


OLT Livorno, Italia

Terminale di Rigassificazione FSRU Toscana

Caratterizzazione dei Livelli di Sorgente ed Analisi della Propagazione del Rumore Sottomarino durante le Operazioni di Allibo

Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0 - Agosto 2022

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	F. Fossa	A. Giovanetti	 M. Compagnino	02 Agosto 2022

INDICE

	Pag.
LISTA DELLE TABELLE	2
LISTA DELLE FIGURE	2
ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	3
1 INTRODUZIONE	4
1.1 INQUADRAMENTO GENERALE	4
1.2 ITER AUTORIZZATIVO E PREMESSA AI CONTENUTI DEL DOCUMENTO	4
2 SCOPO DEL DOCUMENTO	7
3 ATTIVITÀ SVOLTE	8
3.1 ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO	8
3.2 ATTIVITÀ DI ANALISI DEI DATI	11
4 SINTESI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI	14
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	18

ALLEGATO A: RAPPORTO TECNICO “MONITORAGGIO DEL RUMORE SUBACQUEO _OPERAZIONI DI ALLIBO. OPERAZIONE DI ALLIBO DEL 2022 PRESSO IL TERMINALE DI GAS NATURALE LIQUEFATTO (GNL) FSRU TOSCANA”

LISTA DELLE TABELLE

Tabella 3.1:	Navi coinvolte nelle Operazioni di Allibo	9
Tabella 3.2:	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).	10
Tabella 4.1:	Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini.	12
Tabella 4.2:	Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi di mammiferi marini.	13

LISTA DELLE FIGURE

Figura 1.1:	Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana	4
Figura 3.1:	Schema di ancoraggio degli strumenti	10
Figura 3.2:	Posizione indicativa dei registratori acustici rispetto al terminale FSRU Toscana	10
Figura 4.1:	Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019 (fonte: marinetraffic.com)	16
Figura 5.1:	Discarica: mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra)	18
Figura 5.2:	Discarica: sezione trasversale che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini	19

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
MiTE	Ministero della Transizione Ecologica
MONM	Marine Operations Noise Model
MSFD	Marine Strategy Framework Directive
nm	Nautical Mile
SPL o Lp	Sound Pressure Level
TL	Transmission Loss

1 INTRODUZIONE

1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

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

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

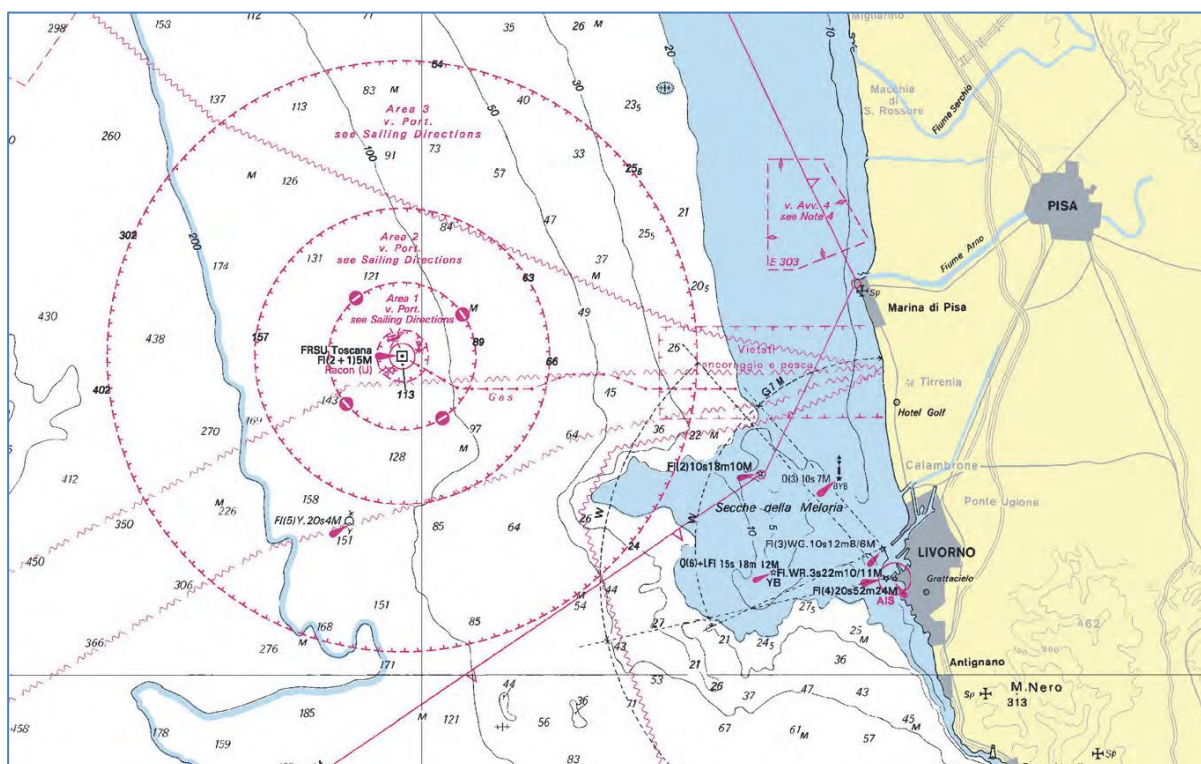


Figura 1.1: Ubicazione del Terminale OLT FSRU Toscana

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

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

1.2 ITER AUTORIZZATIVO E PREMESSA AI CONTENUTI DEL DOCUMENTO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Al momento della preparazione del presente rapporto, in ottemperanza alla Prescrizione No. 7 del DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010, OLT sta completando il rapporto annuale relativo alle attività di monitoraggio del rumore sottomarino anche per l’ottavo anno di esercizio del Terminale (dall’Autunno 2020 all’Estate 2021).

Nel corso della verifica di ottemperanza del 5° anno di monitoraggio, tuttavia, il MATTM nel decretarne l’ottemperanza (**Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020**), ha prescritto che *“Entro un anno solare dalla emissione del presente decreto dovranno essere eseguite, in accordo con la Capitaneria di Porto e ISPRA, delle misure specifiche di rumore per ogni tipologia di nave, durante tutto il periodo di operazioni di arrivo, ormeggio, scarico del GNL e allontanamento delle stesse navi dal Terminale”*.

In ottemperanza alla prescrizione di cui sopra, nel gennaio 2021, OLT ha presentato agli Enti competenti (nota prot. n. 2021/OUT/GENER/B/0010 del 25/01/2021, acquisita al prot. MATTM/8201 del 27/01/2021) le risultanze delle attività di monitoraggio del rumore sottomarino durante un allibo effettuate a cura del Centro Interuniversitario di Biologia Marina (CIBM) e dettagliate nel documento dal titolo “Valutazione del rumore sottomarino durante le fasi di allibo di una metaniera al Terminale FSRU Toscana”. Il documento contiene le misure del rumore sottomarino effettuate nei giorni 9 e 10 settembre 2020, durante le operazioni di allibo di una nave metaniera al Terminale FSRU Toscana nonché delle attività antecedenti (avvicinamento) e successive (allontanamento).

Conseguentemente, il Ministero della Transizione Ecologica (MITE), mediante la Commissione Tecnica di Verifica dell’Impatto Ambientale - VIA e VAS Sottocommissione VIA, ha espresso, con **Parere n. 300 del 6 luglio 2021**, parziale ottemperanza alla prescrizione attribuita dal MATTM con Provvedimento N. 188 del 25 giugno 2020, sottolineando che la Prescrizione *“sarà considerata ottemperata una volta che la documentazione presentata a*

supporto della richiesta sarà stata adeguata, a seguito di un confronto con l'ISPRA, secondo le indicazioni contenute nel parere reso dallo stesso Istituto e quindi ritrasmessa nuovamente al MITE'.

Nel dettaglio, nel Parere n. 300 del 6 luglio 2021 sono state individuate una serie di migliorie, alcune delle quali sono di seguito riportate:

- ✓ "... si ritiene opportuno che ci si attenga al linguaggio codificato dalla ISO18405:2017, Underwater acoustics";
- ✓ relativamente al paragrafo 4.1, dal titolo *Strumentazione per il campionamento*, la "frequenza di campionamento di 192kHz appare ridondante. Per quanto attiene alle frequenze indicate dalla Marine Strategy (MSFD) è largamente sufficiente campionare a 48kHz";
- ✓ per quanto riguarda il paragrafo 4.2, dal titolo *Individuazione delle fasi di registrazione*, si consiglia un confronto con l'ISPRA sui parametri che nello stesso sono stati identificati, ai fini di una loro possibile parziale revisione;
- ✓ relativamente al paragrafo 4.4, dal titolo "*Metodo di analisi dei dati*", si ritiene necessaria una revisione dell'approccio;
- ✓ in linea generale, si raccomanda una rivisitazione del metodo di descrizione dei dati e dei risultati, nonché l'adeguamento della terminologia secondo quanto è indicato nella ISO18405:2017.

Sulla base di tali osservazioni ISPRA ritiene "che il metodo di descrizione ed analisi abbia bisogno di una profonda revisione e adeguamento alla letteratura ISO vigente".

La descrizione delle attività necessarie ad incontrare le richieste di ISPRA e verificare la Prescrizione espressa dal MATTM con **Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020**, sono oggetto del presente documento.

Inoltre, il presente rapporto fornisce l'evidenza che il Gestore OLT ha altresì recepito le indicazioni fornite da ISPRA e ARPAT nella **nota tecnica VIP_5267**, emessa a corredo della documentazione di ottemperanza per il 6° anno di monitoraggio, adeguando, anche per questo studio, la terminologia e la metodologia di analisi e le relative tecniche di modellizzazione del rumore sottomarino alle richieste avanzate dalle Autorità.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento risponde all'ottemperanza parziale (Parere n. 300 del 6 luglio 2021 inviato dal MATTM (oggi Mite) con lettera Prot. No. 0105398 del 1/10/2021) alla prescrizione emessa dal MATTM a corredo della verifica di ottemperanza del 5° anno di monitoraggio del piano di monitoraggio dell'ambiente Marino (Provvedimento No. 188 del 25 Giugno 2020).

In particolare, risponde all'ottemperanza parziale di cui sopra recependo i suggerimenti dettagliati da ISPRA e riportati dal MITE nel Parere 300 del 6 luglio 2021 e da ISPRA e ARPAT nelle note tecniche emesse a corredo della documentazione presentata da OLT per il 6° anno di monitoraggio in ottemperanza alla Prescrizione Numero 7 del DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010 (rif. VIP_5267) ed ai confronti diretti con ISPRA come richiesto dal Parere stesso.

RINA Consulting S.p.A. è stata incaricata da OLT di rivedere l'approccio metodologico dettagliato nel documento "Valutazione del rumore sottomarino durante le fasi di allibo di una metaniera al Terminale FSRU Toscana", presentato da OLT nel gennaio 2021 al Ministero e di condurre una nuova campagna di misurazione del rumore sottomarino presso il Terminale FSRU Toscana durante tutte le fasi di un *allibo*¹ di una nave metaniera², di analizzare i dati al fine di caratterizzare il contributo di ciascun mezzo nautico coinvolto nelle operazioni di allibo e di modellizzare la trasmissione del rumore sottomarino al fine di stimare le distanze corrispondenti al valore indicato in letteratura per la soglia di impatto sulla fauna marina.

Per l'esecuzione delle attività di campionamento, di analisi dei dati del monitoraggio (caratterizzazione delle sorgenti) 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 in allegato (Allegato A).

¹ Allibo: insieme di operazioni che effettua una metaniera per affiancarsi, scaricare ed allontanarsi dal Terminale galleggiante

² Il provvedimento n 188, richiedeva la misura del rumore subacqueo di tutte le tipologie delle navi in allibo al Terminale, si evidenzia in particolare che attualmente le navi che effettuano la discarica di GNL al Terminale sono navi metaniere di stazza compresa tra 65000mcl a 180000mcl che possono considerarsi una sola tipologia di nave. Infatti tali navi come da "Regolamento delle attività del Terminale di rigassificazione FSRU Toscana" approvato da Ordinanza 6/2014 della Capitaneria di porto hanno le medesime regole di Allibo.

3 ATTIVITÀ SVOLTE

Le attività di monitoraggio sono state condotte al fine di campionare i dati acustici subacquei durante tutte le fasi di un allibo di una metaniera al terminale FSRU Toscana in modo conforme alle più recenti linee guida e standard ISO, e nello stimare i livelli di sorgente e gli eventuali impatti dell'operazione di allibo sui mammiferi marini. La modalità di campionamento e la metodologia utilizzata sono state preventivamente oggetto di un confronto tecnico con ISPRA così come richiesto dall'Autorità (prescrizione nel Parere n. 300 del 6 luglio 2021).

Neri seguenti paragrafi vengono descritti in modo riassuntivo l'attività di campionamento, la metodologia utilizzata per l'analisi dei dati ed i risultati ottenuti, mentre si rimanda all'allegato A per ulteriori approfondimenti tecnici.

3.1 ATTIVITÀ DI CAMPIONAMENTO

Le attività di campionamento del rumore sottomarino si sono svolte nelle giornate dal 8 al 12 Giugno 2022 e hanno permesso di registrare in continuo il rumore durante l'allibo avvenuto il 10 e 11 Giugno 2022, periodo in cui sono state monitorate tutte le fasi delle operazioni di allibo della metaniera Flex Endeavour³, di seguito riportate nell'ordine sequenziale nel quale si sono verificate e che risultano rappresentative (sia nell'ordine che nella durata) delle fasi di un allibo di una metaniera al terminale FSRU Toscana:

- ✓ **Avvicinamento** della metaniera Flex Endeavour al terminale FSRU Toscana. Durante questa fase la metaniera quando raggiunge una distanza di 2 miglia nautiche (nm) dal Terminale viene agganciata e rimorchiata da due rimorchiatori. Un terzo rimorchiatore è presente per assistere alla manovra. La velocità di avvicinamento è proporzionale alla distanza partendo da 9 nodi a 9 km di distanza fino a 1 nodo a 1 km di distanza dal Terminale;
- ✓ **Manovra:** la metaniera ed il Terminale ormai affiancate iniziano le operazioni di ormeggio con i tre rimorchiatori in funzione durante questa fase il terzo rimorchiatore si posiziona a metà della metaniera e se necessario spinge la metaniera in posizione affianco al Terminale;
- ✓ **Affiancamento** della metaniera a FSRU Toscana: la fase precedente termina con la prima linea di ormeggio, durante questa fase avvengono le operazioni di ormeggio e tale fase si conclude con la dichiarazione di "All fast" ;
- ✓ **Raffreddamento:** fase di verifica di sicurezza, di verifica delle connessioni dei bracci di carico e di raffreddamento degli stessi, nonché delle tubazioni adiacenti;
- ✓ **Discarica run up:** fase iniziale della scarica del GNL dalla metaniera al Terminale;
- ✓ **Discarica:** fase di trasferimento del carico;
- ✓ **Preparazione al disormeggio:** questa fase inizia con la fermata del trasferimento del carico e con le operazioni di drenaggio e spurgo dei bracci di carico concludendosi con la disconnessione degli stessi;
- ✓ **Disormeggio e allontanamento** col supporto di due rimorchiatori, partendo da una velocità bassa di due nodi fino a raggiungere i 6 nodi a circa 2 nm dal Terminale.

La durata di ogni attività è presentata nella tabella seguente.

³ Si evidenzia che le modalità di allibo di una metaniera sono sempre le stesse ivi include le tempistiche; l'unica operazione che potrebbe prevedere tempistiche diverse è la fase di scarica, tale fase varia al variare della quantità scaricata: la metaniera in oggetto al presente documento ha scaricato una quantità pari a 158129mcliq di GNL (pertanto una quantità anche se leggermente maggiore con la media scaricata dalle metaniere negli anni 2013-2022 è in linea con le scariche effettuate al Terminale).

Tabella 3.1: Fasi di allibo misurate e relativa durata

Operazione	Data Inizio Ora locale	Data Fine Ora locale	Durata (min)	Navi coinvolte come da regolamento del FSRU Toscana
Avvicinamento	6/10/2022 6:05	6/10/2022 6:34	29	FSRU + Flex Endeavour +3 tug (Corrado Neri, Costante Neri, Gabriella Neri) + Guardian
Manovra	6/10/2022 6:35	6/10/2022 7:43	68	FSRU + Flex Endeavour +3 tug (Corrado Neri, Costante Neri, Gabriella Neri) + Guardian
Affiancamento	6/10/2022 7:44	6/10/2022 9:12	88	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Raffreddamento	6/10/2022 9:35	6/10/2022 13:05	210	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Discarica run up	6/10/2022 13:06	6/10/2022 13:20	14	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Discarica	6/10/2022 13:21	6/11/2022 22:08	1967	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Preparazione al disormeggio	6/11/2022 22:24	6/11/2022 23:55	91	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Disormeggio e allontanamento	6/11/2022 23:56	6/12/2022 1:00	64	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian

Le durata di ciascuna attività è stata utilizzata per calcolare le zone di impatto del rumore sui mammiferi marini attraverso i calcolo dei livelli ponderati (SEL ponderato).

Si evidenzia che le operazioni individuate, i mezzi di supporto e la durata delle operazioni misurate sono da considerarsi rappresentative per le tipologie di navi metaniere che discaricano al Terminale. Inoltre, si evidenzia che tutte le operazioni monitorate sono state svolte in conformità all'ordinanza 6/2014 della Capitaneria di Porto alla quale è allegato il Regolamento del terminale FSRU Toscana. Tale regolamento include anche le modalità operative degli allibi al Terminale e i mezzi di supporto necessari e imposti dall'autorità stessa (Rimorchiatori, LNG Guardian).

In accordo con ISPRA ed ARPAT, come richiesto dal provvedimento n 188 e dal Parere 300 (si veda iter autorizzativo, Paragrafo 1.2), i dati acustici sono stati registrati tramite registratori autonomi AMAR (ognuno dotato di un idrofono onni-direzionale M36-V35-900 della GTI con sensibilità nominale di -165 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$), posizionati in prossimità del fondale marino ad una distanza di circa 1 km dal terminale FSRU Toscana nelle tre direzioni cardinal Nord, Sud e Ovest. Gli strumenti sono stati programmati per acquisire dati acustici in continuo dal momento di attivazione prima della messa in acqua fino al recupero degli strumenti con una frequenza di 128 kHz per una banda di frequenza utilizzabile da 10 Hz to 64 kHz con guadagno pari a 0. Il canale di registrazione utilizzato aveva una risoluzione di 24-bit. Gli strumenti sono stati montati su piastre metalliche per garantire una posizione statica fissa dal fondale con lo scopo di minimizzare ogni potenziale rumore generato dall'ancoraggio. Una copertura attorno all'idrofono fatta di gomma e lycra acusticamente trasparente è stata utilizzata per minimizzare il rumore di flusso.

Le figure seguenti rappresentano in maniera schematica il posizionamento dei registratori autonomi AMAR ed il sistema di ancoraggio nei pressi del fondale ed il posizionamento dei tre strumenti rispetto alla posizione del Terminale.

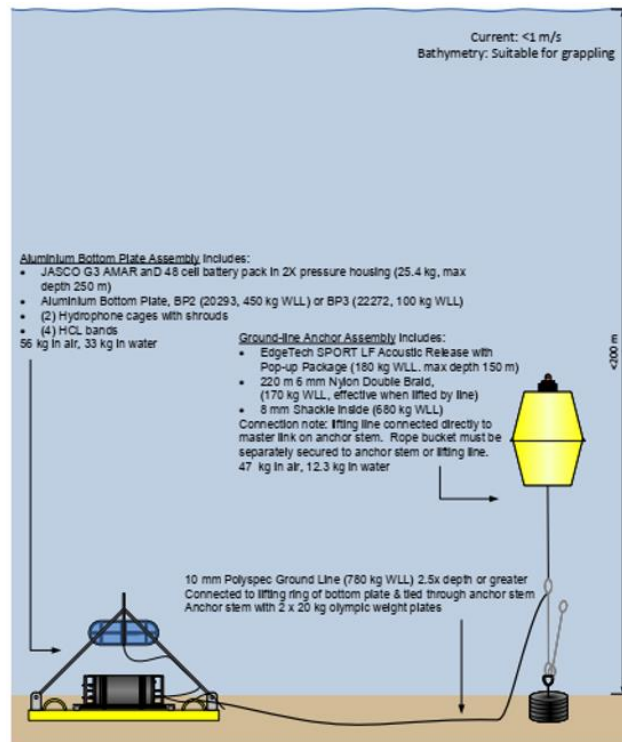


Figura 3.1: Schema di ancoraggio⁴ degli strumenti

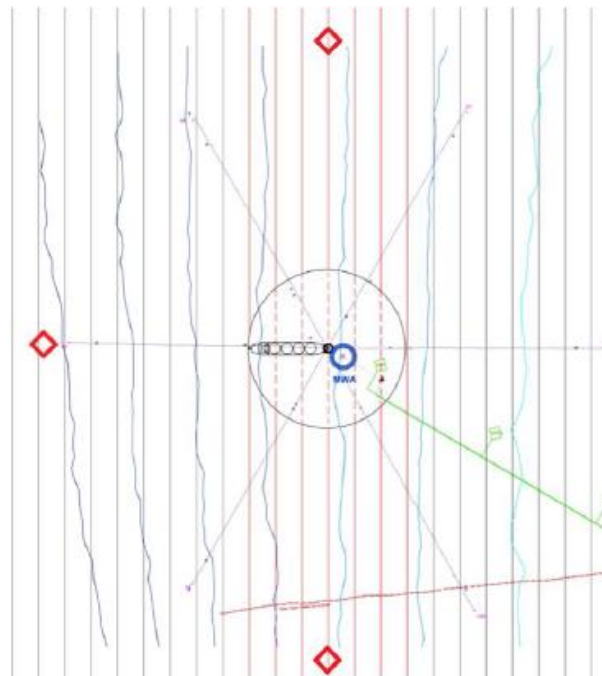


Figura 3.2: Posizione indicativa dei registratori acustici rispetto al terminale FSRU Toscana

⁴ Le specifiche tecniche della strumentazione, i pesi e le lunghezze delle cime riportati nello schema sono indicativi. Per i dettagli tecnici utilizzati, fare riferimento a quanto riportato in Allegato A.

I dati sono stati acquisiti in continuo da un giorno prima dell'inizio dell'allibo previsto fino al termine dell'allontanamento della metaniera a conclusione dell'allibo.

L'analisi dei dati è stata integrata mediante l'acquisizione dei dati AIS per un'area di cinque miglia nautiche in ogni direzione rispetto all'FSRU Toscana al fine di monitorare gli spostamenti delle navi ed imbarcazioni coinvolte nelle operazioni di allibo rilevando un dato di posizione ogni 3 minuti circa. L'acquisizione dei dati AIS ha inoltre permesso di verificare la presenza di altri mezzi navali in transito nei pressi dell'area del Terminale che potessero contribuire al rumore sottomarino di fondo in un'area, come quella del Terminale, che è abitualmente molto trafficata.

Inoltre, una misurazione CTD (con sonda CTD Minos) è stata condotta per ogni messa in acqua e recupero dello strumento al fine di utilizzare i dati di conduttività, temperatura e profondità della colonna come input per la fase di modellizzazione della trasmissione del rumore.

Le caratteristiche del terminale FSRU Toscana e delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo sono presentate nella Tabella seguente.

Tabella 3.2: Navi coinvolte nelle Operazioni di Allibo

Nave	Tipo	MMSI	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	Stazza lorda (tonnellate)	Motore	Elica
FSRU Toscana	Rigassificatore	247323700	306.47	48	12	117916	Non presente	Non presente
Flex Endeavour	Metaniera	215386000	294.9	46	10.2	113049	2 MAN B&W 5G70ME-C9.5-GI. MCR 11.975 kW @68.1 RPM and NCR 10.775kW at 65.7 RPM	2 eliche a passo fisso
Corrado Neri	Rimorchiatore	247267800	35	14	6.5	733	2 MAN 9L27/38, MCR 6120 kW @ 800 rpm each; total 8.300 Hp	2 SCHOTTEL SRP 3030CP
Costante Neri	Rimorchiatore	247277300	35	14	6.5	733	2 MAN 9L27/38, MCR 6120 kW @ 800 rpm each; total 8.300 Hp	2 SCHOTTEL SRP 3030CP
Gabriella Neri	Rimorchiatore	247384800	25	13	6.2	330	2 Caterpillar 3516 C TA HD/D 2525 KW @ 1800 rpm	2 Rolls Royce typ0 US 255 / 3930 FP
LNG Express (Hamatra I)*	Crew boat	247296700	25.5	6.18	1.7	58	Caterpillar C32 TTA - 2200 bhp @1900-2100 rpm	2 eliche a passo fisso
LNG Guardian**	Rimorchiatore	247316200	45	12.5	5.2	927	2xMaK 6M 25C 2000 kW @750rpm	2 eliche a passo variabile

*LNG Express è stato presente durante alcuni momenti del monitoraggio per trasferimenti di personale da/per il terminale FSRU Toscana; esso non è però coinvolto direttamente nelle operazioni di allibo e non è stato considerato nella modellizzazione.

**LNG Guardian è sempre presente nell'area di studio e non è direttamente coinvolto nelle operazioni di allibo; bensì, esso naviga intorno al terminale FSRU Toscana per garantire la security (come descritto dal ordinanza 6/2014 della Capitaneria di Porto) del Terminale ed intervenire in caso navi o imbarcazioni non autorizzate entrino nell'area di interdizione alla navigazione (ordinanza 137/2013 della Capitaneria di Porto).

La caratterizzazione acustica per ciascun mezzo navale coinvolto nelle operazioni di allibo e la determinazione dei livelli di sorgente, sono state condotte facendo effettuare a ciascun mezzo (ad eccezione di FSRU e metaniera) un passaggio dedicato in prossimità di uno dei sistemi autonomi di registrazione.

3.2 ATTIVITÀ DI ANALISI DEI DATI

L'obiettivo dell'analisi dei dati è stato di stimare i livelli di rumore alla sorgente e i potenziali impatti del rumore sottomarino generato da un allibo 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 (PAMlab; JASCO);
- ✓ calcolo del livello di pressione di picco (PK) e del livello di pressione sonora (Lp) per ogni minuto di dati;
- ✓ stima dei livelli sonori comparati con la distanza dalla sorgente;
- ✓ stima dei livelli di sorgente di navi individuali mediante effettuazione di passaggi dedicati sopra la stazione di monitoraggio a Sud del Terminale, effettuando la retro-propagazione dai livelli ricevuti con il metodo SL.SCA dell'angolo critico del fondale marino (Ainslie et al. 2022)⁵, che include fattori di correzione dipendenti dalla gamma e dalla frequenza sia per l'interazione del fondale marino che per l'assorbimento acustico;
- ✓ stima dei livelli di sorgente delle fasi di allibo effettuando la retro-propagazione dai livelli ricevuti con il metodo MONM-Bellhop. Il modello SL.SCA non è stato applicato per ottenere i livelli di sorgente delle diverse

⁵ Ainslie, M.A., S.B. Martin, K.B. Trounce, 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>.

operazioni di allibo principalmente per il fatto che gli strumenti sono stati posti a 1km dal FSRU e quindi al di fuori del raggio dell'angolo critico ideale. Le attività di allibo sono state dunque considerate stazionarie in quanto le navi coinvolte (rimorchiatori) sono rimaste entro poche decine di metri dalla posizione del terminale FSRU Toscana, e la retro-propagazione è stata effettuata usando il modello teorico MONM-Bellhop;

- ✓ determinazione delle tracce delle imbarcazioni presenti entro un'area di 5 miglia nautiche intorno al Terminale, mediante visualizzazione dei dati AIS, per documentare la presenza di altre imbarcazioni in transito attorno alla zona di studio. Per quanto possibile, i periodi in cui fu rilevata la presenza di imbarcazioni non collegate alle operazioni di allibo sono stati esclusi dall'analisi;
- ✓ modellizzazione della trasmissione del rumore per stimare le aree di potenziale impatto sui mammiferi marini mediante l'impiego del modello combinato MONM (software proprietario JASCO), adatto alle basse frequenze e Bellhop per alte frequenze.

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

Le distanze corrispondenti ai livelli indicati in letteratura per il criterio di disturbo comportamentale sono state calcolate secondo (Borsani and Farchi 2011⁶, ACCOBAMS, 2013⁷, ACCOBAMS, 2020⁸) considerando:

- ✓ una soglia di riferimento corrispondente a un livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, SPL o Lp) di 120 dB re 1 μ Pa non ponderato, identica per tutti i gruppi uditivi dei mammiferi marini (ACCOBAMS, 2013, ACCOBAMS, 2020);
- ✓ le linee guida di Borsani e Farchi (2011) e Gomez et al. (2016)⁹ che identificano soglie comportamentali variabili a seconda dei gruppi uditivi come segue:
 - Cetacei di bassa frequenza: Lp 100–110 dB re 1 μ Pa non ponderato,
 - Cetacei di media frequenza (corrispondente ai cetacei ad alta frequenza in Southall et al. (2019)): Lp 110–120 dB re 1 μ Pa non ponderato,
 - Cetacei di alta frequenza (corrispondente ai cetacei frequenza molto alta in Southall et al. (2019)): Lp 140–150 dB re 1 μ Pa non ponderato.

Inoltre, sono state calcolate le distanze corrispondenti ai livelli indicati in letteratura per 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)¹⁰, che rappresentano le linee guida più recenti e complete per valutare l'impatto del rumore antropogenico sui mammiferi marini (Tabella seguente)¹¹.

⁶ 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.

⁷ 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.

⁸ 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.

⁹ 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.

¹⁰ 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>.

¹¹ Le soglie della Tabella sono espresse 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 3.3: Valori di Soglia per TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo.
Tabella adattata da Southall et al. (2019)

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

4 SINTESI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

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

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

- ✓ i valori pressione sonora (L_p) mediani su banda larga (10Hz-20kHz) sono risultati compresi tra i 135-150 dB re $1\mu\text{Pa}$ per il punto di misura a Sud, fra i 132-150 dB re $1\mu\text{Pa}$ a Nord e fra i 132-146 dB re $1\mu\text{Pa}$ ad Ovest del Terminale. La variabilità può essere riferibile ai movimenti delle navi di supporto durante l'allibo e dalla presenza dell'LNG Guardian che si è mantenuto in posizione Sud e Sud-Est per tutta la durata dell'allibo;
- ✓ i valori di L_p registrati nel punto di misura posto a Sud sono risultati più elevati rispetto agli altri punti e hanno mostrato una maggiore variabilità con picchi di breve durata a causa del passaggio presso il registratore delle imbarcazioni associate con le attività del Terminale, che si avvicinano in genere da Est o da Sud-Est provenendo dal porto di Livorno;
- ✓ in generale, per l'intera durata delle operazioni di allibo, valori L_p più alti sono stati rilevati soprattutto all'inizio (fasi di Avvicinamento, Manovra e Affiancamento) e durante l'allontanamento della metaniera, connessi quindi con il movimento dei mezzi navali coinvolti (rimorchiatori in fase di maggior utilizzo e direttamente coinvolti nelle fasi di allibo); durante la fase di "Dis Scarica", analogamente, si notano innalzamenti nel L_p dovuti al passaggio delle imbarcazioni in prossimità dei punti di misura.

La stima dei livelli di sorgente (che rappresenta il rumore stimato alla sorgente, pertanto nel punto di ancoraggio del Terminale per l'allibo e nell'area di stazionamento del Guardian per lo stesso mezzo) ha quindi permesso di evidenziare che:

- ✓ i livelli di sorgente (SL) più elevati sono stati stimati per le fasi delle operazioni di allibo che coinvolgono tre rimorchiatori, ovvero Avvicinamento, Manovra e Affiancamento della metaniera (massimo di 191.7 dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$);
- ✓ i minori livelli di sorgente SL sono stati stimati in fase di scarica e in fase di preparazione al disormeggio (minimo di 170 dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$);
- ✓ il passaggio di ognuna delle navi in prossimità di un ricevitore ha mostrato il caratteristico spettrogramma dello specchio di Lloyd generato durante l'avvicinamento, il passaggio sopra lo strumento e l'allontanamento della sorgente ed ha permesso di caratterizzare acusticamente il rimorchiatore Corrado Neri (identico al Costante Neri), il crew boat LNG Express, e la nave guardian LNG Guardian;
- ✓ gli SL stimati per i mezzi navali presentano le stesse caratteristiche (forma dello spettro) di quelli riportati per imbarcazioni della stessa categoria in MacGillivray and de Jong (2021)¹².

L'esame dei risultati dello studio permette di formulare le seguenti considerazioni:

- ✓ 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 qui si ha una diminuzione rapida dal suono. Inoltre, l'isola di Gorgona, a sud-ovest del Terminale FSRU Toscana, costituisce una barriera naturale. In questa direzione, i raggi delle soglie di impatto sono particolarmente estesi rispetto alle altre tre direzioni cardinali seguendo l'andamento della batimetria;
- ✓ Il monitoraggio a lunga durata in punti fissi ed il confronto fra le diverse direzioni cardinali hanno mostrato che variazioni dei livelli L_p possono avvenire in un breve periodo di tempo, data la dinamicità di alcune operazioni che coinvolgono i rimorchiatori, come ad esempio durante la fase di Manovra;
- ✓ L'attività che presenta le maggiori distanze d'impatto comportamentale appare essere la Manovra, seguita dall'Affiancamento. Questo non sorprende, dato che queste operazioni presentano livelli di sorgente più elevati a causa della presenza di tre rimorchiatori a supporto della metaniera.

Per quanto riguarda il potenziale impatto del rumore sui mammiferi marini, lo studio si è basato sui livelli indicati in letteratura per le soglie di insorgenza delle prime risposte comportamentali e per il disturbo temporaneo/permanente della sensibilità uditiva. Di seguito vengono riportate le principali considerazioni a proposito delle possibili tipologie di disturbo ai mammiferi marini.

¹² MacGillivray, A.O. and C.A.F. de Jong. 2021. A Reference Spectrum Model for Estimating Source Levels of Marine Shipping Based on Automated Identification System Data. Journal of Marine Science and Engineering 9(4). <https://doi.org/10.3390/jmse9040369>.

Disturbi comportamentali:

Le distanze corrispondenti ai valori di soglia comportamentale $R_{95\%}$ sono comprese fra i 3.1 km e 11 km per L_p di 120 dB re 1 μ Pa, soglia di eccedenza per tutti i gruppi uditivi secondo ACCOBAMS (2013). Per L_p di 110 dB re 1 μ Pa, limite inferiore della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza (delfinidi) secondo Borsani and Farchi (2011), le distanze $R_{95\%}$ sono comprese tra i 6.9 km e i 56 km. Per il limite inferiore della soglia dei cetacei a bassa frequenza (balenottere) di Borsani and Farchi (2011), pari a 100 dB le distanze sono risultate fra 16 km e circa 110 km e sono influenzate soprattutto dalla sorgente in direzione Ovest (le altre direzioni cardinali presentano distanze decisamente inferiori).

La tabella seguente mostra le distanze (R_{max} e R_{95}) stimate corrispondenti ai diversi livelli di L_p per ciascuna operazione dell'allibo.

Tabella 4.1: Distanze corrispondenti ai valori di soglia comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini

L_p non ponderato (dB re 1 μ Pa)	Avvicinamento		Manovra		Affiancamento		Raffreddamento		Discarica run-up		Discarica		Preparazione al disormeggio	
	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)
170	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	0.04	0.04	-	-
160	0.10	0.09	0.21	0.20	0.19	0.19	0.15	0.15	0.04	0.04	0.11	0.10	0.03	0.03
150	0.41	0.40	0.63	0.60	0.70	0.66	0.64	0.61	0.21	0.20	0.53	0.52	0.09	0.09
140 ^e	1.50	0.86	1.67	1.53	1.70	1.57	1.67	1.54	0.78	0.73	1.58	1.50	0.37	0.36
130	3.53	3.18	5.09	4.20	5.58	4.86	5.16	4.13	2.46	2.29	4.22	3.28	0.88	0.82
120 ^a	8.21	6.98	13.6	11.1	11.9	9.97	11.0	8.87	6.15	5.19	8.99	7.30	3.47	3.15
110 ^b	25.9	18.0	85.3	56.0	75.6	41.5	48.9	30.7	16.4	10.5	40.9	19.2	7.94	6.86
100 ^c	118 ^d	99.0 ^d	131 ^d	110 ^d	130 ^d	108 ^d	128 ^d	106 ^d	101	59.1	123 ^d	98.6 ^d	25.0	16.8

a: valore di soglia per il disturbo comportamentale per tutti i gruppi uditivi esposti a rumore continuo secondo ACCOBAMS (2013).

b: valore di soglia per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).

c: valore di soglia per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (Borsani and Farchi 2011).

d: l'isopleta riportata si estende oltre i limiti di modellazione a ovest. L' R_{max} effettivo potrebbe quindi essere maggiore di quello riportato e l' R_{95} riportato potrebbe non essere rappresentativo.

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

Le attività che coinvolgono l'impiego simultaneo di più mezzi navali (ad esempio, i rimorchiatori) sono quelle che presentano i valori maggiori delle distanze per ogni livello considerato. Questo risultato era prevedibile, dal momento che le operazioni di manovra e affiancamento, che hanno fatto registrare i valori più elevati di L_p , sono quelle alle quali si sono rilevati i livelli di sorgente maggiori e i cui picchi di frequenza interessano soprattutto le basse frequenze (sotto 1 kHz), ovvero quelle che si propagano meglio sulle lunghe distanze. Va comunque precisato che la durata temporale di queste operazioni è notevolmente ridotta nel tempo e rappresenta una minima percentuale del tempo totale delle operazioni di allibo.

Infine si evidenzia che valori compresi tra 100 e 120 dB re 1 μ Pa L_p sono in linea con il rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo e livelli superiori a questi sono stati riscontrati nel periodo di monitoraggio prima e dopo l'allibo e nello studio di Magnier e Gervaise (2020)¹³. La densità di traffico circostante al terminale FSRU Toscana (figura seguente) è paragonabile a quella riportata in questo studio.

¹³ 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>.

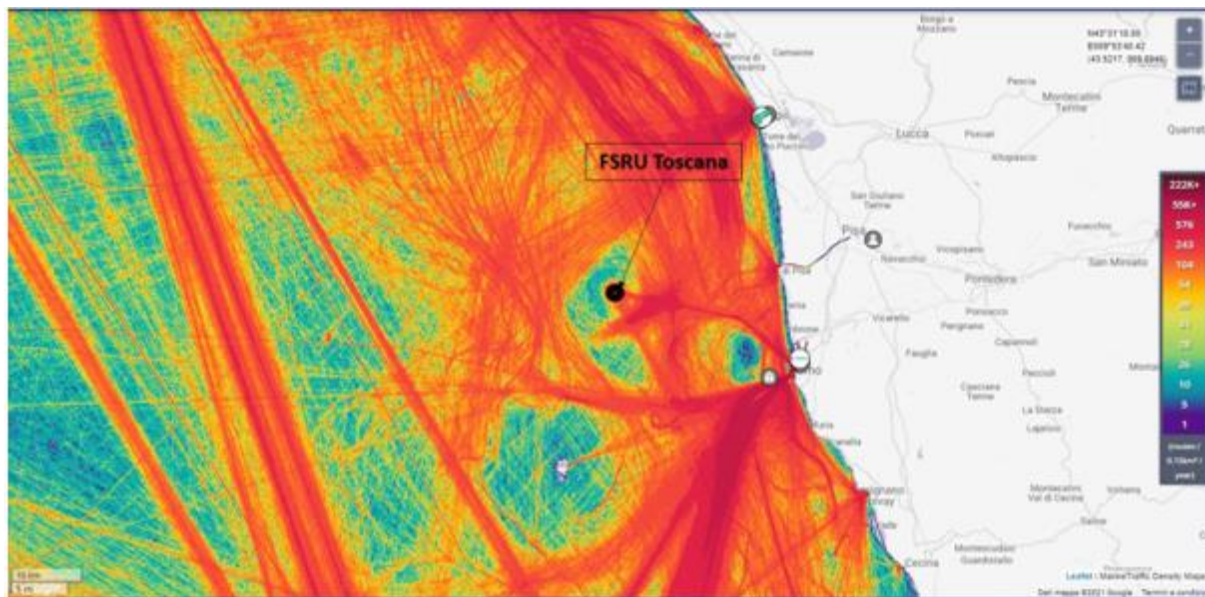


Figura 4.1: Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019 (fonte: marinetraffic.com)

Alterazione temporanea/permanente della sensibilità uditiva:

Le distanze stimate corrispondenti al valore indicato in letteratura per la soglia di TTS per cetacei a bassa frequenza secondo Southall et al. (2019) relativamente al valore $R_{95\%}$, variano da circa 200 metri per “Discarica run up” e “Preparazione al disormeggio” ai circa 3,2 km per “Discarica”. La variabilità è dovuta alla durata nel tempo delle operazioni, con la fase di discarica che risulta essere quella con la maggior estensione temporale. I valori di $R_{95\%}$ di TTS per cetacei ad alta frequenza secondo Southall et al. (2019) risultano al di sotto delle soglie riportate in letteratura per 3 fasi dell’allibo (“Avvicinamento”, “Discarica run up” e “Preparazione al disormeggio”) mentre per le altre fasi si assiste ad una variazione da pochi metri a distanze di poco superiori ai 300 metri, coincidenti all’incirca alla lunghezza del Terminale.

Per quanto concerne le soglie di riferimento di PTS riportati in letteratura per i cetacei a bassa frequenza¹⁴ secondo Southall et al. (2019), sono risultate distanze $R_{95\%}$ stimate prossime ai 400 metri (ovvero paragonabili alla lunghezza del Terminale) per la fase di “Discarica”, mentre per le altre fasi dell’allibo sono risultate distanze nulle (ovvero tale valore non viene mai raggiunto) o dell’ordine di poche decine di metri. Per le soglie PTS per cetacei ad alta frequenza secondo Southall et al. (2019) tale valore non è risultato raggiunto in alcuna fase dell’allibo ad eccezione della “Discarica” dove si ha una distanza stimata pari a poche decine di metri.

Inoltre, nella stima delle distanze per le soglie per PTS e TTS, bisogna considerare che nella modellizzazione il ricevitore, cioè l’animale potenzialmente esposto alla sorgente del rumore, è considerato statico. Questo scenario non è realistico se rapportato ad un qualsiasi cetaceo in natura, per cui i valori stimati devono esser considerati ampiamente conservativi.

La tabella seguente mostra le distanze stimate corrispondenti ai valori di soglia TTS e PTS sulla base delle risultanze della modellizzazione.

¹⁴ Secondo la classificazione proposta da Southall et al., 2019, per quel che riguarda le specie di possibile interesse nell’area di studio, appartiene alla categoria LF (*Low-frequency cetaceans*) la sola specie balenottera comune (*Balaenoptera physalus*), mentre appartengono alla categoria HF (*High-frequency cetaceans*) le specie di delfinidi, tra le quali tursiope (*Tursiops truncatus*) e stenella striata (*Stenella coeruleoalba*) risultano quelle maggiormente probabili. Non sono presenti specie appartenenti alla categoria VHF (*Very high-frequency cetaceans*) che non è dunque stata considerata nel presente studio.

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

SEL ponderato (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$)		Avvicinamento		Manovra		Affiancamento		Raffreddamento		Discarica run-up		Discarica durata = 24h		Preparazione al Disormeggio	
		R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)
LF cetaceans	PTS 199	0.04	0.04	0.08	0.08	0.11	0.10	0.15	0.15	-	-	0.43	0.42	-	-
	TTS 179	0.58	0.55	0.85	0.79	1.58	1.50	1.70	1.57	0.19	0.18	3.62	3.22	0.22	0.21
HF Cetaceans	PTS 198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.03	-	-
	TTS 178	-	-	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	0.36	0.35	-	-

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In conclusione, sulla base delle analisi dei dati del monitoraggio dell'allibo, si può ritenere che il rumore immesso nell'ambiente nei pressi del Terminale, già a distanze nell'ordine della decina di km dallo stesso, non sia tale da alterare in maniera significativa l'ambiente acustico presente dato che i livelli di rumore ricevuti saranno paragonabili a quelli di un contesto caratterizzato da elevato traffico marittimo, quale quello in cui è ubicato il Terminale.

Infatti, nonostante l'eccedenza delle soglie comportamentali per i mammiferi marini appartenenti ai gruppi uditivi dei cetacei a bassa frequenza e ad alta frequenza (secondo Southall (2019), corrispondenti a bassa frequenza e media frequenza di Borsani 2011) sia prognosticata sino a decine di chilometri dalla sorgente, si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1 μ Pa Lp sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo, come si evince dalle mappe che mostrano i livelli di eccedenza rispetto al rumore di fondo, come ad esempio quelle riportate in figura seguente, relative alla fase di "Discarica".

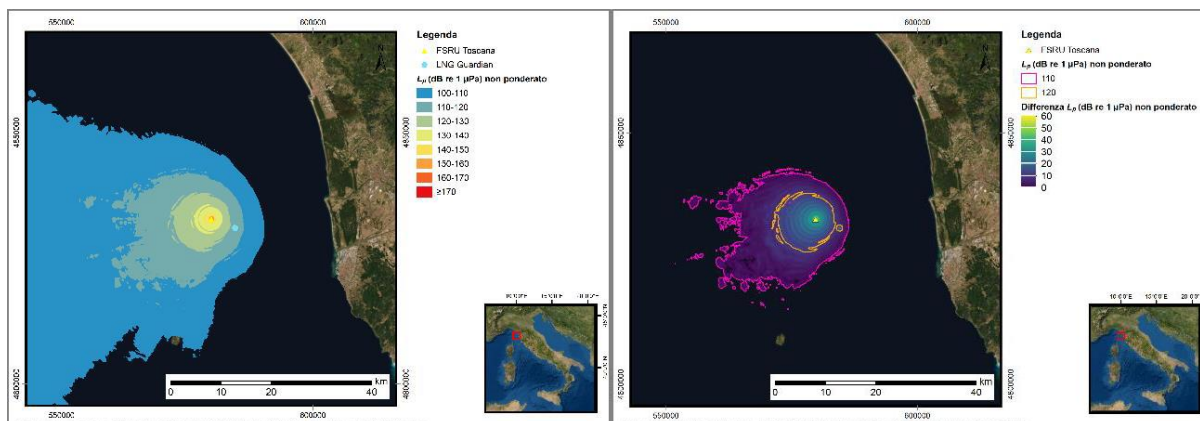


Figura 5.1: Discarica: mappa che mostra la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra)

Si può inoltre osservare che i livelli a banda larga di Lp già raggiungono i 120 dB re 1 μ Pa nelle fasi pre- e post-allibo dimostrando che l'area, sebbene influenzata dalla presenza del terminale standalone, presenta un rumore di fondo pari a questi livelli. Ciò è confermato dallo studio condotto da (Magnier and Gervaise 2020) che hanno misurato nel mare a Nord/Nord-Est della Corsica Lp di circa 110 dB re 1 μ Pa nella banda 100Hz-30kHz nel mese di luglio. È plausibile considerare che il livello a banda larga del rumore di fondo possa essere anche superiore se si considerassero le frequenze al di sotto dei 100Hz che sono prominenti nel rumore delle navi.

Inoltre, è importante osservare come il suono si propaghi nella colonna d'acqua sulle lunghe distanze, come mostrato nell'esempio della figura seguente relativo alla fase di "Discarica".

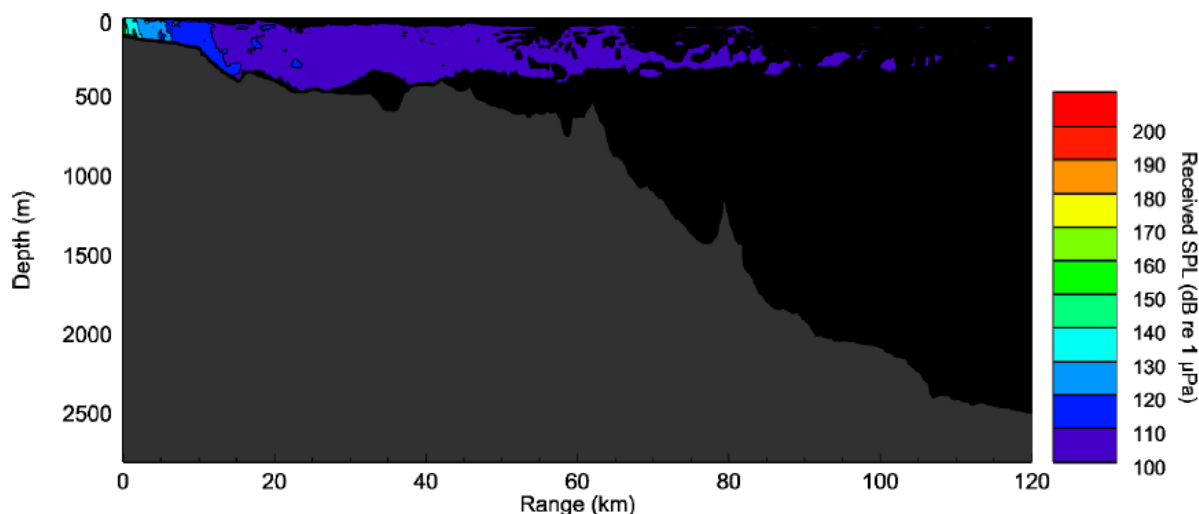


Figura 5.2: Discarica: sezione trasversale che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini

La figura mostra che le soglie vengono eccedute soltanto nella parte superiore della colonna d'acqua. Dato che i mammiferi marini utilizzano il loro ambiente in tre dimensioni, essi saranno esposti a tali livelli sonori alle distanze limite indicate solo se a determinate profondità.

Le eccedenze delle soglie di danno permanente e temporaneo (PTS e TTS) sono riconducibili alla durata delle operazioni e al fatto che il modello considera un ricevitore statico per la durata dell'esposizione. Per i cetacei ad alta frequenza (secondo Southall 2019 corrispondenti a media frequenza secondo Borsani 2011), che sono i più comuni nell'area, i raggi di impatto sono estremamente limitati sia per la soglia PTS, che è ecceduta solo durante la fase di discarica entro 40 m dal punto di ancoraggio, sia per la soglia TTS, che è sorpassata entro 420 metri dal Terminale (pertanto in zona limitrofa al Terminale che è lungo 300 m). Raggi di impatto leggermente più estesi (PTS entro i 400 m e TTS entro circa 4 km) sono stati riscontrati per i cetacei a bassa frequenza che sono poco comuni e generalmente solo di passaggio nell'area; quindi, non è plausibile che essi risiedano per 24 h all'interno dell'area di impatto.

Si evidenzia, inoltre, che OLT ha predisposto già da Luglio 2021 un protocollo di avvistamento dei cetacei intorno al Terminale effettuato dalla nave guardiana e finalizzato a monitorare l'eventuale presenza di cetacei nell'area del Terminale, in particolare preventivamente ad ogni allibo di navi metaniere. In caso di avvistamenti dei cetacei, l'equipaggio dell'LNG Guardian effettuerà la compilazione della scheda cetacei dell'Istituto idrografico della Marina, comunicando allo stesso Istituto l'eventuale avvistamento e coordinandosi, attraverso il Terminale, con le navi in arrivo e partenza dal Terminale stesso. Si evidenzia che le operazioni di allibo potranno eventualmente essere posticipate di qualche minuto in attesa che gli animali si allontanino dalla zona del Terminale, ma non potranno essere interrotte una volta iniziata la manovra, in quanto questo comporterebbe problematiche di sicurezza, oltre ad un possibile aumento del rumore.

FFO02/ANGIO/MACOM:eba04

Allegato A
Rapporto Tecnico “Monitoraggio del
Rumore Subacqueo. Operazione di Allibo
del 2022 Presso il Terminale di Gas
Naturale Liquefatto (GNL) FSRU Toscana”

Doc. No. P0029592-1-H2 Rev. 0 - Agosto 2022



Monitoraggio del Rumore Subacqueo

Operazione di Allibo del 2022 presso il Terminale di Gas Naturale Liquefatto (GNL) FSRU Toscana

JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH

4 agosto 2022

Autori

Federica Pace

Sam Welch

Calder Robinson

P0011641-003

Documento 02800

Versione 2.1



JASCO
APPLIED SCIENCES

Suggested citation:

Pace F., Welch S., Robinson, C. 2022. **Monitoraggio del Rumore Subacqueo: Operazione di Allibo del 2022 presso il Terminale di Gas Naturale Liquefatto (GNL) FSRU Toscana.** Documento 02800, Versione 2.1. Relazione tecnica della JASCO Applied Sciences. CONFIDENZIALE

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

Contenuti

Sommario esecutivo	1
1. Introduzione	3
1.1. Criteri per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini	3
1.1.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini	4
1.2. Effetti sul suono della propagazione nell'ambiente marino	6
1.3. Rumore ambientale di fondo	7
1.3.1. Traffico navale	7
2. Metodi	9
2.1. Sorgenti misurate	9
2.2. Acquisizione dei dati acustici	11
2.2.1. Registratori acustici	11
2.2.2. Stazioni di campionamento	12
2.2.3. Profilo della velocità del suono	14
2.2.4. Batimetria	15
2.2.5. Geoacustica	16
2.3. Analisi dei dati automatizzata	16
2.3.1. Livelli sonori complessivi	16
2.3.2. Livelli sonori provenienti da navi individuali	17
2.4. Modellizzazione	17
2.4.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione	17
2.4.2. Stima dell'impatto sui mammiferi marini	20
3. Risultati	21
3.1. Livelli ricevuti	21
3.1.1. Suono di sottofondo	22
3.1.2. Navi individuali	25
3.1.3. Allibo	28
3.2. Livelli di sorgente	34
3.2.1. Navi individuali	34
3.2.2. Allibo	36
3.3. Impatto sui mammiferi marini	40
4. Discussione e conclusioni	46
4.1. Navi individuali	47
4.2. Allibo	47
5. Glossario	49
Letteratura Citata	58
Appendice A. Terminologia	A-1
Appendice B. Propagazione del suono	B-5

Appendice C. Caratteristiche tecniche degli strumentiC-7
Appendice D. Spettrogrammi delle attività di allibo D-10

Figure

Figura 1. Mappa dell'area circostante al terminal FRSU Toscana e batimetria.....	3
Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.	7
Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019.....	8
Figura 4. Registratori acustici AMAR G4 (tubi bianchi) montati su piastra metallica usati per misurare il rumore sottomarino durante l'allibo presso l'FSRU Toscana. L'idrofono è fissato a circa un metro dalla piastra metallica sulla struttura tetraedrale e coperto da un tessuto di lycra gialla.....	12
Figura 5. Immagine del rimorchiatore Corrado Neri da cui è stato effettuato il posizionamento degli idrofoni (©Fratelli Neri).	13
Figura 6. Diagramma delle posizioni degli strumenti rispetto a FSRU Toscana come da piano di monitoraggio proposto e accettato dalle autorità (sinistra) e mappa della area di studio che mostra la posizione di FSRU Toscana, le posizioni di monitoraggio (effettive) e i tracciati delle posizioni delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo.	14
Figura 7. Mappa della area di studio che mostra la posizione di FSRU Toscana, le posizioni di monitoraggio e i tracciati delle posizioni delle navi di passaggio al di fuori dell'area di interdizione alla navigazione stabilito entro 2 miglia dal terminale (come da ordinanza 137/2013 della Capitaneria di Porto).	14
Figura 8. Profilo della velocità del suono utilizzato per la modellizzazione (linea tratteggiata – Mediana estrapolata).	15
Figura 9: Diagramma che mostra la distanza delle navi dal registratore posto a sud del terminale (in alto) e il livello ricevuto (L_p dB re $1\mu\text{Pa}$, in basso) per ogni nave (per il Corrado neri sono stati effettuati 2 passaggi). La linee tratteggiate mostrano il punto di avvicinamento più vicino (CPA) basato sui dati AIS (blu) e basato sull'acustica (rosso).	19
Figura 10. 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}	20
Figura 11. L_p durante la messa in acqua dei tre strumenti a sud, nord e ovest del terminale. Le diverse fasi sono identificate dai colori differenti. NA identifica i dati che sono stati esclusi dall'analisi in quanto rappresentativi del periodo in cui gli strumenti venivano messi o tolti dall'acqua (ascisse ora UTC).	22
Figura 12. L_p per banda di frequenza durante la messa in acqua dei tre strumenti a sud, nord e ovest del terminale. Le diverse bande sono identificate dai colori differenti.	22
Figura 13. L_p 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.....	23
Figura 14. Rotte del terminale FSRU e delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo per il periodo di monitoraggio acustico.	23
Figura 15. Pre-allibo: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud (versione allargata del grafico in Figura 11) e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud.	24
Figura 16. Post-allibo: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud (versione allargata del grafico in Figura 13) e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud.	25

Figura 17. Diagramma di densità spettrale di potenza (Power Spectral Density - PSD) (in basso) e diagramma a scatola e baffi (in alto) dell' L_p per ogni decidecade 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.	25
Figura 18. Corrado Neri: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) del passaggio della nave a una velocità costante di 8.5 nodi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).	26
Figura 19. LNG Guardian: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) del passaggio della nave a una velocità costante di 10.nodi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).	27
Figura 20. LNG Express: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) del passaggio della nave a una velocità costante di 20.2 nodi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).	27
Figura 21. Tracciati delle rotte delle navi coinvolte nell'allibo per il giorno 10 (sinistra) e 11 (destra) di giugno (ora UTC).	29
Figura 22. Allibo giorno 10 giugno: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud. Diverse operazioni sono identificate dalle linee tratteggiate verticali. La lettera a) identifica le operazioni di avvicinamento, manovra e affiancamento, la b) il periodo di raffreddamento e c) la scarica run-up e scarica. Tempi in ora UTC.	30
Figura 23. Allibo giorno 11 giugno: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud. Tempi in ora UTC.	31
Figura 24. Proprietà statistiche (diagrammi scatola e baffi) del livello di pressione sonora (L_p) 60s per ogni fase dell'operazione di allibo.	31
Figura 25. Livello di pressione sonora (L_p) 60s mediano in ogni decidecade per ciascuna fase dell'operazione di allibo e per i periodi prima e dopo l'allibo (rumore di sottofondo).	32
Figura 26. Livelli nelle bande di frequenza (decidecadi) incentrate a 63 Hz e 125 Hz per il livello di suono di sottofondo.	34
Figura 27. Livelli di sorgente per ogni nave e decidecade in funzione della distanza dalla stazione di monitoraggio a sud del terminale. Le linee verticali indicano i limiti dell'angolo critico da 15 (linea di sinistra) a 45 gradi (linea di destra).	35
Figura 28. Livelli di sorgente stimati per le tre navi d'interesse (90° percentile dei livelli di sorgente stimati per ogni secondo del passaggio). La velocità a cui è stato percorso il transetto e il livello a banda larga (10 Hz-20kHz) per ogni nave è indicato nella figura. Per l'LNG Guardian è presentato anche il livello scalato a una velocità di percorrenza minore.	36
Figura 29. Grafico a dispersione della perdita di trasmissione massima sulla colonna d'acqua dalla sorgente al ricevitore (stazione di monitoraggio) a 6.5km per ogni operazione monitorata. Curve di riferimento per la propagazione cilindrica, sferica e intermedia sono anche incluse.	37
Figura 30. Livelli di sorgente (in bande decidecade) per le attività di allibo riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana.	40
Figura 31. Avvicinamento: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).	42
Figura 32. Manovra: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).	42
Figura 33. Affiancamento/Attracco: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).	43
Figura 34. Raffreddamento: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).	43

Figura 35. Discarica run-up: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	43
Figura 36. Discarica: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	44
Figura 37. Preparazione al disormeggio: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).....	44
Figura 38. Manovra: sezione trasversale che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo.....	44
Figura 39. Discarica: sezione trasversale che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini.....	45
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. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l' L_p della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dello spettro di potenza.	A-3
Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).....	A-4
Figura B-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.....	B-5
Figura B-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profonditàExample of a maximum-over-depth SEL per una sorgente non specificata.	B-6
Figura C-1. Vista divisa di un calibratore a pistone GRAS 42AC con un idrofono M15B.	C-9
Figura D-1. Avvicinamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). I.....	D-10
Figura D-2. Manovra: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).	D-10
Figura D-3. Affiancamento-attracco: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-11
Figura D-4. Raffreddamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-11
Figura D-5. Discarica run up: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-12
Figura D-6. Discarica: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). Lo spettrogramma mostra solo 1 ora di attività come esempio illustrativo.	D-12
Figura D-7. Preparazione al disormeggio: Spettrogramma delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). Le diverse operazioni effettuate durante questa fase dell'allibo sono state notate basandosi sul registro di bordo del Flex Endavour.....	D-12
Figura D-8. Disormeggio e allontanamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-13

Figura D-9. Avvicinamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-13
Figura D-10. Manovra: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-14
Figura D-11. Affiancamento-attracco: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-14
Figura D-12. Raffreddamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-15
Figura D-13. Discarica run up: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-15
Figura D-14. Discarica: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-16
Figura D-15. Preparazione al disormeggio: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-16
Figura D-16. Disormeggio e allontanamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-17
Figura D-17. Avvicinamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-17
Figura D-18. Manovra: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-18
Figura D-19. Affiancamento-attracco: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-18
Figura D-20. Raffreddamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-19
Figura D-21. Discarica run up: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-19
Figura D-22.. Discarica: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). Lo spettrogramma mostra solo 1 ora di attività come esempio illustrativo.....	D-20
Figura D-23. Preparazione al disormeggio: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-20
Figura D-24. Disormeggio e allontanamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).....	D-21

Tabelle

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) nell'area di studio	4
Tabella 2. Soglie di insorgenza di TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo: soglie in dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ sott'acqua e dB re (20 μPa) ² s in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). Le soglie per i sirenidi e gli otaridi sono presentate per completezza ma non verranno utilizzate in quanto nel mar Mediterraneo non sono presenti specie appartenenti a questi gruppi. Tabella adattata da Southall et al. (2019).....	5
Tabella 3. Specifiche delle navi misurate oggetto di questo studio.	9
Tabella 4. Fasi di allibo misurate e relativa durata basata sull'ora di inizio e fine del diario di bordo del Flex Endeavour (ora locale, CEST).....	11
Tabella 5. Coordinate di sorgente/i e ricevitore (idrofono) utilizzate per ogni fase dell'operazione di allibo.....	13
Tabella 6. 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.....	16
Tabella 7. L_p mediani nella finestra temporale di 60 secondi per la banda larga (10Hz-20kHz) e per le decadi 63Hz e 125Hz per ogni attività e direzione cardinale.....	33
Tabella 8. L_p mediani nella finestra temporale di 60 secondi per le frequenze nelle bande di ottava incentrate a 63Hz e 125Hz per ogni attività e direzione cardinale.	33
Tabella 9. Livelli di sorgente (SL, in dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$) calcolati in banda larga (10Hz-20kHz) e bande decadi per ogni operazione dell'allibo. Il simbolo “-“ significa che i livelli non sono disponibili in quanto per quella stazione i dati non erano rappresentativi dell'attività in corso.	38
Tabella 10. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i gruppi di mammiferi marini.....	41
Tabella 11. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini.....	42
Tabella A-1. Parametri per le funzioni di ponderazione uditiva raccomandati da NMFS (2018).	A-4

Sommario esecutivo

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata incaricata da RINA Consulting (RINA) di acquisire dati di livelli sonori subacquei durante le operazioni di allibo di una metaniera presso il terminale FSRU Toscana condotte fra il 10 e il 12 Giugno 2022. Durante l'allibo sono state identificate diverse fasi, dall'approccio al terminale di una metaniera con tre rimorchiatori di supporto, alla scarica del gas liquefatto, all'allontanamento finale della metaniera in accordo con il regolamento del Terminale (ordinanza 6/2014 della Capitaneria di Porto).

Lo scopo del lavoro della JASCO è consistito nel registrare dati acustici subacquei durante le operazioni di un allibo di una metaniera nell'area circostante il terminale in modo conforme alle più recenti linee guida e standard ISO, e nello stimare i livelli di sorgente e gli eventuali impatti dell'operazione di allibo sui mammiferi marini.

Per determinare il potenziale disturbo comportamentale e danni uditivi del terminale FSRU Toscana sui mammiferi marini, sono stati utilizzati i più recenti criteri disponibili nella letteratura scientifica (Borsani and Farchi 2011, ACCOBAMS, 2013, Southall et al. 2019, 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).

In accordo con ISPRA ed ARPAT i dati acustici sono stati registrati tramite tre registratori autonomi (JASCO AMAR) posizionati in prossimità del fondale marino a 1km dal terminale FSRU Toscana nelle tre direzioni cardinal Nord, Sud e Ovest. I dati sono stati acquisiti 24 ore su 24 da un giorno prima dell'inizio dell'allibo previsto fino al termine dell'allontanamento della metaniera a conclusione dell'allibo. Le registrazioni sono state analizzate dalla JASCO per ottenere i livelli di pressione sonora (L_p), e il modello di propagazione acustica MONM-Bellhop è stato utilizzato per stimare la perdita di trasmissione (Transmission Loss, TL) dal ricevitore alla sorgente ed ottenere i livelli di sorgente (SL).

Durante l'allibo, i livelli mediani di pressione sonora su banda larga (10hz-20kHz) ricevuti ad una distanza di ~1km dal terminale FSRU Toscana sono risultati essere tra i 135-150 dB re $1\mu\text{Pa}$ a sud, fra i 132-150 dB re $1\mu\text{Pa}$ a nord e fra i 132-146 dB re $1\mu\text{Pa}$ a ovest del terminale. La variabilità può essere spiegata dai movimenti delle imbarcazioni di supporto all'allibo e dalla presenza dell'LNG Guardian (nave guardiana) che si è mantenuto in posizione sud e sud-est per tutta la durata dell'allibo (si evidenzia che l'utilizzo dei rimorchiatori durante l'allibo e la presenza della nave guardiana intorno al Terminale sono prescritti dal Regolamento della Capitaneria di porto – definito dall'ordinanza 6/2014).

Questi livelli, come previsto, sono più elevati rispetto a quelli ricevuti nelle rispettive stazioni nel periodo prima e dopo l'allibo. Nei livelli ricevuti dai fonometri a 1 km di distanza dal terminale non è stato riscontrato un effetto direzionale della propagazione del suono.

I livelli di sorgente più elevati sono stati stimati per le operazioni di allibo che coinvolgono l'utilizzato di tre rimorchiatori (avvicinamento, manovra e affiancamento, massimo di 191.7 dB re $1\mu\text{Pa m}$) e quelli minori per le fasi di scarica e preparazione al disormeggio (minimo di 170 dB re $1\mu\text{Pa m}$).

Dalla modellizzazione è evidente che oltre una decina di chilometri di distanza dal terminale la propagazione avviene in una direzione preferenziale, cioè quella verso ovest, seguendo la batimetria dell'area in acque più profonde.

Eccedenze delle soglie comportamentali per i mammiferi marini appartenenti ai gruppi uditivi dei cetacei a bassa frequenza (secondo Southall 2019 e parimenti Borsani 2011) e ad alta frequenza (secondo Southall 2019, corrispondenti a media frequenza secondo Borsani 2011) si verificano sino a decine di chilometri dalla sorgente; si deve però tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re $1\mu\text{Pa } L_p$ sono comparabili al rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo, e livelli superiori a questi sono stati riscontrati nel periodo di monitoraggio prima e dopo l'allibo e in un rilevante studio di Magnier and Gervaise (2020). Inoltre, le mappe trasversali di propagazione del suono mostrano come sulla lunga distanza il suono rimanga confinato nella regione

superiore della colonna d'acqua mentre la maggior parte del volume insonificato rimane al di sotto delle soglie di eccedenza del disturbo comportamentale.

Le eccedenze delle soglie di danno permanente e temporaneo (PTS e TTS) sono riconducibili alla durata delle operazioni e al fatto che il modello considera un ricevitore statico per la durata dell'esposizione. Per i cetacei ad alta frequenza (secondo Southall 2019, corrispondenti a media frequenza secondo Borsani 2011) che sono comuni nell'area, i raggi di impatto sono estremamente limitati sia per PTS che è ecceduta solo durante la fase di scarica entro 40m dal punto di ancoraggio e la TTS che è sorpassata entro 420 metri al massimo (pertanto in zona limitrofa al terminale considerando che lo stesso è lungo 300m). Raggi di impatto più estesi (PTS entro i 400m e TTS ~4km) sono stati riscontrati per i cetacei a bassa frequenza che però sono poco comuni e generalmente solo di passaggio nell'area, rendendo implausibile che essi stazionino per 24 h all'interno dell'area di impatto.

1. Introduzione

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata incaricata da RINA Consulting (RINA) di acquisire dati di rumore subacqueo durante le operazioni di allibo di una metaniera¹ presso il terminale FSRU Toscana condotte fra il 10 e il 12 Giugno 2022.

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).

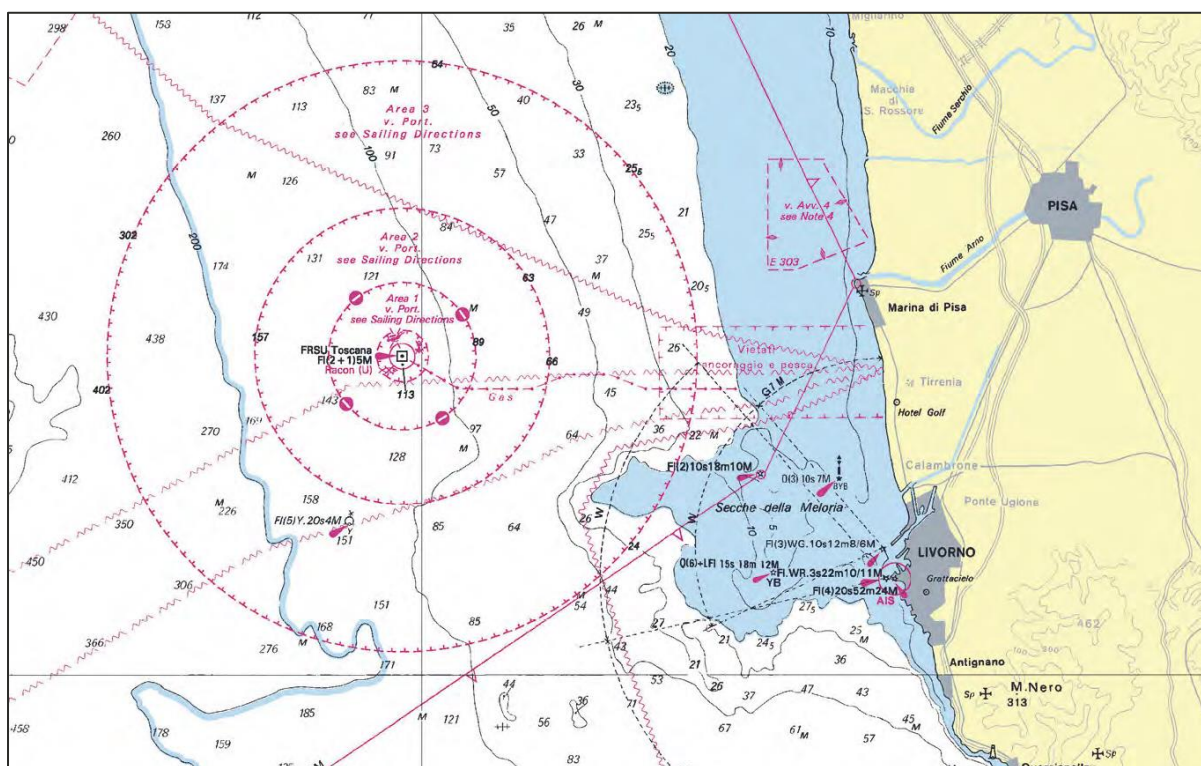


Figura 1. Mappa dell’area circostante al terminal FSRU Toscana e batimetria.

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, una zona marina 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).

¹ La metaniera Flex Endeavour rappresenta la tipologia di nave che scarica al Terminale (navi metaniere comprese tra 65000mcl e 180000mcl). Pertanto, la misura del rumore effettuata soddisfa del tutto quanto richiesto dal Provvedimento n 188 del 25 giugno 2020).

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, accoppiarsi 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, ACCOBAMS, 2020) usando:

1. Una soglia di riferimento corrispondente a un livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, SPL o L_p) di 120 dB re 1 μ Pa non ponderato, identica per tutti i gruppi uditivi dei mammiferi marini (ACCOBAMS, 2013, ACCOBAMS, 2020);

2. Le linee guida di Borsani and Farchi (2011) e Gomez et al. (2016) che identificano soglie comportamentali variabili a seconda dei gruppi uditivi come segue:
 - a. Cetacei di bassa frequenza: L_p 100–110 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - b. Cetacei di media frequenza (corrispondente ai cetacei ad alta frequenza in Southall et al. (2019)): L_p 110–120 dB re 1 μ Pa non ponderato
 - c. Cetacei di alta frequenza (corrispondente ai cetacei frequenza molto alta in Southall et al. (2019)): L_p 140–150 dB re 1 μ Pa non ponderato.

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

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

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

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

Per calcolare le distanze corrispondenti alle soglie di insorgenza di PTS e TTS, i livelli vanno filtrati (ponderati) in base alle diverse sensibilità uditive spettrali dei mammiferi marini presenti nel Mediterraneo. I livelli di esposizione al suono, o Sound Exposure Level (SEL), sono calcolati seguendo la metodologia descritta in Southall et al. (2019), che involve accumulare per una durata di 24 ore l'esposizione sonora dovuta alla sorgente acustica considerata. I livelli calcolati in bande spettrali vanno poi ponderati in frequenza per ciascun gruppo uditivo dei mammiferi marini presenti, come descritto nell'Appendice A. I valori di SEL prendono in considerazione le durate tipiche delle operazioni nel corso di un giorno. Per esempio, se le operazioni di allibo durano 2 ore nell'arco di 24, il livello di esposizione al suono dell'attività accumulato in 24 ore sarà calcolato in base a una somma di 2 ore, le 22 ore rimanenti contribuendo soltanto un profilo di rumore ambientale.

1.2. Effetti sul suono della propagazione 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 3), poiché la rifrazione del suono svolge solo un ruolo minore in acque poco profonde.

Ad un estremo, i clic di ecolocalizzazione 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 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).

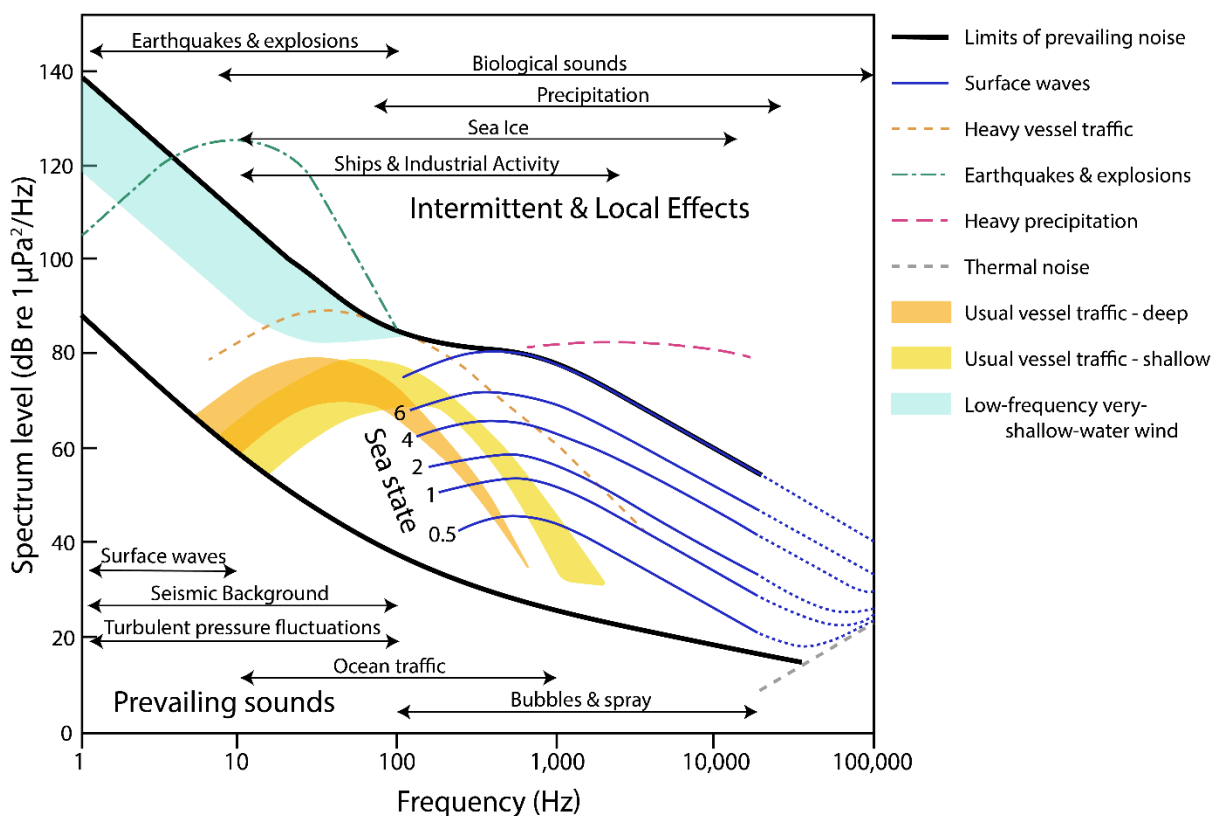


Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.

1.3.1. Traffico navale

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). Il traffico navale osservato nei giorni di monitoraggio in base ai dati AIS è presentato nella sezione 2 (mentre di seguito è riportato il traffico annuale dell'area).

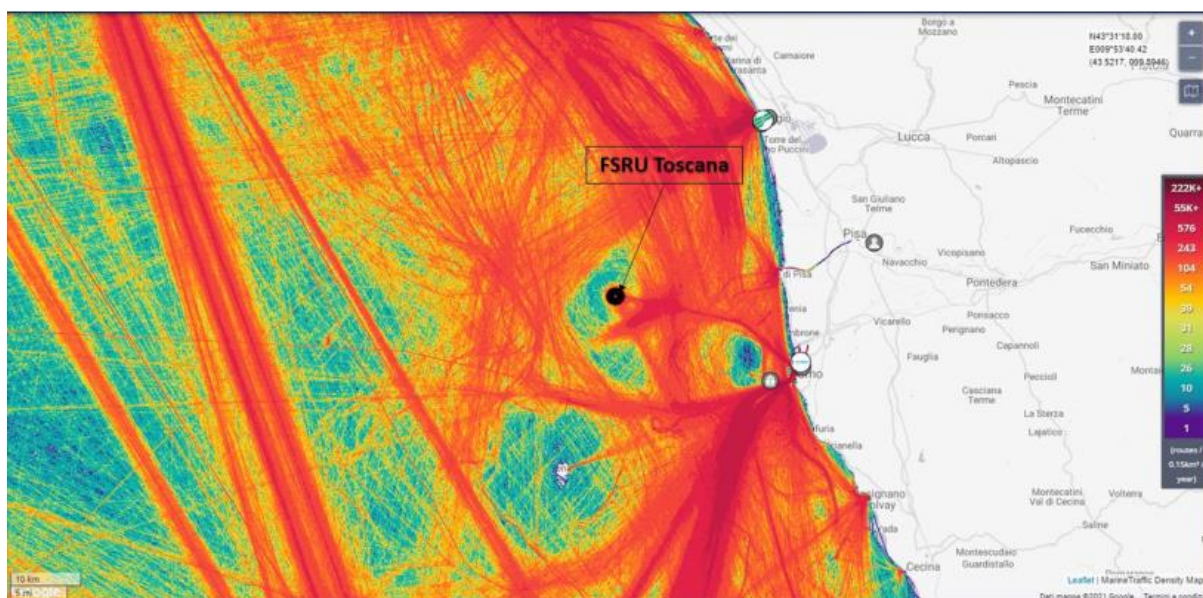


Figura 3. Traffico navale nel Mar Ligure e Tirreno settentrionale durante il 2019 (sorgente: marinetraffic.com).

2. Metodi

2.1. Sorgenti misurate

Le caratteristiche del terminale FSRU Toscana e delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo sono presentate nella Tabella 3.

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

Nave	Tipo	MMSI	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Pescaggio (m)	Stazza lorda (tonnellate)	Motore	Elica
FSRU Toscana	Rigassificatore	247323700	306.47	48	12	117916	Non presente	Non presente
Flex Endeavour	Metaniera	215386000	294.9	46	10.2	113049	2 MAN B&W 5G70ME-C9.5-GI. MCR 11.975 kW @68.1 RPM and NCR 10.775kW at 65.7 RPM	2 eliche a passo fisso
Corrado Neri	Rimorchiatore	247267800	35	14	6.5	733	2 MAN 9L27/38, MCR 6120 kW @ 800 rpm each; total 8.300 Hp	2 SCHOTTEL SRP 3030CP
Costante Neri	Rimorchiatore	247277300	35	14	6.5	733	2 MAN 9L27/38, MCR 6120 kW @ 800 rpm each; total 8.300 Hp	2 SCHOTTEL SRP 3030CP
Gabriella Neri	Rimorchiatore	247384800	25	13	6.2	330	2 Caterpillar 3516 C TA HD/D 2525 KW @ 1800 rpm	2 Rolls Royce typology US 255 / 3930 FP
LNG Express (Hamatra I)*	Crew boat	247296700	25.5	6.18	1.7	58	Caterpillar C32 TTA - 2200 bhp @1900-2100 rpm	2 eliche a passo fisso
LNG Guardian**	Rimorchiatore	247316200	45	12.5	5.2	927	2xMaK 6M 25C 2000 kW @750rpm	2 eliche a passo variabile

*LNG Express è stato presente durante alcuni momenti del monitoraggio per trasferimenti di personale da/per il terminale FSRU Toscana; esso non è però coinvolto direttamente nelle operazioni di allibo e non è stato considerato nella modellizzazione.

**LNG Guardian è sempre presente nell'area di studio e non è direttamente coinvolto nelle operazioni di allibo; bensì, esso naviga intorno al terminale FSRU Toscana per garantire la security (come descritto dall'ordinanza 6/2014 della Capitaneria di porto) del Terminale ed intervenire in caso navi o imbarcazioni non autorizzate entrino nell'area di interdizione alla navigazione (ordinanza 137/2013 della Capitaneria di porto).

I livelli di emissioni sonore subacquee sono stati misurati durante le seguenti attività, presentate nell'ordine durante le quali vengono normalmente svolte²:

- **Avvicinamento** della metaniera Flex Endeavour al terminale FSRU Toscana. Durante questa fase, quando la metaniera raggiunge una distanza di due miglia nautiche (nm) dal Terminale viene agganciata e rimorchiata da due rimorchiatori. Un terzo rimorchiatore è presente per assistere alla manovra. La velocità di avvicinamento è proporzionale alla distanza, calando da 9 nodi a 9 km di distanza fino a 1 nodo a 1 km di distanza dal Terminale;
- **Manovra**: la metaniera ed il Terminale ormai affiancati iniziano le operazioni di ormeggio con i tre rimorchiatori in funzione; durante questa fase, il terzo rimorchiatore si posiziona a metà della metaniera e, se necessario, spinge la metaniera in posizione affianco al terminale. Questa fase si conclude con la prima linea di ormeggio;
- **Affiancamento o Attracco**: affiancamento della metaniera a FSRU Toscana: durante questa fase avvengono le operazioni di ormeggio e si conclude con la dichiarazione di "All fast";
- **Raffreddamento**: fase di verifica di sicurezza e delle connessioni dei bracci di carico e di raffreddamento degli stessi, nonché delle tubazioni adiacenti;
- **Discarica run up**: fase iniziale della scarica del GNL dalla metaniera al Terminale;
- **Discarica**: fase di trasferimento del carico;
- **Preparazione al disormeggio**: questa fase inizia con l'arresto del trasferimento del carico seguito dalle operazioni di drenaggio e spurgo dei bracci di carico, concludendosi con la disconnessione degli stessi;
- **Disormeggio e allontanamento** col supporto di due rimorchiatori, inizialmente ad una velocità bassa di due nodi fino a raggiungere i 6 nodi a circa 2 nm dal Terminale.

La durata di ogni attività è presentata nella Tabella 4. Le durate delle attività individuali qui riportate sono state utilizzate per calcolare le zone di impatto del rumore sui mammiferi marini per i livelli ponderati (SEL ponderato). Si evidenzia che la durata delle operazioni misurate sono rappresentative per le tipologie di navi metaniere che scaricano al Terminale.

² Si evidenzia che le modalità di allibo di una metaniera sono sempre le stesse ivi include le tempistiche; l'unica operazione che potrebbe prevedere tempistiche diverse è la fase di scarica, che varia in durata al variare della quantità scaricata: la metaniera in oggetto al presente documento ha scaricato una quantità pari a 158129 mcl di GNL (una quantità che è in linea con le scariche effettuate al terminale anche se leggermente maggiore della media scaricata dalle metaniere negli anni 2013-2022)

Tabella 4. Fasi di allibo misurate e relativa durata basata sull'ora di inizio e fine del diario di bordo del Flex Endeavour (ora locale, CEST).

Operazione	Inizio (gg/mm/aaaa hh:mm)	Fine (gg/mm/aaaa hh:mm)	Durata (min)	Navi coinvolte
Avvicinamento	6/10/2022 6:05	6/10/2022 6:34	29	FSRU + Flex Endeavour +3 tug (Corrado Neri, Costante Neri, Gabriella Neri) + Guardian
Manovra	6/10/2022 6:35	6/10/2022 7:43	68	FSRU + Flex Endeavour +3 tug (Corrado Neri, Costante Neri, Gabriella Neri) + Guardian
Affiancamento o Attracco	6/10/2022 7:44	6/10/2022 9:12	88	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Raffreddamento	6/10/2022 9:35	6/10/2022 13:05	210	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Discarica run up	6/10/2022 13:06	6/10/2022 13:20	14	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Discarica	6/10/2022 13:21	6/11/2022 22:08	1967	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Preparazione al disormeggio	6/11/2022 22:24	6/11/2022 23:55	91	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian
Disormeggio e allontanamento	6/11/2022 23:56	6/12/2022 1:00	64	FSRU + Flex Endeavour +2 tug (Corrado Neri, Costante Neri) + Guardian

2.2. Acquisizione dei dati acustici

2.2.1. Registratori acustici

Il rumore subacqueo è stato registrato utilizzando tre Autonomous Multi-channel Acoustic Recorders (AMARs, Figura 4) prodotti dalla JASCO, ognuno dotato di un idrofono omnidirezionale M36-V35-900 della GTI con sensibilità nominale di -165 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$. Gli strumenti sono stati programmati per registrare continuamente dal momento di attivazione prima della messa in acqua fino al recupero degli strumenti con una frequenza di 128 kHz per una banda di frequenza utilizzabile da 10 Hz to 64 kHz con guadagno pari a 0. Il canale di registrazione utilizzato aveva una risoluzione di 24-bit. Gli strumenti sono stati montati su piastre metalliche per garantire una posizione statica fissa dal fondale con lo scopo di minimizzare ogni potenziale rumore generato dall'ancoraggio. Una copertura attorno all'idrofono fatta di gomma e lycra acusticamente trasparente è stata utilizzata per minimizzare il rumore di flusso.

La metodologia di campionamento con un singolo idrofono situato a circa un metro di altezza rispetto al fondale marino è stata accordata con gli enti dato che il profilo del suono di giugno è "downward refracting" cioè il suono viene rifratto verso il fondale invece che verso la superficie (come confermato dai profili acquisiti – sezione 2.2.3). La profondità dell'acqua è relativamente bassa (fino a 120m) e pertanto le onde sonore a bassa frequenza, che sono l'oggetto di interesse, non sono particolarmente influenzate dal fenomeno della formazione di zone d'ombra che comporterebbero la necessità di effettuare il campionamento a più di una profondità, sopra e sotto il termoclino. Inoltre, le tecniche di modellizzazione utilizzate in questo studio sono in grado di riprodurre fedelmente le variazioni del campo sonoro con la profondità.



Figura 4. Registratori acustici AMAR G4 (tubi bianchi) montati su piastra metallica usati per misurare il rumore sottomarino durante l'allibo presso l'FSRU Toscana. L'idrofono è fissato a circa un metro dalla piastra metallica sulla struttura tetraedrale e coperto da un tessuto di lycra gialla.

2.2.2. Stazioni di campionamento

I tre sistemi di registrazione acustica sono stati messi in acqua dal personale della JASCO a bordo del rimorchiatore Corrado Neri (Figura 5) il giorno 8 giugno 2022. Le coordinate e profondità delle stazioni di campionamento sono presentate nella Tabella 5.

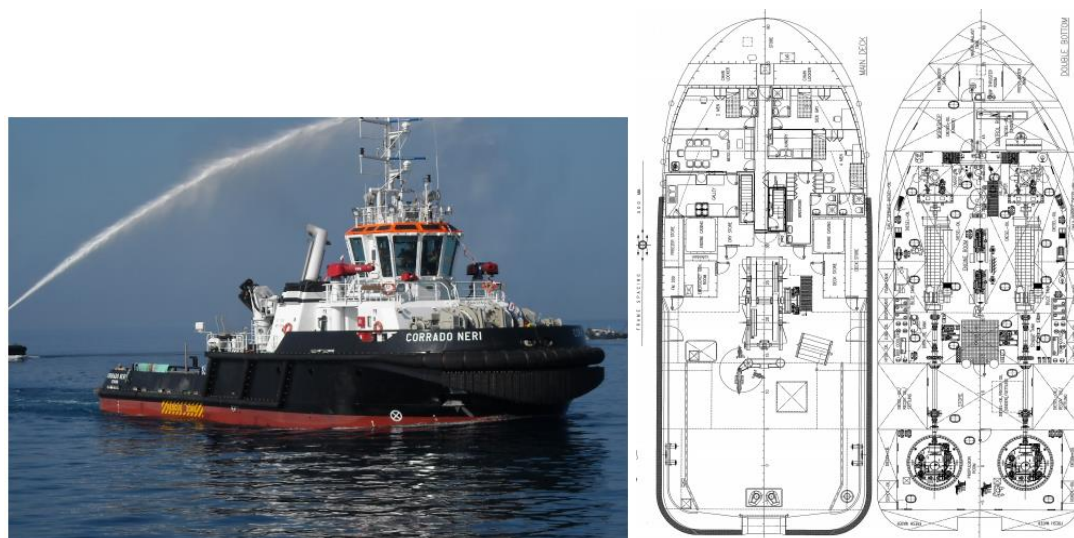


Figura 5. Immagine del rimorchiatore Corrado Neri da cui è stato effettuato il posizionamento degli idrofoni (©Fratelli Neri).

Tabella 5. Coordinate di sorgente/i e ricevitore (idrofono) utilizzate per ogni fase dell'operazione di allibo.

Stazione	AMAR ID	Coordinate idrofono		Profondità del fondale (m)
		Latitudine dd mm.mmm	Longitudine dd mm.mmm	
Nord	624	43° 39.244'	009° 59.224'	111
Ovest	613	43° 38.722'	009° 58.438'	120
Sud	625	43° 38.195'	009° 59.773'	110

La posizione delle stazioni di monitoraggio rispetto al terminale e i tracciati delle navi coinvolte nell'allibo sono presentati nella Figura 6.

I dati AIS per un'area di cinque miglia nautiche in ogni direzione rispetto all'FSRU sono stati acquisiti per ogni giorno in cui è stato effettuato il monitoraggio, per documentare la presenza di altre imbarcazioni in transito attorno alla zona di studio. Per quanto possibile, i periodi in cui fu rilevata la presenza di imbarcazioni non collegate alle operazioni di allibo sono stati esclusi dall'analisi (Figura 7); questo, tuttavia, non elimina il contributo al rumore di fondo dovuto a traffico più distante.

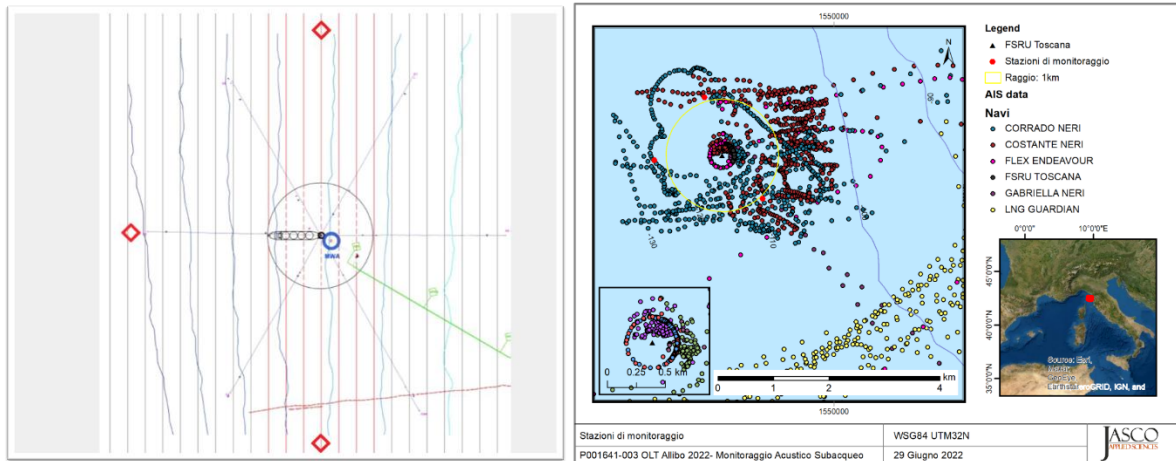


Figura 6. Diagramma delle posizioni degli strumenti rispetto a FSRU Toscana come da piano di monitoraggio proposto e accettato dalle autorità (sinistra) e mappa della area di studio che mostra la posizione di FSRU Toscana, le posizioni di monitoraggio (effettive) e i tracciati delle posizioni delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo.

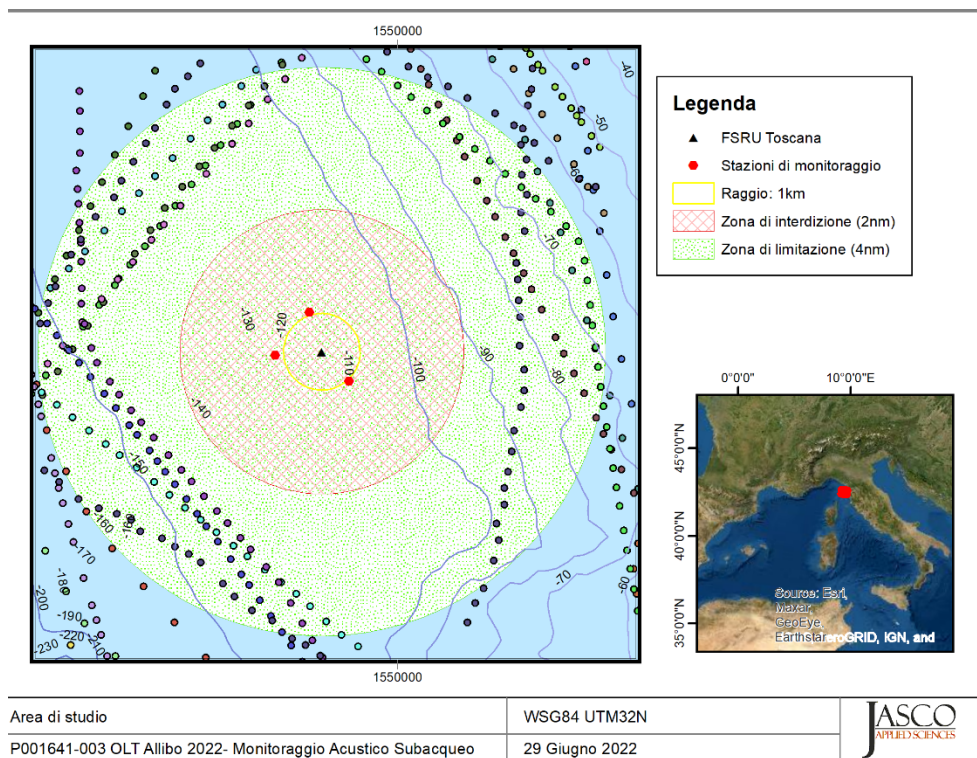


Figura 7. Mappa della area di studio che mostra la posizione di FSRU Toscana, le posizioni di monitoraggio e i tracciati delle posizioni delle navi di passaggio al di fuori dell'area di interdizione alla navigazione stabilito entro 2 miglia dal terminale (come da ordinanza 137/2013 della Capitaneria di Porto).

2.2.3. Profilo della velocità del suono

La conduttività, temperature e profondità della colonna d'acqua sono stati misurati con una sonda CTD Minos. Una misurazione CTD fu condotta per ogni messa in acqua e recupero dello strumento. Questi dati sono stati combinati in un unico profilo e utilizzati come input per il modello.

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 al di sotto di questa profondità i dati sono stati integrati utilizzando i

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

I profili di velocità del suono misurati in loco sono stati interpolati per ricondurli a una serie comune di punti di profondità fino a 55 m, e il valore mediano è stato estratto ad ogni punto di profondità. Un profilo medio mensile composto di velocità del suono è stato quindi derivato dai profili GDEM per settembre a $43,75^\circ$ N, 10° E fino a una profondità di 200 m. Questo è stato combinato con i dati da $43,5^\circ$ N, $9,75^\circ$ E per estendere il profilo a 500 m e con i dati da 43° N, $8,75^\circ$ E per estendere ulteriormente il profilo a 2400 m. Il profilo composto al di sotto di 55 m è stato aggiunto al profilo mediano dei dati registrati, compensato per la differenza tra i due profili a 55 m (Figura 8).

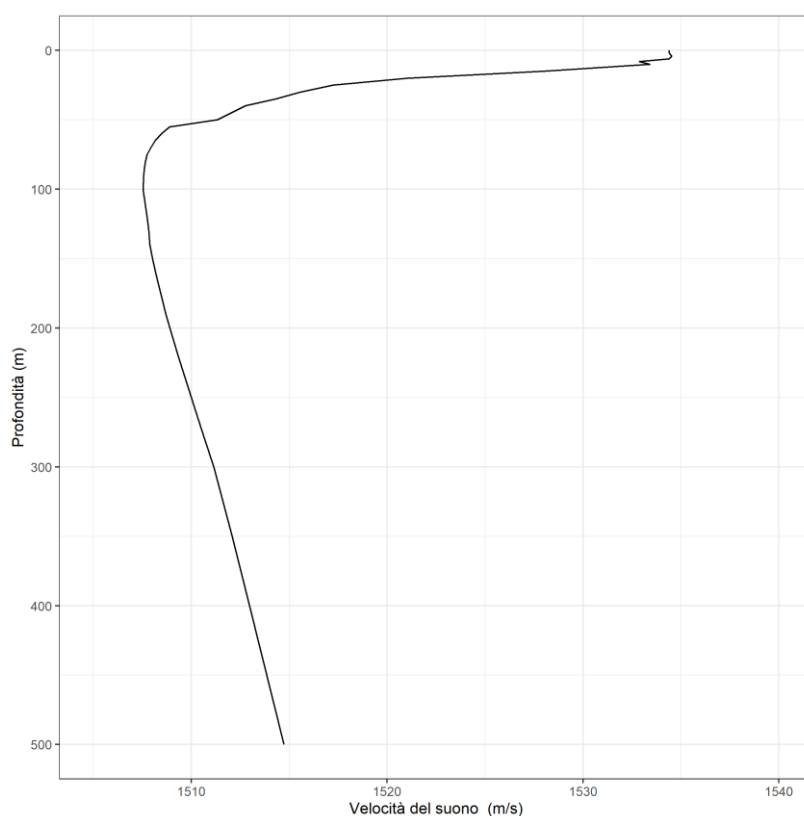


Figura 8. Profilo della velocità del suono utilizzato per la modellizzazione (linea tratteggiata – Mediana estrapolata).

2.2.4. 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 $115 \text{ m} \times 115 \text{ m}$).

I dati di batimetria per un'area di circa $175 \times 200 \text{ km}$ 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 $100 \times 100 \text{ m}$.

2.2.5. Geoacustica

In un ambiente poco profondo le interazioni tra il campo acustico e il fondale marino sono importanti, e profili geoacustici accurati sono necessari per una corretta 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 6. Il modello MONM-BELLHOP utilizzato in questo studio considera solo le proprietà delle onde trasversali dello strato superficiale; questi valori sono quindi considerati costanti nel profilo.

Tabella 6. 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	Argilla limosa	1.53-1.66	1530-1650	0.20-0.55	150.0	3.65
100.0-200.0		1.66-1.78	1650-1760	0.55-1.23		
200.0-300.0		1.78-1.89	1760-1860	1.23-1.01		
300.0-400.0		1.89-1.99	1860-1950	1.01-0.93		
400.0-500.0		1.99-2.08	1950-2030	0.93-0.90		
500.0-600.0		2.08-2.16	2030-2100	0.90-0.87		
600.0-700.0		2.16-2.22	2100-2170	0.87-0.85		
700.0-800.0		2.22-2.27	2170-2230	0.85-0.84		
800.0-900.0		2.27-2.30	2230-2290	0.84-0.83		
900.0-1000.0		2.30-2.32	2290-2350	0.83-0.83		

2.3. Analisi dei dati automatizzata

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

2.3.1. 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 una sovrapposizione del 50% e che

utilizzano la finestra di Hanning per ridurre la dispersione spettrale. I dati medi di 1 minuto sono stati archiviati come densità spettrali di potenza (risoluzione 1 Hz) e sommati in frequenza per calcolare i livelli di banda. I limiti di frequenza e i livelli di banda decedecade qui utilizzati in conformità agli standard sono molto simili a quelli per bande di 1/3 di ottava.

L'appendice A.2 elenca le frequenze in decedecadi.

2.3.2. Livelli sonori provenienti da navi individuali

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

2.4. Modellizzazione

2.4.1. Stima dei livelli di sorgente: retro-propagazione

Dato che il terminale FSRU Toscana non utilizza un sistema propulsivo con associate emissioni acustiche prodotte in predominanza dalle eliche visto che non sono presenti, si può presupporre che il suo rumore si trasmetta principalmente tramite lo scafo. 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.

2.4.1.1. Caratterizzazione delle navi a servizio del terminale

Per la stima dei livelli di sorgente di navi individuali per cui sono stati effettuati passaggi dedicati sopra la stazione di monitoraggio a sud del terminale, la retro-propagazione è stata effettuata con il metodo SL.SCA dell'angolo critico del fondale marino (Ainslie et al. 2022), che include fattori di correzione dipendenti dalla gamma e dalla frequenza sia per l'interazione del fondale marino che per l'assorbimento acustico. Questo metodo, oltre ad essere di più semplice applicazione rispetto a modelli teorici più sofisticati, è risultato essere più accurato per la stima di livelli di sorgente ottenuti da registrazioni effettuate da ricevitori non-stazionari.

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:

$$L_{S(SCA)} = L_{RN} - \Delta L_{SCA} + \Delta L_{\alpha} \quad (1)$$

$$\Delta L_{SCA} = 10 \log_{10} \sigma_1 + \frac{\psi}{rH} \sigma_{\psi} \text{ dB} \quad (2)$$

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.

$$\sigma_1 \approx \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4\eta \sin^2 \theta} \right)^{-1}; \quad \eta = k^2 d^2 \quad (3)$$

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

dove il numero d'onda $k = \frac{2\pi f}{c}$, e la profondità della sorgente d = metà della profondità di pescaggio.

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). Per la stima dei livelli di sorgente delle navi individuali.

I dati AIS forniti da RINA, acquisiti tramite Marine Traffic, sono stati utilizzati per determinare le tracce delle imbarcazioni entro un'area di 5 miglia nautiche intorno al terminale per la durata della messa in acqua degli strumenti ed estrapolare i dati relativi alla loro velocità e al punto di avvicinamento più vicino (CPA) alle stazioni di monitoraggio. I passaggi dedicati delle navi d'interesse sopra la stazione di monitoraggio a sud del terminale sono stati comparati con i livelli ricevuti per ottenere un fattore per correggere per la differenza fra il punto d'avvicinamento più vicino basandosi sui dati AIS in contrasto con quello acustico (Figura 9). Poca differenza è stata riscontrata fra i due eccetto per il passaggio del LNG Express che essendo avvenuto a una velocità molto sostenuta (~20nodi) e; risultata in ~30secondi di separazione fra i due.

Per assicurarsi che i livelli di sorgente non contenessero contributi da altre sorgenti, i livelli ricevuti durante il passaggio della nave sono stati comparati con i livelli di sottofondo. In questo caso il livello di sottofondo è stato calcolati come il livello medio da una finestra di un minuto, cinque minuti prima e dopo il CPA acustico. livelli ricevuti con un rapporto segnale-rumore (SNR) (RL-background) inferiore a 3 dB sono stati scartati. I livelli ricevuti con un SNR compreso tra 3 e 10 dB sono stati regolati sottraendo il rumore di fondo. I livelli ricevuti con un rapporto segnale-rumore (SNR) maggiore di 10 sono stati mantenuti senza alcuna modifica.

Nel calcolo dei livelli di sorgente in banda larga, sono state scartate le frequenze che presentano un SNR < 3. I livelli di sorgente presentati sono stati calcolati per tutto il passaggio fino a un km di distanza dallo strumento su una finestra di 1s. I risultati dei livelli di sorgente presentati sono le statistiche (90° percentile e mediana) ottenute dai livelli misurati mentre la posizione della nave rispetto al registratore rientrava nell'angolo critico compreso fra 15 e 45 gradi, come consigliato per limitare l'incertezza dei livelli di sorgente.

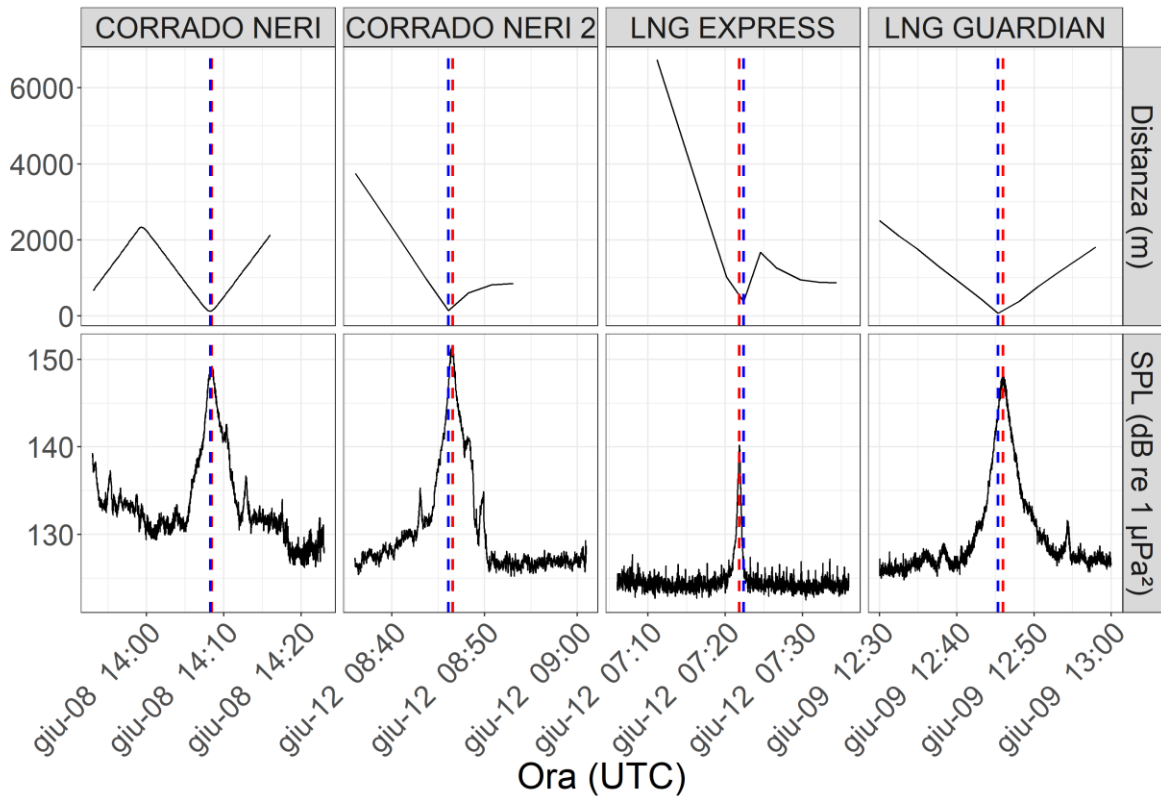


Figura 9: Diagramma che mostra la distanza delle navi dal registratore posto a sud del terminale (in alto) e il livello ricevuto (L_p dB re $1 \mu\text{Pa}^2$, in basso) per ogni nave (per il Corrado neri sono stati effettuati 2 passaggi). Le linee tratteggiate mostrano il punto di avvicinamento più vicino (CPA) basato sui dati AIS (blu) e basato sull'acustica (rosso).

2.4.1.2. Caratterizzazione dell'allibo:

Il modello SL.SCA non è stato applicato per ottenere i livelli di sorgente delle diverse operazioni di allibo principalmente per il fatto che gli strumenti erano posti a 1km dal FSRU e quindi al di fuori del raggio dell'angolo critico ideale. Le attività di allibo sono state dunque considerate stazionarie in quanto le navi coinvolte (rimorchiatori) sono rimaste entro poche decine di metri dalla posizione del terminale FSRU Toscana, e la retro-propagazione è stata effettuata usando il modello teorico MONM-Bellhop (Appendice B). Il modello MONM calcola la propagazione acustica tramite una soluzione di equazione parabolica grandangolare all'equazione dell'onda acustica (Collins 1993), usando una versione del modello acustico a parametrizzazione dipendente dalla distanza (RAM) del Naval Research Laboratory modificata per tenere conto di un fondale marino solido (Zhang and Tindle 1995). A causa di limitazioni pratiche della modellizzazione ad equazioni paraboliche, sono opportuni metodi numerici alternativi per la propagazione a frequenze più elevate. Diversi aspetti dell'ambiente hanno un effetto maggiore o minore a seconda della gamma di frequenza di interesse: ad esempio, alle basse frequenze, la rugosità superficiale dell'interfaccia acqua-aria ha un effetto trascurabile sulla propagazione, mentre è fondamentale che questo venga preso in considerazione per la propagazione ad alta frequenza. Per questo motivo, al di sopra dei 2kHz il modello della JASCO implementa il metodo a tracciamento dei raggi (ray tracing) basato sul software Bellhop. La necessità di usare più di un modello di propagazione acustica per frequenze alte e basse in acque poco profonde è evidenziato anche nella letteratura, vedi ad es. (Etter 1996, Farcas et al. 2016).

Si può presupporre che il rumore delle navi coinvolte si trasmetta principalmente tramite lo scafo. La profondità della sorgente sonora utilizzata nella modellizzazione è stata quindi calcolata come la metà del pescaggio della nave più grande, 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 modellazione verso ogni punto nella regione d'interesse.

2.4.2. 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, 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 10).

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 10. 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 10, $R_{95\%}$ trascura sostanziali sporgenze nella distribuzione del livello sonoro, e R_{max} può rappresentare meglio la regione di effetto in certe direzioni. Casi come questo sono solitamente associati a proprietà della batimetria che influenzano la propagazione acustica. La differenza tra R_{max} e $R_{95\%}$ dipende dalla direttività della sorgente e dalla non uniformità dell'ambiente acustico.

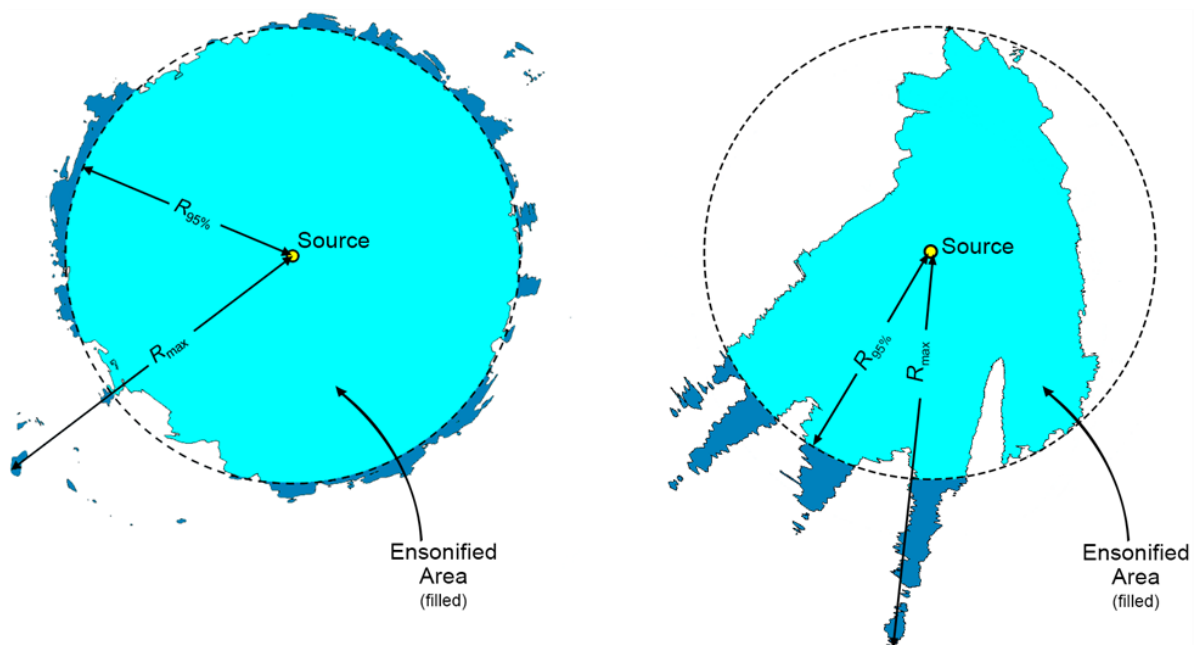


Figura 10. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; e (destra) una distribuzione di livello sonoro fortemente asimmetrica con lunghe sporgenze, per la quale R_{max} meglio rappresenta le aree insonificate in alcune direzioni. L'azzurro indica le aree insonificate delimitate da $R_{95\%}$; il blu più scuro indica le regioni limitrofe che determinano R_{max} .

3. Risultati

La prima parte di questo studio è consistita nell'analizzare i dati acustici registrati durante l'allibo della metaniera Flex Endeavour effettuato a giugno 2022; questi risultati sono presentati nella sezione 3.1. Successivamente, i livelli a banda larga e in bande di decidecade ottenuti dalle misure sono stati utilizzati nella modellizzazione MONM-Bellhop per stimare i campi di livello sonoro riferiti alla posizione dell'FSRU Toscana come punto sorgente sempre ed esclusivamente durante le attività di allibo (3.2 e 3.3) per la valutazione dell'impatto del suono sui mammiferi marini. Tutti i risultati temporali presentati sono ricondotti all'ora UTC.

3.1. Livelli ricevuti

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

I livelli di pressione sonora per l'intera durata della messa in acqua degli strumenti sono presentati nella Figura 11.

Il suono di sottofondo (come descritto nella sezione 3.1.1) è stato identificato nelle porzioni di registrazione ottenute prima dell'inizio dell'allibo e dopo la conclusione dell'allontanamento della metaniera dal terminale FSRU, come riportato dal registro delle operazioni di bordo della metaniera Flex Endeavour. Durante questi periodi furono anche eseguiti 3 passaggi sopra la stazione di monitoraggio sud delle navi coinvolte con le operazioni del terminale FSRU Toscana, specificamente dedicati a determinare i livelli di sorgente di ciascuna (sezione 3.2.1).

Le operazioni di allibo, i cui livelli ricevuti sono presentati nella sezione 3.1.3 e i livelli di sorgente stimati nella sezione 3.2.2, hanno avuto inizio alle ore 04:05 del 10 giugno 2022 (UTC) e fine alle ore 23:00 del 11 giugno 2022 (UTC).

Durante il periodo di monitoraggio si nota che i livelli di pressione sonora (L_p) variano da ~125 dB re 1 μ Pa a ~145 dB re 1 μ Pa, escludendo i brevi periodi all'inizio e alla fine del monitoraggio durante i quali il rimorchiatore usato per la messa in acqua e il recupero degli strumenti era direttamente sopra i medesimi. I livelli pre-allibo sono leggermente più elevati che nel periodo post-allibo; il motivo è esaminato nella sezione 3.1.1. In generale, L_p più alti si riscontrano durante le operazioni di allibo, soprattutto all'inizio e durante l'allontanamento, come verrà discusso nella sezione 3.1.3. Durante la fase di scarica, in particolare, si notano innalzamenti repentini nell' L_p dovuti al passaggio di imbarcazioni (per maggiori dettagli si veda 3.1.3). I livelli totali e categorizzati per bande di frequenze rilevanti a sorgenti antropogeniche come navi (basse frequenze) o sorgenti ambientali (alte frequenze) sono presentati nella Figura 12. Questi includono sia i periodi pre- e post- allibo che il periodo dell'allibo. Il contributo ai livelli totali del rumore associato con specifiche sorgenti non può essere isolato, ma la suddivisione nelle bande di frequenza presentate identifica tipi di attività che maggiormente contribuiscono all'innalzamento dei livelli in quelle bande di frequenza. Ad esempio, è noto che i livelli a frequenze sotto 1kHz sono particolarmente influenzati dalla presenza di navi.

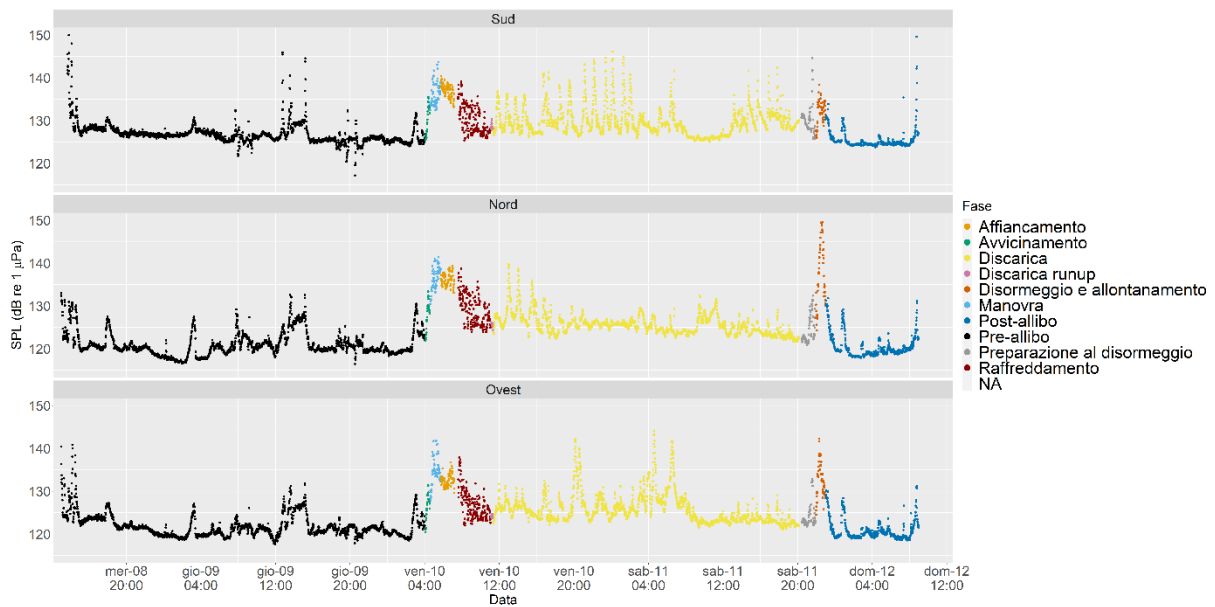


Figura 11. L_p durante la messa in acqua dei tre strumenti a sud, nord e ovest del terminale. Le diverse fasi sono identificate dai colori differenti. NA identifica i dati che sono stati esclusi dall'analisi in quanto rappresentativi del periodo in cui gli strumenti venivano messi o tolti dall'acqua (ascisse ora UTC).

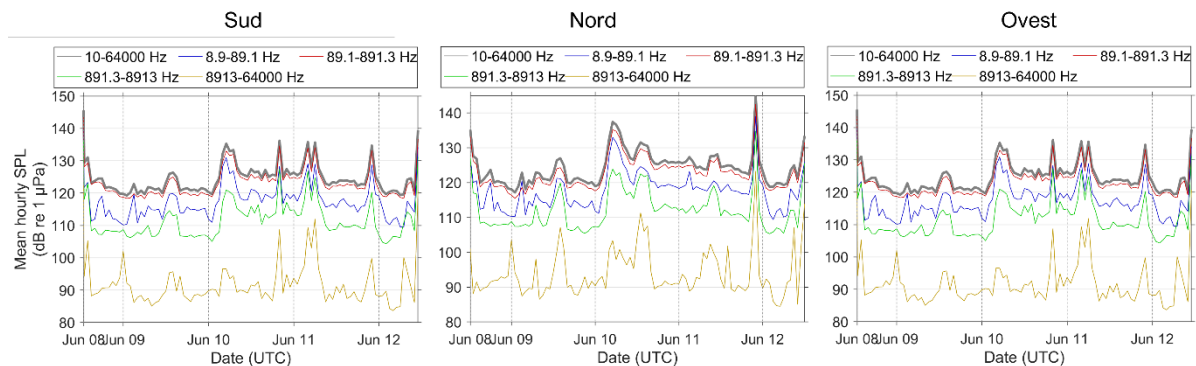


Figura 12. L_p per banda di frequenza durante la messa in acqua dei tre strumenti a sud, nord e ovest del terminale. Le diverse bande sono identificate dai colori differenti.

3.1.1. Suono di sottofondo

Il suono di sottofondo descritto corrisponde al periodo di monitoraggio condotto prima dell'inizio dell'allibo e successivamente al termine dell'allibo. Poiché in questo lasso di tempo il terminale era operativo in modalità di holding (terminale operativo in modalità di rigassificazione), il suono di sottofondo comprende il contributo del suono generato dal terminale oltre al rumore di fondo ambientale che include il traffico marittimo nelle aree circostanti e fa parte irremovibile del paesaggio acustico della zona.

Durante il periodo precedente all'allibo, l' L_p totale per l'intera banda di frequenza di monitoraggio (10Hz-64kHz) si mantiene attorno ai 130 dB re 1µPa (Figura 13); il contributo maggiore 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 09 giugno (ora UTC). 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 (come richiesto per questo studio, vedi sezione 3.1.2) sopra lo strumento a sud del

terminale 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 14).

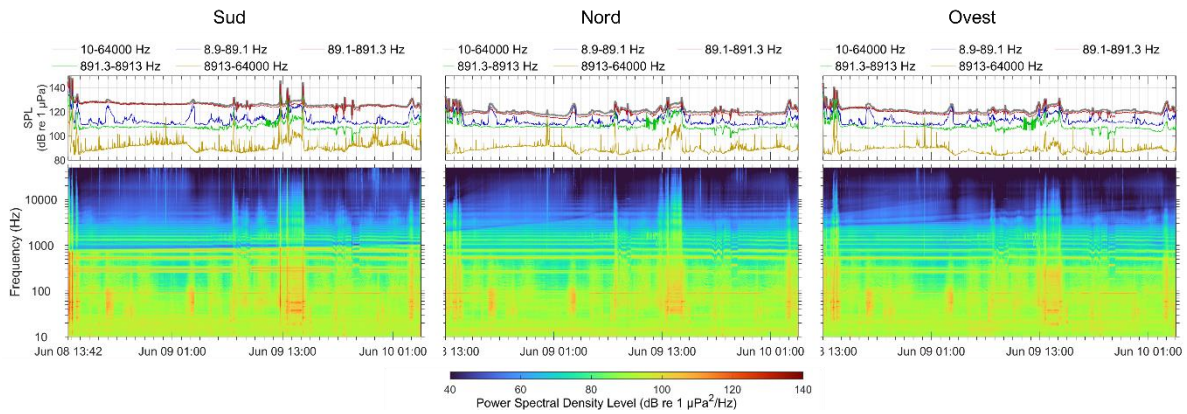


Figura 13. L_p totale suddiviso per specifiche bande di frequenza (in alto) e media spettrale a lungo termine (in basso) per le tre stazioni di monitoraggio nel periodo pre-allibo.

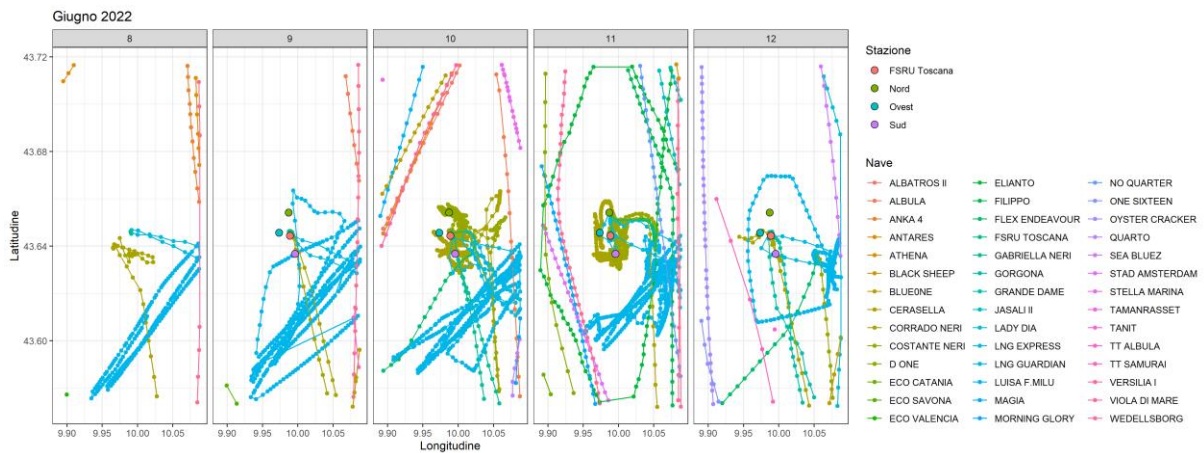


Figura 14. Rotte del terminale FSRU e delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo per il periodo di monitoraggio acustico.

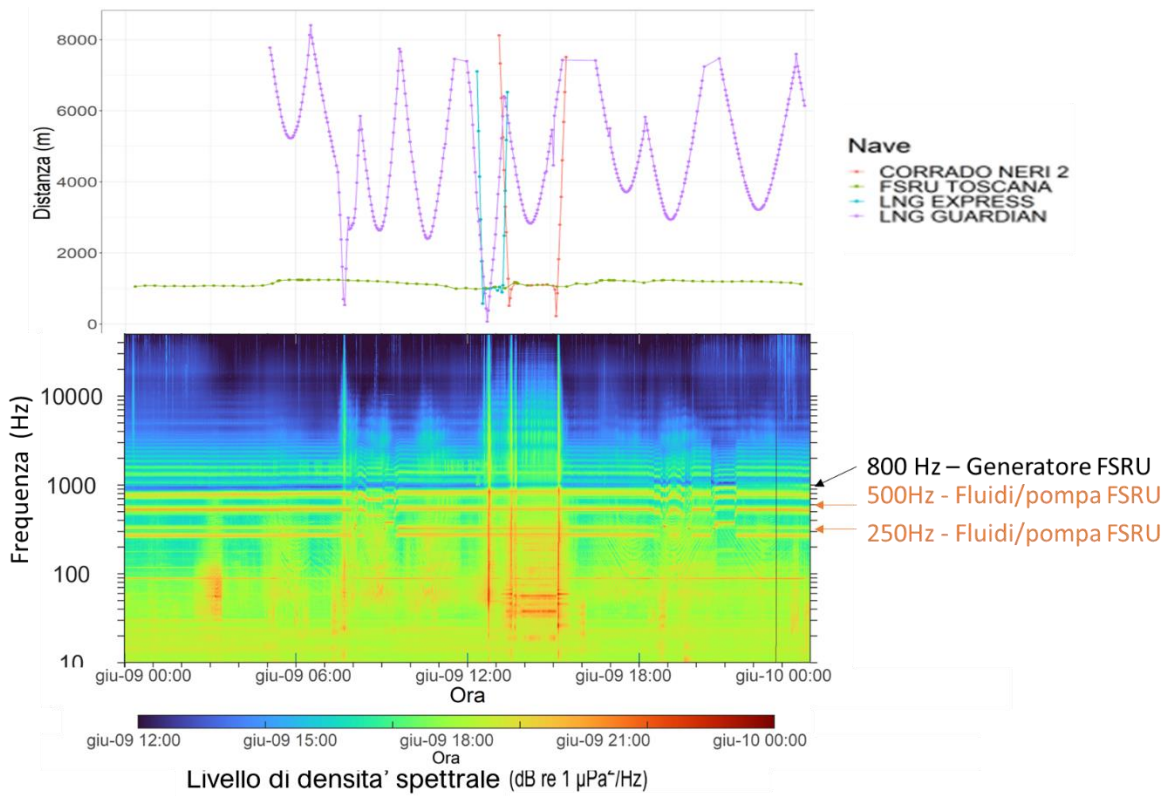


Figura 15.Pre-allibo: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud (versione allargata del grafico in Figura 11) e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud.

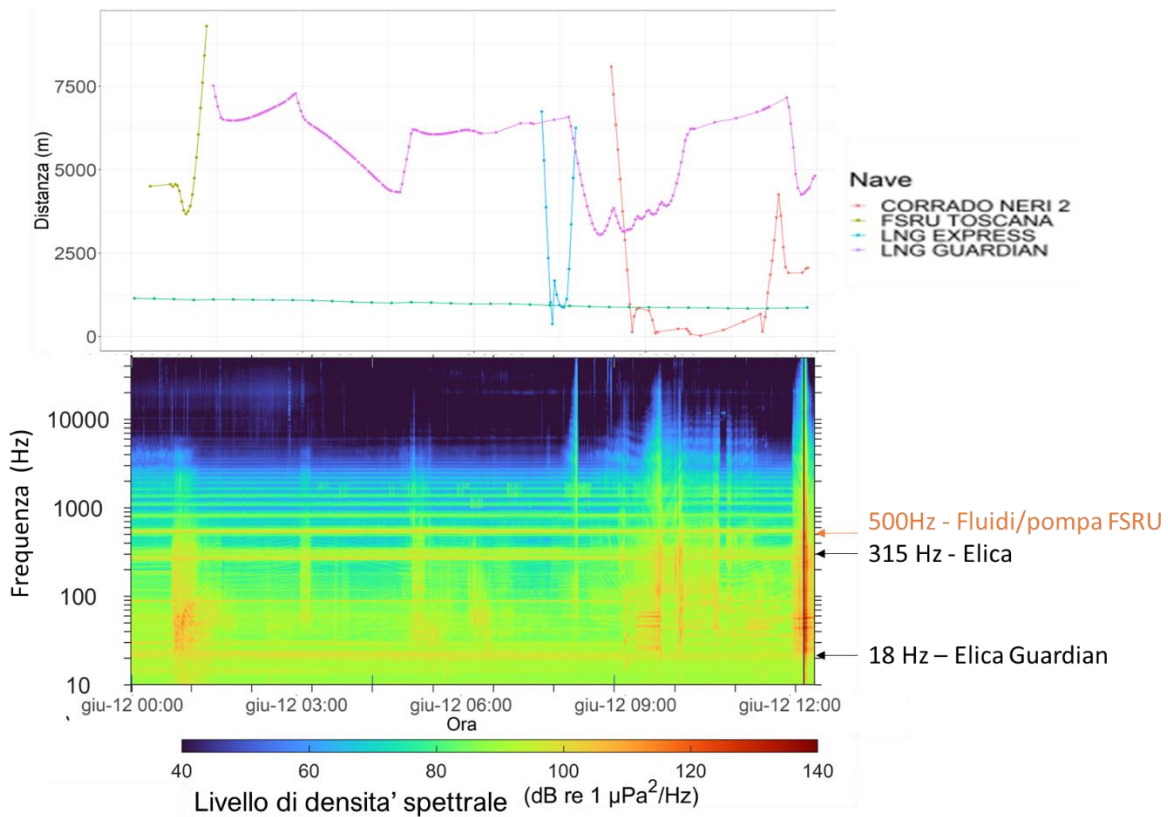


Figura 16. Post-allibo: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud (versione allargata del grafico in Figura 13) e tracciate delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud.

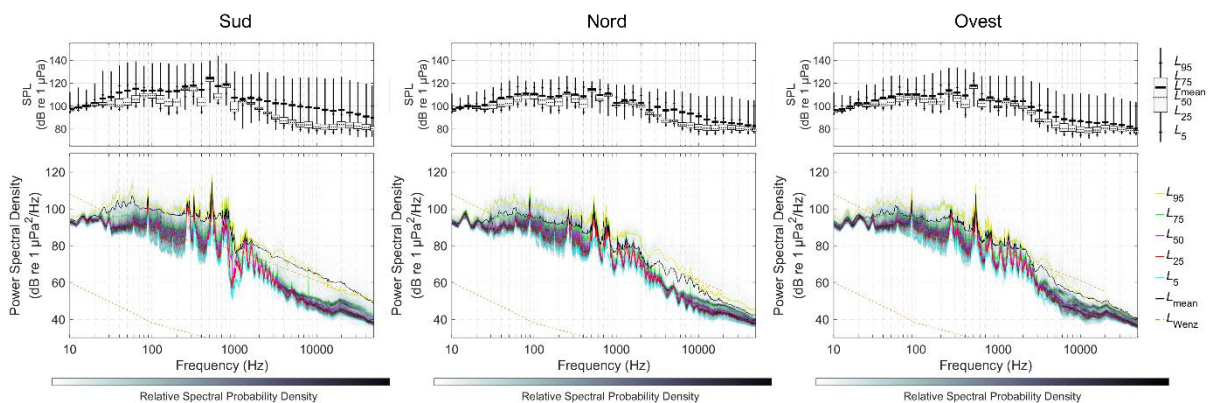


Figura 17. Diagramma di densità spettrale di potenza (Power Spectral Density - PSD) (in basso) e diagramma a scatola e baffi (in alto) dell'L_p per ogni decade per il periodo pre-allibo. Nella PSD i livelli statici e i limiti massimi e minimi delle curve di Wenz sono rappresentati da linee di diverso colore, come indicato nella legenda.

3.1.2. Navi individuali

Per determinare i livelli di sorgente delle navi coinvolte nelle operazioni di allibo è stato richiesto ad ognuna, per quanto possibile, di effettuare un passaggio dedicato sopra lo strumento situato a sud del terminale in un periodo prima o dopo l'esecuzione dell'allibo. Tali passaggi sono stati effettuati dal rimorchiatore Corrado Neri (Figura 18), il crew boat LNG Express (Figura 19), e l'LNG Guardian (Figura 20). Il passaggio di ognuna delle navi mostra il caratteristico spettrogramma dello specchio di Lloyd generato durante l'avvicinamento, il passaggio sopra lo strumento e l'allontanamento della sorgente. Nei periodi precedente e successivo al passaggio delle navi sono inoltre visibili alcuni toni

costanti in ampiezza, per esempio a ~500Hz (Figura 18). Essi non sono ritenuti collegati alla sorgente di interesse ma a una sorgente statica, come ad esempio il terminale FSRU Toscana. I toni caratteristici del FSRU Toscana sono descritti nella sezione 3.1.1 di questo documento che viene inviato alle autorità per ottemperanza annuale della prescrizione 7 della procedura di VIA (Provvedimento Prot. DVA-2010-0025280 del 20 Ottobre 2010).

Poiché le caratteristiche del Corrado Neri sono identiche a quelle del Costante Neri, non è stato richiesto di mobilitare questo rimorchiatore per misurarne il passaggio. Inoltre, il terzo rimorchiatore, Gabriella Neri, non è stato misurato in isolamento dalle altre sorgenti (cioè al di fuori delle operazioni di allibo). Si precisa che questo rimorchiatore viene utilizzato solo nelle fasi di avvicinamento, manovra e affiancamento di una metaniera al Terminale (come richiesto dal regolamento – ordinanza 6/2014) e che, diversamente dai rimorchiatori Corrado e Costante che sono dedicati al Terminale, esso può variare da allibo ad allibo essendo un rimorchiatore portuale della società Fratelli Neri.

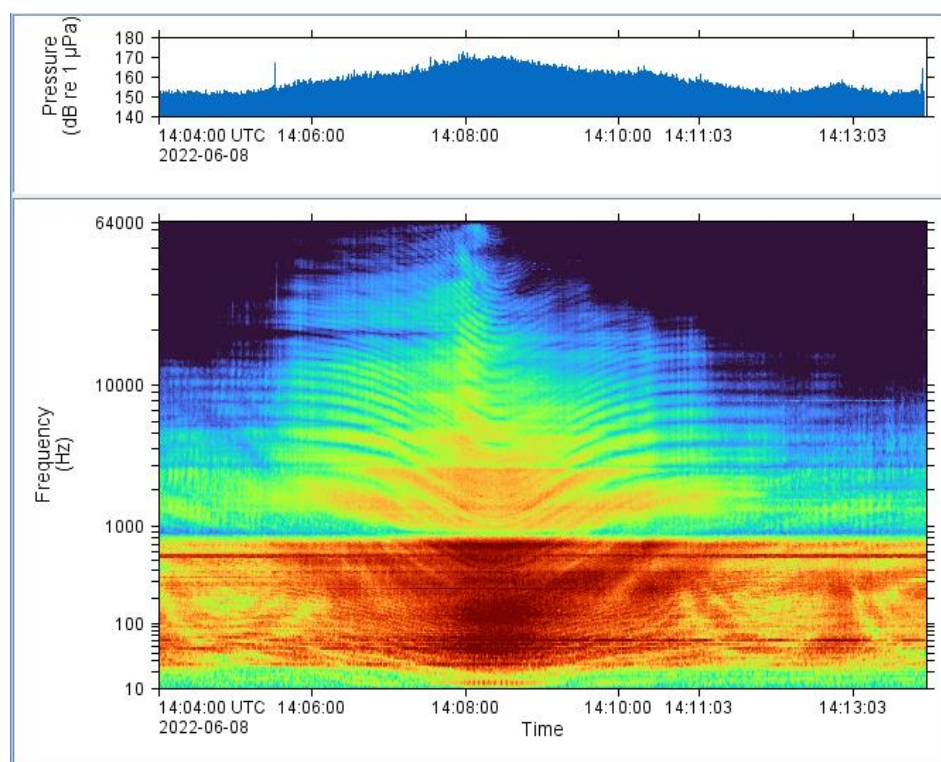


Figura 18. Corrado Neri: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) del passaggio della nave a una velocità costante di 8.5 nodi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

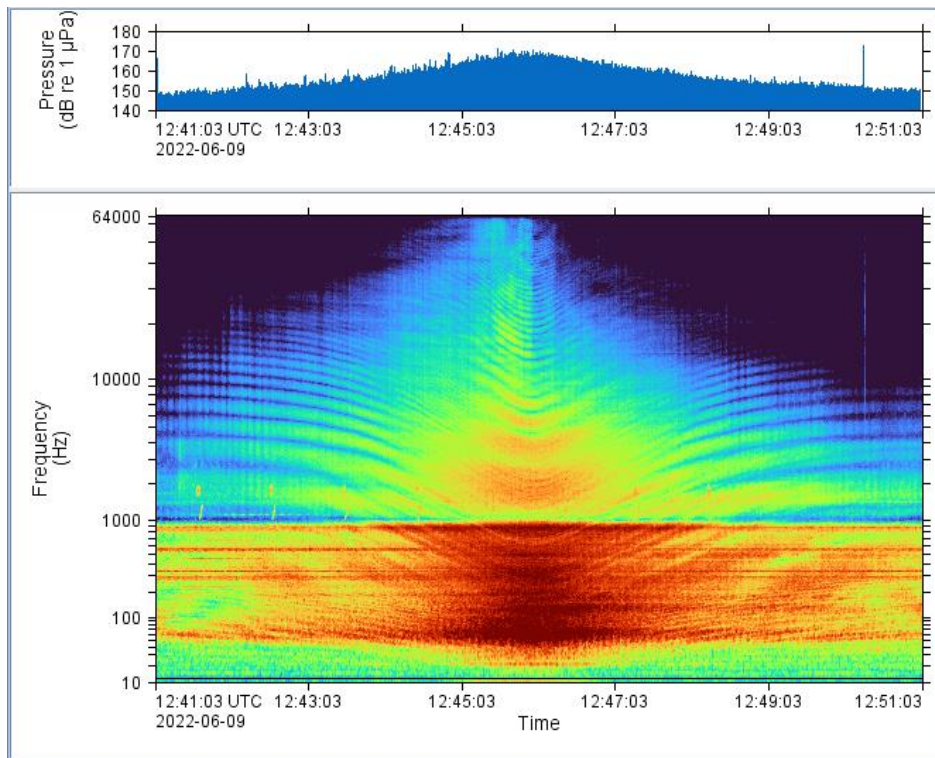


Figura 19. LNG Guardian: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) del passaggio della nave a una velocità costante di 10.nodi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

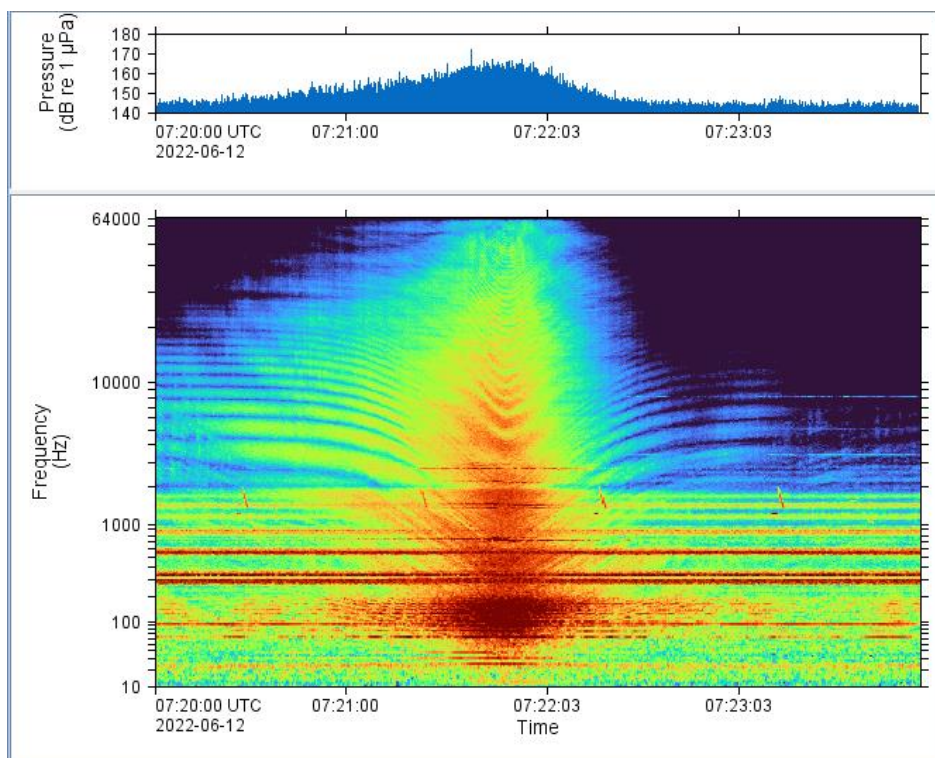


Figura 20. LNG Express: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) del passaggio della nave a una velocità costante di 20.2 nodi (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

3.1.3. Allibo

In questa sezione sono presentati gli spettrogrammi a lungo termine delle operazioni di allibo e le corrispondenti distanze delle navi dal punto di misura (Figura 22-Figura 23), mentre l'ampiezza e lo spettrogramma del segnale acustico per ciascuna operazione sono presentati in Appendice D. Le statistiche dei livelli di pressione sonora a banda larga tra 10Hz e 2kHz sono presentate come diagrammi scatola e baffi nella Figura 24 e per le individuali bande decidecadi nella Figura 25.

Il livello medio in banda larga non ponderato di $L_{p,1s}$ (10Hz-20kHz) e i livelli per le bande decidecadi rappresentative del rumore continuo (63 Hz e 125 Hz) per ogni attività e profondità sono presentati nella Tabella 7 e nella Figura 26.

Le seguenti osservazioni sono applicabili alle misurazioni:

- Durante tutte le fasi registrate, è possibile osservare tre picchi di frequenza in tutte e tre le direzioni cardinali. Le frequenze interessate sono a 250Hz, 500Hz e 800 Hz (Figura 25). 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 e quello a 800 Hz ad un generatore diesel che produce energia elettrica nell'FSRU.
- I toni continui sopra descritti sono presenti anche prima dell'inizio dell'allibo, il che suggerisce che questi toni siano associati alla presenza del terminale.
- 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 (rapporto di maglia dei denti dell'ingranaggio planetario dagli ingranaggi dell'elica).
- Durante alcune fasi dell'allibo, come ad esempio l'avvicinamento e la manovra, il tono è parzialmente o totalmente mascherato dal rumore generato dal passaggio di imbarcazioni che si suppone siano la metaniera e i rimorchiatori. Le rotte delle navi coinvolte nell'allibo per i due giorni di operazioni (10 e 11 giugno) sono presentate nella Figura 21.
- I livelli mediani più alti sono riscontrati durante le fasi di affiancamento, manovra e di disormeggio presso tutte le stazioni di monitoraggio (Figura 24 e Tabella 7). Fra queste, l'operazione più rumorosa varia nelle tre direzioni cardinali a seconda della posizione delle navi coinvolte. Per esempio, durante la fase di manovra i livelli più alti sono riscontrati a sud e sono molto simili a nord dato che le navi erano circa equidistanti dalle due stazioni, approcciando da est. Durante la fase di disormeggio, le navi si sono allontanate verso nord e dunque i livelli mediani ricevuti presso la stazione nord sono più alti di circa 6 dB rispetto alle altre due stazioni.
- Durante le fasi più rumorose descritte sopra, i livelli più alti rispetto alle altre attività sono rilevati nella gamma di frequenza da 25Hz a 630Hz (Figura 25 e Tabella 7); questo è in linea col fatto che durante queste misurazioni la metaniera e i rimorchiatori erano in transito e/o impegnati in operazioni che richiedono una potenza di propulsione elevata.
- Escludendo le fasi più rumorose, i livelli di pressione sonora mediani misurati (finestra temporale di 60s) sono compresi fra i 136 e i 142 dB re 1 μ Pa; i livelli riscontrati a Sud sono 2-6 dB più alti rispetto alle altre due stazioni.
- I livelli ricevuti durante la fase di scarica, che è quella di più lunga durata di tutto l'allibo, sono ~5 dB più elevati rispetto al pre-allibo e ~6 dB più alti rispetto al post-allibo (Tabella 7).
- Durante le fasi di affiancamento, manovra e disormeggio/allontanamento, i livelli nelle decidecadi comprese fra 20Hz e 630Hz sono in media ~5 dB più alti rispetto alle altre fasi di allibo e ~10-15 dB più alti rispetto al pre- e post-allibo (Figura 25). Queste frequenze corrispondono a quelle che contengono la maggiore energia nei livelli di sorgente rilevati per il rimorchiatore e il Guardian (Figura 28). Di conseguenza, lo svolgimento dell'allibo influenzò i livelli nelle bande di frequenza d'interesse per il criterio 2 del descrittore 11 della MSFD (D11C2) per il rumore continuo, cioè 63

Hz e 125 Hz. Gli L_p mediani nelle frequenze incentrate sulle deciedadi di 63 Hz e 125 Hz sono fino a 21 dB più alti rispetto al periodo pre-allibo. Poiché' la MSFD prescrive la descrizione del rumore in bande di terzi d'ottava anziché' deciedadi (le ultime sono descritte negli standard ISO), i valori di riferimento per le bande in terzi d'ottava incentrate a 63 e 125 Hz sono presentati per completezza in Tabella 8 ma risultano identici alle corrispettive deciedadi.

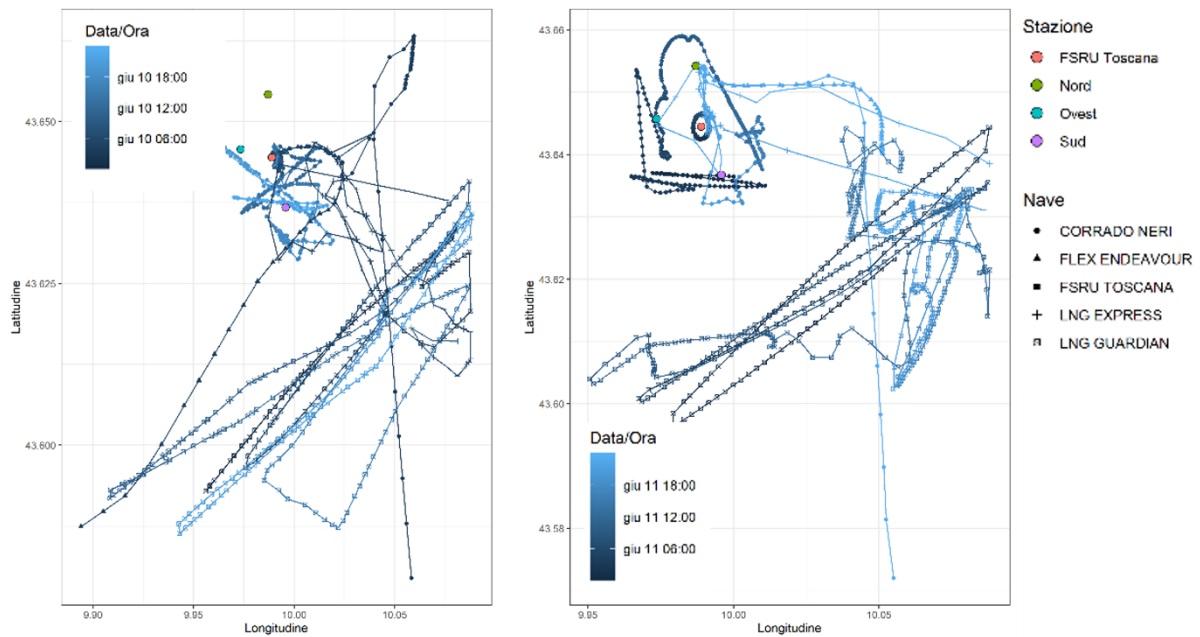


Figura 21. Tracciati delle rotte delle navi coinvolte nell'allibo per il giorno 10 (sinistra) e 11 (destra) di giugno (ora UTC).

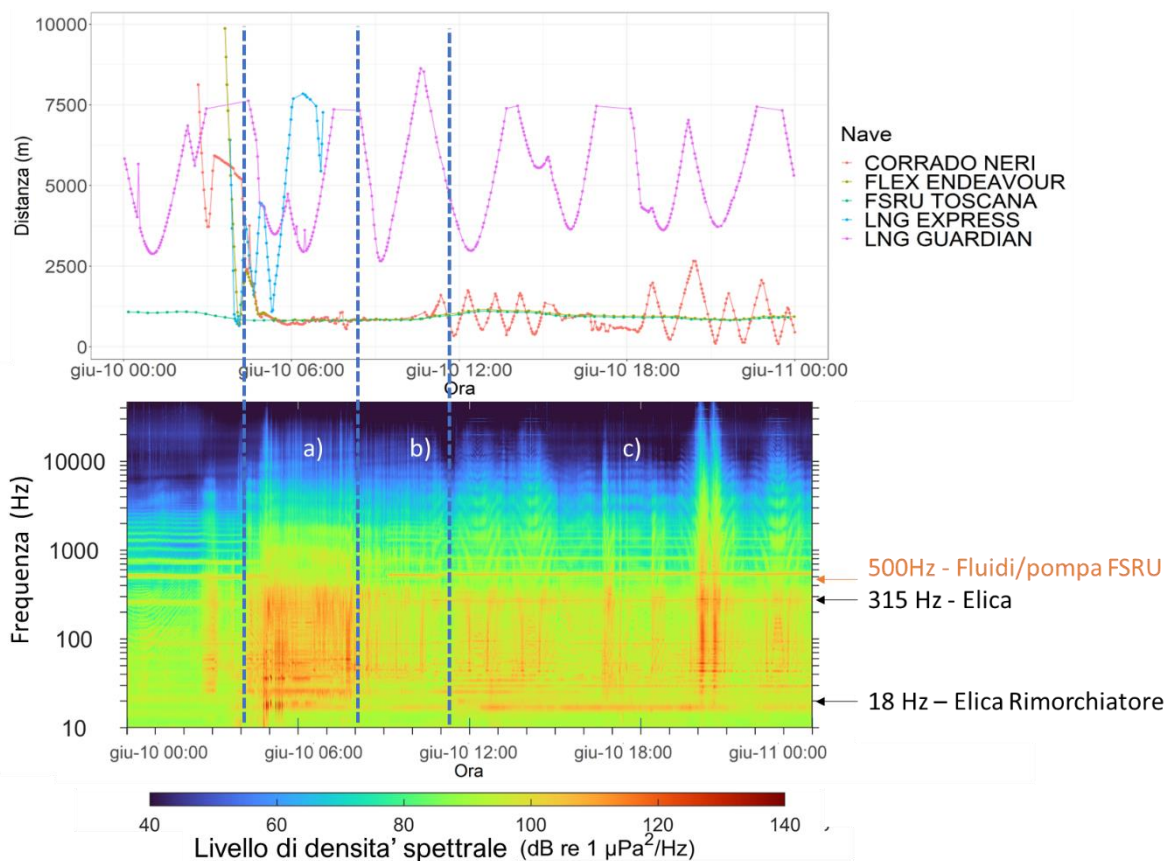


Figura 22. Allibo giorno 10 giugno: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud e tracciati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud. Diverse operazioni sono identificate dalle linee tratteggiate verticali. La lettera a) identifica le operazioni di avvicinamento, manovra e affiancamento, la b) il periodo di raffreddamento e c) la scarica run-up e scarica. Tempi in ora UTC.

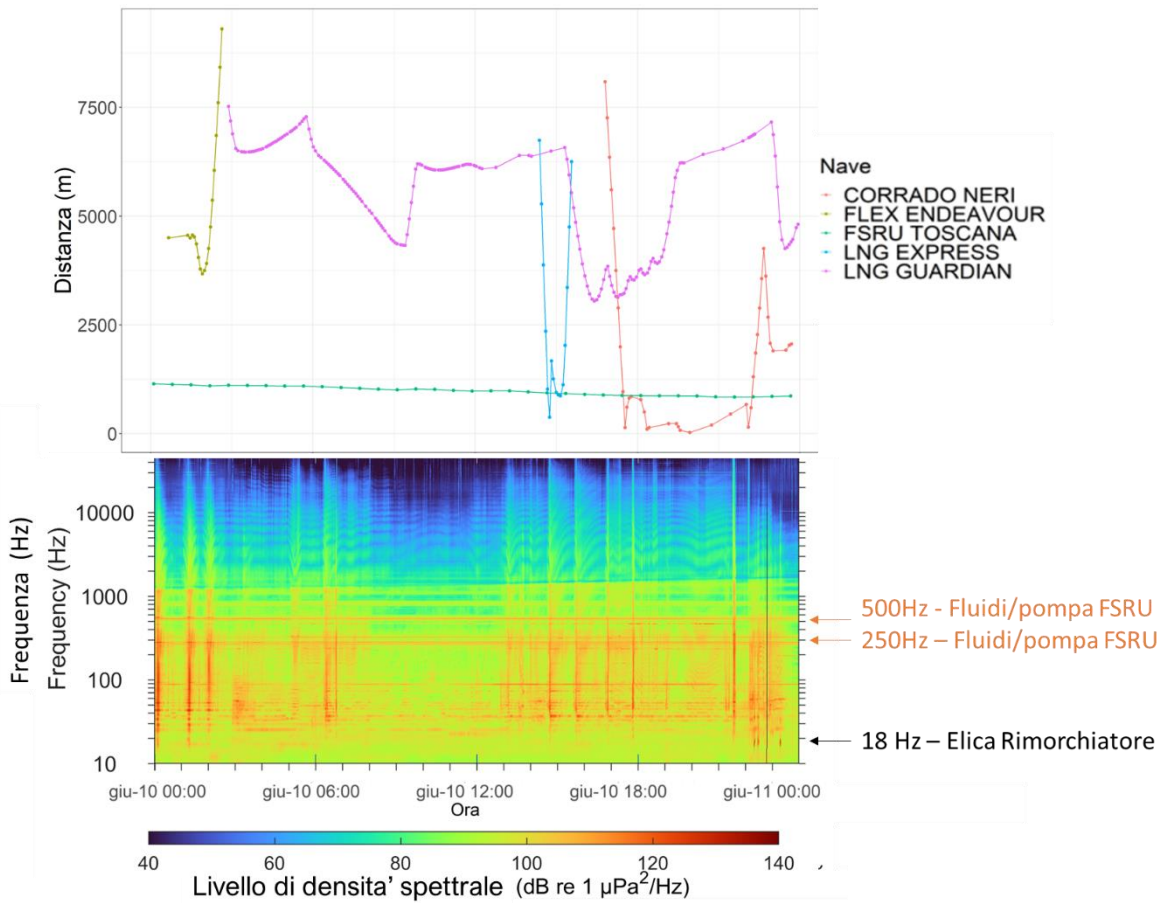


Figura 23. Allibo giorno 11 giugno: media spettrale a lungo termine (in basso) nella stazione sud e traccati delle distanze delle navi coinvolte nelle operazioni del terminale rispetto alla stazione di monitoraggio sud. Tempi in ora UTC.

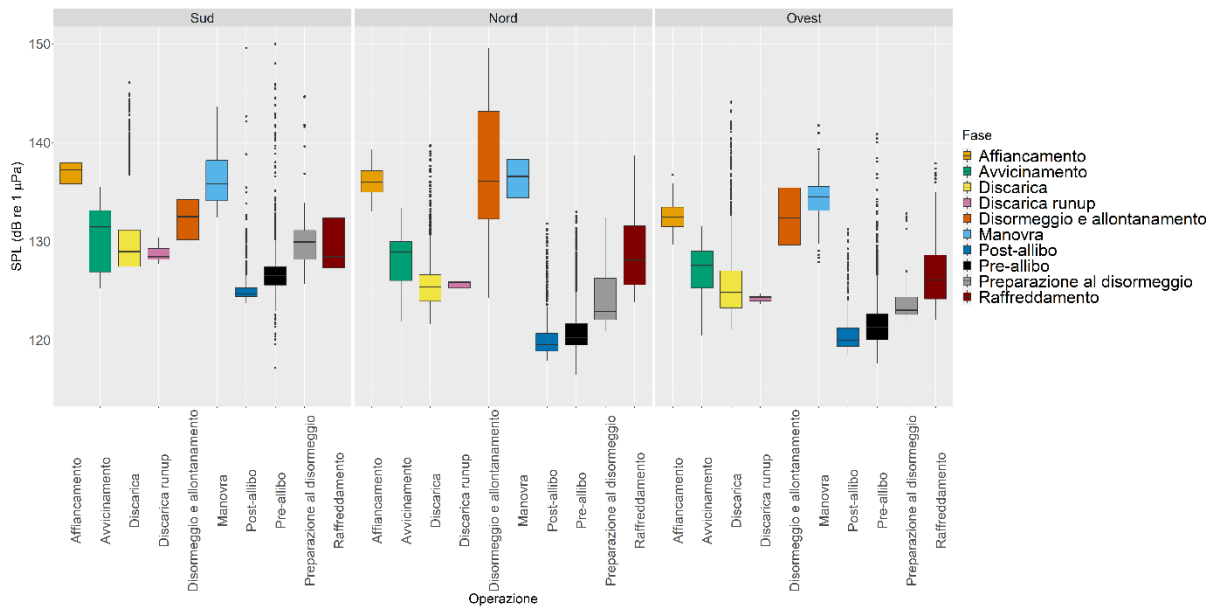


Figura 24. Proprietà statistiche (diagrammi scatola e baffi) del livello di pressione sonora (L_p) 60s per ogni fase dell'operazione di allibo.

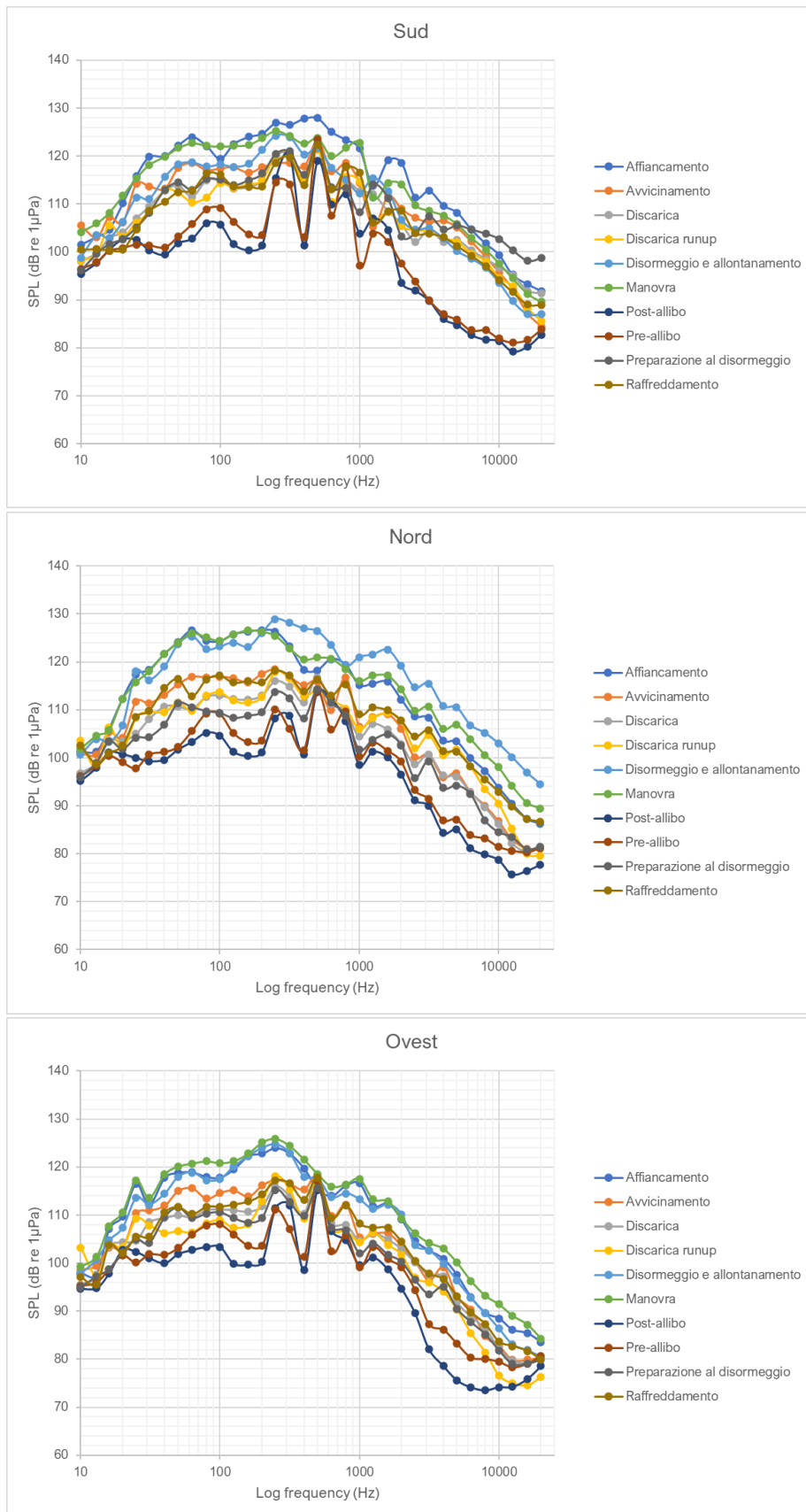


Figura 25. Livello di pressione sonora (L_p) 60s mediano in ogni decidecade per ciascuna fase dell'operazione di allibo e per i periodi prima e dopo l'allibo (rumore di sottofondo).

Tabella 7. L_p mediani nella finestra temporale di 60 secondi per la banda larga (10Hz-20kHz) e per le decidecadi 63Hz e 125Hz per ogni attività e direzione cardinale.

Operazione	Banda larga - 10Hz - 20kHz			Decidecade - 63 Hz			Decidecade - 125 Hz		
	sud	nord	ovest	sud	nord	ovest	sud	nord	ovest
Pre-allibo	136.1	132.6	132.8	105.8	105.6	106.0	106.3	105.2	106.0
Avvicinamento	143.8	141.3	140.1	118.6	116.9	115.6	117.7	116.6	115.2
Manovra	148.1	148.9	146.5	122.7	126.0	120.7	122.1	125.7	121.2
Affiancamento	149.8	148.7	144.9	124.0	126.5	118.9	122.5	125.7	119.5
Raffreddamento	141.4	141.3	138.7	112.8	112.9	110.2	113.6	115.7	112.2
Discarica <i>runup</i>	141.1	139.2	136.8	110.4	109.8	106.4	113.4	111.9	107.4
Discarica	141.5	138.2	137.4	111.5	110.2	109.6	113.3	112.3	111.0
Preparazione al disormeggio	142.1	136.1	136.0	113.0	110.6	109.4	114.0	108.3	109.3
Disormeggio e allontanamento	144.7	150.4	144.5	118.7	125.4	118.9	117.7	124.0	120.1
Post-allibo	135.3	131.8	131.5	102.8	103.3	102.7	101.6	101.3	99.9

Tabella 8. L_p mediani nella finestra temporale di 60 secondi per le frequenze nelle bande di ottava incentrate a 63Hz e 125Hz per ogni attività e direzione cardinale.

Operazione	Banda in terzi di ottava - 63 Hz			Banda in terzi di ottava - 125 Hz		
	sud	nord	ovest	sud	nord	ovest
Pre-allibo	105.8	105.6	106.0	106.3	105.2	106.0
Avvicinamento	118.6	116.9	115.6	117.7	116.6	115.2
Manovra	122.7	126.0	120.7	122.1	125.7	121.2
Affiancamento	124.0	126.5	118.9	122.5	125.7	119.5
Raffreddamento	112.8	112.9	110.2	113.6	115.7	112.2
Discarica <i>runup</i>	110.4	109.8	106.4	113.4	111.9	107.4
Discarica	111.5	110.2	109.6	113.3	112.3	111.0
Disormeggio e allontanamento	118.7	125.4	118.9	117.7	124.0	120.1
Preparazione al disormeggio	113.0	110.6	109.4	114.0	108.3	109.3
Post-allibo	102.8	103.3	102.7	101.6	101.3	99.9

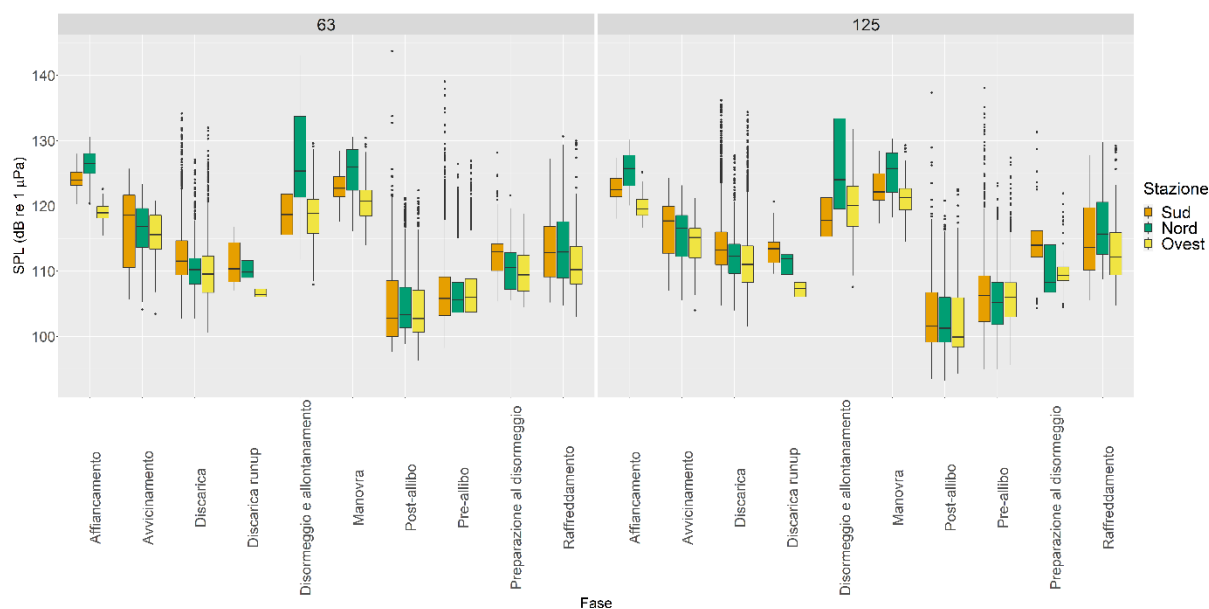


Figura 26. Livelli nelle bande di frequenza (decidecadi) incentrate a 63 Hz e 125 Hz per il livello di suono di sottofondo.

3.2. Livelli di sorgente

3.2.1. Navi individuali

I livelli di sorgente delle navi sopramenzionate sono stati calcolati utilizzando il metodo SL.SCA descritto nella sezione 2.4.1. Per il Corrado Neri sono stati analizzati due passaggi, uno effettuato l'8 giugno e l'altro il 12 giugno; i livelli di sorgente presentati sono quelli ottenuti dal passaggio del 12 giugno in quanto risultati più coerenti. Il livello di sorgente in intervalli di 1 s per ogni nave è presentato nella Figura 27, diviso per bande di frequenza (decidecadi), e i valori del 90° percentile per ciascuna di tali misurazioni entro l'angolo critico desiderato sono presentati nella Figura 28.

I livelli di sorgente calcolati per il Corrado Neri e l'LNG Guardian sono relativamente stabili all'interno dell'angolo critico raccomandato eccetto per le alte frequenze (sopra i 20kHz) che sono influenzate dalle condizioni ambientali. I livelli di sorgente a banda larga riportati sono dunque compresi fra i 10Hz e i 20kHz.

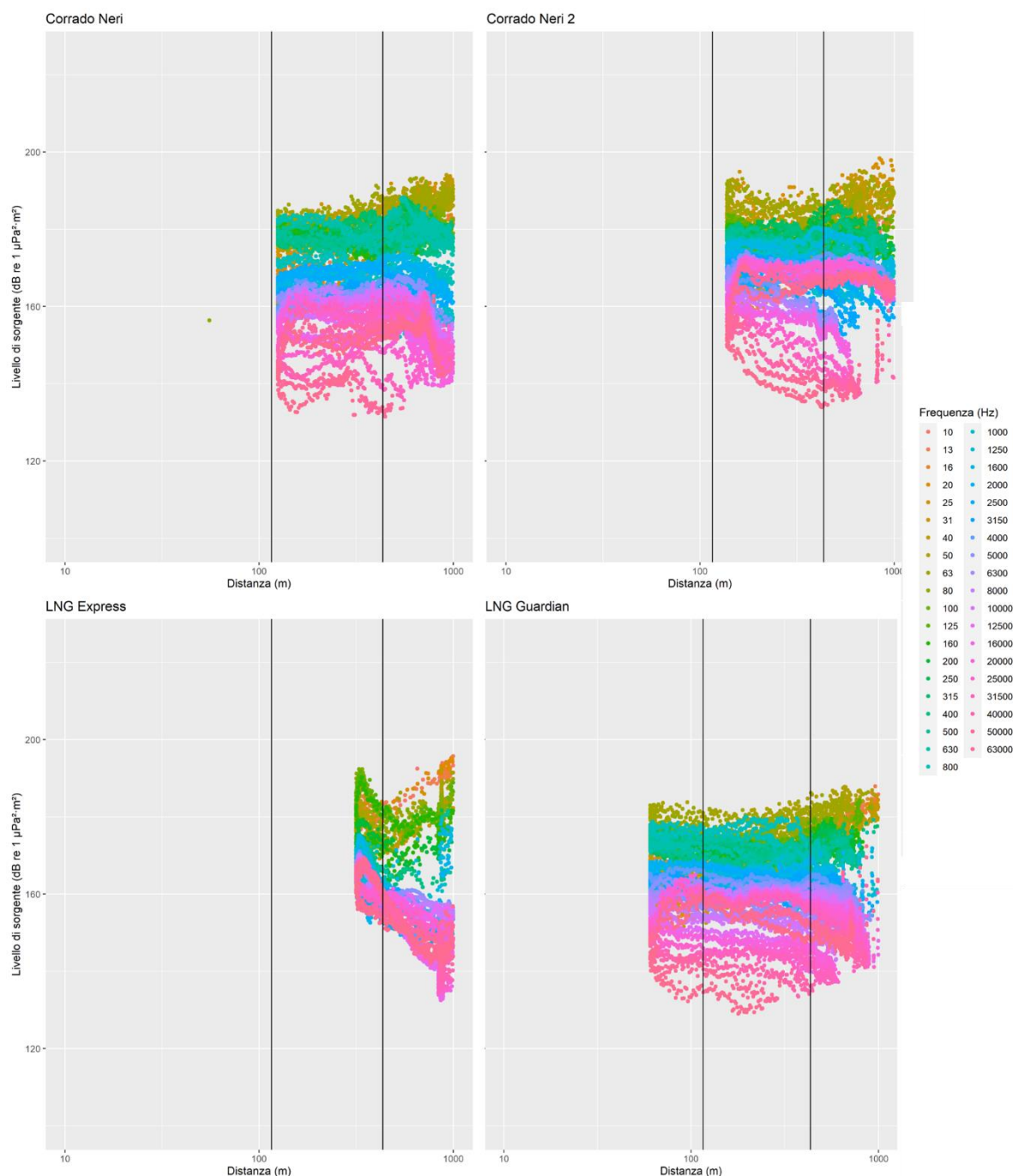


Figura 27. Livelli di sorgente per ogni nave e decedecade in funzione della distanza dalla stazione di monitoraggio a sud del terminale. Le linee verticali indicano i limiti dell'angolo critico da 15 (linea di sinistra) a 45 gradi (linea di destra).

Va notato che i livelli di sorgente presentati non sono direttamente comparabili tra un'imbarcazione e l'altra perché i passaggi delle navi sono stati effettuati a velocità diverse corrispondenti alla navigazione abituale di ciascuna.

I risultati ottenuti per l'LNG Guardian sono stati utilizzati per il calcolo delle distanze di insorgenza delle soglie di impatto sui mammiferi marini presentati nella sezione 3.3. Qui i livelli sono stati corretti in quanto dai dati AIS si è evinto che il Guardian per la maggior parte del tempo scarroccia con un solo motore acceso al minimo. I livelli di sorgente calcolati sono quindi stati scalati per la velocità effettiva utilizzata dal Guardian durante l'allibo come determinato in base all' AIS.

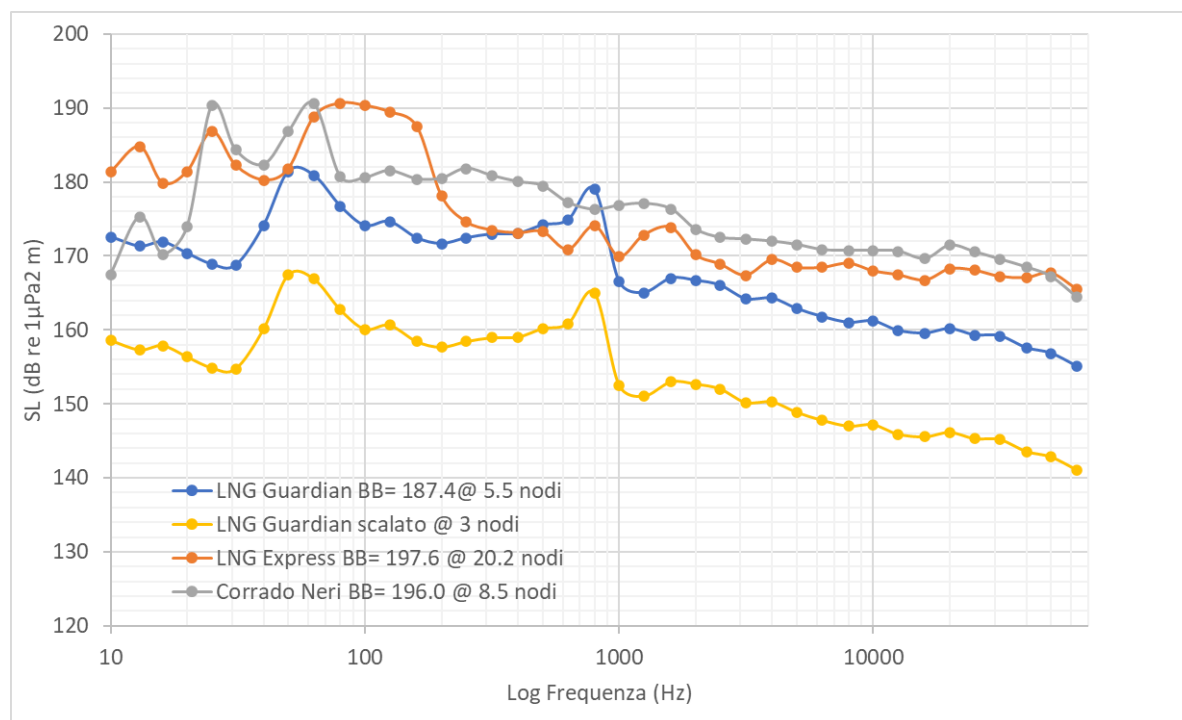


Figura 28. Livelli di sorgente stimati per le tre navi d'interesse (90° percentile dei livelli di sorgente stimati per ogni secondo del passaggio). La velocità a cui è stato percorso il transetto e il livello a banda larga (10 Hz-20kHz) per ogni nave è indicato nella figura. Per l'LNG Guardian è presentato anche il livello scalato a una velocità di percorrenza minore.

3.2.2. Allibo

Le perdite di trasmissione modellizzate dalla sorgente al ricevitore tramite il modello MONM-Bellhop sono state calcolate dalla sorgente al ricevitore (cioè l'idrofono) situato a 1km dall'FSRU Toscana nelle tre direzioni cardinali. I livelli mediani fra le tre direzioni di perdita di trasmissione sono presentati nella Figura 29 per tutte le operazioni dell'allibo. La perdita di trasmissione in funzione della distanza appare avere una pendenza simile alla trasmissione sferica. Le curve per le diverse operazioni sono sovrapposte dato che i livelli sono molto simili.

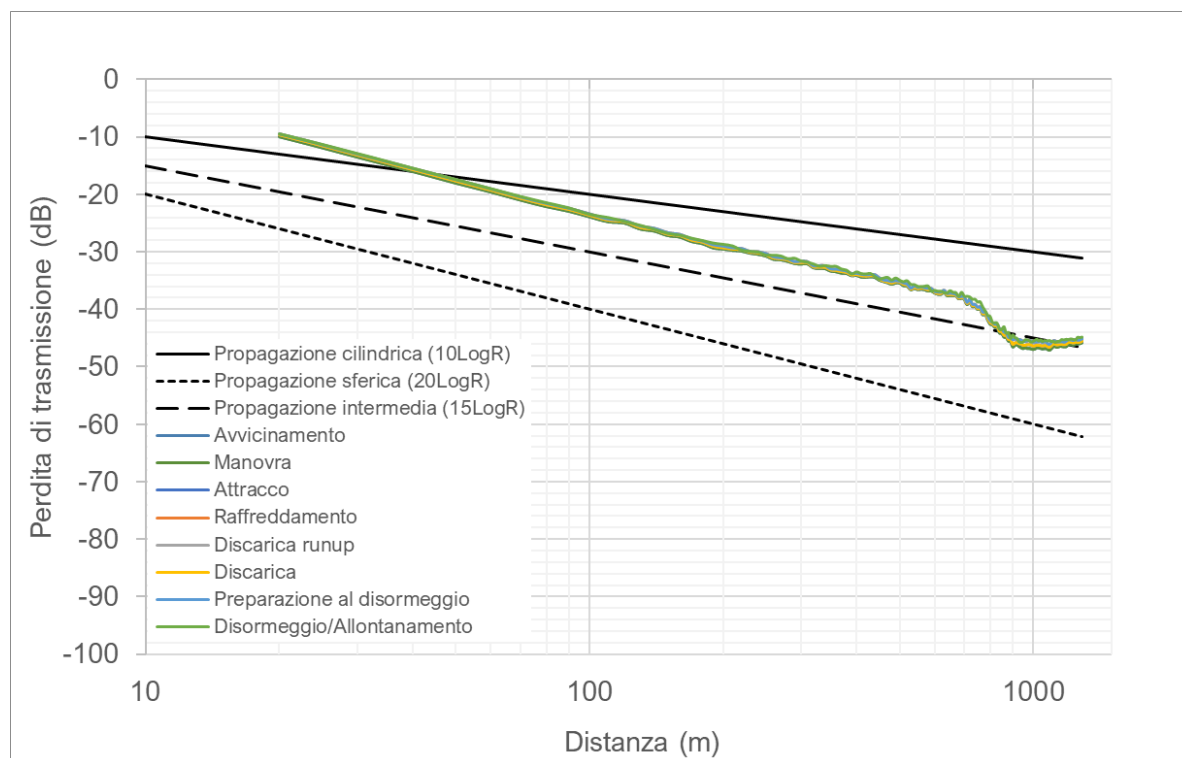


Figura 29. Grafico a dispersione della perdita di trasmissione massima sulla colonna d'acqua dalla sorgente al ricevitore (stazione di monitoraggio) a 6.5km per ogni operazione monitorata. Curve di riferimento per la propagazione cilindrica, sferica e intermedia sono anche incluse.

I livelli di sorgente sono stati calcolati in ciascuna banda di frequenza per ogni attività e direzione (Tabella 9 e Figura 30) aggiungendo il TL ottenuto dalla modellizzazione ai valori di L_p ricevuti nell'intervallo di 1 minuto. Per la fase di allontanamento non è concettualmente possibile stimare i livelli di sorgente in quanto in questa fase le fonti sonore (FSRU, metaniera e rimorchiatori) si allontanano l'una dall'altra in direzioni differenti; in questo breve lasso di tempo, inoltre, la metaniera passa accanto alla stazione nord mentre i rimorchiatori si avvicinano a quella sud, rendendo difficile l'interpretazione dei dati. I livelli di sorgente per le altre operazioni, presentati in Figura 30, rappresentano la mediana delle tre direzioni cardinali eccetto per la discarica che ha richiesto un trattamento speciale. Durante il giorno e mezzo di discarica i tracciati AIS hanno mostrato che la posizione dei rimorchiatori (rimasti a 500-1000m dal terminale per motivi di sicurezza) è cambiata seguendo l'orientamento del terminale con le condizioni del vento. Per ottenere dei risultati affidabili, il calcolo dei livelli di sorgente per questa operazione è stato limitato al lasso di tempo in cui i rimorchiatori sono rimasti all'incirca equidistanti dalle varie stazioni di monitoraggio.

Tabella 9. Livelli di sorgente (SL, in dB re $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$) calcolati in banda larga (10Hz-20kHz) e bande decidecade per ogni operazione dell'allibo. Il simbolo “-“ significa che i livelli non sono disponibili in quanto per quella stazione i dati non erano rappresentativi dell'attività in corso.

Frequenza (Hz)	Avvicinamento			Manovra			Affiancamento			Raffreddamento			Discarica run up			Discarica			Preparazione al disormeggio		
	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest
Banda larga (10Hz-20kHz)	180	181	182	187	189	192	185	185	186	183	184	188	-	176	177	171	181	174	-	170	-
10	175	179	173	187	186	185	174	174	171	176	174	172	-	171	177	169	174	168	-	168	-
12.6	175	178	174	187	187	186	174	175	170	174	175	172	-	171	169	171	172	168	-	169	-
15.8	177	181	177	190	203	201	178	178	181	175	173	178	-	177	178	176	175	177	-	169	-
20	177	178	178	190	206	206	185	184	189	181	178	183	-	173	178	174	175	177	-	172	-
25.1	188	189	192	198	195	201	192	190	196	190	189	192	-	179	187	179	182	182	-	176	-
31.6	186	187	187	194	192	200	189	191	189	187	186	190	-	179	182	178	182	179	-	175	-
39.8	181	181	186	193	194	201	188	186	191	186	182	190	-	180	178	177	182	178	-	174	-
50.1	185	186	186	194	191	196	192	188	192	191	187	194	-	182	178	173	183	178	-	177	-
63.1	190	191	191	196	197	197	197	193	191	194	191	200	-	183	178	176	186	177	-	179	-
79.4	183	184	187	192	189	197	190	185	192	187	184	197	-	180	180	172	182	179	-	173	-
100	185	186	185	191	191	193	191	188	189	187	187	194	-	184	177	172	184	176	-	175	-
125.9	184	186	189	192	189	193	192	188	191	188	188	196	-	181	177	170	183	175	-	174	-
158.5	183	186	188	191	186	194	192	187	193	188	187	195	-	179	178	170	182	176	-	172	-
199.5	186	186	189	192	187	194	193	189	195	192	188	195	-	177	182	173	186	176	-	171	-
251.2	185	185	187	190	189	192	192	191	193	191	191	191	-	184	186	176	190	180	-	176	-
316.2	185	185	184	189	189	189	189	193	192	188	192	190	-	185	181	177	190	178	-	176	-
398.1	187	187	187	187	188	189	189	196	192	188	190	190	-	180	179	176	188	176	-	174	-
501.2	187	189	192	188	189	191	189	194	189	188	191	190	-	185	189	182	188	189	-	180	-

Frequenza (Hz)	Avvicinamento			Manovra			Affiancamento			Raffreddamento			Discarica run up			Discarica			Preparazione al disormeggio		
	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest	Nord	Sud	Ovest
631	177	183	184	186	185	188	186	188	187	184	187	191	-	173	178	174	182	179	-	170	-
794.3	180	180	182	183	185	190	183	186	189	181	185	188	-	176	176	170	181	175	-	167	-
1000	170	176	175	177	185	185	178	183	188	178	183	185	-	175	174	163	184	171	-	160	-
1258.9	171	165	177	179	172	184	178	173	182	179	173	181	-	165	174	164	178	172	-	161	-
1584.9	178	177	178	182	181	184	181	183	181	181	184	180	-	171	171	168	178	171	-	166	-
1995.3	177	176	176	180	183	180	178	183	177	178	183	175	-	168	168	165	178	167	-	163	-
2511.9	172	175	172	176	180	179	175	177	172	175	177	172	-	168	163	160	176	166	-	163	-
3162.3	176	176	169	179	180	177	176	178	170	176	180	170	-	168	162	164	177	161	-	156	-
3981.1	173	176	174	177	179	178	171	175	170	171	177	169	-	167	164	158	176	165	-	160	-
5011.9	172	173	167	177	178	175	170	174	167	170	177	165	-	166	158	157	174	157	-	153	-
6309.6	167	171	164	173	176	173	168	173	163	167	175	161	-	163	154	154	173	156	-	151	-
7943.3	163	169	156	170	175	171	166	171	160	165	174	157	-	163	149	152	173	151	-	148	-
10000	159	165	154	168	173	168	165	170	160	162	172	156	-	160	146	152	171	150	-	145	-
12589.3	155	163	152	166	172	167	162	167	159	158	169	155	-	159	145	148	169	148	-	142	-
15848.9	152	159	153	164	171	167	160	166	160	156	168	155	-	156	145	146	168	147	-	143	-
19952.6	153	158	154	165	171	166	161	167	158	157	168	154	-	158	148	149	169	150	-	145	-
25118.9	154	157	155	164	169	166	161	165	157	156	166	153	-	159	150	150	166	152	-	148	-

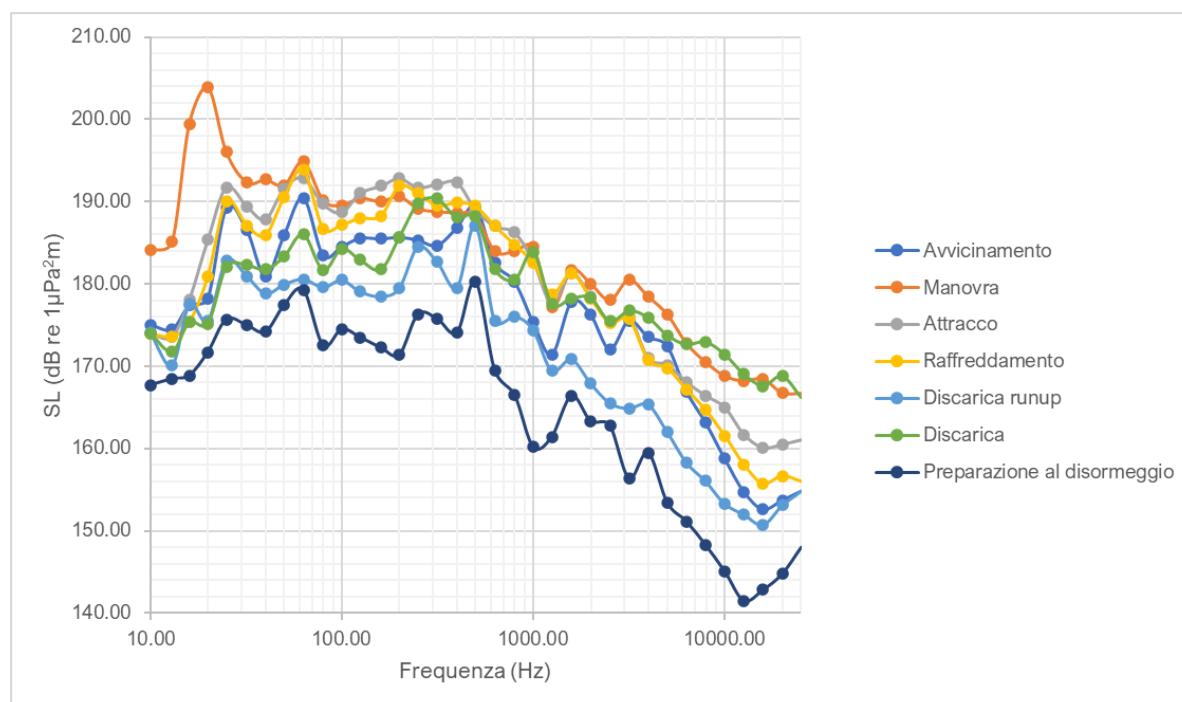


Figura 30. Livelli di sorgente (in bande decedecade) per le attività di allibo riferite a un metro dalle coordinate del terminale FSRU Toscana.

3.3. Impatto sui mammiferi marini

L'impatto del rumore sui mammiferi marini è stato valutato principalmente con riguardo al disturbo comportamentale; le distanze a cui specifici livelli di L_p vengono superati sono presentate in Tabella 10 e nelle Figure 31-39 per ciascuna operazione dell'allibo. Le mappe di sinistra non danno un senso corretto del contributo acustico delle operazioni in quanto non tengono conto del rumore di sottofondo. È dunque più appropriato presentare gli stessi dati come livelli di eccedenza rispetto al livello di sottofondo, come nelle mappe di destra nelle Figure 22-26. I risultati sono discussi nella Sezione 4, nel contesto delle soglie comportamentali identificate per i diversi gruppi uditivi da Borsani and Farchi (2011) e nel più recente studio di Gomez et al. (2016). Le distanze di impatto sono presentate in termini del livello sonoro massimizzato su tutte le profondità, tanto come distanza massima (R_{max}) che come $R_{95\%}$; quest'ultima è generalmente più rappresentativa della distribuzione planare dei livelli.

Le mappe (Figure 31-37) 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 qui si ha una diminuzione rapida dal suono. Inoltre, l'isola di Gorgona, a sud-ovest del terminale FSRU Toscana, costituisce una barriera naturale. In questa direzione, i raggi delle soglie di impatto sono particolarmente estesi rispetto alle altre tre direzioni cardinali seguendo l'andamento della batimetria.

L'attività che presenta le maggiori distanze d'impatto comportamentale appare essere la manovra, seguita dall'affiancamento/attracco. Questo non sorprende, dato che queste operazioni presentano livelli di sorgente più elevati a causa della presenza di tre rimorchiatori a supporto della metaniera. I raggi di insorgenza delle soglie non sono stati calcolati per la fase di allontanamento in quanto non è stato possibile stimare i livelli di sorgente, come spiegato in precedenza.

Le distanze di impatto comportamentale $R_{95\%}$ sono comprese fra i 3.1 km e 11 km per L_p di 120 dB re 1 μPa, soglia di eccedenza per tutti i gruppi uditivi secondo ACCOBAMS (2013). Per L_p di 110 dB re 1 μPa, limite inferiore della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo Borsani

and Farchi (2011), le distanze $R_{95\%}$ sono comprese tra i 6.9 km e i 56 km. Per il limite inferiore della soglia dei cetacei a bassa frequenza di Borsani and Farchi (2011), pari a 100dB, le distanze eccedono il dominio della modellizzazione in direzione ovest rispetto al terminale; di conseguenza i valori di $R_{95\%}$ riportati nella Tabella 10 non sono accurati. Si è deciso di includerli per dare un'indicazione del fatto che nelle altre direzioni cardinali i livelli di pressione sonora decadono rapidamente e, come si può evincere dalle mappe, i raggi di impatto sono notevolmente minori. Dato che, come verrà discusso nella prossima sezione, il valore di 100-110 dB re 1 μ Pa è comunque ecceduto dal rumore di sottofondo, appare inutile estendere la modellizzazione per tracciarne interamente i contorni. Va inoltre notato che in direzione ovest, data la batimetria e il profilo di velocità del suono, le basse frequenze si propagano per grandi distanze ma effettivamente il suono rimane confinato nella regione superiore della colonna d'acqua. In sezioni trasversali (esempi inclusi per le fasi di manovra, Figura 38, e discarica, Figura 39) si nota come oltrepassati i 60km, l'eccedenza della soglia di L_p di 100 dB re 1 μ Pa avvenga in una frazione limitata del volume insonificato.

Per completezza, l'impatto cumulativo dell'operazione di allibo con riferimento alle soglie di insorgenza di PTS e 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. Come spiegato nei metodi, queste soglie sono calcolate sui livelli ponderati per le frequenze a secondo del gruppo uditivo dei cetacei e accumulati per le durate delle operazioni effettive assumendo che i ricevitori (animali esposti al rumore) rimangano statici per la durata delle attività. Per la discarica, è stata considerata una durata di 24 ore in linea con Southall et al. (2019) anche se non è realistico pensare che gli animali rimangano nella zona esposta per un lasso di tempo così lungo.

Dati questi presupposti, i risultati associano i maggiori raggi di impatto ai cetacei di bassa frequenza visto che le frequenze generate dall'allibo sono principalmente basse. Le operazioni di maggiore impatto sono la discarica, in quanto di lunga durata anche se con un livello di sorgente basso, e la manovra e affiancamento/attracco in quanto brevi ma con livelli di sorgente più elevati.

Tabella 10. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i gruppi di mammiferi marini.

L_p non ponderato (dB re 1 μ Pa)	Avvicinamento		Manovra		Affiancamento o Attracco		Raffreddamento		Discarica run-up		Discarica		Preparazione al disormeggio	
	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)
170	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	0.04	0.04	-	-
160	0.10	0.09	0.21	0.20	0.19	0.19	0.15	0.15	0.04	0.04	0.11	0.10	0.03	0.03
150	0.41	0.40	0.63	0.60	0.70	0.66	0.64	0.61	0.21	0.20	0.53	0.52	0.09	0.09
140 ^e	1.50	0.86	1.67	1.53	1.70	1.57	1.67	1.54	0.78	0.73	1.58	1.50	0.37	0.36
130	3.53	3.18	5.09	4.20	5.58	4.86	5.16	4.13	2.46	2.29	4.22	3.28	0.88	0.82
120 ^a	8.21	6.98	13.6	11.1	11.9	9.97	11.0	8.87	6.15	5.19	8.99	7.30	3.47	3.15
110 ^b	25.9	18.0	85.3	56.0	75.6	41.5	48.9	30.7	16.4	10.5	40.9	19.2	7.94	6.86
100 ^c	118 ^d	99.0 ^d	131 ^d	110 ^d	130 ^d	108 ^d	128 ^d	106 ^d	101	59.1	123 ^d	98.6 ^d	25.0	16.8

a: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale per tutti i gruppi uditivi esposti a rumore continuo secondo ACCOBAMS (2013).

b: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).

c: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (Borsani and Farchi 2011).

d: L'isopleta riportata si estende oltre i limiti di modellazione a ovest. L' R_{max} effettivo potrebbe quindi essere maggiore di quello riportato e l' R_{95} riportato potrebbe non essere rappresentativo.

e: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di frequenza molto alta (riferiti come di alta frequenza in (Borsani and Farchi 2011)). Essi non sono presenti nell'area.

Tabella 11. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini.

SEL ponderato (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$)		Avvicinamento		Manovra		Affiancamento attracco		Raffreddamento		Discarica run-up		Discarica durata = 24h		Preparazione al Disormeggio		
		R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	R_{max} (km)	R_{95} (km)	
LF cetaceans	PTS	199	0.04	0.04	0.08	0.08	0.11	0.10	0.15	0.15	-	-	0.43	0.42	-	-
	TTS	179	0.58	0.55	0.85	0.79	1.58	1.50	1.70	1.57	0.19	0.18	3.62	3.22	0.22	0.21
HF Cetaceans o MF in Borsani and Farchi 2011	PTS	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.03	-	-
	TTS	178	-	-	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	-	-	0.36	0.35	-	-

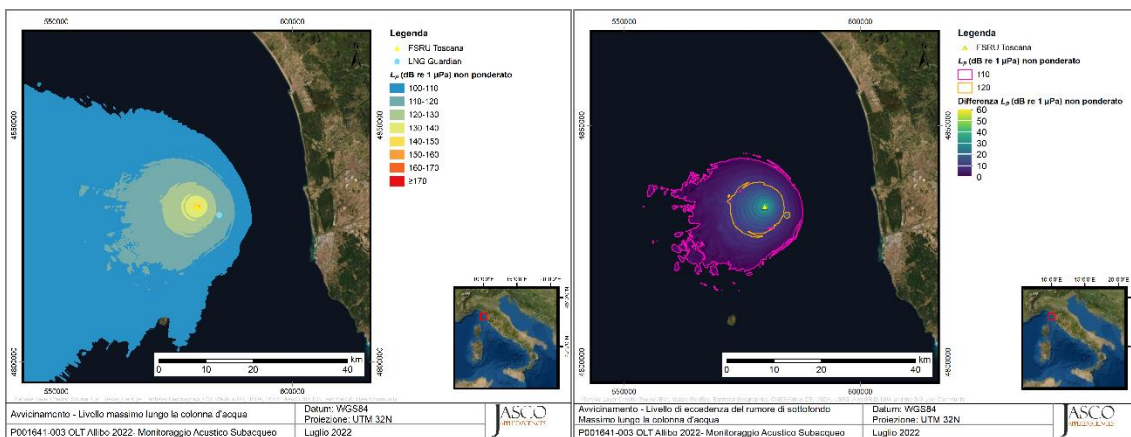


Figura 31. Avvicinamento: mappa che mostra la L_{max} e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

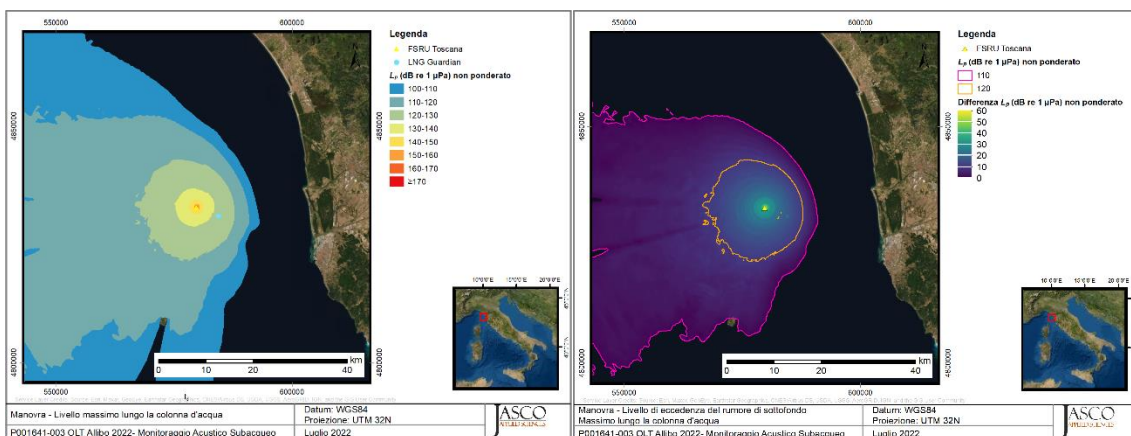


Figura 32. Manovra: mappa che mostra la L_{max} e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

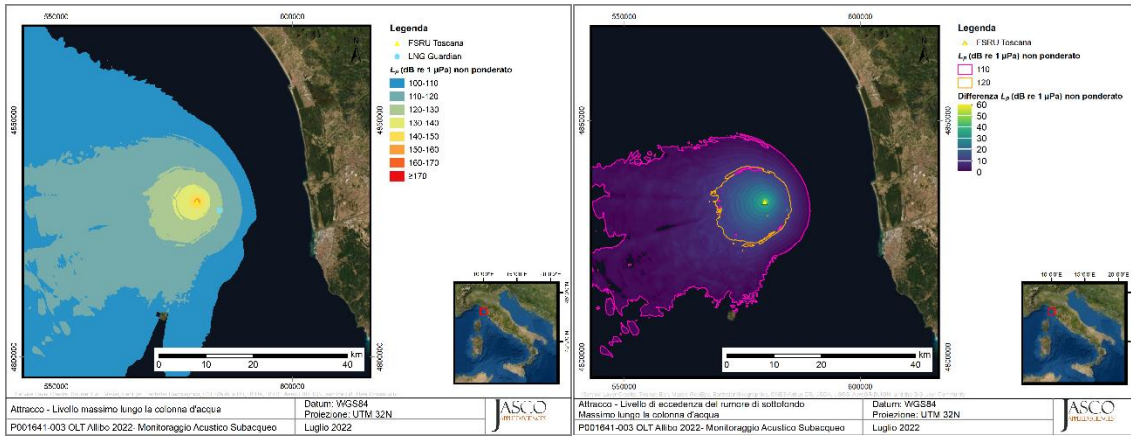


Figura 33. Affiancamento/Attracco: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

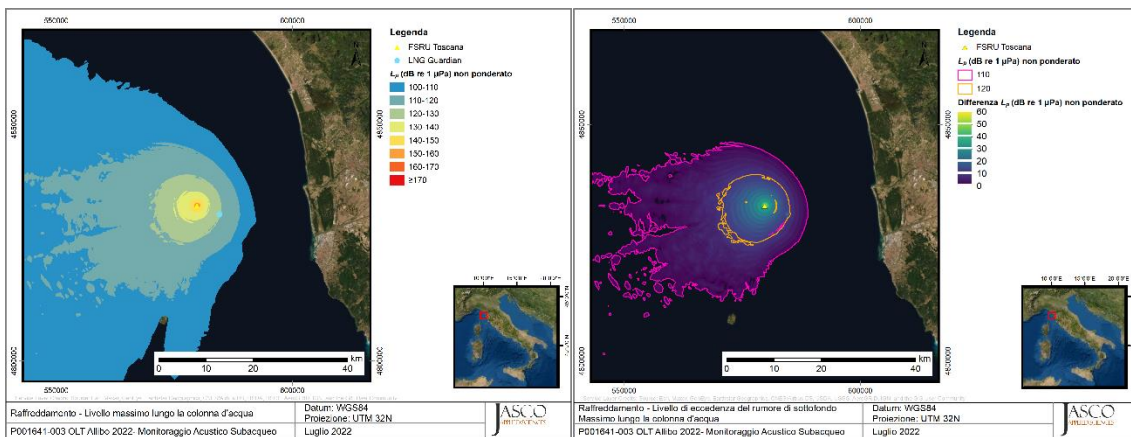


Figura 34. Raffreddamento: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

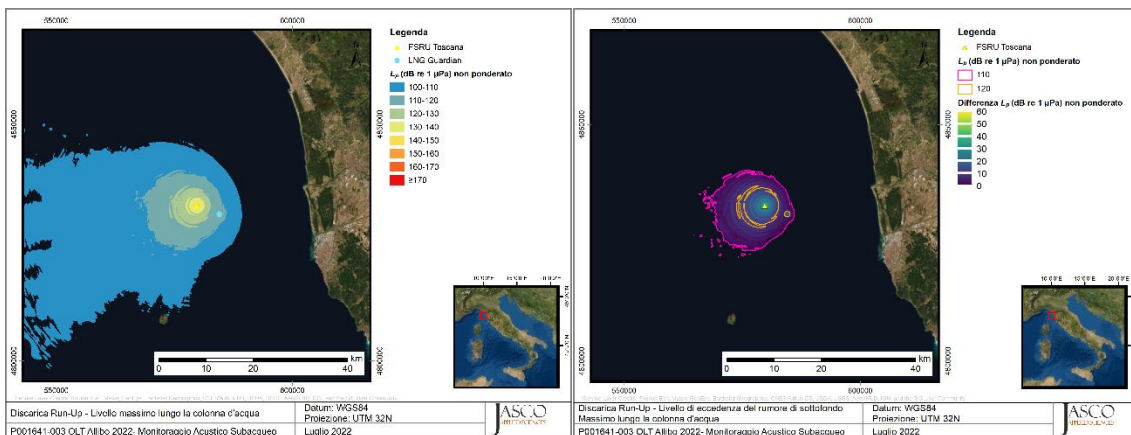


Figura 35. Discarica run-up: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

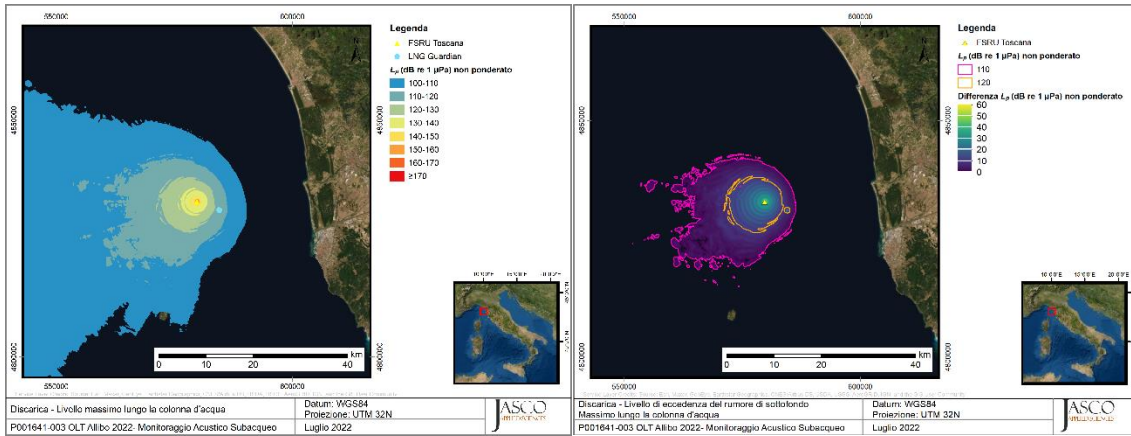


Figura 36. Discarica: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

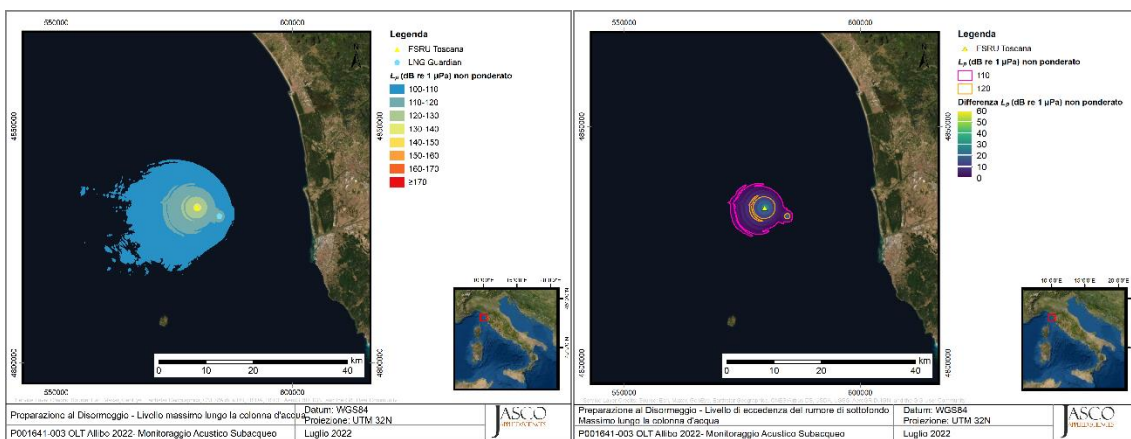


Figura 37. Preparazione al disarmaggio: mappa che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini (sinistra) e gli stessi dati presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo (a destra).

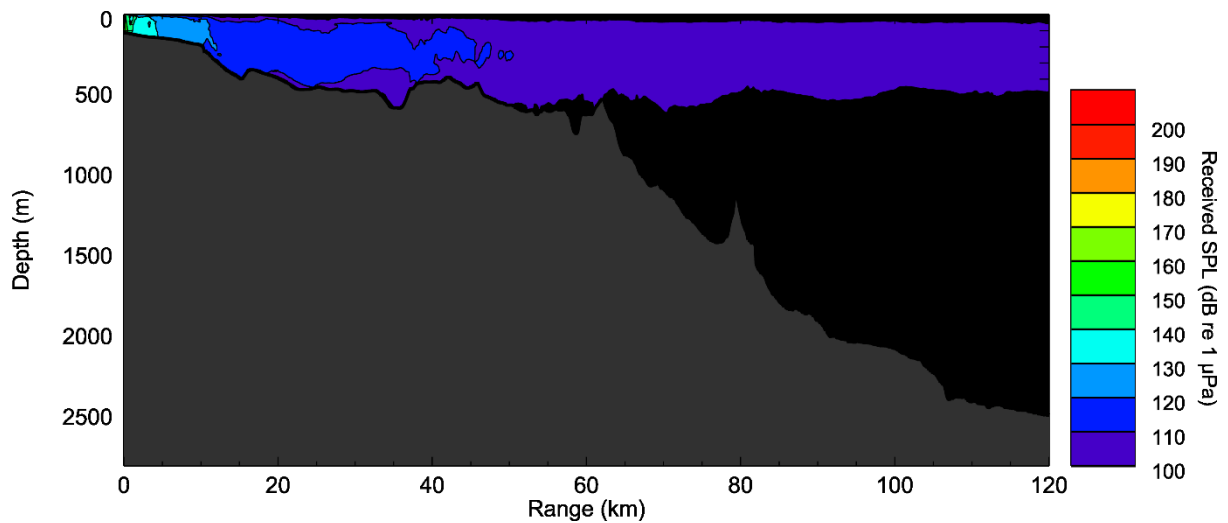


Figura 38. Manovra: sezione trasversale che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo.

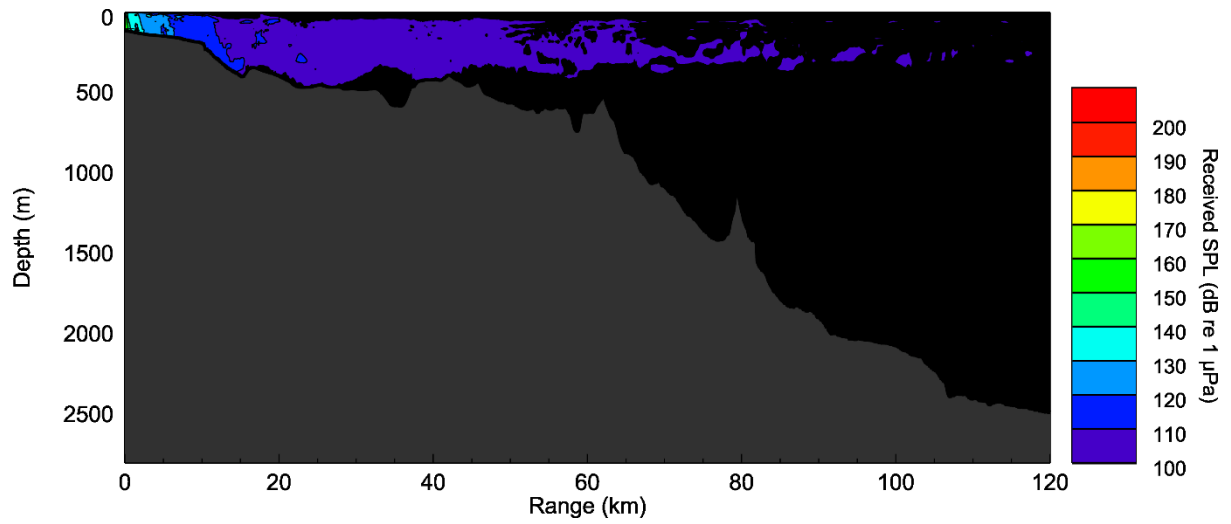


Figura 39. Discarica: sezione trasversale che mostra la e la zona di eccedenza di varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini.

4. Discussione e conclusioni

Lo scopo del presente studio è stato di presentare i livelli misurati durati a giugno 2022 durante le operazioni di allibo di una metaniera di tipologia tipica in discarica al Terminale FSRU Toscana, calcolare i relativi livelli di sorgente associati a ciascuna fase dell'allibo basandosi sulla retro-propagazione dei livelli ricevuti sino a 1 metro dalla sorgente, ed infine determinare le distanze di impatto sui mammiferi marini per queste attività.

I livelli di pressione sonora per l'intera durata della messa in acqua degli strumenti mostrano un andamento conforme con riguardo alle varie direzioni cardinali; a sud i livelli appaiono più elevati e mostrano maggiore variabilità con picchi di breve durata a causa del passaggio presso il registratore di imbarcazioni associate con le attività del terminale, che approcciano in genere da est o sud-est provenendo dal porto di Livorno. Durante il periodo di monitoraggio, e in particolare nella fase di discarica della metaniera, è possibile notare una graduale diminuzione del L_p nell'arco del tempo di questa attività (Figura 11). Il fenomeno è specialmente visibile nella stazione di monitoraggio a ovest del terminale ed è poco visibile a sud, data la presenza regolare di navi di passaggio; la diminuzione appare attribuibile alla variazione delle condizioni del vento³.

Il monitoraggio a lunga durata e il confronto fra le diverse direzioni cardinali hanno mostrato che cambiamenti in L_p di molti dB possono avvenire in un breve periodo data la dinamicità di alcune operazioni che coinvolgono i rimorchiatori, come ad esempio la fase di manovra (Figura 11). Ciò evidenzia l'importanza di aver effettuato registrazioni estese nel tempo e contemporanee per diverse direzioni cardinali⁴.

Il monitoraggio per l'intera durata dell'allibo ha inoltre permesso di apprezzare la variabilità del rumore in relazione al movimento dei rimorchiatori. Di fatto, le frequenze di 63Hz e 125 Hz rappresentative del descrittore 11 criterio 2 (D11C2) per il rumore continuo appaiono notevolmente influenzate dall'attività dei rimorchiatori (Figura 26) e non sono dunque rappresentative dell'operazione di più lunga durata cioè la discarica della metaniera, né delle caratteristiche acustiche principali del terminale che corrispondono a frequenze più alte: 250, 315 e 800Hz (Figura 27).

Infine, è importante sottolineare che i livelli di pressione sonora di sottofondo sono al di sopra delle soglie di eccedenza del disturbo comportamentale per i mammiferi a bassa frequenza (L_p 100-110 dB re $1\mu\text{Pa}$); questo non è sorprendente in quanto quest'area del Mar Mediterraneo è nota come hotspot del rumore sottomarino in quanto soggetta ad intenso traffico navale. 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 $1\mu\text{Pa}$ regolarmente data la presenza di rotte di navigazione altamente frequentate (Magnier and Gervaise 2020). La densità di traffico circostante al terminale FSRU Toscana (Figura 3) è paragonabile a quella riportata in questo studio.

³ Due fattori possono contribuire a questa diminuzione dei livelli sonori, l'alleggerimento della metaniera dovuto al trasferimento del cargo con risultante riduzione della profondità della sorgente, e un cambiamento delle condizioni meteorologiche (vento e altezza dell'onda). La potenziale influenza di questi due fattori è stata studiata in dettaglio analizzando frequenze specifiche indicative del suono radiato dalle navi (basse frequenze) in contrasto con le alte frequenze che sono influenzate dagli agenti atmosferici. Inoltre, si è effettuata una modellizzazione dei livelli di sorgente per capire la sensibilità dei livelli al cambiamento della profondità della sorgente. Considerando che la sorgente FSRU non cambia di profondità e il pescaggio della metaniera cambia al massimo di 1 metro durante l'operazione di discarica, e che questo non comporta un cambiamento nei livelli modellizzati superiore a 1dB, si può escludere che questa sia la fonte della diminuzione graduale dell' L_p misurato. Le condizioni del vento appaiono la spiegazione più plausibile.

⁴ Se fosse stato fatto un paragone fra le stesse fasi estrapolando da dati ottenuti consecutivamente nelle diverse direzioni cardinali, si sarebbe potuto giungere a conclusioni errate riguardo alla variabilità dei livelli a seconda della direzione di propagazione del suono. Allo stesso modo, si potrebbe giungere a una conclusione erronea sulla propagazione del suono nella colonna d'acqua in base a misurazioni fatte durante periodi consecutivi in posizioni o a profondità diverse.

4.1. Navi individuali

La misurazione dei livelli di sorgente delle navi associate alle operazioni del terminale FSRU è stata effettuata per completezza dello studio, traendo vantaggio del fatto che si fosse presentata l'opportunità di effettuare misure dedicate al di fuori delle operazioni di allibo. La stima dei livelli di sorgente dell'LNG Guardian è stata inoltre necessaria per la modellizzazione dell'impatto sui mammiferi marini in quanto tale nave è sempre presente sul campo e rimane a una distanza di almeno 2km dal terminale, richiedendo che venga inclusa come un punto distinto dalle altre sorgenti. Il livello di sorgente per il Guardian è stato stimato per un passaggio effettuato a una tipica velocità di navigazione di 5.25 nodi, mentre l'attività tipica di questa nave riscontrata durante l'allibo è quella di avanzare contro corrente col motore al minimo fino al raggiungimento di una distanza di circa 4km e di ritornare poi nella posizione iniziale lasciandosi portare dalla corrente (Figura 14). Pertanto, il contributo del rumore di questa nave è notevolmente ridotto per una gran parte dell'operazione di allibo. Questo fatto è stato tenuto in considerazione nella valutazione delle soglie di impatto comportamentale dei mammiferi marini.

I livelli di sorgente ottenuti per le altre due navi misurate non sono stati utilizzati per la stima degli impatti in quanto l'Express non è coinvolto nelle operazioni di allibo e il Corrado Neri è incluso nella modellizzazione solo in concomitanza con le altre sorgenti. Se fosse possibile ottenere una stima istantanea dei livelli di sorgente dell'FSRU Toscana e Flex Endavour in isolamento dai rimorchiatori, si potrebbe eseguire una modellizzazione più dettagliata basata su una sintesi delle varie sorgenti. Questo in pratica non è fattibile poiché la metaniera deve sempre essere scortata dai rimorchiatori.

I livelli di sorgente ottenuti presentano caratteristiche simili (nella forma dello spettro e livelli) a quelli riportati per imbarcazioni della stessa categoria in MacGillivray and de Jong (2021).

4.2. Allibo

Durante l'allibo, i livelli mediani di pressione sonora su banda larga (10hz-20kHz) ricevuti ad una distanza di ~1km dal terminale FSRU Toscana sono risultati essere tra i 135-150 dB re 1 μ Pa a sud, fra i 132-150 dB re 1 μ Pa a nord e fra i 132-146 dB re 1 μ Pa a ovest del terminale. La variabilità può essere spiegata dai movimenti delle barche di supporto all'allibo e dalla presenza dell'LNG Guardian che si è mantenuto in posizione sud e sud-est per tutta la durata dell'allibo. Questi livelli, come ci si può attendere, sono più elevati rispetto a quelli ricevuti nelle rispettive stazioni nel periodo prima e dopo l'allibo.

Nei livelli ricevuti non è stato riscontrato un effetto direzionale della propagazione del suono (Figura 17 e Figura 24); in effetti i livelli ricevuti verso ovest sono risultati più bassi durante tutte le fasi di monitoraggio, inclusi i periodi di pre- e post-allibo. Bisogna però notare che l'effetto direzionale nella propagazione del suono si manifesta a decine di km di distanza dal terminale quando la batimetria diventa più profonda, favorendo la propagazione a lungo raggio delle basse frequenze (ad es., Figura 32). Dalla modellizzazione è evidente che la propagazione avviene preferenzialmente verso ovest, seguendo la batimetria dell'area. Verso la zona costiera, l'acqua diventa poco profonda e qui si ha una diminuzione rapida del suono. Inoltre, l'isola di Gorgona, a sud-ovest del terminale FSRU Toscana, costituisce una barriera naturale.

La modellizzazione è stata effettuata assumendo una sorgente puntiforme per l'allibo, cioè considerando che tutte le navi coinvolte fossero raggruppate in uno stesso punto. Chiaramente, come confermato dall'analisi dei dati AIS, questo scenario non è realistico per l'intero svolgimento dell'allibo. Ciò è particolarmente vero per la fase di scarica; infatti, durante questa operazione i rimorchiatori rimangono per lo più in attesa a qualche centinaio di metri di distanza dal complesso FSRU+metaniera per poter intervenire in caso di emergenza, e cambiano posizione se il terminale si riorienta a causa di variazioni delle condizioni meteomarine. Questa situazione dinamica e i movimenti dei rimorchiatori in

relazione al terminale e agli strumenti sono stati studiati in dettaglio per determinare l'approccio più appropriato per modellizzare l'operazione. Si è concluso che l'approccio adottato sia robusto ed ottimale dato il fatto che la metaniera per motivi di sicurezza deve essere sempre scortata dai rimorchiatori e non può quindi essere misurata in isolamento. Inoltre, il contributo della presenza del LNG Guardian (presenza determinata dal regolamento della Capitaneria di porto – ordinanza 06/2014) è stato tenuto in considerazione nelle stime dell'impatto sui mammiferi marini. Per questa nave è stato possibile ottenere livelli di sorgente indipendenti e realistici come descritto sopra (paragrafo 4.1). La sua presenza è rilevabile nei risultati in forma di un innalzamento locale dei livelli di rumore nell'area immediatamente circostante, ma non appare comportare un sostanziale aumento dei raggi di insorgenza delle soglie di impatto sui mammiferi marini.

Le attività che coinvolgono l'impiego diretto dei rimorchiatori (avvicinamento, manovra e affiancamento) risultano nei raggi di più lunga portata per quanto riguarda l'eccedenza dei livelli di disturbo comportamentale. Questo è prevedibile dato che le operazioni di manovra e affiancamento sono quelle a cui si sono rilevati livelli di sorgente più alti e che i picchi spettrali interessano soprattutto le basse frequenze (sotto 1kHz) che si propagano meglio sulle lunghe distanze.

Nonostante l'eccedenza delle soglie comportamentali per i mammiferi marini appartenenti ai gruppi uditivi dei cetacei a bassa frequenza e ad alta frequenza (secondo Southall (2019), corrispondenti a bassa frequenza e media frequenza di Borsani 2011) sia prognosticata sino a decine di chilometri dalla sorgente, si deve tener presente che i livelli compresi fra 100 e 120 dB re 1 μ Pa L_p sono regolarmente riscontrati nel rumore di fondo per aree molto trafficate come questa zona nel Mediterraneo, come si evince dalle mappe che mostrano i livelli di eccedenza rispetto al rumore di fondo (Figure 31-37, destra). Si può inoltre osservare che i livelli a banda larga di L_p già raggiungono i 120 dB re 1 μ Pa nelle fasi pre- e post-allibo dimostrando che l'area, sebbene influenzata dalla presenza del terminale standalone, presenta un rumore di fondo pari a questi livelli. Ciò è confermato dallo studio condotto da (Magnier and Gervaise 2020) che hanno misurato nel mare a nord/nord-est della Corsica L_p di circa 110 dB re 1 μ Pa nella banda 100Hz-30kHz nel mese di luglio. È plausibile considerare che il livello a banda larga del rumore di fondo possa essere anche superiore se si considerassero le frequenze al di sotto dei 100Hz che sono prominenti nel rumore delle navi. Inoltre, è importante osservare come il suono si propaghi nella colonna d'acqua sulle lunghe distanze: come mostrato negli esempi della Figura 38 e Figura 39, le soglie vengono eccedute soltanto nella parte superiore della colonna d'acqua. Dato che i mammiferi marini utilizzano il loro ambiente in tre dimensioni, essi saranno esposti a tali livelli sonori alle distanze limite indicate solo se a determinate profondità.

L'eccedenza delle soglie di PTS e TTS è riconducibile alla durata delle operazioni; in questo caso, infatti, i maggiori raggi di impatto si riscontrano per l'attività di scarica sebbene questa abbia livelli di sorgente relativamente bassi poiché il suono è accumulato (senza decadimento) su una durata di 24 ore. Nella valutazione dell'insorgenza delle soglie per PTS e TTS bisogna considerare però che nella modellizzazione il ricevitore, cioè l'animale potenzialmente esposto alla sorgente di rumore, è considerato statico. Modelli più sofisticati che prendono in considerazione il movimento degli animali esistono, ma richiedono parametri dettagliati sui potenziali movimenti degli animali e la loro reazione al tipo di sorgente considerata. Ai fini di questo studio si ritiene che l'approccio presentato sia valido dal punto di vista fisico, ma intrinsecamente precauzionale nel contesto della realtà biologica.

Nel peggiore degli scenari considerati, cioè la scarica, la PTS per i cetacei a bassa frequenza con un'esposizione al rumore di 24 ore avviene entro 400 metri dalla sorgente e la TTS entro ~4km. Bisogna tenere anche conto del fatto che i cetacei a bassa frequenza non sono comuni nell'area ma sono generalmente di passaggio più a ovest in acque più profonde. I cetacei più comuni nei pressi del terminale sono i delfinidi (cetacei di alta frequenza secondo Southall, 2019 e media frequenza secondo Borsani 2011), e i raggi di impatto su queste specie sono estremamente limitati sia per PTS che TTS. Di fatto la PTS è riscontrata solo per la scarica entro un raggio di 40 metri dal terminale e la TTS entro 420 metri (pertanto in zona limitrofa al terminale che è lungo circa 300m).

5. Glossario

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

1/3-ottava

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

1/3-banda-di-ottava

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

90%-energia nella finestra temporale

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

90% livello di pressione sonora (90% L_p)

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

allibo

Insieme di operazioni che effettua una manovra per affiancarsi, scaricare ed allontanarsi dal Terminale Galleggiante

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

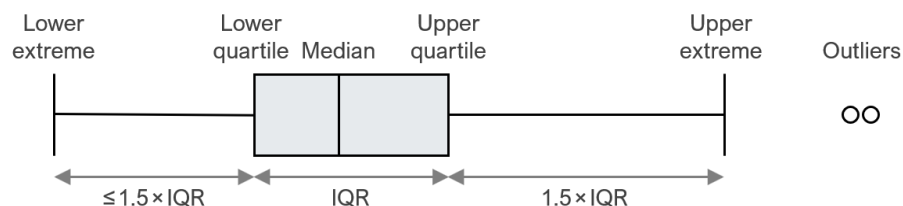
Banda di frequenza la cui larghezza di banda è un deciso. Nota: la larghezza di banda di una banda decidecade aumenta con l'aumentare della frequenza centrale.

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: SPL, 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.
- Collins, M.D. 1993. A split-step Padé solution for the parabolic equation method. *Journal of the Acoustical Society of America* 93(4): 1736-1742. <https://doi.org/10.1121/1.406739>.
- 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>.
- Etter, P.C. 1996. *Underwater Acoustic Modeling - Principles, Techniques, and Applications*. Second edition. E & FN Spon, London, UK. 344 pp.
- 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>.
- Farcas, A., P.M. Thompson, and N.D. Merchant. 2016. Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 57: 114-122. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.012>.
- 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. and C.A.F. de Jong. 2021. A Reference Spectrum Model for Estimating Source Levels of Marine Shipping Based on Automated Identification System Data. *Journal of Marine Science and Engineering* 9(4). <https://doi.org/10.3390/jmse9040369>.

- 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.
- 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.
- Urick, 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>.
- Zhang, Z.Y. and C.T. Tindle. 1995. Improved equivalent fluid approximations for a low shear speed ocean bottom. *Journal of the Acoustical Society of America* 98(6): 3391-3396. <https://doi.org/10.1121/1.413789>.

Appendice A. Terminologia

A.1. Acustica sottomarina

Il suono è più comunemente descritto utilizzando la metrica del livello di pressione sonora (SPL o 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_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_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, $f_c(i)$, is defined as:

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

e il limite basso (f_{lo}) e alto (f_{hi}) della frequenza di un i -esimo 1/3-banda di ottava definita come:

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

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

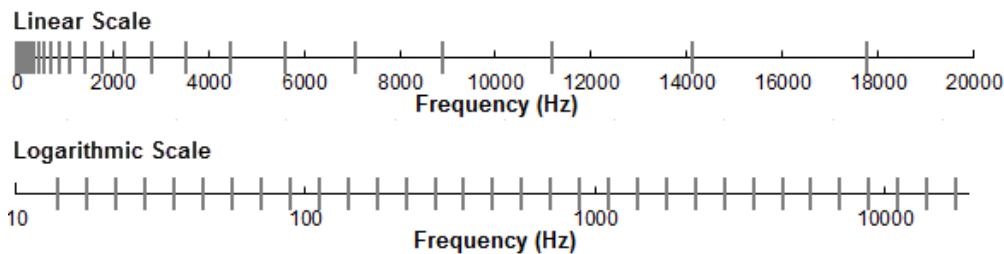


Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.

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

$$L_{p,i} = 10 \log_{10} \int_{f_{lo,i}}^{f_{hi,i}} S(f) df \text{ dB} \tag{A-5}$$

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

$$\text{Broadband } L_p = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \text{ dB} \tag{A-6}$$

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_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.

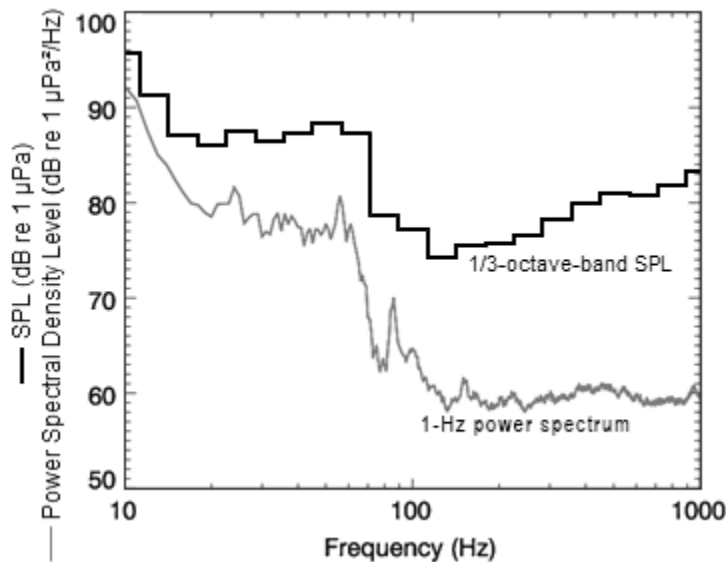


Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l' L_p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

A.3. Southall (2019) Funzioni di ponderazione uditiva

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 né alle definizioni delle funzioni di ponderazione della frequenza né ai valori di soglia rispetto ai criteri definiti in Southall et al. (2007). La Tabella A-1 elenca i parametri di ponderazione della frequenza per ciascun gruppo uditivo. La figura A-3 mostra le curve di ponderazione in frequenza risultanti.

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

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

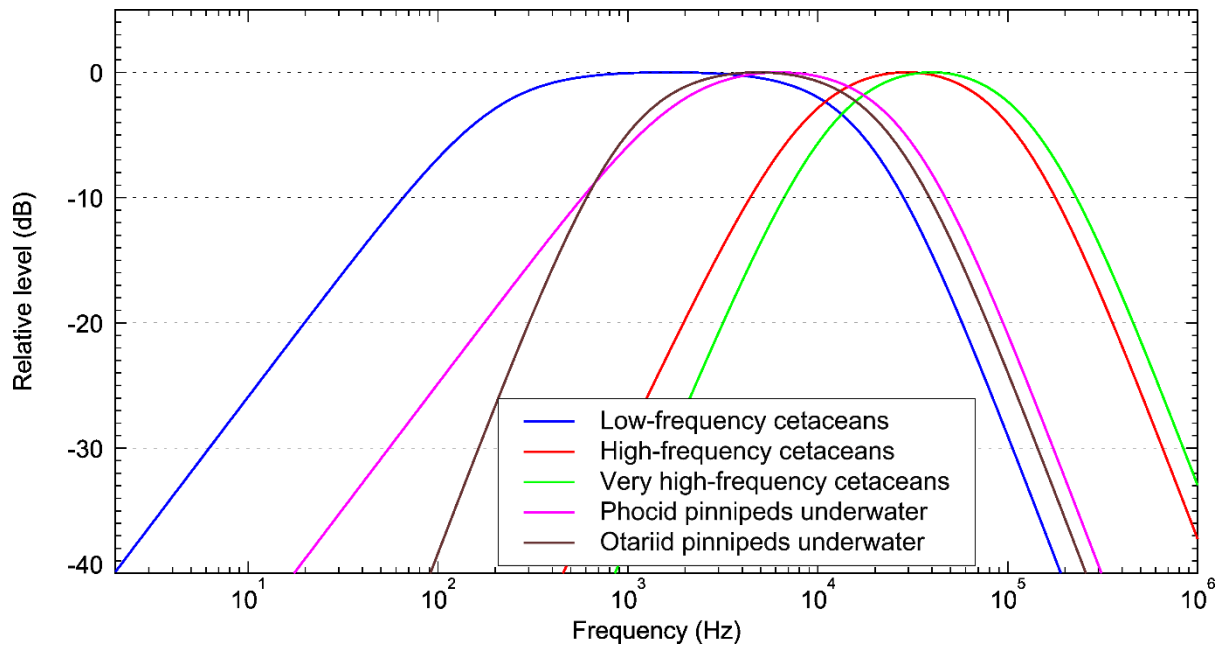


Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).

Appendice B. Propagazione del suono

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

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

MONM calcola i campi acustici in tre dimensioni 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 di $\Delta\theta$, ottenendo $N = 360^\circ/\Delta\theta$ numero di piani (Figura B-1). La dimensione del gradino angolare dei radiali viene scelta per campionare sufficientemente la configurazione del fascio sorgente. MONM tiene conto della variabilità del livello sonoro dell'impulso emesso con angoli sia di azimut che di depressione secondo lo schema del fascio 3D della sorgente e stima i livelli sonori a varie distanze orizzontali dalla sorgente ea varie profondità.

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

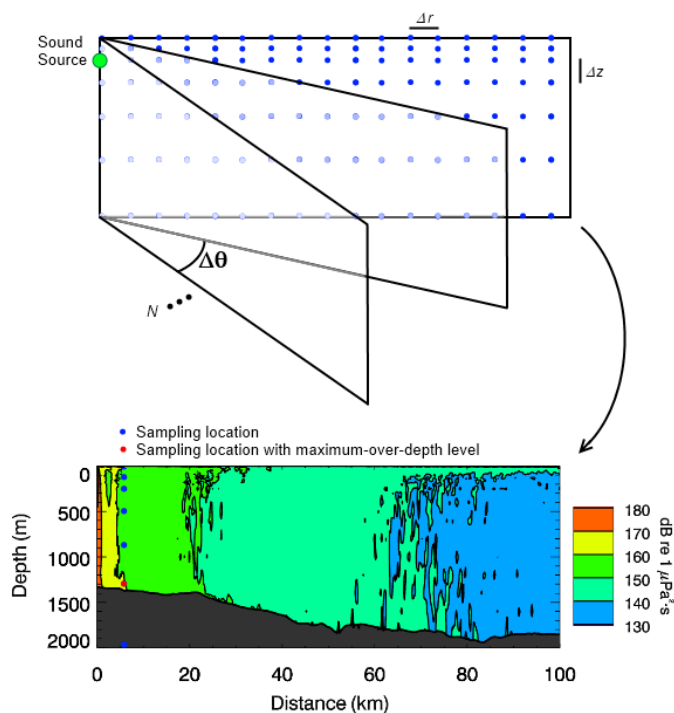


Figura B-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.

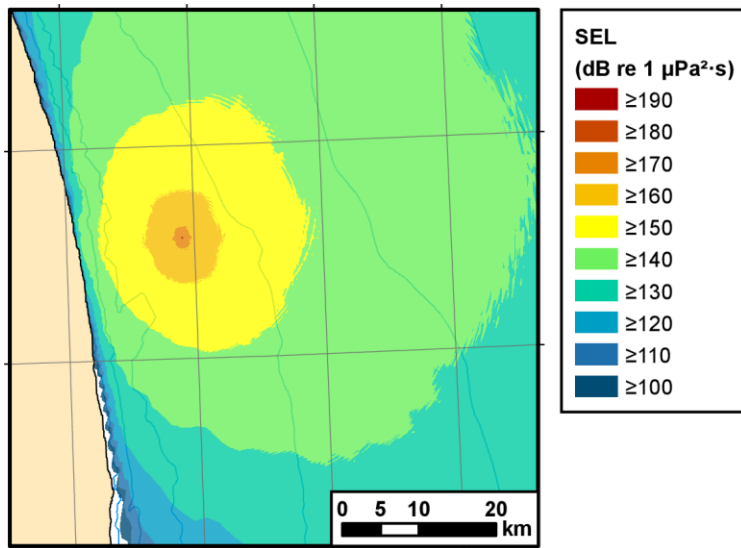


Figura B-2. Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profonditàExample of a maximum-over-depth SEL per una sorgente non specificata.

Appendice C. Caratteristiche tecniche degli strumenti

C.1. AMAR G4 PVC

DATASHEET

AMAR G4 PVC 2X

Autonomous Multichannel Acoustic Recorder Generation 4
PVC 2X pressure housing



Product code: AMAR G4-PVC-2X-6.5

The AMAR G4 electronics and 48 D-cell batteries in a stream-lined PVC housing for deployments of over a year to 250 m. Optional external battery packs for longer deployments and high data rate sampling. Customizable with collar floats, end bales, hydrophone cage, flow shield, and mooring accessories. Easy configuration with the user-friendly AMARlink software and the AMAR Comms Box. Comprehensive user manual with deployment, retrieval, and maintenance checklists.

SPECIFICATIONS

Environmental

Maximum depth: 250 m
Operating temperature: -5 to 50 °C
Storage temperature: -18 to 55 °C

Physical

Dimensions (D x L): 6.5 x 35.7 in
[165.1 x 906.8 mm]
Material: PVC, anodized aluminum,
316 stainless steel
Weight in air: 56.0 lbs 25.4 kg
Weight in seawater: 22.1 lbs 10.0 kg

Hydrophones & Arrays

Customizable options from various manufacturers. Sensitivities and frequencies tailored to your needs.
Example sensitivities: -164 dB re 1 V/μPa @ 1 kHz
-210 dB re 1 V/μPa @ 1 kHz
Example frequencies: 1 Hz to 50 kHz
5 Hz to 100 kHz
20 Hz to 200 kHz

Acoustic sensors: Omnidirectional hydrophones
Directional hydrophones
Vector sensors
Small linear arrays
Small spatial arrays

Communications

Wired Comms Box to connect via Ethernet
Activation plug to turn on and off

Memory & Timing

Removable flash memory: Up to 10 TB on 512 GB SD cards
Data format: WAV, CSV
Clock accuracy (manufacturer's specification):
Built-in clock: 5 ppm w/ 4.6 ppm aging over 20 years
Optional TCXO clock: 0.7 ppm w/ 1 ppm aging in first year
Optional CSAC: 10 ppb
Time sync options: GPS PPS, NMEA (60 μs accuracy)
AMARlink (1 s accuracy)

Power

Operating voltage: 7-24 V_{DC}
AC power adapter: 110-240 V, 50-60 Hz, 0.5 A
Internal battery pack: 48 alkaline D cells

4 to 16 Acoustic Channels

Resolution: 24-bit
Sample rates: 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 ksp/s
sampled synchronously
Spectral noise floor: Better than -150 dB re FS per root Hz
at all sample rates
Fixed gain to match hydrophone

Seven Oceanographic Sensor Channels

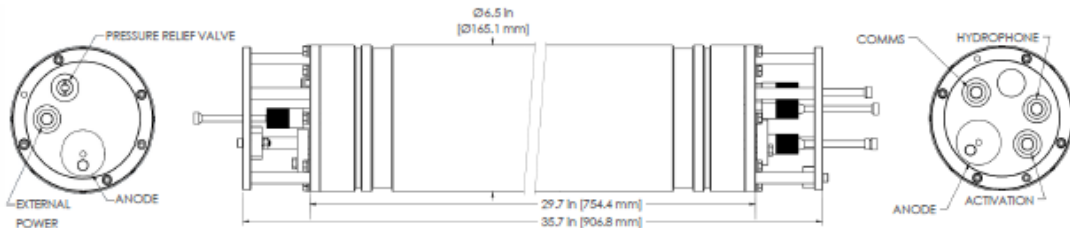
Sensor options: Oxygen, salinity, acidity/pH, depth,
turbidity, orientation (roll-pitch-yaw),
temperature, others upon request

Four analog channels:

Sample rate: 1 sps
Dynamic range: 10 bits
Voltage: 0 to 5 V

Up to three serial channels:

One RS-232 and
Two configurable as RS-232, RS-422,
RS-485, or 3.3 V logic level



Specifications subject to change without notice. © JASCO Applied Sciences, v2.8

C.2. Idrofono GTI M36-V35-900



GeoSpectrum Technologies Inc.
Customizing Detection

M36-900

The M36-900 is a wide-band omni-directional hydrophone designed for marine observation. It comes with a pre-amplified output of 0 to 35 dB (selectable on order) with current or voltage signalling.



Characteristics

Nominal Voltage Sensitivity (without preamp)	-200 dBV re 1 μ Pa @ 20°C
Size	7.8" length, 1.3" max OD
Depth Rating	900m
Storage and Operating Temperatures	-40 to +70°C
Acceleration Sensitivity	<1.5 mbar/g, in air, any axis
Labelling	Calibration parameters, serial number, date
Connector	MCBH-8M
Pre-Amplifier	
Preamp signalling	Current, single ended voltage or, differential voltage (selectable on order)
Gain	0 – 35 dB (selectable on order)
Input Voltage	6.8 VDC nominal 4.5 – 30 VDC operating range
Band Pass	5 Hz HPF, no LPF installed (unless otherwise specified)
IRN	<30 nV/ \sqrt Hz @10 Hz <4 nV/ \sqrt Hz @1 kHz
Current Draw	1.3 mA (at 6.8 VDC) 4.2 mA with current signalling preamp

ADDRESS:
10 Akerley Blvd., Unit 19
Dartmouth, NS
Canada B3B 1J4

M36-900-08-17-v4

Phone: 902.406.4111
Fax: 902.435.8987
website: www.geospectrum.ca
e-mail: sales@geospectrum.ca

C.3. Calibrazione

Un pistonofono GRAS 42AC (Figura C-1), il cui livello di pressione è riconducibile a un riferimento del National Institutes of Standards and Technology, viene utilizzato per verificare la sensibilità dell'apparato di registrazione nel suo insieme (cioè l'idrofono, il preamplificatore e il sistema AMAR). Il pistonofono è accoppiato all'idrofono tramite un adattatore e produce sul sensore un segnale acustico noto (una sinusoide a 250 Hz con livello di pressione sonora pari a 152.2 dB re 1 μ Pa) per verificare la risposta del sistema di registrazione. La sensibilità del sistema viene misurata indipendentemente dal software che esegue l'analisi dei dati, in modo da fornire un controllo anche sulla corretta calibrazione del software di analisi. Le calibrazioni vengono eseguite prima della spedizione e immediatamente prima e dopo il periodo di operazione in acqua dei registratori. Le letture vengono confrontate per verificarne la coerenza prima di eseguire l'analisi dei dati.



Figura C-1. Vista divisa di un calibratore a pistone GRAS 42AC con un idrofono M15B.

Appendice D. Spettrogrammi delle attività di allibo

D.1. Sud

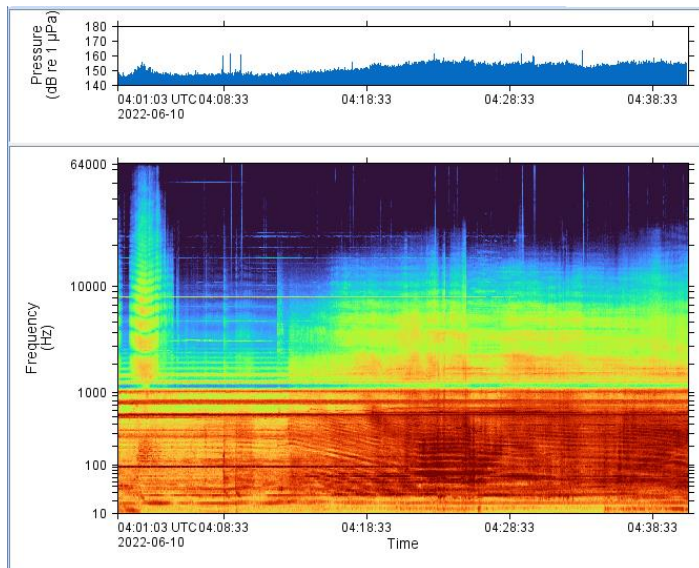


Figura D-1. Avvicinamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). I

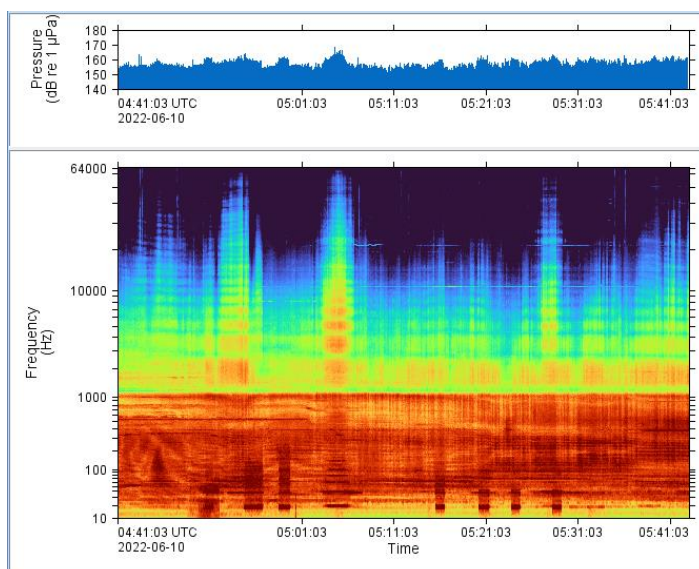


Figura D-2. Manovra: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

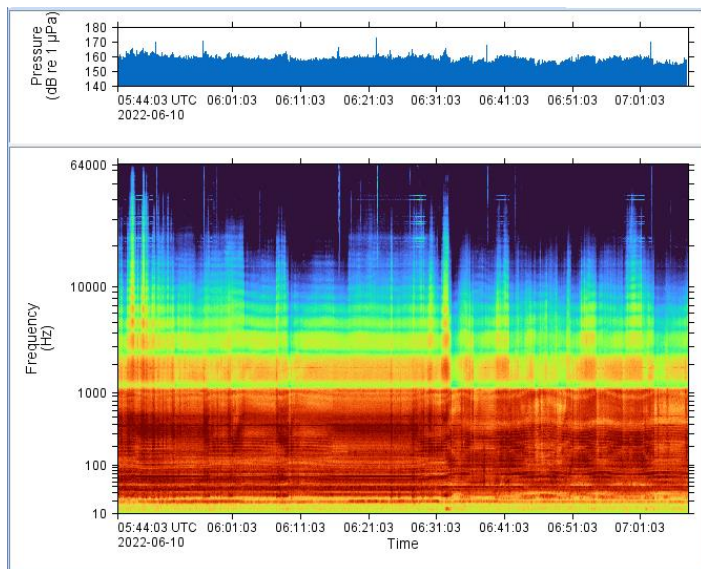


Figura D-3. Affiancamento-attracco: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming)..

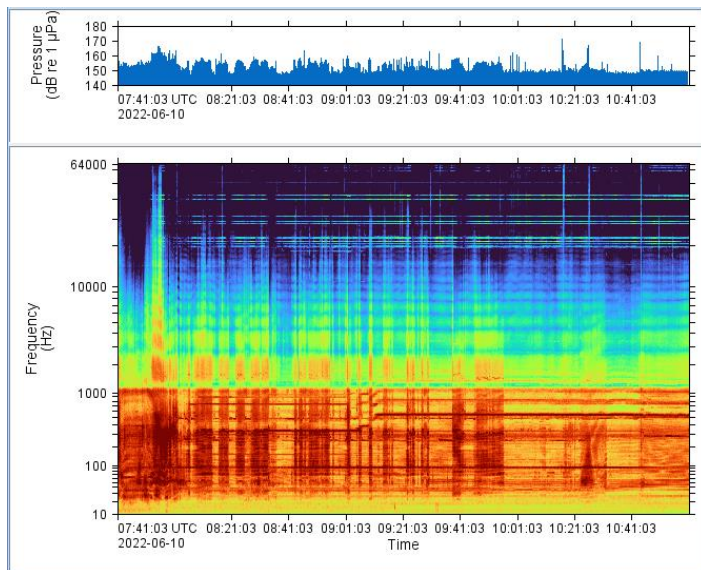


Figura D-4. Raffreddamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

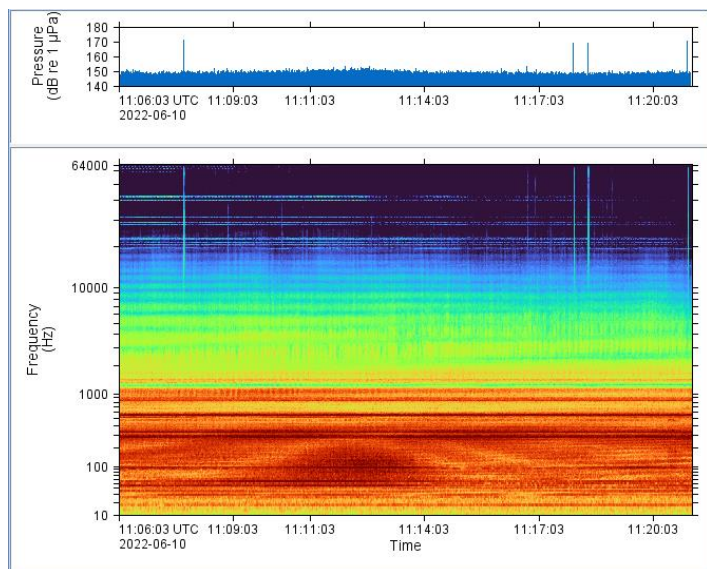


Figura D-5. Scarica run up: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming)..

Figura D-6. Scarica: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). Lo spettrogramma mostra solo 1 ora di attività come esempio illustrativo.

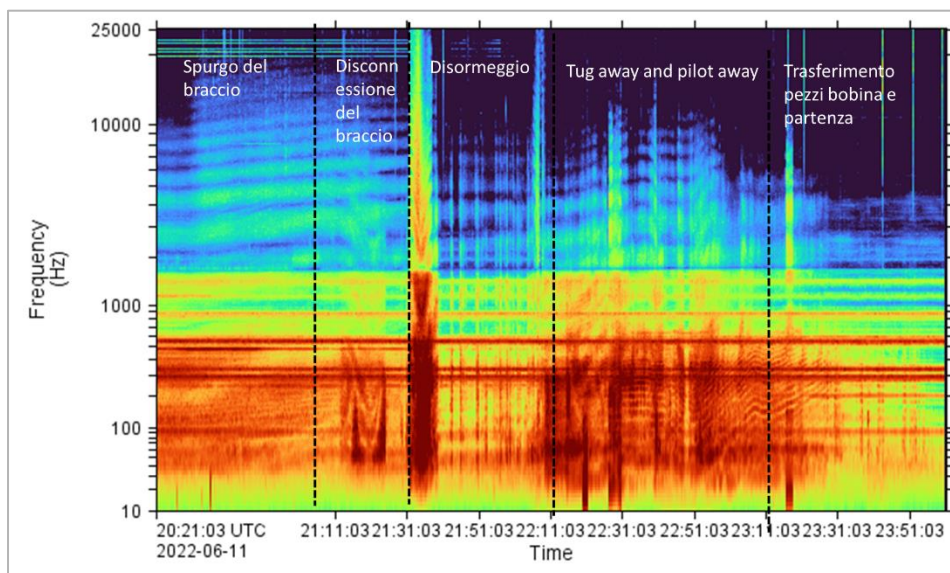


Figura D-7. Preparazione al disormeggio: Spettrogramma delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). Le diverse operazioni effettuate durante questa fase dell'allibo sono state notate basandosi sul registro di bordo del Flex Endavour.

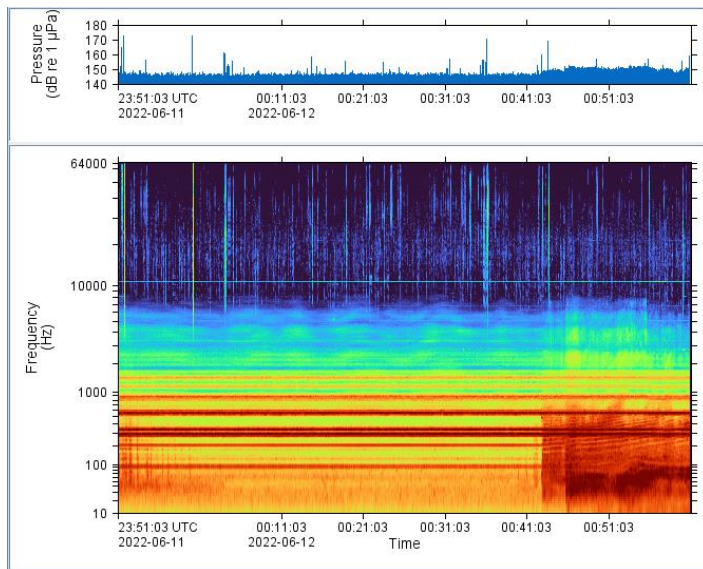


Figura D-8. Disormeggio e allontanamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

D.2. Nord

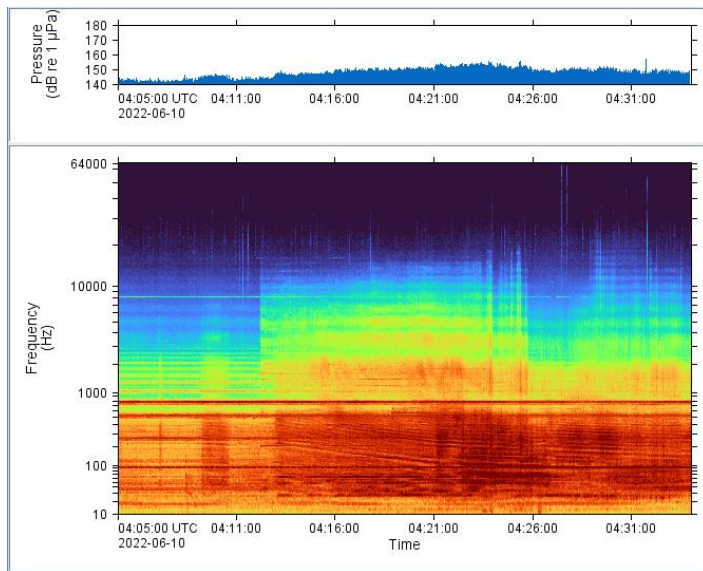


Figura D-9. Avvicinamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

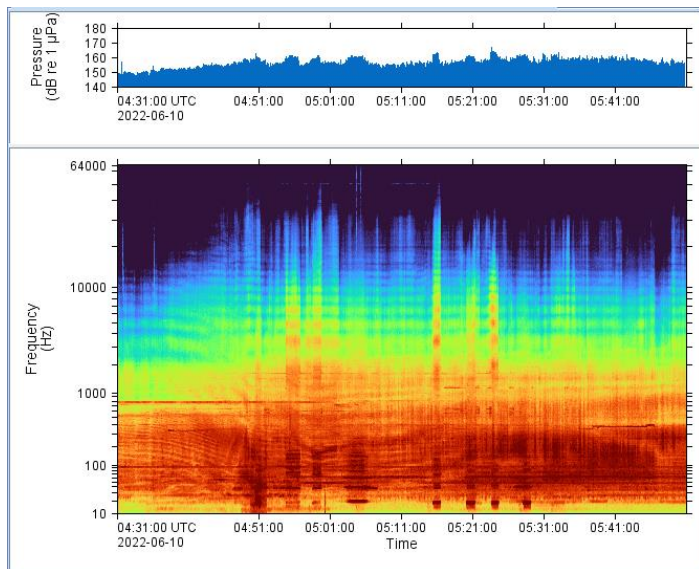


Figura D-10. Manovra: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

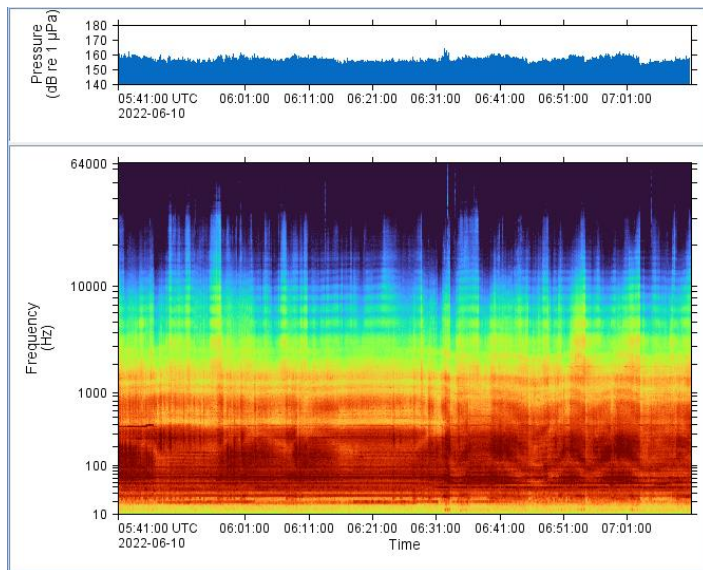


Figura D-11. Affiancamento-attracco: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

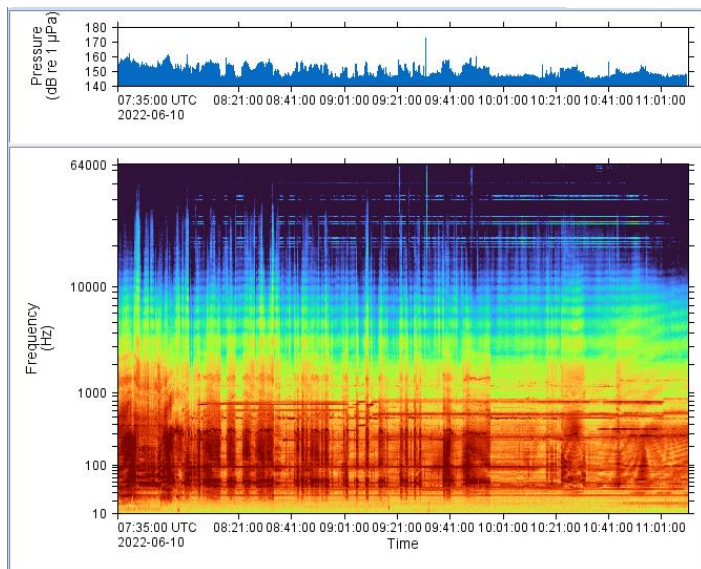


Figura D-12. Raffreddamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

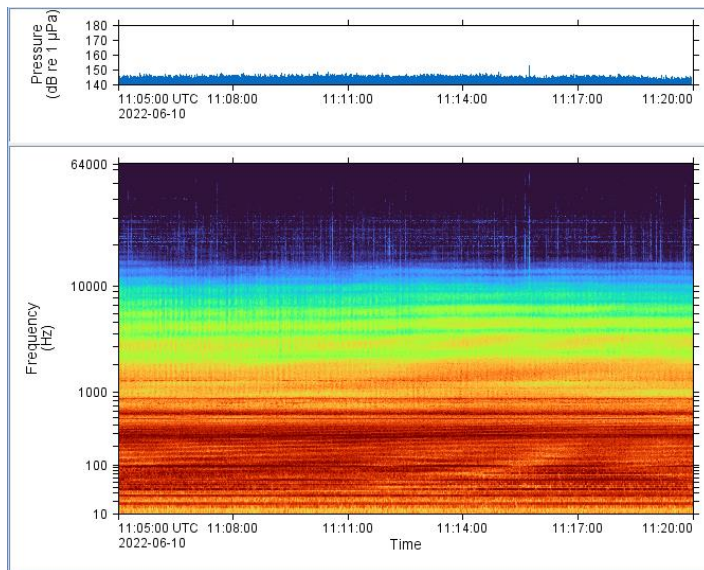


Figura D-13. Discarica run up: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

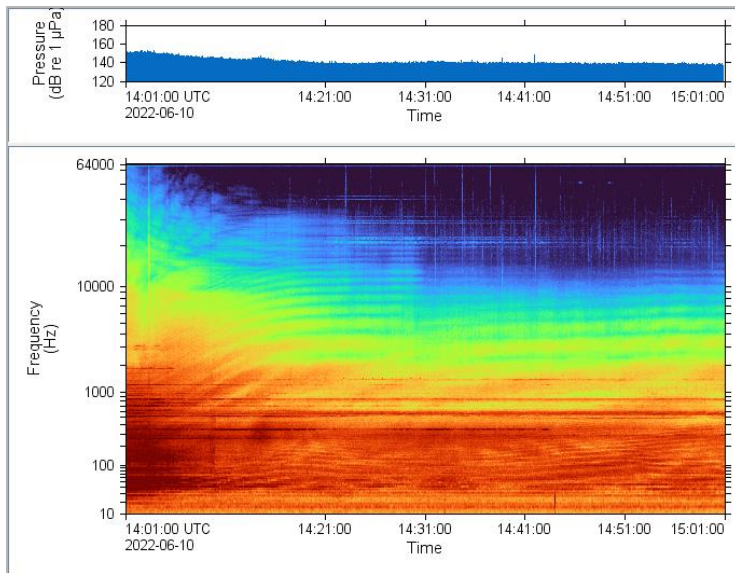


Figura D-14. Scarica: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

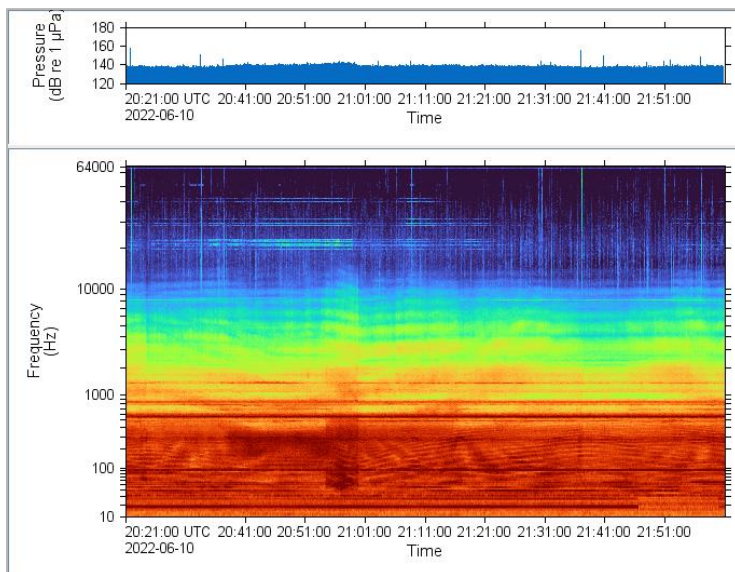


Figura D-15. Preparazione al disormeggio: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

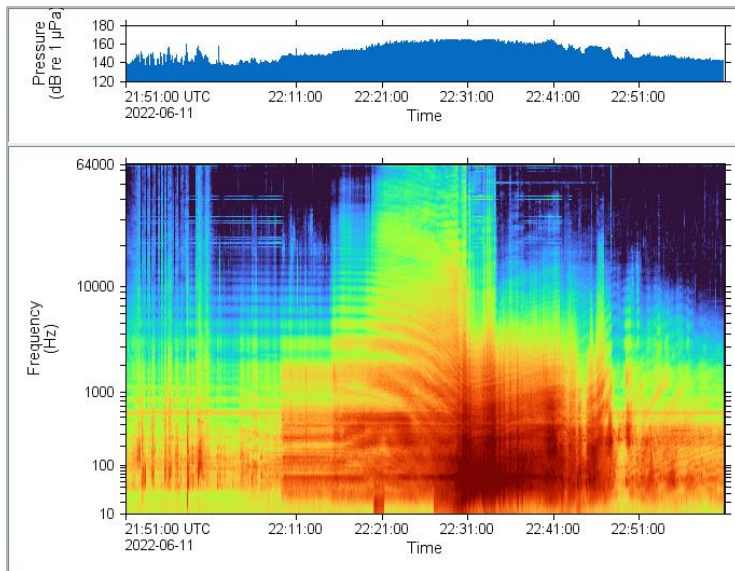


Figura D-16. Disormeggio e allontanamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

D.3. Ovest

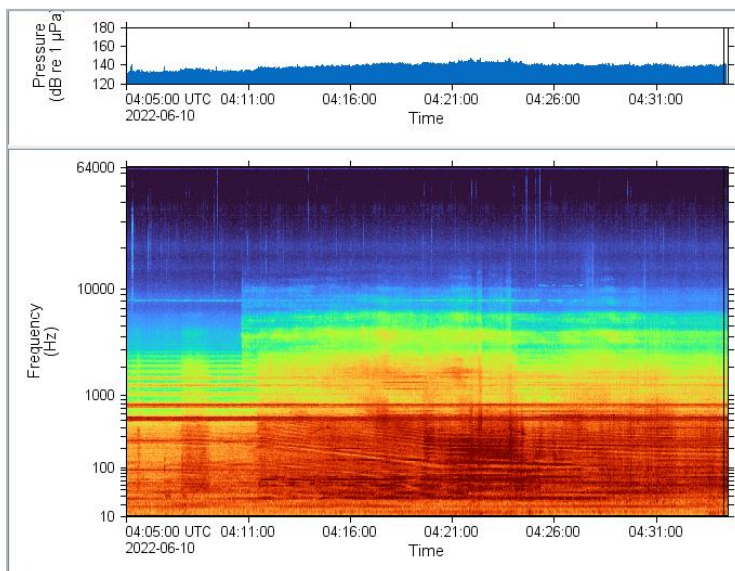


Figura D-17. Avvicinamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

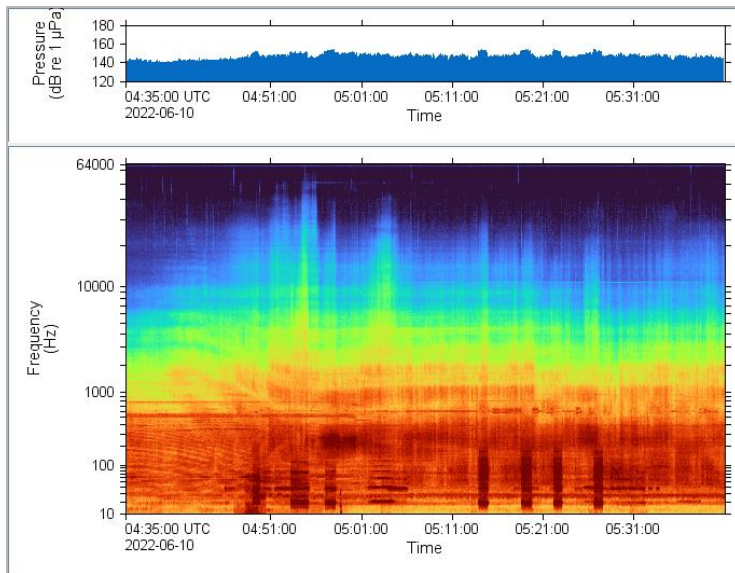


Figura D-18. Manovra: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

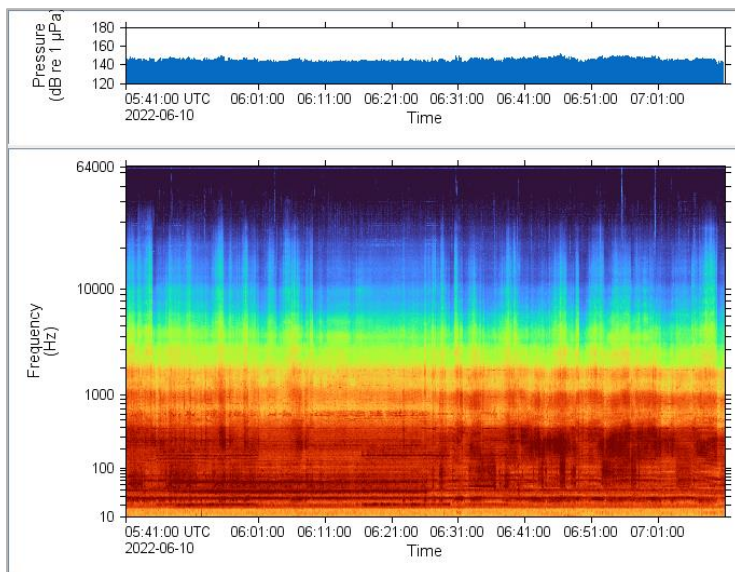


Figura D-19. Affiancamento-attracco: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming)..

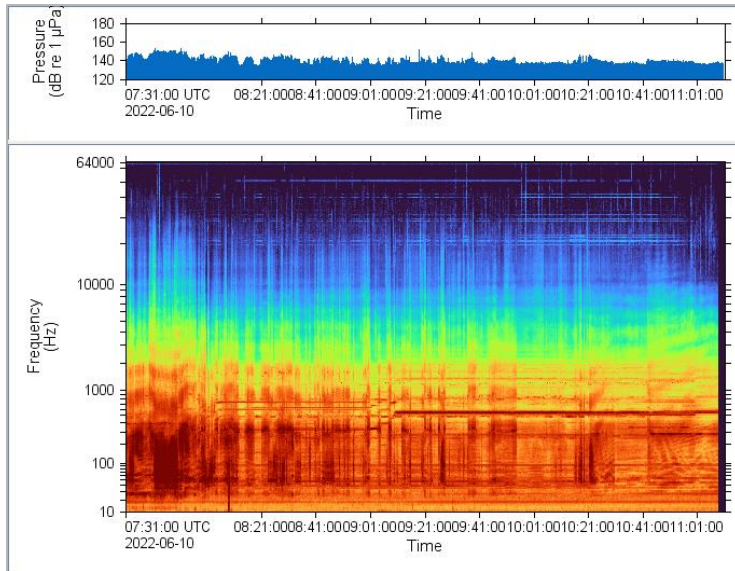


Figura D-20. Raffreddamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

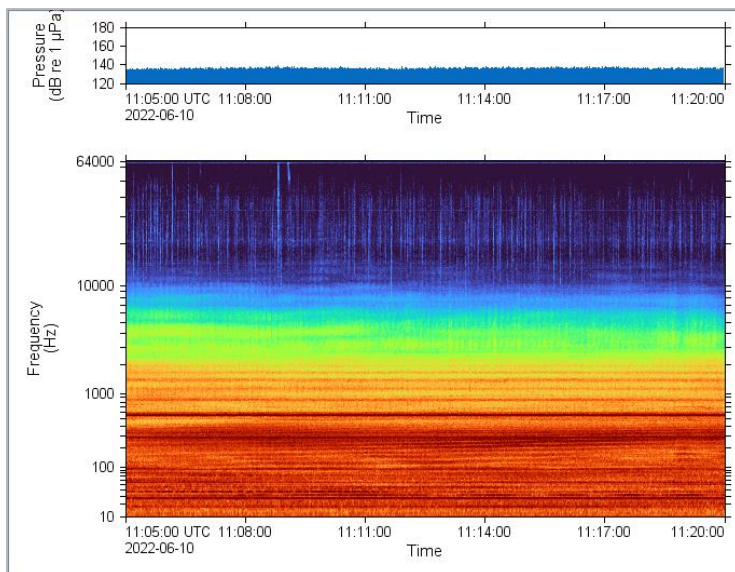


Figura D-21. Scarica run up: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming)..

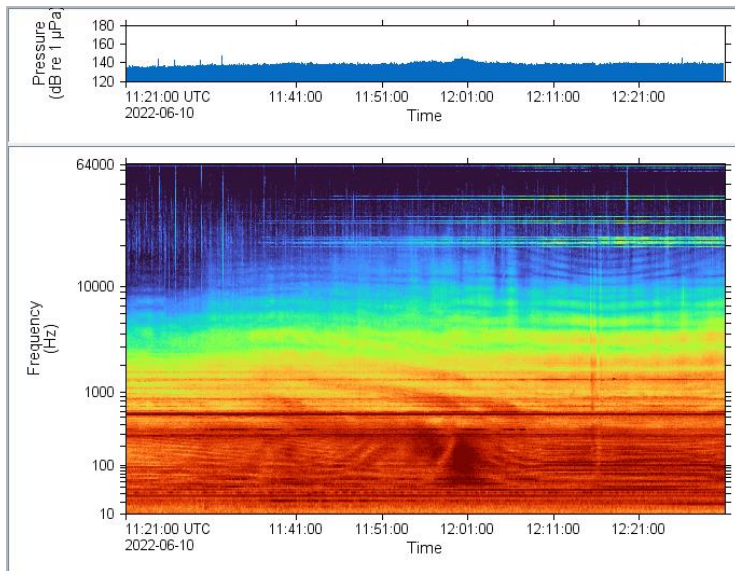


Figura D-22.. Dis Scarica: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming). Lo spettrogramma mostra solo 1 ora di attività come esempio illustrativo.

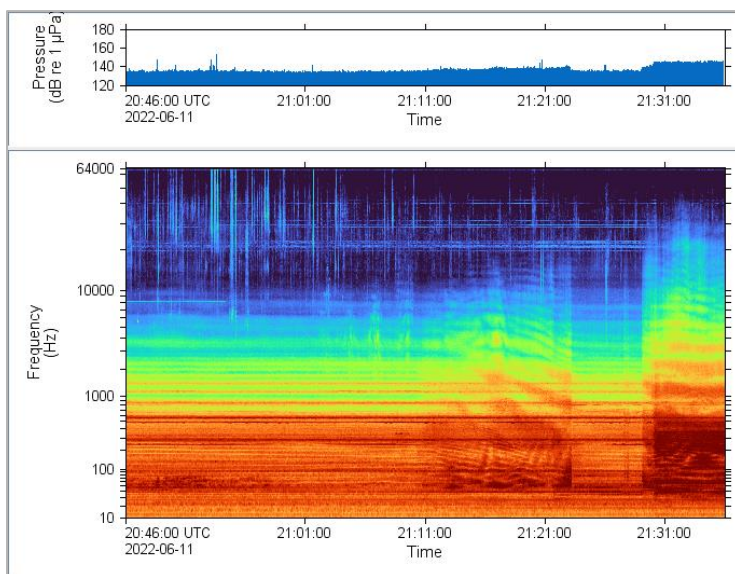


Figura D-23. Preparazione al disormeggio: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).

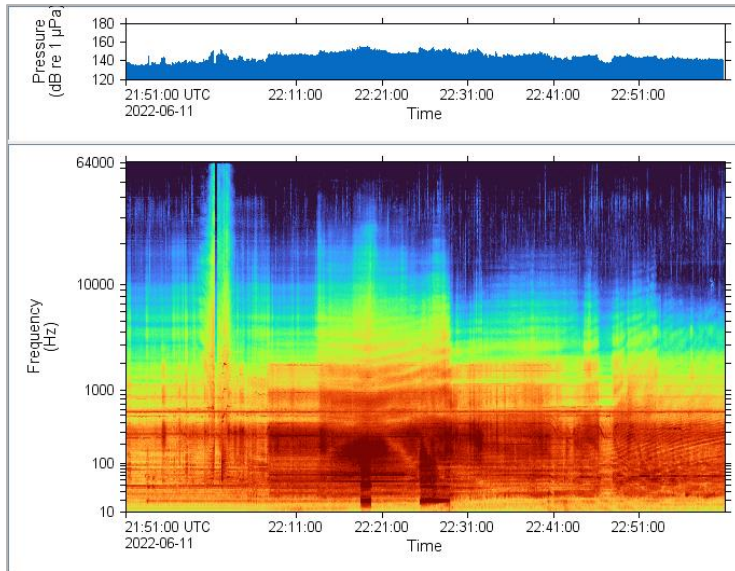


Figura D-24. Disormeggio e allontanamento: Ampiezza (in alto) e spettrogramma (in basso) delle operazioni (risoluzione di frequenza di 0.2 Hz, finestra temporale di 1s, lasso temporale di 0,5 s e finestra di Hamming).



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.