121	0,287	-10,84236207	1,218	200,4272501	0,64	-164,3036506
51000	-211,4625208	0,271	-11,34061418	1,066	200,1219067	0,58	-164,8533468

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

Fig.4 Tabella riportante i valori misurati sul canale digitale

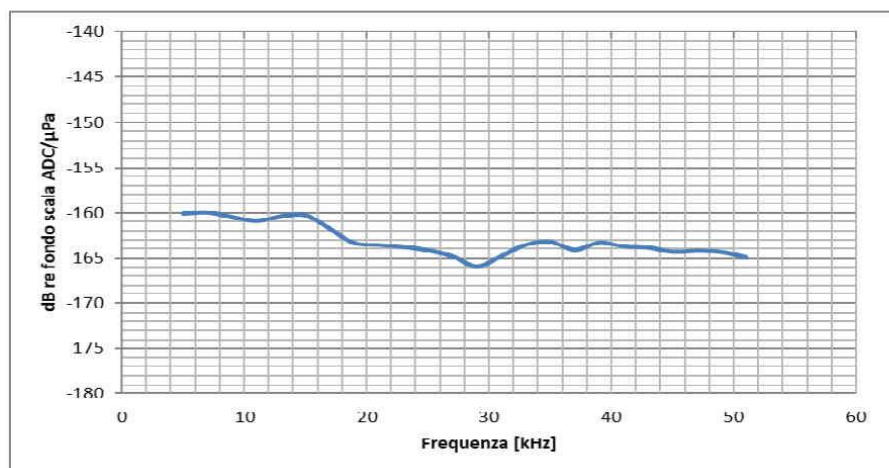


Fig. 5 Curva della sensibilità espressa in dB re fondo scala ADC/μPa

B.3. Caratteristiche tecniche idrofono P22 e E22

www.colmaritalia.it

GP1280 Hydrophone



The GP1280 is a preamplified, omnidirectional hydrophone, a professional tool suitable for a wide range of applications. Its low self noise and high sensitivity makes it especially suited for ambient noise measurements and recording the acoustic signature of mammals.



- High sensitivity
- Low self noise ("below sea state zero")
- Wide frequency range
- Single or balanced output
- Calibration input
- Customizable in gain and filtering
- Long term deployment, corrosion proof

Working band:	5-90.000 Hz
High pass filter on preamplifier :	Customizable (on demand)
Balanced output sensitivity:	-163 dB re 1V / uPa @ 5kHz (customizable)
Single output sensitivity:	-169 dB re 1V / uPa @ 5kHz (customizable)
Directivity :	Spherical - Omnidirectional
Max working depth :	1000 m
Gain @5kHz:	30 dB (single output), 36dB (balanced output)
Equivalent input acoustic noise @5kHz:	32 dB re 1uPa / sqrtHz
Input impedance:	100 MOhm
Supply voltage range:	11,5-30 Vdc
Current consumption:	9 mA @ 12 Vdc
Output voltage swing:	6Vpp (single output), 12 Vpp (balanced output)
Weight in air:	500 gr
Body construction:	Stainless steel AISI316 or POMC + internal steel core
Dimensions:	233,25 x 33,5 mm
Packaging:	Pelicase mod.1170





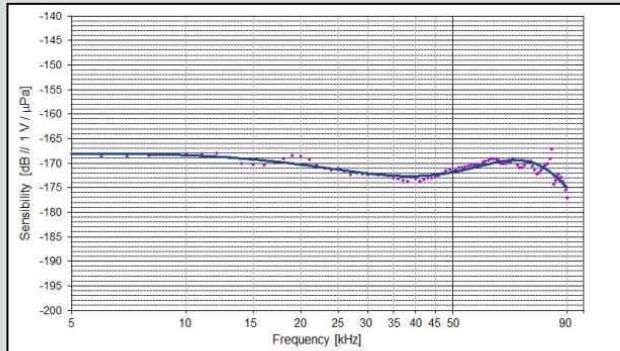
CO.L.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (Italy)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.I.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



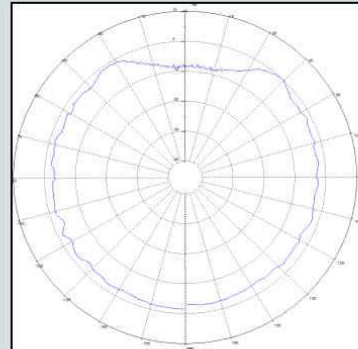
GP1280 Hydrophone



Receiving sensitivity (single output)



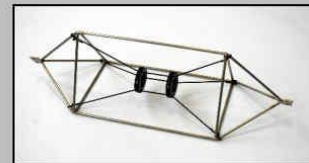
Vertical directivity pattern @ 60kHz



www.colmaritalia.it

Accessories and optional configurations

- Protective frame
- Protective frame with suspension system for vibration damping
- Portable and rugged receiving unit fitted with variable gain adjustment, rechargeable battery, audio output, headphones output with volume knob, calibration signal.



Also available

- GP1280M model (without connector).
- Low Power version (from 3.1 Vdc to 5.5 Vdc, supply <5mA).
- Ultra deep (up to 2000m) version.
- Custom cable lengths and connectors.
- POMC Body for long term deployments



CO.L.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (Italy)
Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.1.00742150113
e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



B.4. Caratteristiche tecniche calibratore (P22 e E22)

www.colmaritalia.it

GP Hydrophone Calibrator





Battery operated field calibrator for Colmar GP series hydrophones. Using custom adaptors it can be used even with different types of hydrophones.

Easy to use and configure, allows different types of calibrations:

- Acoustic (fixed or sweep frequency from 100Hz to 700Hz)
- Electronic (fixed or sweep frequency from 3Hz to 200 kHz)
- Complete (Acoustic + Electronic).

Acoustic calibration gives hydrophone sensitivity expressed in dB re to $V_{rms}/\mu Pa$.

Bode plot diagram and data output as Acoustic (all hydrophones) and Electronic (only preamplified hydrophones) calibrations.

Easy to carry, ideal to perform field calibrations just before underwater noise measurements.

Performs Acoustic + Electronic calibration from 3 Hz to 200kHz - Sweep or fixed frequency - Graphs and data

Internal precision calibrated microphone as reference

Display visible even under direct sun light

BNC input available for external calibration signal

BNC output to monitor the reference microphone

Battery status indicator

Internal SD card for storing data and USB output for downloading data and graphs

Dimension and weight: 13.68" x 11.61" x 5.75" peli 1400, 4kg



COL.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (I)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.1.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it




www.colmaritalia.it

GP Hydrophone Calibrator

The GP hydrophone calibrator is provided with relative custom software to download and display data and graphs resulting from the acoustic and electronic calibrations.

Communication is achieved serially via USB-A port on the field calibrator.

Included Accessories: Battery charger 110-240 VAC 0.8A MS type connector, USB-A to USB-A cable

General specifications:

Hydrophone: Colmar GP series and other types using adaptors (maximum diameter 1.2")

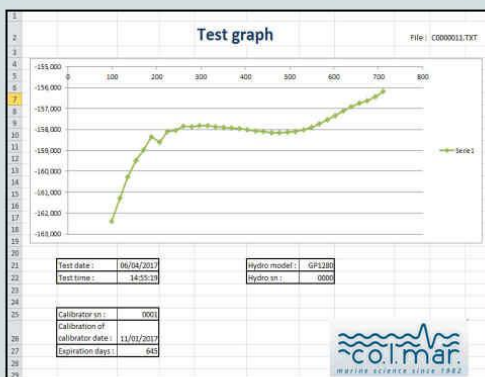
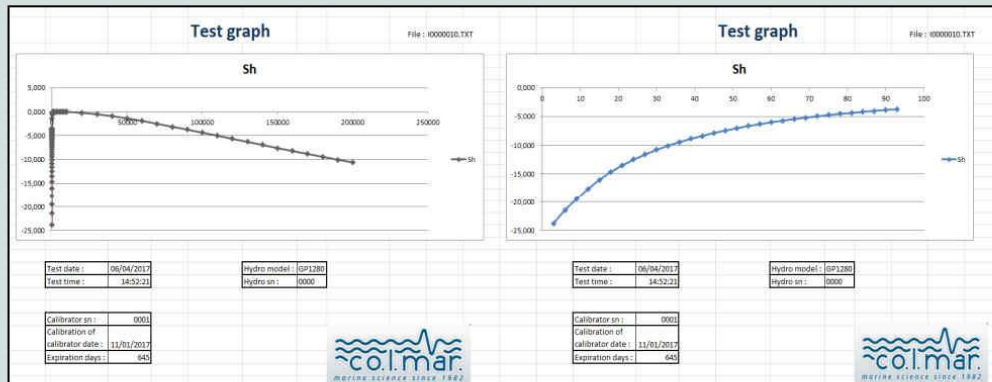
Interface: 5 Pins header (vcc/gnd/out+/out-/in cal), BNC output for microphone monitoring, BNC input for external signal generator

Calibration signal: Acoustic from 100Hz to 700Hz (fixed or sweep freq.), Electronic from 3Hz to 200kHz (fixed or sweep freq.). Electronic calibration can also be performed using an external signal generator.

Reference mic: Behringer ECM8000

Calibration data storage: Internal memory

Communication: Serial via USB-A port on calibrator panel



A	B	52	Frequency test	dB
1		72		-4,969
2	Test date : 06/04/2017	54		-4,760
3	Test time : 14:55:19	55		-4,539
4		56		-4,175
5		57		-4,179
6		58		-4,024
7	Freq	59		-3,852
8	99	60		-3,718
9	117	61		-3,570
10	135	62		-3,441
11	153	63		-1,396
12	171	64		-0,675
13	189	65		-0,398
14	207	66		-0,263
15	225	67		-0,174
16	243	68		-0,131
17	261	69		-0,098
18	279	70		-0,075
19	297	71		-0,053
20	315	72		-0,042
21	333	73		-0,010
22	351	74		0,000

COL.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (I)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.I.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



Appendice C. Propagazione del suono

C.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 modellizzando 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 C-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 C-1). Questi livelli di massima profondità vengono quindi presentati come contorni di colore attorno alla sorgente (ad esempio, Figura C-2).

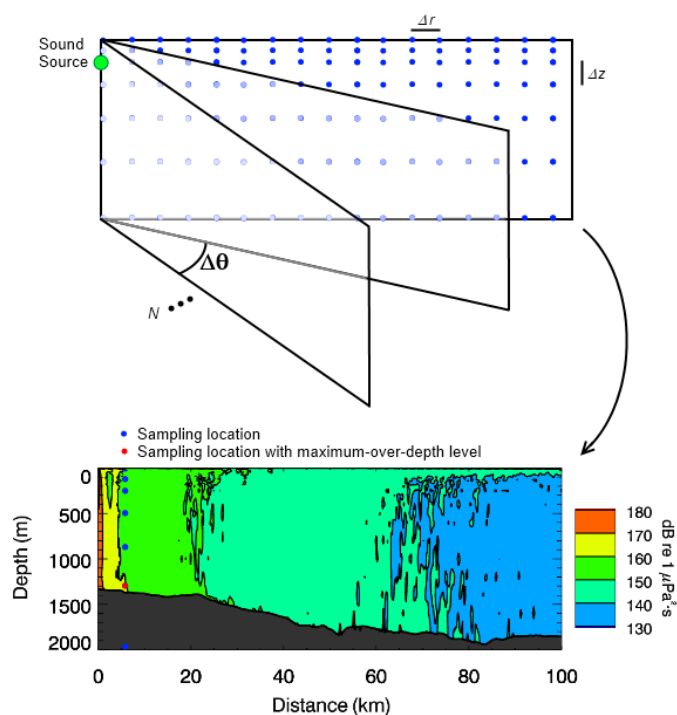


Figura C-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.

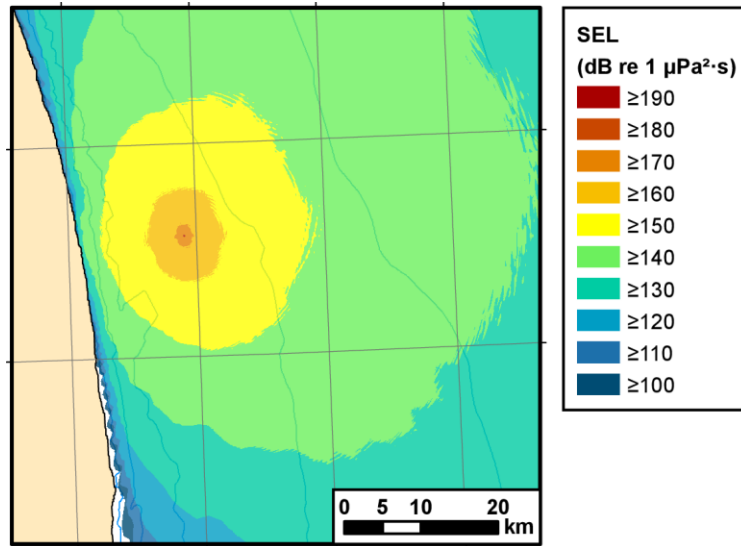


Figura C-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. SEL per una sorgente non specificata.

Appendice D. Dettagli Monitoraggio

D.1. Assetto del terminale FSRU Toscana

Tabella D-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 D-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	14/12/20	16/12/20	17/12/20	18/12/20	19/12/20	22/12/20	2/03/20	9/03/20	11/03/20	24/03/20	29/03/20	5/06/20	6/06/20	12/06/20	13/06/20	6/10/20	7/10/20	8/10/20	9/10/20
		21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	29	22	22	22	22	22	22	22
		Off	Off	Off	Off	Off	Off	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
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
No.3 ballast pump (e/r floor dk)	Pompa cassa di zavorra																			
In tank pump 1	Pompe Ing verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
In tank pump 2	Pompe Ing verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
In tank pump 3	Pompe Ing verso la rigassificazione dentro le cisterne del carico							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
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

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
Main sw circ. Pump	Pompa acqua mare in sala macchine	X	X	X	X	X	X													
Wobbe index - feed air comps n.1	Compressor i di alimentazione e wobbe index in coperta													x			x	x		
Wobbe index - feed air comps n.2	Compressor i di alimentazione e wobbe index in coperta													x		x				
Wobbe index - feed air comps n.3	Compressor i di alimentazione e wobbe index in coperta													x		x				
Wobbe index - feed air comps n.4	Compressor i di alimentazione e wobbe index in coperta													x			x	x		
Wobbe index - feed air comps n.5	Compressor i di alimentazione e wobbe index in coperta													x						
Bog comp - main compressor	Compressor e del bog in coperta																			

Lng booster pump n.1	Pompe di alimentazione e gnl ai vaporizzatori in coperta							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lng booster pump n.3	Pompe di alimentazione e gnl ai vaporizzatori in coperta							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
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
Nitrogen compressor	Compressor e azoto							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
N.2 sw cooling pump for n2 gen								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
Fgr fan #2		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
Azimuth thruster motor aft	Thruster di posizionamento																			
Thruster sw cooling pump	Pompa di raffreddamento thruster																			

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
Stg #1 (10 mw) sono 2 TG)	Turbina a vapore da 10 mw	1X	1X	1X	1X	1X	1X	2X	2X	2X	2X	2X	1X	1X	1X	1X	1X	1X	1X	1X	1X
Stg #3 (3,35 mw) sono 2 TG)	Turbina a vapore da da 3,35 mw	1X	1X	1X	1X	1X	1X				1X	1X	2X	2X	2X	2X	2X	2X	2X	2X	2X
Boiler #1	Caldaia	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
Diesel generator	Disel generator (usato solo in condizioni di non normale operatività)												X								

D.2. Coordinate e tempi del campionamento

Tabella D-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)	Coordinate idrofono		Coordinate sorgente/i		Distanza (m)	Profondità del fondale (m)
				Latitudine dd mm.mmm	Longitudine dd mm.mmm	Latitudine dd mm.mmm	Longitudine dd mm.mmm		
A21	W10079m	14/12/2021 11:05	14/12/2021 11:25	43.64557	9.984183	43.6451	9.98917	400	115
A21	W10079m	14/12/2021 11:05	14/12/2021 11:25	43.64557	9.984183	43.6451	9.98917	400	115
A21	W10055m	14/12/2021 11:32	14/12/2021 11:52	43.64473	9.98335	43.6451	9.98917	470	115
A21	W10055m	14/12/2021 11:32	14/12/2021 11:52	43.64473	9.98335	43.6451	9.98917	470	115
A21	W1008m	14/12/2021 12:00	14/12/2021 12:20	43.64547	9.983916	43.6451	9.98917	420	115
A21	W1008m	14/12/2021 12:00	14/12/2021 12:20	43.64547	9.983916	43.6451	9.98917	420	115
A21	S10087m	14/12/2021 12:30	14/12/2021 12:50	43.64412	9.989483	43.6451	9.98917	110	113
A21	S10087m	14/12/2021 12:30	14/12/2021 12:50	43.64412	9.989483	43.6451	9.98917	110	113
A21	S10055m	14/12/2021 12:53	14/12/2021 13:13	43.64409	9.9893	43.6451	9.98917	110	113
A21	S10055m	14/12/2021 12:53	14/12/2021 13:13	43.64409	9.9893	43.6451	9.98917	110	113
A21	S1008m	14/12/2021 13:22	14/12/2021 13:42	43.64398	9.9893	43.6451	9.98917	120	113
A21	S1008m	14/12/2021 13:22	14/12/2021 13:42	43.64398	9.9893	43.6451	9.98917	120	113
A21	N10082m	14/12/2021 13:54	14/12/2021 14:14	43.64642	9.989384	43.6451	9.98917	150	113
A21	N10082m	14/12/2021 13:54	14/12/2021 14:14	43.64642	9.989384	43.6451	9.98917	150	113
A21	N10055m	14/12/2021 14:25	14/12/2021 14:45	43.6465	9.989467	43.6451	9.98917	160	113
A21	N10055m	14/12/2021 14:25	14/12/2021 14:45	43.6465	9.989467	43.6451	9.98917	160	113
A21	N1008m	14/12/2021 14:49	14/12/2021 15:09	43.6467	9.988667	43.6451	9.98917	180	113
A21	N1008m	14/12/2021 14:49	14/12/2021 15:09	43.6467	9.988667	43.6451	9.98917	180	113
A21	E10084m	14/12/2021 15:20	14/12/2021 15:40	43.6453	9.991183	43.6451	9.98917	160	113
A21	E10084m	14/12/2021 15:20	14/12/2021 15:40	43.6453	9.991183	43.6451	9.98917	160	113
A21	E10055m	14/12/2021 15:47	14/12/2021 16:07	43.64533	9.991117	43.6451	9.98917	160	113
A21	E10055m	14/12/2021 15:47	14/12/2021 16:07	43.64533	9.991117	43.6451	9.98917	160	113
A21	E1008m	14/12/2021 16:15	14/12/2021 16:35	43.6454	9.991067	43.6451	9.98917	160	113
A21	E1008m	14/12/2021 16:15	14/12/2021 16:35	43.6454	9.991067	43.6451	9.98917	160	113
A21	S1K80m	16/12/2021 11:41	16/12/2021 12:01	43.63592	9.989917	43.6451	9.98917	1020	114
A21	S1K80m	16/12/2021 11:41	16/12/2021 12:01	43.63592	9.989917	43.6451	9.98917	1020	114
A21	S1K55m	16/12/2021 12:15	16/12/2021 12:35	43.63548	9.990233	43.6451	9.98917	1070	114
A21	S1K55m	16/12/2021 12:15	16/12/2021 12:35	43.63548	9.990233	43.6451	9.98917	1070	114
A21	S1K8m	16/12/2021 12:40	16/12/2021 13:00	43.63535	9.989917	43.6451	9.98917	1090	114
A21	S1K8m	16/12/2021 12:40	16/12/2021 13:00	43.63535	9.989917	43.6451	9.98917	1090	114
A21	S1K8m	16/12/2021 12:40	16/12/2021 13:00	43.63535	9.989917	43.6451	9.98917	1090	114
A21	S1K8m	16/12/2021 12:40	16/12/2021 13:00	43.63535	9.989917	43.6451	9.98917	1090	114
A21	W1K83m	16/12/2021 13:19	16/12/2021 13:39	43.6443	9.97735	43.6451	9.98917	960	122

A21	W1K83m	16/12/2021 13:19	16/12/2021 13:39	43.6443	9.97735	43.6451	9.98917	960	122
A21	W1K8m	16/12/2021 13:44	16/12/2021 14:04	43.6444	9.976934	43.6451	9.98917	990	122
A21	W1K8m	16/12/2021 13:44	16/12/2021 14:04	43.6444	9.976934	43.6451	9.98917	990	122
A21	W1K55m	16/12/2021 14:49	16/12/2021 15:09	43.64427	9.977266	43.6451	9.98917	960	122
A21	W1K55m	16/12/2021 14:49	16/12/2021 15:09	43.64427	9.977266	43.6451	9.98917	960	122
A21	N1K85m	16/12/2021 15:10	16/12/2021 15:30	43.6531	9.99005	43.6451	9.98917	890	113
A21	N1K85m	16/12/2021 15:10	16/12/2021 15:30	43.6531	9.99005	43.6451	9.98917	890	113
A21	N1K55m	16/12/2021 15:34	16/12/2021 15:54	43.653	9.989616	43.6451	9.98917	880	113
A21	N1K55m	16/12/2021 15:34	16/12/2021 15:54	43.653	9.989616	43.6451	9.98917	880	113
A21	N1K8m	16/12/2021 16:09	16/12/2021 16:29	43.65308	9.9902	43.6451	9.98917	890	113
A21	N1K8m	16/12/2021 16:09	16/12/2021 16:29	43.65308	9.9902	43.6451	9.98917	890	113
A21	E1K79m	17/12/2021 11:52	17/12/2021 12:12	43.64448	10.0015	43.6451	9.98917	990	107
A21	E1K79m	17/12/2021 11:52	17/12/2021 12:12	43.64448	10.0015	43.6451	9.98917	990	107
A21	E1K55m	17/12/2021 12:16	17/12/2021 12:36	43.64393	10.00113	43.6451	9.98917	970	107
A21	E1K55m	17/12/2021 12:16	17/12/2021 12:36	43.64393	10.00113	43.6451	9.98917	970	107
A21	E1K8m	17/12/2021 12:43	17/12/2021 13:03	43.64483	10.00035	43.6451	9.98917	900	107
A21	E1K8m	17/12/2021 12:43	17/12/2021 13:03	43.64483	10.00035	43.6451	9.98917	900	107
A21	E10K40m	18/12/2021 12:28	18/12/2021 12:48	43.64665	10.11142	43.6451	9.98917	9840	48
A21	E10K40m	18/12/2021 12:28	18/12/2021 12:48	43.64665	10.11142	43.6451	9.98917	9840	48
A21	E10K8m	18/12/2021 12:59	18/12/2021 13:19	43.64673	10.1113	43.6451	9.98917	9830	48
A21	E10K8m	18/12/2021 12:59	18/12/2021 13:19	43.64673	10.1113	43.6451	9.98917	9830	48
A21	S10K73m	18/12/2021 14:25	18/12/2021 14:45	43.55137	9.988667	43.6451	9.98917	10420	117
A21	S10K73m	18/12/2021 14:25	18/12/2021 14:45	43.55137	9.988667	43.6451	9.98917	10420	117
A21	S10K55m	18/12/2021 14:49	18/12/2021 15:09	43.55217	9.9875	43.6451	9.98917	10330	117
A21	S10K55m	18/12/2021 14:49	18/12/2021 15:09	43.55217	9.9875	43.6451	9.98917	10330	117
A21	S10K8m	18/12/2021 15:12	18/12/2021 15:32	43.5526	9.98775	43.6451	9.98917	10290	117
A21	S10K8m	18/12/2021 15:12	18/12/2021 15:32	43.5526	9.98775	43.6451	9.98917	10290	117
A21	W10K84m	19/12/2021 12:07	19/12/2021 12:27	43.64504	9.867167	43.6451	9.98917	9820	242
A21	W10K84m	19/12/2021 12:07	19/12/2021 12:27	43.64504	9.867167	43.6451	9.98917	9820	242
A21	W10K55m	19/12/2021 12:33	19/12/2021 12:53	43.64522	9.863833	43.6451	9.98917	10090	252
A21	W10K55m	19/12/2021 12:33	19/12/2021 12:53	43.64522	9.863833	43.6451	9.98917	10090	252
A21	W10K8m	19/12/2021 12:57	19/12/2021 13:17	43.64652	9.8651	43.6451	9.98917	9980	252
A21	W10K8m	19/12/2021 12:57	19/12/2021 13:17	43.64652	9.8651	43.6451	9.98917	9980	252
A21	N10K84m	22/12/2021 11:24	22/12/2021 11:44	43.7347	10.00258	43.6451	9.98917	10020	82
A21	N10K84m	22/12/2021 11:24	22/12/2021 11:44	43.7347	10.00258	43.6451	9.98917	10020	82
A21	N10K55m	22/12/2021 11:47	22/12/2021 12:07	43.7334	9.996634	43.6451	9.98917	9840	85
A21	N10K55m	22/12/2021 11:47	22/12/2021 12:07	43.7334	9.996634	43.6451	9.98917	9840	85
A21	N10K8m	22/12/2021 12:14	22/12/2021 12:34	43.73102	9.989417	43.6451	9.98917	9550	92
A21	N10K8m	22/12/2021 12:14	22/12/2021 12:34	43.73102	9.989417	43.6451	9.98917	9550	92
I22	N10K55a	2/03/2022 11:57	2/03/2022 12:07	43.73547	9.990883	43.6451	9.98917	10050	90
I22	N10K55a	2/03/2022 11:57	2/03/2022 12:07	43.73547	9.990883	43.6451	9.98917	10050	90
I22	N10K55b	2/03/2022 12:21	2/03/2022 12:31	43.73593	9.989583	43.6451	9.98917	10100	90
I22	N10K55b	2/03/2022 12:21	2/03/2022 12:31	43.73593	9.989583	43.6451	9.98917	10100	90
I22	N10K8a	2/03/2022 12:45	2/03/2022 12:55	43.73672	9.988067	43.6451	9.98917	10190	90

I22	N10K8a	2/03/2022 12:45	2/03/2022 12:55	43.73672	9.988067	43.6451	9.98917	10190	90
I22	N10K8b	2/03/2022 13:09	2/03/2022 13:19	43.73607	9.989516	43.6451	9.98917	10110	90
I22	N10K8b	2/03/2022 13:09	2/03/2022 13:19	43.73607	9.989516	43.6451	9.98917	10110	90
I22	E10K45a	2/03/2022 15:25	2/03/2022 15:35	43.64868	10.11083	43.6451	9.98917	9800	48
I22	E10K45a	2/03/2022 15:25	2/03/2022 15:35	43.64868	10.11083	43.6451	9.98917	9800	48
I22	E10K45b	2/03/2022 15:47	2/03/2022 15:57	43.64428	10.1091	43.6451	9.98917	9650	48
I22	E10K45b	2/03/2022 15:47	2/03/2022 15:57	43.64428	10.1091	43.6451	9.98917	9650	48
I22	E10K8a	2/03/2022 16:15	2/03/2022 16:25	43.64825	10.10958	43.6451	9.98917	9690	48
I22	E10K8a	2/03/2022 16:15	2/03/2022 16:25	43.64825	10.10958	43.6451	9.98917	9690	48
I22	E10K8b	2/03/2022 16:40	2/03/2022 16:50	43.64628	10.10918	43.6451	9.98917	9660	48
I22	E10K8b	2/03/2022 16:40	2/03/2022 16:50	43.64628	10.10918	43.6451	9.98917	9660	48
I22	S10K55a	9/03/2022 12:23	9/03/2022 12:32	43.54953	9.9916	43.6451	9.98917	10630	120
I22	S10K55a	9/03/2022 12:23	9/03/2022 12:32	43.54953	9.9916	43.6451	9.98917	10630	120
I22	S10K55b	9/03/2022 12:50	9/03/2022 13:01	43.55069	9.990017	43.6451	9.98917	10500	117
I22	S10K55b	9/03/2022 12:50	9/03/2022 13:01	43.55069	9.990017	43.6451	9.98917	10500	117
I22	S10K8a	9/03/2022 13:15	9/03/2022 13:24	43.55153	9.98937	43.6451	9.98917	10400	117
I22	S10K8a	9/03/2022 13:15	9/03/2022 13:24	43.55153	9.98937	43.6451	9.98917	10400	117
I22	S10K8b	9/03/2022 13:53	9/03/2022 14:04	43.55319	9.986116	43.6451	9.98917	10220	128
I22	S10K8b	9/03/2022 13:53	9/03/2022 14:04	43.55319	9.986116	43.6451	9.98917	10220	128
I22	W10K8a	11/03/2022 15:48	11/03/2022 15:57	43.64597	9.863867	43.6451	9.98917	10080	252
I22	W10K8a	11/03/2022 15:48	11/03/2022 15:57	43.64597	9.863867	43.6451	9.98917	10080	252
I22	W10K8b	11/03/2022 16:00	11/03/2022 16:10	43.64487	9.86915	43.6451	9.98917	9660	242
I22	W10K8b	11/03/2022 16:00	11/03/2022 16:10	43.64487	9.86915	43.6451	9.98917	9660	242
I22	W10K55a	11/03/2022 16:22	11/03/2022 16:32	43.64482	9.869217	43.6451	9.98917	9650	242
I22	W10K55a	11/03/2022 16:22	11/03/2022 16:32	43.64482	9.869217	43.6451	9.98917	9650	242
I22	W10K55b	11/03/2022 16:50	11/03/2022 17:00	43.64995	9.867117	43.6451	9.98917	9840	237
I22	W10K55b	11/03/2022 16:50	11/03/2022 17:00	43.64995	9.867117	43.6451	9.98917	9840	237
I22	N10055a	24/03/2022 11:24	24/03/2022 11:34	43.64919	9.988116	43.6451	9.98917	460	113
I22	N10055a	24/03/2022 11:24	24/03/2022 11:34	43.64919	9.988116	43.6451	9.98917	460	113
I22	N1008a	24/03/2022 11:44	24/03/2022 11:54	43.64919	9.988116	43.6451	9.98917	460	113
I22	N1008a	24/03/2022 11:44	24/03/2022 11:54	43.64919	9.988116	43.6451	9.98917	460	113
I22	N10055b	24/03/2022 12:00	24/03/2022 12:11	43.64893	9.98945	43.6451	9.98917	430	113
I22	N10055b	24/03/2022 12:00	24/03/2022 12:11	43.64893	9.98945	43.6451	9.98917	430	113
I22	N1008b	24/03/2022 12:15	24/03/2022 12:25	43.64893	9.98945	43.6451	9.98917	430	113
I22	N1008b	24/03/2022 12:15	24/03/2022 12:25	43.64893	9.98945	43.6451	9.98917	430	113
I22	S10055a	24/03/2022 12:43	24/03/2022 12:52	43.64312	9.989783	43.6451	9.98917	230	113
I22	S10055a	24/03/2022 12:43	24/03/2022 12:52	43.64312	9.989783	43.6451	9.98917	230	113
I22	S1008a	24/03/2022 12:58	24/03/2022 13:07	43.62983	9.985867	43.6451	9.98917	1720	117
I22	S1008a	24/03/2022 12:58	24/03/2022 13:07	43.62983	9.985867	43.6451	9.98917	1720	117
I22	S10055b	24/03/2022 13:15	24/03/2022 13:24	43.64243	9.987833	43.6451	9.98917	320	113
I22	S10055b	24/03/2022 13:15	24/03/2022 13:24	43.64243	9.987833	43.6451	9.98917	320	113
I22	S1008b	24/03/2022 13:36	24/03/2022 13:45	43.64243	9.987833	43.6451	9.98917	320	113
I22	S1008b	24/03/2022 13:36	24/03/2022 13:45	43.64243	9.987833	43.6451	9.98917	320	113
I22	E10055a	24/03/2022 14:00	24/03/2022 14:10	43.64798	9.992333	43.6451	9.98917	410	111

I22	E10055a	24/03/2022 14:00	24/03/2022 14:10	43.64798	9.992333	43.6451	9.98917	410	111
I22	E1008a	24/03/2022 14:27	24/03/2022 14:37	43.64798	9.992333	43.6451	9.98917	410	111
I22	E1008a	24/03/2022 14:27	24/03/2022 14:37	43.64798	9.992333	43.6451	9.98917	410	111
I22	E10055b	24/03/2022 14:45	24/03/2022 14:55	43.6443	9.990867	43.6451	9.98917	160	113
I22	E10055b	24/03/2022 14:45	24/03/2022 14:55	43.6443	9.990867	43.6451	9.98917	160	113
I22	E1008b	24/03/2022 15:10	24/03/2022 15:20	43.6443	9.990867	43.6451	9.98917	160	113
I22	E1008b	24/03/2022 15:10	24/03/2022 15:20	43.6443	9.990867	43.6451	9.98917	160	113
I22	W10055a	24/03/2022 15:30	24/03/2022 15:40	43.64622	9.986183	43.6451	9.98917	270	115
I22	W10055a	24/03/2022 15:30	24/03/2022 15:40	43.64622	9.986183	43.6451	9.98917	270	115
I22	W1008a	24/03/2022 15:50	24/03/2022 16:00	43.64622	9.986183	43.6451	9.98917	270	115
I22	W1008a	24/03/2022 15:50	24/03/2022 16:00	43.64622	9.986183	43.6451	9.98917	270	115
I22	W1008b	24/03/2022 15:51	24/03/2022 16:00	43.64703	9.987967	43.6451	9.98917	240	113
I22	W1008b	24/03/2022 15:51	24/03/2022 16:00	43.64703	9.987967	43.6451	9.98917	240	113
I22	W10055b	24/03/2022 16:11	24/03/2022 16:20	43.64703	9.987967	43.6451	9.98917	240	113
I22	W10055b	24/03/2022 16:11	24/03/2022 16:20	43.64703	9.987967	43.6451	9.98917	240	113
I22	E1K55a	29/03/2022 15:05	29/03/2022 15:15	43.64443	10.00083	43.6451	9.98917	940	107
I22	E1K55a	29/03/2022 15:05	29/03/2022 15:15	43.64443	10.00083	43.6451	9.98917	940	107
I22	E1K8a	29/03/2022 15:17	29/03/2022 15:27	43.64443	10.00083	43.6451	9.98917	940	107
I22	E1K8a	29/03/2022 15:17	29/03/2022 15:27	43.64443	10.00083	43.6451	9.98917	940	107
I22	E1K55b	29/03/2022 15:30	29/03/2022 15:40	43.64433	10.0007	43.6451	9.98917	930	107
I22	E1K55b	29/03/2022 15:30	29/03/2022 15:40	43.64433	10.0007	43.6451	9.98917	930	107
I22	E1K8b	29/03/2022 15:35	29/03/2022 15:45	43.64433	10.0007	43.6451	9.98917	930	107
I22	E1K8b	29/03/2022 15:35	29/03/2022 15:45	43.64433	10.0007	43.6451	9.98917	930	107
I22	N1K55a	29/03/2022 15:55	29/03/2022 16:05	43.65327	9.989367	43.6451	9.98917	910	113
I22	N1K55a	29/03/2022 15:55	29/03/2022 16:05	43.65327	9.989367	43.6451	9.98917	910	113
I22	N1K8a	29/03/2022 16:12	29/03/2022 16:22	43.65327	9.989367	43.6451	9.98917	910	113
I22	N1K8a	29/03/2022 16:12	29/03/2022 16:22	43.65327	9.989367	43.6451	9.98917	910	113
I22	N1K55b	29/03/2022 16:35	29/03/2022 16:45	43.6573	9.994284	43.6451	9.98917	1420	111
I22	N1K55b	29/03/2022 16:35	29/03/2022 16:45	43.6573	9.994284	43.6451	9.98917	1420	111
I22	N1K8b	29/03/2022 16:50	29/03/2022 17:00	43.6573	9.994284	43.6451	9.98917	1420	111
I22	N1K8b	29/03/2022 16:50	29/03/2022 17:00	43.6573	9.994284	43.6451	9.98917	1420	111
I22	S1K55a	29/03/2022 17:10	29/03/2022 17:19	43.63933	9.98955	43.6451	9.98917	640	113
I22	S1K55a	29/03/2022 17:10	29/03/2022 17:19	43.63933	9.98955	43.6451	9.98917	640	113
I22	S1K8a	29/03/2022 17:25	29/03/2022 17:34	43.63474	9.985933	43.6451	9.98917	1180	116
I22	S1K8a	29/03/2022 17:25	29/03/2022 17:34	43.63474	9.985933	43.6451	9.98917	1180	116
I22	S1K55b	29/03/2022 17:44	29/03/2022 17:53	43.63635	9.99695	43.6451	9.98917	1160	109
I22	S1K55b	29/03/2022 17:44	29/03/2022 17:53	43.63635	9.99695	43.6451	9.98917	1160	109
I22	S1K8b	29/03/2022 17:58	29/03/2022 18:07	43.6331	9.9891	43.6451	9.98917	1330	114
I22	S1K8b	29/03/2022 17:58	29/03/2022 18:07	43.6331	9.9891	43.6451	9.98917	1330	114
I22	W1K55a	29/03/2022 18:08	29/03/2022 18:17	43.64252	9.978316	43.6451	9.98917	920	122
I22	W1K55a	29/03/2022 18:08	29/03/2022 18:17	43.64252	9.978316	43.6451	9.98917	920	122
I22	W1K55b	29/03/2022 18:32	29/03/2022 18:41	43.64377	9.975483	43.6451	9.98917	1110	122
I22	W1K55b	29/03/2022 18:32	29/03/2022 18:41	43.64377	9.975483	43.6451	9.98917	1110	122
I22	W1K8a	29/03/2022 18:49	29/03/2022 18:58	43.64227	9.9762	43.6451	9.98917	1090	122

I22	W1K8a	29/03/2022 18:49	29/03/2022 18:58	43.64227	9.9762	43.6451	9.98917	1090	122
I22	W1K8b	29/03/2022 19:10	29/03/2022 19:18	43.64377	9.975483	43.6451	9.98917	1110	122
I22	W1K8b	29/03/2022 19:10	29/03/2022 19:18	43.64377	9.975483	43.6451	9.98917	1110	122
P22	E10055a	5/06/2022 13:14	5/06/2022 13:24	43.646	9.991	43.6451	9.98917	180	113
P22	N10055a	5/06/2022 13:38	5/06/2022 13:48	43.64933	9.985	43.6451	9.98917	580	115
P22	W10055a	5/06/2022 13:59	5/06/2022 14:09	43.644	9.983666	43.6451	9.98917	460	115
P22	S10055a	5/06/2022 14:20	5/06/2022 14:30	43.64417	9.989984	43.6451	9.98917	120	113
P22	E1008a	5/06/2022 14:51	5/06/2022 15:01	43.64433	9.991834	43.6451	9.98917	230	111
P22	N1008a	5/06/2022 15:16	5/06/2022 15:26	43.64834	9.986167	43.6451	9.98917	430	115
P22	W1008a	5/06/2022 15:44	5/06/2022 15:54	43.643	9.985167	43.6451	9.98917	400	115
P22	S1008a	5/06/2022 16:12	5/06/2022 16:22	43.643	9.9858	43.6451	9.98917	360	115
P22	E10055b	5/06/2022 16:37	5/06/2022 16:47	43.64433	9.992167	43.6451	9.98917	260	111
P22	N10055b	5/06/2022 17:11	5/06/2022 17:21	43.6495	9.987	43.6451	9.98917	520	115
P22	W10055b	5/06/2022 17:35	5/06/2022 17:45	43.64267	9.983666	43.6451	9.98917	520	115
P22	S10055b	5/06/2022 18:02	5/06/2022 18:12	43.6432	9.990916	43.6451	9.98917	250	113
P22	E1008b	5/06/2022 18:27	5/06/2022 18:37	43.6445	9.99245	43.6451	9.98917	270	111
P22	N1008b	5/06/2022 18:52	5/06/2022 19:02	43.6505	9.983	43.6451	9.98917	780	119
P22	W1008b	5/06/2022 19:15	5/06/2022 19:25	43.64429	9.985882	43.6451	9.98917	280	115
P22	S1008b	5/06/2022 19:44	5/06/2022 19:54	43.64246	9.988883	43.6451	9.98917	290	113
P22	N10K55a	6/06/2022 11:15	6/06/2022 11:25	43.73653	9.989972	43.6451	9.98917	10170	90
P22	N10K55b	6/06/2022 11:54	6/06/2022 12:04	43.73644	9.989939	43.6451	9.98917	10160	90
P22	N10K8a	6/06/2022 12:21	6/06/2022 12:31	43.73642	9.989984	43.6451	9.98917	10150	90
P22	N10K8b	6/06/2022 12:54	6/06/2022 13:04	43.73645	9.990048	43.6451	9.98917	10160	90
P22	E10K8a	6/06/2022 13:25	6/06/2022 16:35	43.64728	10.11123	43.6451	9.98917	9820	48
P22	E10K45a	6/06/2022 15:25	6/06/2022 15:35	43.64751	10.11038	43.6451	9.98917	9760	48
P22	E10K45b	6/06/2022 15:57	6/06/2022 16:07	43.64663	10.10997	43.6451	9.98917	9720	48
P22	E10K8b	6/06/2022 16:50	6/06/2022 17:00	43.64695	10.11128	43.6451	9.98917	9830	48
P22	S10K55a	12/06/2022 12:01	12/06/2022 12:11	43.55255	9.986274	43.6451	9.98917	10290	128
P22	S10K55b	12/06/2022 12:23	12/06/2022 12:33	43.55454	9.987833	43.6451	9.98917	10070	116
P22	S10K8a	12/06/2022 12:45	12/06/2022 12:55	43.55147	9.9835	43.6451	9.98917	10420	128
P22	S10K8b	12/06/2022 13:06	12/06/2022 13:16	43.55467	9.986622	43.6451	9.98917	10060	126
P22	W10K55a	12/06/2022 14:27	12/06/2022 14:37	43.64602	9.863459	43.6451	9.98917	10120	252
P22	W10K55b	12/06/2022 14:58	12/06/2022 15:08	43.64583	9.86374	43.6451	9.98917	10090	252
P22	W10K8a	12/06/2022 15:21	12/06/2022 15:31	43.64567	9.863368	43.6451	9.98917	10120	252
P22	W10K8b	12/06/2022 15:48	12/06/2022 16:08	43.64566	9.863918	43.6451	9.98917	10080	252
P22	E1K55a	13/06/2022 11:53	13/06/2022 12:03	43.6445	10	43.6451	9.98917	870	108
P22	E1K55b	13/06/2022 12:06	13/06/2022 12:16	43.64692	9.997316	43.6451	9.98917	690	109
P22	E1K8a	13/06/2022 12:30	13/06/2022 12:40	43.64573	10.00033	43.6451	9.98917	900	107
P22	E1K8b	13/06/2022 12:52	13/06/2022 13:02	43.64417	10.00017	43.6451	9.98917	890	107
P22	S1K55a	13/06/2022 13:31	13/06/2022 13:41	43.63541	9.988929	43.6451	9.98917	1080	114
P22	S1K55b	13/06/2022 14:00	13/06/2022 14:10	43.63545	9.988813	43.6451	9.98917	1070	114
P22	S1K8a	13/06/2022 14:25	13/06/2022 14:35	43.63548	9.988791	43.6451	9.98917	1070	114
P22	S1K8b	13/06/2022 14:50	13/06/2022 15:00	43.6355	9.988829	43.6451	9.98917	1070	114
P22	W1K55a	13/06/2022 16:02	13/06/2022 16:12	43.64518	9.985788	43.6451	9.98917	270	115

P22	W1K55b	13/06/2022 16:30	13/06/2022 16:40	43.64444	9.98403	43.6451	9.98917	420	115
P22	W1K8a	13/06/2022 16:52	13/06/2022 17:02	43.64454	9.976883	43.6451	9.98917	990	122
P22	W1K8b	13/06/2022 17:15	13/06/2022 17:25	43.64445	9.976956	43.6451	9.98917	990	122
P22	N1K55a	13/06/2022 19:06	13/06/2022 19:16	43.65302	9.99035	43.6451	9.98917	890	113
P22	N1K8a	13/06/2022 19:18	13/06/2022 19:28	43.65284	9.98928	43.6451	9.98917	860	113
P22	N1K55b	13/06/2022 19:31	13/06/2022 19:41	43.65298	9.990363	43.6451	9.98917	880	113
P22	N1K8b	13/06/2022 19:42	13/06/2022 19:52	43.65274	9.989774	43.6451	9.98917	850	113
E22	N10K55a	6/10/2022 10:42	6/10/2022 10:52	43.73653	9.989972	43.6451	9.98917	10170	90
E22	N10K8a	6/10/2022 10:56	6/10/2022 11:06	43.73642	9.989984	43.6451	9.98917	10150	90
E22	N10K8b	6/10/2022 11:09	6/10/2022 11:19	43.73645	9.990048	43.6451	9.98917	10160	90
E22	N10K55b	6/10/2022 11:10	6/10/2022 11:20	43.73644	9.989939	43.6451	9.98917	10160	90
E22	W10K55a	6/10/2022 13:12	6/10/2022 13:22	43.64602	9.863459	43.6451	9.98917	10120	252
E22	W10K8a	6/10/2022 13:26	6/10/2022 13:36	43.64567	9.863368	43.6451	9.98917	10120	252
E22	W10K55b	6/10/2022 13:41	6/10/2022 13:51	43.64583	9.86374	43.6451	9.98917	10090	252
E22	W10K8b	6/10/2022 14:00	6/10/2022 14:10	43.64566	9.863918	43.6451	9.98917	10080	252
E22	E10055a	7/10/2022 11:20	7/10/2022 11:30	43.646	9.991	43.6451	9.98917	180	113
E22	S10055a	7/10/2022 11:50	7/10/2022 12:00	43.64417	9.989984	43.6451	9.98917	120	113
E22	W10055a	7/10/2022 12:21	7/10/2022 12:31	43.644	9.983666	43.6451	9.98917	460	115
E22	N10055a	7/10/2022 12:50	7/10/2022 13:00	43.64933	9.985	43.6451	9.98917	580	115
E22	E1008a	7/10/2022 13:17	7/10/2022 13:27	43.64433	9.991834	43.6451	9.98917	230	111
E22	S1008a	7/10/2022 13:41	7/10/2022 13:51	43.643	9.9858	43.6451	9.98917	360	115
E22	W1008a	7/10/2022 14:05	7/10/2022 14:15	43.643	9.985167	43.6451	9.98917	400	115
E22	N1008a	7/10/2022 14:27	7/10/2022 14:37	43.64834	9.986167	43.6451	9.98917	430	115
E22	E10055b	7/10/2022 14:51	7/10/2022 15:01	43.64433	9.992167	43.6451	9.98917	260	111
E22	S10055b	7/10/2022 15:15	7/10/2022 15:25	43.6432	9.990916	43.6451	9.98917	250	113
E22	W10055b	7/10/2022 15:36	7/10/2022 15:46	43.64267	9.983666	43.6451	9.98917	520	115
E22	N10055b	7/10/2022 15:59	7/10/2022 16:09	43.6495	9.987	43.6451	9.98917	520	115
E22	E1008b	7/10/2022 16:18	7/10/2022 16:28	43.6445	9.99245	43.6451	9.98917	270	111
E22	S1008b	7/10/2022 16:41	7/10/2022 16:51	43.64246	9.988883	43.6451	9.98917	290	113
E22	W1008b	7/10/2022 17:00	7/10/2022 17:10	43.64429	9.985882	43.6451	9.98917	280	115
E22	N1008b	7/10/2022 17:22	7/10/2022 17:32	43.6505	9.983	43.6451	9.98917	780	119
E22	W1K55a	8/10/2022 12:20	8/10/2022 12:30	43.64518	9.985788	43.6451	9.98917	270	115
E22	W1K8a	8/10/2022 12:34	8/10/2022 12:44	43.64454	9.976883	43.6451	9.98917	990	122
E22	W1K55b	8/10/2022 12:51	8/10/2022 13:01	43.64444	9.98403	43.6451	9.98917	420	115
E22	W1K8b	8/10/2022 13:06	8/10/2022 13:16	43.64445	9.976956	43.6451	9.98917	990	122
E22	E1K55a	8/10/2022 14:29	8/10/2022 14:39	43.6445	10	43.6451	9.98917	870	108
E22	E1K55b	8/10/2022 14:55	8/10/2022 15:05	43.64692	9.997316	43.6451	9.98917	690	109
E22	E1K8a	8/10/2022 15:10	8/10/2022 15:20	43.64573	10.00033	43.6451	9.98917	900	107
E22	E1K8b	8/10/2022 15:25	8/10/2022 15:35	43.64417	10.00017	43.6451	9.98917	890	107
E22	S1K55a	8/10/2022 15:52	8/10/2022 16:02	43.63541	9.988929	43.6451	9.98917	1080	114
E22	S1K8a	8/10/2022 16:07	8/10/2022 16:17	43.63548	9.988791	43.6451	9.98917	1070	114
E22	S1K55b	8/10/2022 16:19	8/10/2022 16:29	43.63545	9.988813	43.6451	9.98917	1070	114
E22	S1K8b	8/10/2022 16:32	8/10/2022 16:42	43.6355	9.988829	43.6451	9.98917	1070	114
E22	N1K55a	8/10/2022 17:03	8/10/2022 17:13	43.65302	9.99035	43.6451	9.98917	890	113

E22	N1K8a	8/10/2022 17:16	8/10/2022 17:26	43.65284	9.98928	43.6451	9.98917	860	113
E22	N1K55b	8/10/2022 17:30	8/10/2022 17:40	43.65298	9.990363	43.6451	9.98917	880	113
E22	N1K8b	8/10/2022 17:45	8/10/2022 17:55	43.65274	9.989774	43.6451	9.98917	850	113
E22	S10K55a	9/10/2022 10:50	9/10/2022 11:00	43.55255	9.986274	43.6451	9.98917	10290	128
E22	S10K8a	9/10/2022 11:05	9/10/2022 11:15	43.55147	9.9835	43.6451	9.98917	10420	128
E22	S10K55b	9/10/2022 11:18	9/10/2022 11:28	43.55454	9.987833	43.6451	9.98917	10070	116
E22	S10K8b	9/10/2022 11:30	9/10/2022 11:40	43.55467	9.986622	43.6451	9.98917	10060	126
E22	E10K45a	9/10/2022 12:41	9/10/2022 12:51	43.64751	10.11038	43.6451	9.98917	9760	48
E22	E10K8a	9/10/2022 12:56	9/10/2022 13:06	43.64728	10.11123	43.6451	9.98917	9820	48

Appendice E. Raggi di Impatto Massimi

E.1. Soglie Comportamentali

L _p non ponderato (dB re 1 μPa)	A21		I22		P22		P22 (Pre-allibo - JASCO)		E22	
	2021-12		2022-03		2022-06		2022-06		2022-10	
	Rmax (km) 10Hz-25kHz	Rmax (km) 30Hz-25kHz	Rmax (km) 10Hz-25kHz	Rmax (km) 30Hz-25kHz	Rmax (km) 10Hz-25kHz	Rmax (km) 30Hz-25kHz	Rmax (km) 10Hz-25kHz	Rmax (km) 30Hz-25kHz	Rmax (km) 10Hz-25kHz	Rmax (km) 30Hz-25kHz
170	-	-	-	-	<0.02	0.0	<0.02	n.a.	-	-
160	<0.02	-	0.1	-	0.1	0.1	<0.02	n.a.	0.1	0.0
150	0.1	0.0	0.2	-	0.5	0.5	0.1	n.a.	0.2	0.2
140	0.2	0.1	0.3	0.1	1.0	1.0	0.1	n.a.	0.6	0.6
130	0.5	0.3	1.8	0.2	3.6	3.4	0.7	n.a.	2.3	1.7
120	3.0	0.8	6.8	0.6	9.2	7.9	2.3	n.a.	7.0	5.0
110	9.4	2.8	19.0	2.1	33.5	25.8	5.4	n.a.	21.0	14.0
100	29.2	8.7	88.0	6.9	127	124	11.3	n.a.	100	47.0

E.2. PTS e TTS

Gruppo uditivo (nomenclatura secondo Southall 2019)	Danno uditivo	SEL ponderato (dB re 1 μPa ² m)	A21		I22		P22		P22 (Pre-allibo - JASCO)		E22	
			2021-12		2022-03		2022-06		2022-06		2022-10	
			Rmax (km) 10Hz-25kHz z	Rmax (km) 30Hz-25kHz z	Rmax (km) 10Hz-25kHz z	Rmax (km) 30Hz-25kHz z	Rmax (km) 10Hz-25kHz z	Rmax (km) 30Hz-25kHz z	Rmax (km) 10Hz-25kHz z	Rmax (km) 30Hz-25kHz z	Rmax (km) 10Hz-25kHz z	Rmax (km) 30Hz-25kHz z
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	PTS	199	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.37	0.37	0.15	n.a.	0.11	0.11
	TTS	179	0.15	0.14	0.15	0.14	2.9	2.9	1.73	n.a.	1.46	1.46
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	PTS	198	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	n.a.	<0.01	<0.01
	TTS	178	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.06	0.06	n.a.	0.01	0.01