



SMART GAS Monfalcone, Italia

Distribuzione GNL in Regione Friuli-Venezia Giulia

Modellazione Rumore Sottomarino

Doc. No. P0030812-1-H20 Rev. 0 - Febbraio 2023

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Data
0	Prima Emissione	JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH	M. Compagnino	A. Lo Nigro	Febbraio 2023

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

Terminale di Gas Naturale Liquido (GNL) presso Monfalcone/ Caorle

Modellizzazione del rumore subacqueo

JASCO Applied Sciences (Deutschland) GmbH

18 gennaio 2023

Presentato a:

Marco Compagnino
RINA Consulting

Autori:

F. Pace
E. Ozanich

P001731-001
Documento 02971
Versione 1.0



JASCO
APPLIED SCIENCES

Citazione consigliata:

<<Pace, F, e E. Ozanich>> 2023. Terminale di Gas Naturale Liquido (GNL) presso Monfalcone/ Caorle: Modellizzazione del rumore subacqueo. Documento 02971, Versione 1.0. Relazione tecnica della JASCO Applied Sciences per RINA Consulting.

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	2
1.1. Il Progetto	2
1.2. Criteri per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini	3
1.2.1. Soglie e funzioni di ponderazione uditiva dei mammiferi marini	3
1.3. Effetti sul suono della propagazione nell'ambiente marino	5
1.4. Rumore ambientale di fondo	6
2. Metodi	1
2.1. Stima dei livelli di sorgente	1
2.2. Modellizzazione della propagazione del suono	1
2.3. Stima dell'impatto sui mammiferi marini	2
2.4. Parametri Ambientali	3
2.4.1. Profilo della velocità del suono	3
2.4.2. Batimetria	4
2.4.3. Geoacustica	4
3. Risultati	6
4. Discussione e Conclusioni	11
Ringraziamenti	12
Glossario	13
Letteratura Citata	22
Appendice A. Terminologia	25
Appendice B. Propagazione del suono	29

Figure

Figura 1. Mappa (© Google) che mostra le 4 posizioni possibili per l'ancoraggio della nave madre e cerchiata in nero la posizione scelta per la modellizzazione.....	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.	6
Figura 3. Traffico navale nel Mar Adriatico settentrionale durante il 2021.....	7
Figura 4. Spettro dei livelli di sorgente considerati come input del modello.	2
Figura 5. Sintesi dei tipi di modello e della loro applicabilità e accuratezza in base a vari scenari ((JASCO Applied Sciences 2019), riadattato da Etter, 2009).	2
Figura 6. 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
Figura 7. Profilo della velocità del suono utilizzato per la modellizzazione (rosso) e per ogni altro mese dell'anno (grigio).	4
Figura 8. Scenario 1a: mappa delle isoplete del livello sonoro per le varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.	8
Figura 9. Scenario 1b: mappa delle isoplete del livello sonoro per le alle varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.	8
Figura 10. Scenario 2a: mappa delle isoplete del livello sonoro per le varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.	9
Figura 11. Scenario 2b: mappa delle isoplete del livello sonoro per le varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.	9
Figura 12. Sito 1 Caorle: sezione trasversale (azimut 180°) che mostra il livello di pressione sonora ogni 5 dB lungo il transetto di maggiore propagazione del suono subacqueo fino per il Gaslog.	10
Figura 13. Sito 2 Monfalcone: sezione trasversale (azimut 220°) che mostra il livello di pressione sonora ogni 5 dB lungo il transetto di maggiore propagazione del suono subacqueo fino per il Gaslog.	10

Tabelle

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti).....	3
Tabella 2. Soglie di insorgenza di TTS e PTS per mammiferi marini esposti a rumore non impulsivo: soglie in dB re $1 \mu Pa^2 s$ sott'acqua e dB re $(20 \mu Pa)^2 s$ in aria (soltanto per i gruppi PCA e OCA). Le soglie per i sirenidi e gli otaridi sono presentate per completezza ma non verranno utilizzate in quanto nel mar Mediterraneo non sono presenti specie appartenenti a questi gruppi. Tabella adattata da Southall et al. (2019).	4
Tabella 3. Livelli di rumore ambientale misurati da (Picciulin et al. 2019).	8
Tabella 4. Caratteristiche delle navi previste per le operazioni che si terranno presso il rigassificatore. DP=posizionamento dinamico.	1

Tabella 5. Descrizione dei due siti usati come sorgenti per la modellizzazione.	1
Tabella 6. Descrizione degli scenari modellizzati.	1
Tabella 7. 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.....	5
Tabella 8. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini e tartarughe. La notazione '<0.02' indica che la soglia non viene ecceduta alla minima distanza risolvibile.	7
Tabella 9. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini e tartarughe. Il simbolo '-' indica che il livello è minore del livello di sorgente, e la notazione '<0.02' indica che la soglia non viene ecceduta alla minima distanza risolvibile.....	7

Sommario Esecutivo

Lo scopo del presente studio è stato di definire i livelli sonori di sorgente delle navi associate con le attività di allibo del progetto GNL di Monfalcone e modellizzare le distanze di potenziale impatto sui mammiferi marini. Il progetto prevede lo stazionamento di una gasiera (Gaslog Athens) contenente gas naturale liquefatto (GNL) ancorata al largo delle coste del Friuli Venezia Giulia, di fronte a Monfalcone oppure al largo della costa compresa fra Caorle e Bibione.

La modellizzazione è stata effettuata per due siti, uno al largo della costa compresa fra Caorle e Bibione, e l'altro al largo del porto di Monfalcone nel golfo di Trieste. Quest'ultimo è nei pressi della riserva naturale marina di Miramare (designata come IMMA e Natura 2000), un'importante area per la presenza del tursiopo (cetaceo appartenente al gruppo uditivo di alta frequenza) e delle tartarughe marine (*Caretta caretta*).

Il livello di sorgente a banda larga di 169.2 dB re 1 μ Pa m del Gaslog Athens è stato calcolato empiricamente basandosi su misurazioni effettuate dalla JASCO per altri progetti, mentre quelli delle altre imbarcazioni coinvolte con le operazioni di allibo sono stati stimati applicando il modello di Daniel (2022) assumendo che le imbarcazioni siano statiche quindi senza cavitazione delle eliche durante le operazioni modellizzate. I livelli della gasiera sono risultati sostanzialmente più elevati rispetto a quelli delle altre imbarcazioni.

Le distanze corrispondenti all'eccedenza del criterio di danno uditivo e disturbo comportamentale sono state calcolate secondo le linee guida e i criteri più recenti, inclusi Southall et al. (2019) per i mammiferi marini e Finneran (2017) per le tartarughe marine. La propagazione del suono è stata modellizzata utilizzando il modello della JASCO MONM-Bellhop, il quale combina l'utilizzo dell'equazione parabolica per le basse frequenze e il modello ray trace Bellhop per le frequenze sopra 2kHz.

Le distanze di impatto comportamentale calcolate per i diversi scenari (e quindi i due siti) sono molto simili e dominati dal rumore generato dalla gasiera. Le distanze per i valori R95% nei diversi scenari sono di circa 2km per L_p di 120 dB re 1 μ Pa, soglia di eccedenza per tutti i gruppi uditivi secondo ACCOBAMS (2013), e di circa 6 km per L_p di 110 dB re 1 μ Pa, limite inferiore della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo Borsani and Farchi (2011). Per il limite inferiore della soglia dei cetacei a bassa frequenza di Borsani and Farchi (2011), pari a 100 dB re 1 μ Pa, le distanze per i valori di R95% sono di circa 21 km per il sito di Caorle e 19 km per il sito di Monfalcone; questa soglia tuttavia è inferiore al livello ambientale di sottofondo.

Il rumore sottomarino associato con la presenza delle navi modellizzate ha quindi il potenziale di causare disturbo comportamentale a tutte le specie di mammiferi marini presenti nell'area e alle tartarughe marine, ma entro distanze relativamente limitate. Il rumore sottomarino modellizzato è percettibilmente superiore al sottofondo ambientale tipico, cioè un L_p di 110 dB re 1 μ Pa; tuttavia, i livelli sonori scendono al disotto di questo livello entro 6km dalla sorgente. Se invece si considera un L_p intorno ai 120 dB re 1 μ Pa come rumore ambientale, come riscontrato in certi anni di monitoraggio ambientale i livelli sonori scenderebbero a quel livello entro ~2km dalla sorgente.

1. Introduzione

La JASCO Applied Sciences (JASCO) è stata commissionata per effettuare la modellizzazione del rumore subacqueo emesso durante l'operazione del terminale di stivaggio e trasferimento GNL proposto al largo di Monfalcone o Caorle, Italia, (denominato il Progetto) e per stimare le distanze di impatto delle sorgenti identificate sulla fauna marina, in particolare sui cetacei.

1.1. Il Progetto

Smart gas ha presentato al Ministero della Transizione ecologica (MiTE) un progetto che prevede lo stazionamento di una gasiera da 144000 metri cubi di gas naturale liquefatto (GNL) di capacità ancorata al largo delle coste del Friuli Venezia Giulia (circa 20 miglia). Una bettolina (shuttle vessel) farà la spola tra la gasiera e la banchina presso Molino Castello, a breve distanza dal porto commerciale di Monfalcone, trasportando ISO container, che poi verranno trasportati via terra ai clienti. La posizione di ormeggio della gasiera non è ancora stata determinata in quanto tre opzioni sono correntemente vagliate. Per la modellizzazione, una delle tre posizioni, cioè quella più al largo del golfo di Trieste (considerata più conservativa) è stata utilizzata (Figura 1). In alternativa, RINA ha identificato un'altra zona di interesse, in base a criteri di impatto sul traffico marittimo. Questa è localizzata al largo della costa fra Caorle e Bibione (RINA Consulting 2022).

Alla nave madre ormeggeranno per operazioni di allibo la shuttle vessel che preleva il GNL dalla nave madre e una metaniera oceanica che invece rifornisce la nave madre. Le due cose non potranno avvenire contemporaneamente.

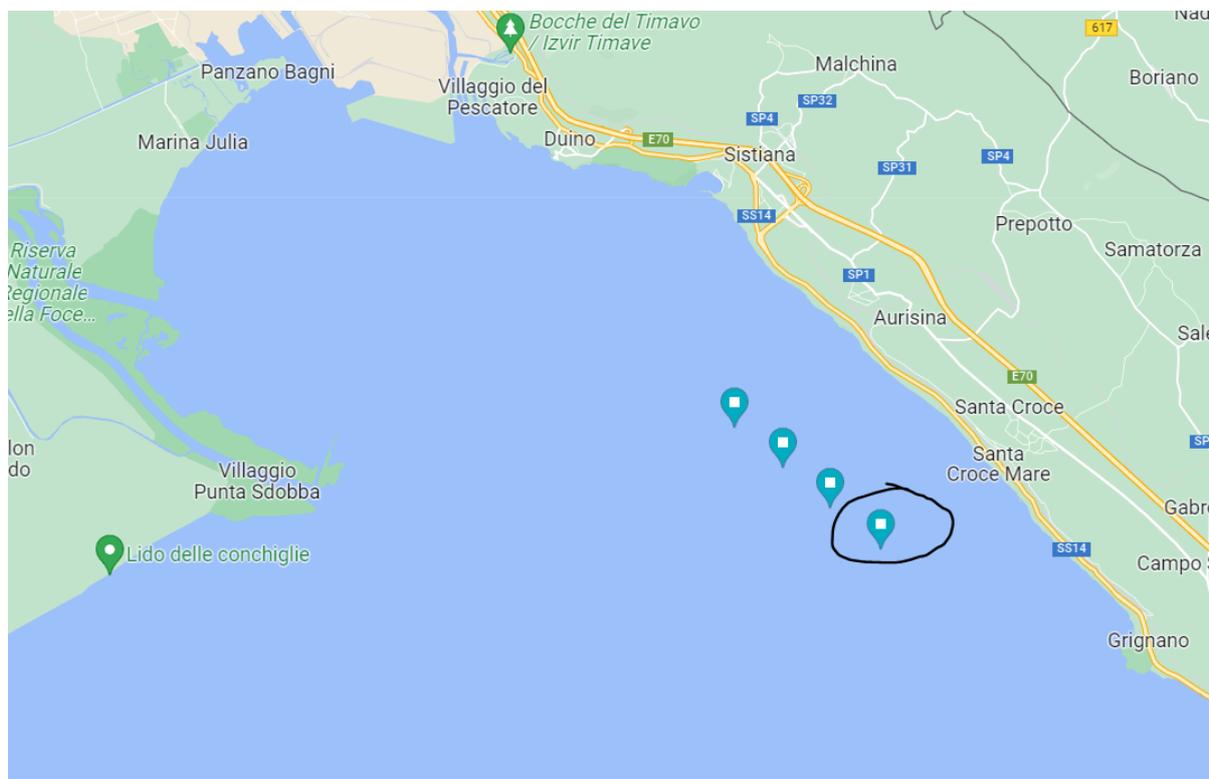


Figura 1. Mappa (© Google) che mostra le 4 posizioni possibili per l'ancoraggio della nave madre e cerchiata in nero la posizione scelta per la modellizzazione.

1.2. Criteri per la valutazione degli impatti sui mammiferi marini

Lo studio è focalizzato sull'impatto del rumore subacqueo sui mammiferi marini; le specie elencate nella Tabella 1 sono state riscontrate nel mar Mediterraneo; quelle più comunemente riscontrate nell'area di studio sono evidenziate in grassetto.

Il mar Adriatico Settentrionale è stato identificato come Important Marine Mammal Area (IMMA) per la presenza del tursiope (*Tursiops truncatus*), la cui popolazione del Mar Mediterraneo è stata classificata come vulnerabile dall'IUCN (IUCN-MMPATF 2017).

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.

Tabella 1. Lista di specie di cetacei note per essere presenti (o eventualmente presenti) 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	<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 ¹	<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 ¹	<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

1.2.1. 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 modellizzate 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.3). I valori di SEL prendono in considerazione le durate tipiche delle

operazioni nel corso di un giorno. Per esempio, se un'operazione dura 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.

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

1.4. 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).

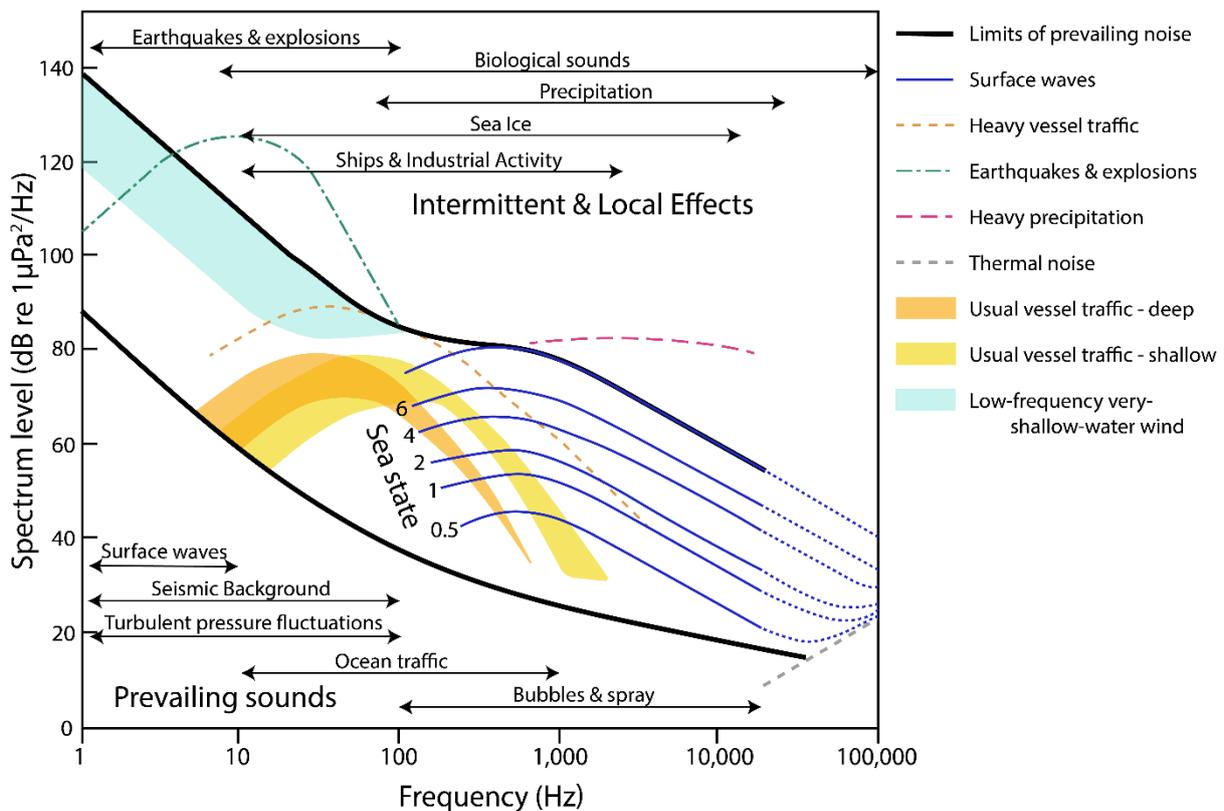


Figura 2. Curve di Wenz che descrivono i livelli di densità spettrale di pressione del suono ambientale marino prodotto da fenomeni meteorologici, vento, attività geologica e navigazione commerciale (adattate da NRC 2003, basate su Wenz 1962).. Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.

Relativamente alle sorgenti antropiche nell'area d'interesse è possibile affermare che 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 dai porti di Monfalcone e Trieste. Questa zona è stata identificata come un hotspot per il rumore subacqueo da ACCOBAMS (Maglio et al. 2016).

Queste osservazioni sono supportate dai dati di rumore di sottofondo acquisiti nell'area per il progetto Soundscape (<https://www.italy-croatia.eu/web/soundscape>), che si è recentemente concluso recentemente. In particolare, due stazioni di monitoraggio sono di interesse per l'area di studio cioè la stazione di Trieste (Paloma o MS4) e di Venezia (Acqua-Alta o MS1). MS1 è situata nel centro del golfo di Trieste. I livelli a banda larga per il progetto Soundscape non sono ancora pubblici, mentre i livelli per quattro frequenze in bande di terzi di ottava (specificatamente, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz e 4kHz) sono consultabili in alcune delle relazioni già disponibili online.

In uno studio precedente, Picciulin et al. (2019) hanno riscontrato livelli di pressione sonora mediana L_p compresi fra i 112 e 124 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ dal 2006 al 2012 nel Golfo di Trieste, 125 e 113 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ presso Venezia nel 2014 e 2015, rispettivamente, e fra i 110 e 123 dB re $1\mu\text{Pa}^2$ dal 2012 al 2018 nella riserva naturale marina WWF Miramare. In questo studio non è specificato su che intervallo di tempo siano stati calcolati i livelli di pressione sonora, ma attraverso comunicazioni personali con l'autore principale abbiamo saputo che L_p era stato calcolato su 1s e mediato su 5 minuti. Sebbene gli intervalli usati per i calcoli di pressione sonora non siano standard, questi rappresentano i dati disponibili più aggiornati per quando riguarda il rumore di sottofondo nell'area e sono quindi stati usati come riferimento principale per i paragoni presentati in questa relazione.

I risultati del progetto Soundscape che saranno pubblicati entro breve saranno più coerenti con le metriche riportate in questa relazione; bisogna però tenere in considerazione che il monitoraggio venne effettuato fra il marzo 2020 e giugno 2021, includendo dunque il periodo durante il quale il traffico marino può essere diminuito in relazione alle chiusure dovute alla pandemia di COVID-19.

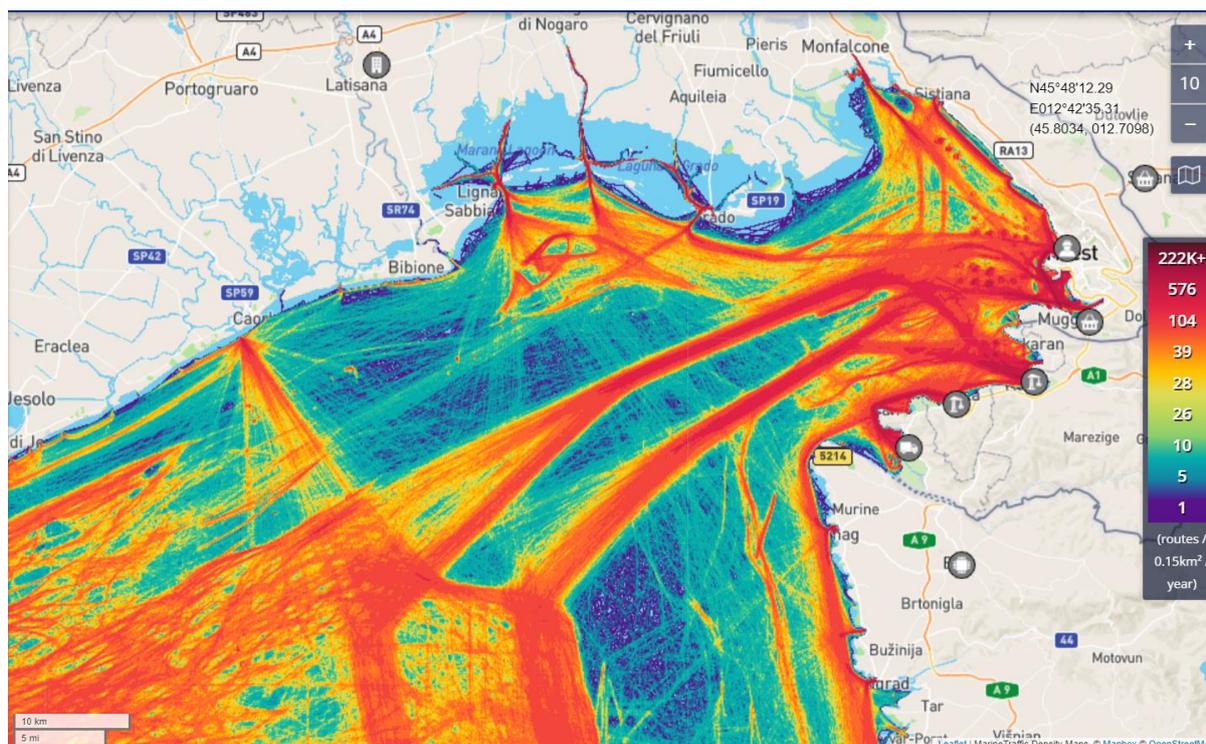


Figura 3. Traffico navale nel Mar Adriatico settentrionale durante il 2021 (sorgente: marinetraffic.com).

Tabella 3. Livelli di rumore ambientale misurati da (Picciulin et al. 2019).

Anno	L _p (μPa ²) mediano Banda larga 10Hz-20kHz	Sito
2006	112	Golfo di Trieste
2007	113	Golfo di Trieste
2009	122	Golfo di Trieste
2012	124	Golfo di Trieste
2014	125	Venezia
2015	113	Venezia
2012	123	WWF Riserva Naturale Miramare
2013	122	WWF Riserva Naturale Miramare
2014	115	WWF Riserva Naturale Miramare
2015	110	WWF Riserva Naturale Miramare
2016	112	WWF Riserva Naturale Miramare
2017	113	WWF Riserva Naturale Miramare
2018	117	WWF Riserva Naturale Miramare

2. Metodi

Questa sezione descrive i metodi utilizzati per stimare i livelli di sorgente (sezione 2.1), effettuare la propagazione del suono in mare (sezione 2.2), e stimare le distanze di impatto sui mammiferi marini che potrebbero essere presenti nell'area (sezione 2.3). I parametri ambientali usati come input nel modello sono specificati nella sezione 2.4.

2.1. Stima dei livelli di sorgente

I livelli di sorgente utilizzati nel modello sono presentati nella Figura 4; essi corrispondono ai livelli di sorgente a banda larga (10Hz-20kHz) presentati nella Tabella 4.

Si è presunto che tutte le navi transitassero a 1 nodo, cioè rappresentativo della posizione statica (questa approssimazione permette di avere un rumore dell'elica trascurabile), e che le navi con posizionamento dinamico (DP) abbiano motori principali a 2 tempi. Un singolo rimorchiatore è stato modellizzato; si è presunto che questo rappresenti il caso peggiore e dunque negli scenari che prevedono più rimorchiatori, la stessa sorgente è stata replicata per il numero di imbarcazioni da considerare.

Il terminale di stivaggio e trasferimento GNL proposto è una struttura ancorata che si presume non subisca alcuna manovra di posizionamento dinamico (DP). Si prevede pertanto che l'impatto acustico sia dovuto alle vibrazioni meccaniche delle apparecchiature di bordo. In assenza al presente di livelli di sorgente misurati direttamente per una simile struttura, i livelli di sorgente per impianti FPSO (Floating Production Storage and Offloading) di dimensioni comparabili (McPherson et al. 2019) sono stati adattati per corrispondere alla profondità della sorgente sonora proposta tenendo conto delle differenze di pescaggio. Le due strutture FPSO (Ngujima Yin e Nganhurra) erano state misurate in condizioni di tempo calmo mentre erano ormeggiate e cariche.

I livelli di sorgente delle altre navi sono stati ottenuti applicando il modello di (Daniel et al. 2022). La massa del motore ausiliario è stata determinata utilizzando una relazione tra la potenza del motore principale e la massa del motore ausiliario da (IMO, 2014):

$$Mass_{AE} = 0.0157 \times \begin{cases} 0.025 * P_{ME} + 250, & P_{ME} > 10,000 \\ 0.05 * P_{ME}, & P_{ME} \leq 10,000 \end{cases}$$

dove P_{ME} è la Potenza del motore principale in kilowatts e $Mass_{AE}$ è la massa stimata del motore ausiliario in tonnellate.

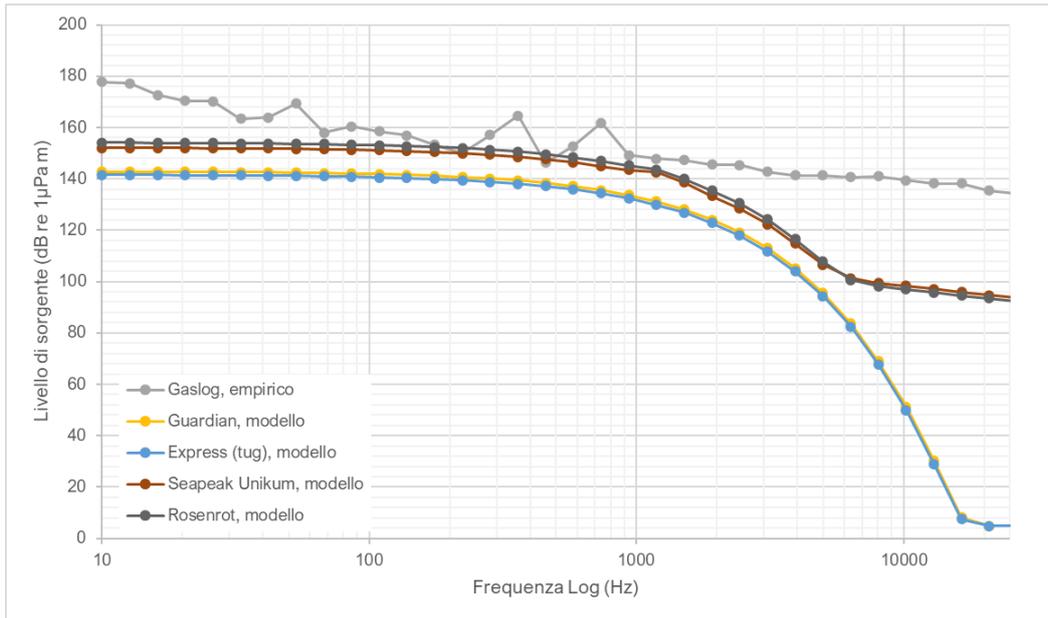


Figura 4. Spettro dei livelli di sorgente considerati come input del modello.

Tabella 4. Caratteristiche delle navi previste per le operazioni che si terranno presso il rigassificatore. DP=posizionamento dinamico.

Nave	Tipo	MMSI	Lunghezza	Larghezza	Pescaggio	Stazza lorda (tonnellate)	Motore	Elica	Profondità della sorgente (m)	Stato	Peso del motore principale (Ton)	Velocità di design della nave (nodi)	Livello di sorgente banda larga 10Hz-20kHz (dB re 1µPa m)
			(m)	(m)	(m)								
Methane Lydon Volney (ora chiamato Gaslog Athens)	Nave cisterna / FSRU tanker	241818000	283.06	43.4	12.4	95753	1xUA-400 29052 kW	1 FP @ 85 rpm	8.68	Ancorata	-		169.2
Unikum Spirit (Seapeak Unikum)	Nave cisterna / shuttle tanker	311050500	152.16	19.84	8.3	11327	1x STX MAN-B&W/6S46MC-C 8280 kW	1 CP @ 129 rpm	5.81	DP	171 ²	15	163.7
Guardian ¹	Rimorchiatore	247316200	45	12.5	5.2	927	2xMaK 6M 25C 2000 kW @750rpm	2 a passo variabile	3.64	Ancorata	-		154.4
LNG Rosenrot	LNG Carrier	219023947	298	47.9	12.5	119891	2 x 5X72DF 12490 kW @ 69rpm	2 FP @ 69 rpm	8.75	DP	150 ³	15	165.6
Hamatra I	Rimorchiatore	247296700	25.5	6.18	1.7	58	Caterpillar C32 TTA - 2200 bhp @1900-2100rpm	2 a vite	1.19	Ancorata	-		153.1

¹Navi proxy scelte sulla base di altri progetti simili.²Tratto da un articolo pubblicato online: <http://www.cmc-mtu.com/index.php/stx-6s46mc-c-mk7-low-speed-2-st-marine-propulsion-diesel-engine/>.³Valore non disponibile e dunque stimato basandosi sulle dimensioni dell'imbarcazione.

Per il Progetto, la modellizzazione è stata effettuata per una sorgente acustica puntiforme per ogni nave, assumendo una posizione statica per ciascuna sorgente, e considerando due siti separati, cioè di fronte a Caorle e di fronte a Monfalcone. Le coordinate considerate per le sorgenti e per ogni sito sono elencate nella Tabella 5 e gli scenari modellizzati nella Tabella 6.

Per la stima delle distanze di impatto per i mammiferi marini la modellizzazione presuppone che sia la sorgente che il ricevitore (animale esposta al suono) rimangano statici. La stima dei livelli di esposizione al rumore per PTS e TTS considera una durata continua dell'operazione di 24 ore su 24.

Tabella 5. Descrizione dei due siti usati come sorgenti per la modellizzazione.

Sito	Località	Latitudine (dd.ddd) N	Longitudine (dd.ddd) E	Easting utmz 33N	Northing utmz 33N	Profondità dell'acqua (m)
1	Caorle	45.497	13.058	348254.5	5039998	21.60
2	Monfalcone	45.719	13.664	396028.2	5063695	16.05

Tabella 6. Descrizione degli scenari modellizzati.

N.	Sito	Operazione	Mese	Profondità della sorgente (m)
1a	Caorle	Gaslog Athens + Guardian + LNG Rosenrot + 4 Hamatra I	Febbraio	6
1b	Caorle	Gaslog Athens + LNG Rosenrot + 4 Hamatra I	Febbraio	6
2a	Monfalcone	Gaslog Athens + Guardian+ Unikum Spirit + 2 Hamatra I	Febbraio	6
2b	Monfalcone	Gaslog Athens + Unikum Spirit + 2*Hamatra I	Febbraio	6

2.2. Modellizzazione della propagazione del suono

La propagazione del suono è stata modellizzata utilizzando il modello della JASCO MONM-Bellhop, che è descritto in maggiore dettaglio nell'Appendice B.

Questo tipo di modello combina l'utilizzo dell'equazione parabolica per le basse frequenze e il modello Bellhop per le frequenze sopra 2kHz. La scelta è motivata dal fatto che il progetto si trovi in acque relativamente poco profonde (al di sotto di 150m) e quindi questo modello combinato risulta essere il più accurato, come ampiamente discusso nella letteratura scientifica (Etter 2009, Farcas et al. 2016) (Figura 5).

Model Type	Shallow Water				Deep Water					Not applicable
	Low Frequency		High Frequency		Low Frequency		High Frequency			
	Range Ind.	Range Dep.	Range Ind.	Range Dep.	Range Ind.	Range Dep.	Range Ind.	Range Dep.		
Simple energy spreading	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Limited in accuracy or speed of execution
Ray Theory			■	■	■	■	■	■	■	Accurate and practical
Parabolic equation	■	■			■	■	■	■		
Normal mode	■	■	■	■	■	■	■			
Wave number integration	■	■	■	■	■	■	■	■		

Figura 5. Sintesi dei tipi di modello e della loro applicabilità e accuratezza in base a vari scenari ((JASCO Applied Sciences 2019), riadattato da Etter, 2009).

2.3. Stima dell’impatto sui mammiferi marini

I contorni planari di soglia del livello sonoro sono calcolati partendo dai campi tridimensionali di livelli acustici stimati dai modelli di propagazione, assegnando a ciascuna posizione geografica nella regione d’interesse il livello massimo stimato 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 6).

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 6. 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 6, $R_{95\%}$ 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.

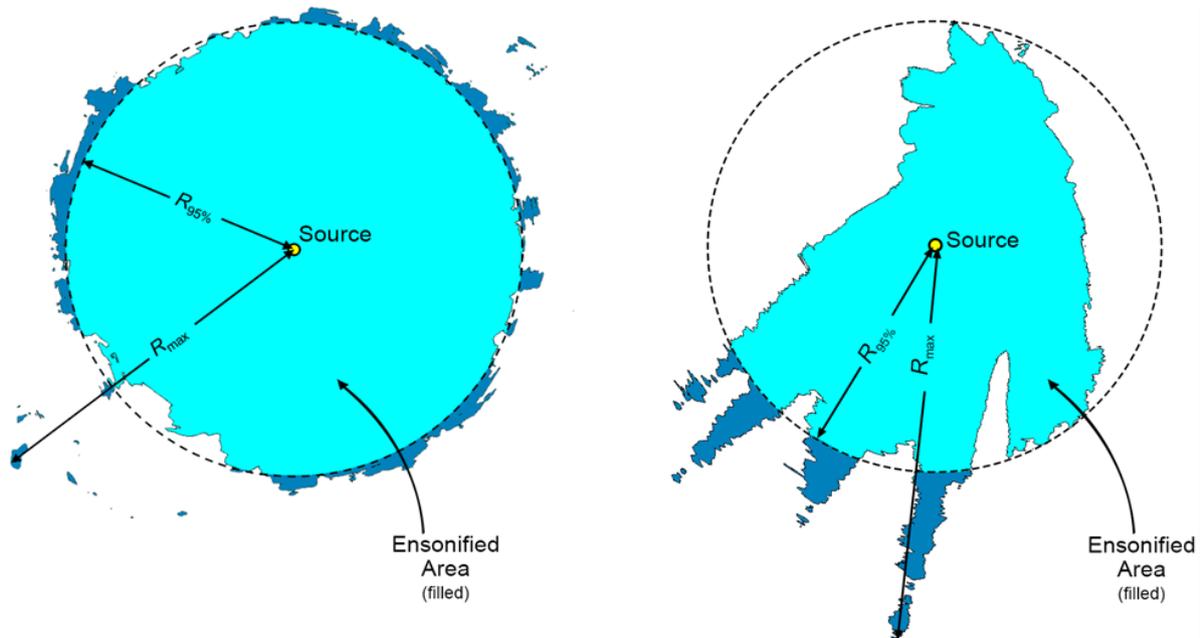


Figura 6. Esempi di aree insonificate a un certo livello sonoro con le distanze R_{max} e $R_{95\%}$ dimostrate per due scenari differenti: (sinistra) una distribuzione del livello sonoro radialmente simmetrica con piccole sporgenze, per la quale $R_{95\%}$ meglio rappresenta l'area insonificata effettiva; 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} .

2.4. Parametri Ambientali

2.4.1. Profilo della velocità del suono

Il profilo di velocità del suono per gli scenari modellizzati è stato derivato dai dati storici di osservazione 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 39 punti di profondità fissi fino a una profondità massima di 2800 m. I profili di temperatura-salinità GDEM sono stati convertiti in profili di velocità del suono secondo la formula di Coppens (1981).

Un profilo medio mensile di velocità del suono è stato analizzato per ogni per determinare quale fosse il profilo che favorisse maggiormente la propagazione del suono sulle lunghe distanze, rappresentativo dello scenario più cautelativo. Tale profilo, corrispondente al mese di febbraio, è stato scelto per la modellizzazione data la velocità quasi isotropa con propagazione leggermente rifrangente verso l'alto (Figura 7).

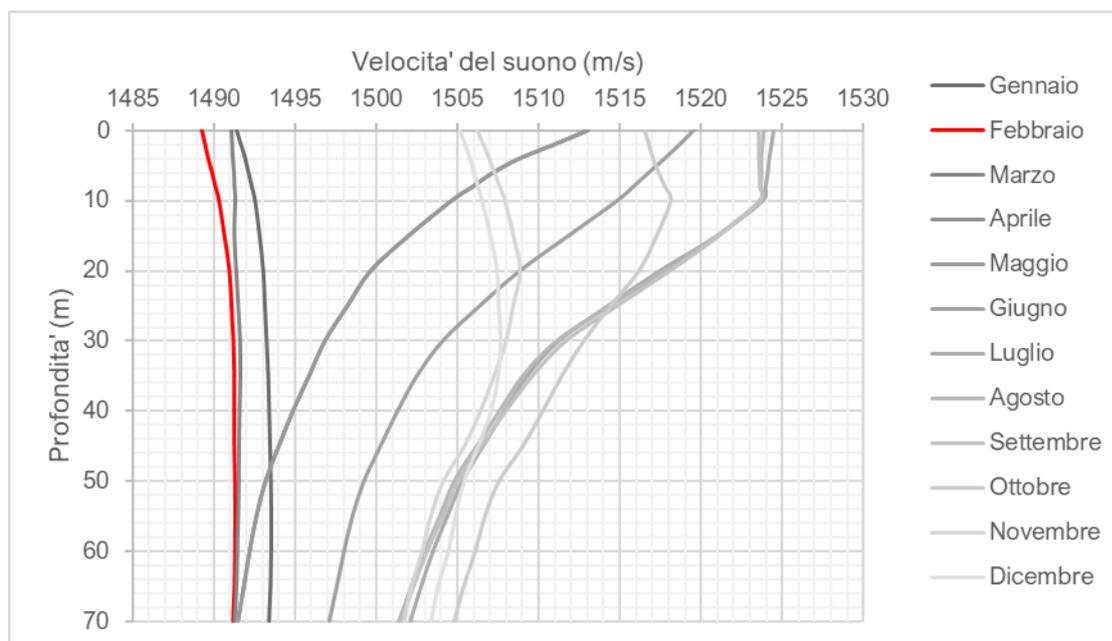


Figura 7. Profilo della velocità del suono utilizzato per la modellizzazione (rosso) e per ogni altro mese dell'anno (grigio).

2.4.2. Batimetria

Le profondità dell'acqua in tutta l'area modellizzata sono state estratte dalla griglia batimetrica EMODnet (EMODnet Bathymetry Consortium 2020), generata per i bacini marittimi europei con risoluzione di circa 250 m × 250 m.

I dati di batimetria per un'area di circa 175 × 200 km sono stati estratti e ricampionati, mediante griglia di curvatura minima, su una proiezione di coordinate della zona 33 di Mercatore trasversale universale (UTM) con una spaziatura regolare della griglia di 100 × 100 m.

2.4.3. Geoacustica

In un ambiente poco profondo le interazioni tra il campo sonoro e il fondale marino sono importanti, e profili geoacustici accurati sono necessari per una corretta modellizzazione acustica.

Il profilo dei parametri geoacustici in funzione della profondità sotto il fondale marino è stato calcolato dai valori di Ainslie (2010) ed è presentato nella Tabella 7. 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 7. 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	Sabbia da fine a grossolana (dimensione del grano =1.5 phi)	2.09	1784.30	0.88	300	3.65
62.5		2.17	1862.97	0.86		
125.00		2.25	1936.23	0.84		
187.50		2.32	2004.45	0.81		
250.00		2.39	2068.01	0.78		
312.50		2.46	2127.28	0.75		
375.00		2.52	2182.65	0.72		
437.50		2.58	2234.49	0.69		
500.00		2.63	2283.18	0.66		

3. Risultati

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 nella Tabella 8 e dalla Figura 8 alla Figura 11. I contorni che rappresentano i livelli di pressione sonora corrispondenti alle soglie di disturbo comportamentale 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. Quest'ultime sono state prodotte utilizzando come riferimento un livello di rumore di sottofondo (L_p) di 110 dB re 1 μ Pa. Questo valore è stato scelto come precauzionale data la variabilità nei risultati riscontrati nello studio di (Picciulin et al. 2019).

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 mostrano che la propagazione, sebbene circolarmente simmetrica in prossimità della sorgente, dopo una certa distanza (~10km) segue la batimetria del fondale. Distanze di impatto simili sono state riscontrate per tutti gli scenari; bisogna però notare che data la topografia delle aree considerate, nel caso di Monfalcone, il suono si propaga a lungo raggio soltanto in una direzione (sud-ovest) poiché nelle altre direzioni si raggiunge la costa entro pochi km. Per il sito di Caorle invece si incontra la costa solo in direzione nord e il suono si propaga a lungo raggio nelle altre tre direzioni cardinali (come si nota dalla Figura 8 alla Figura 11).

Le distanze di impatto comportamentale per i valori $R_{95\%}$ nei diversi scenari sono di circa 2km per L_p di 120 dB re 1 μ Pa, soglia di eccedenza per tutti i gruppi uditivi secondo ACCOBAMS (2013), e di circa 6 km per L_p di 110 dB re 1 μ Pa, limite inferiore della soglia comportamentale per i cetacei a media frequenza secondo Borsani and Farchi (2011). Per il limite inferiore della soglia dei cetacei a bassa frequenza di Borsani and Farchi (2011), pari a 100 dB, le distanze per i valori di $R_{95\%}$ sono di circa 21 km per il sito di Caorle e 19 km per il sito di Monfalcone (Tabella 8). Come si evince dalle sezioni trasversali di massima estensione dei contorni sonori per i due siti, la propagazione del rumore dalla nave Gaslog è leggermente maggiore per Caorle rispetto a Monfalcone (Figura 12 e Figura 13).

Per completezza, le distanze di impatto cumulativo delle attività di costruzione e operazione con riferimento alle soglie di insorgenza di PTS e TTS in base a Southall et al. (2019) sono state calcolate per determinare i limiti a cui sussiste il rischio di questi danni fisici ai mammiferi marini. I risultati tabulati per queste soglie sono presentati nella Tabella 9 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. È stato considerato precauzionalmente un periodo di accumulazione che copre le intere 24 ore in linea con Southall et al. (2019) anche se non è realistico 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 sono principalmente basse.

Tabella 8. Distanze corrispondenti alle soglie di impatto comportamentale per i diversi gruppi di mammiferi marini e tartarughe. La notazione '<0.02' indica che la soglia non viene ecceduta alla minima distanza risolvibile.

L _p non ponderato (dB re 1 μPa)	Scenario 1a		Scenario 1b		Scenario 2a		Scenario 2b	
	R _{max} (km)	R ₉₅ (km)						
175 ⁴	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
170	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
160	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
150	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
140	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
130	0.62	0.59	0.62	0.59	0.63	0.61	0.63	0.60
120 ¹	2.11	1.97	2.10	1.97	1.93	1.84	1.93	1.84
110 ²	6.76	6.23	6.75	6.22	6.19	5.70	6.18	5.69
100 ³	23.42	20.75	23.38	20.73	22.99	19.35	22.95	19.33

¹: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale per tutti i gruppi uditivi esposti a rumore continuo secondo ACCOBAMS (2013).

²: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di alta frequenza (riferita come media frequenza in (Borsani and Farchi 2011)).

³: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale dei cetacei di bassa frequenza (Borsani and Farchi 2011).

⁴: soglia di eccedenza per il disturbo comportamentale delle tartarughe marine secondo Finneran et al. (2017).

Tabella 9. Distanze corrispondenti alle soglie di PTS e TTS per i diversi gruppi uditivi di mammiferi marini e tartarughe. Il simbolo '-⁴' indica che il livello è minore del livello di sorgente, e la notazione '<0.02' indica che la soglia non viene ecceduta alla minima distanza risolvibile.

SEL ponderato (dB re 1 μPa ² s)		Scenario 1a		Scenario 1b		Scenario 2a		Scenario 2b	
		R _{max} (km)	R ₉₅ (km)						
Cetacei LF	PTS	199	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	TTS	179	0.37	0.36	0.37	0.36	0.41	0.4	0.41
Cetacei HF o MF in	PTS	198	-	-	-	-	-	-	-
	TTS	178	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Pinnipedi in acqua	PTS	201	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	TTS	181	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Tartarughe marine	Danno uditivo	204	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02

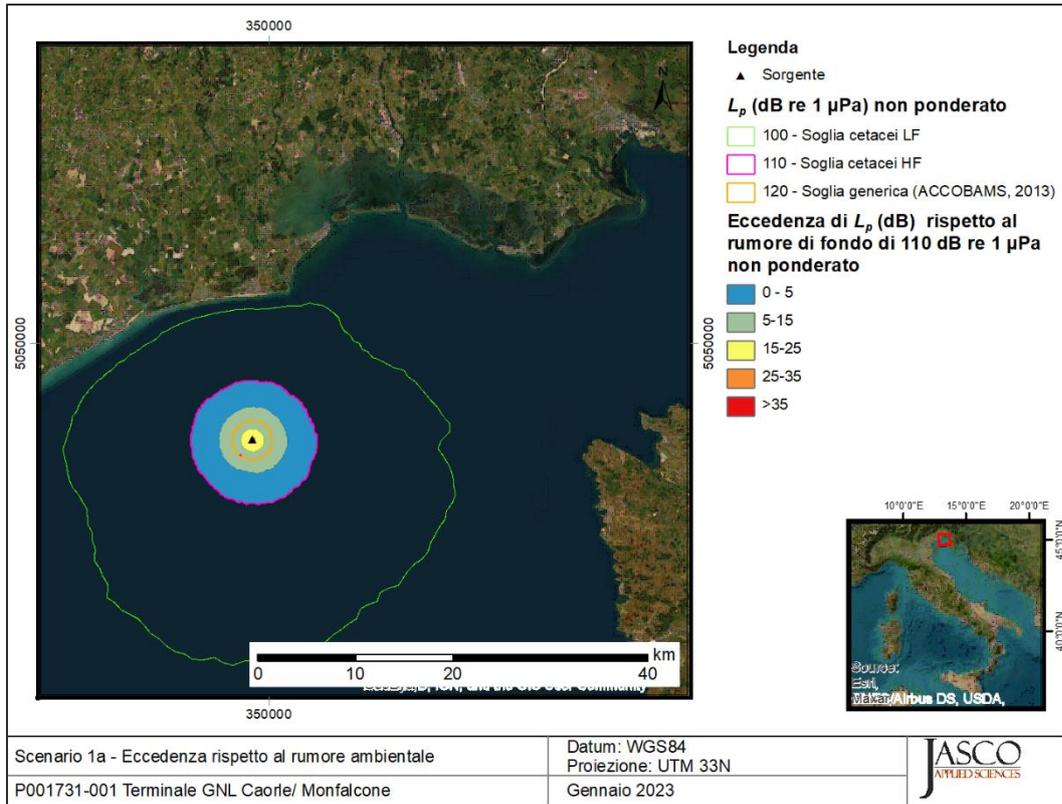


Figura 8. Scenario 1a: mappa delle isoplete del livello sonoro per le varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.

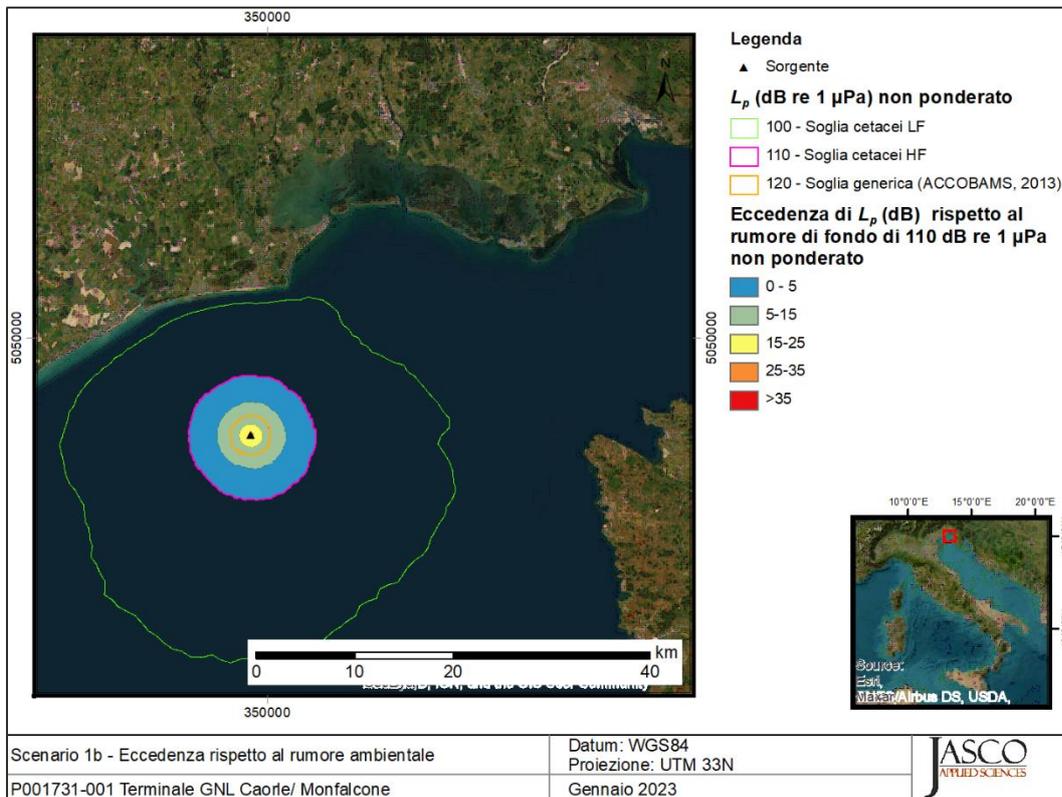


Figura 9. Scenario 1b: mappa delle isoplete del livello sonoro per le alle varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.

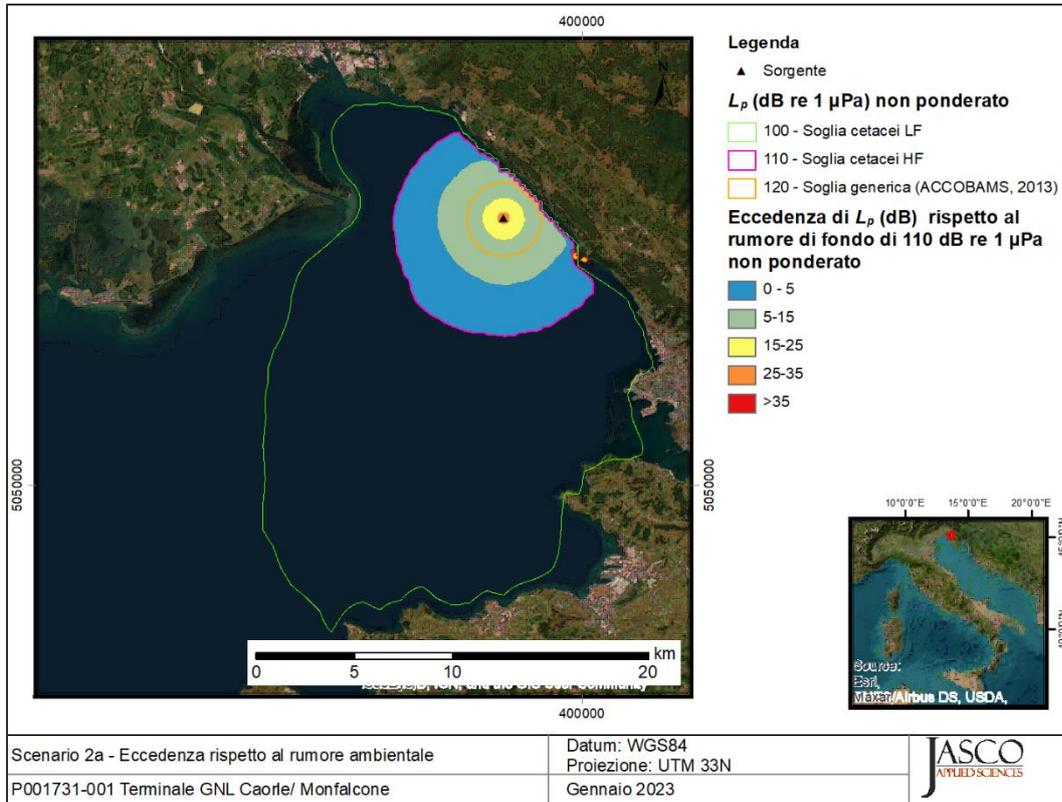


Figura 10. Scenario 2a: mappa delle isoplete del livello sonoro per le varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.

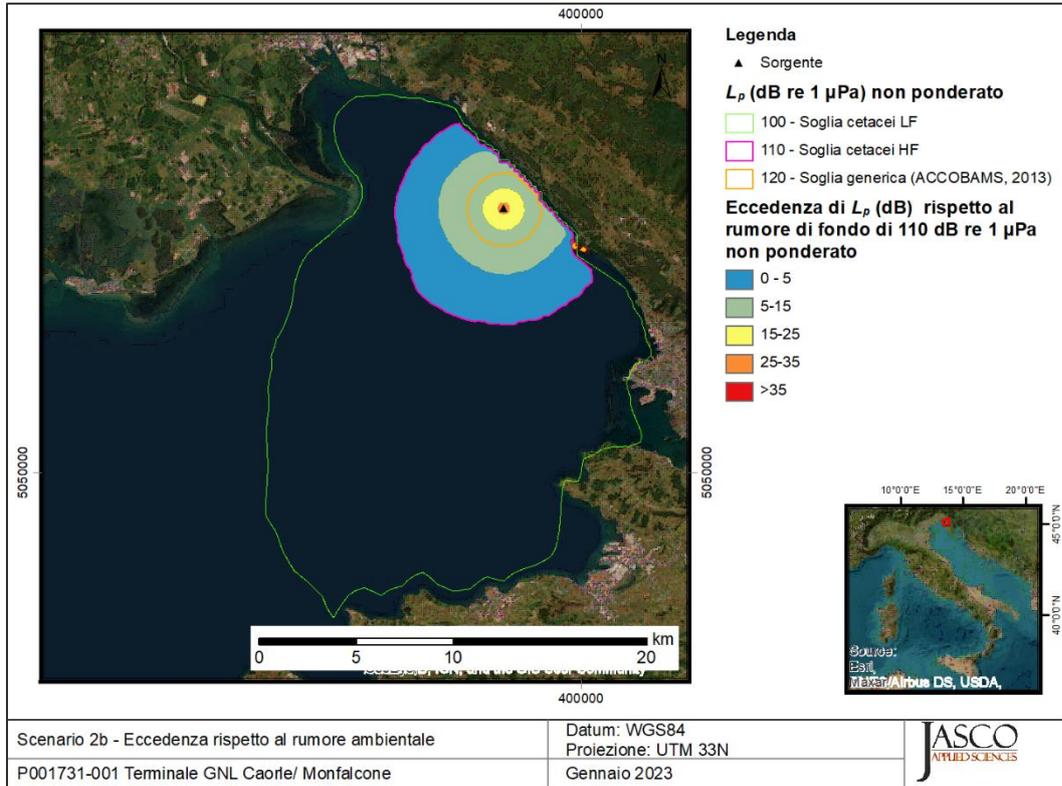


Figura 11. Scenario 2b: mappa delle isoplete del livello sonoro per le varie soglie di disturbo comportamentale per i mammiferi marini e degli stessi livelli presentati come eccedenza rispetto al rumore di fondo.

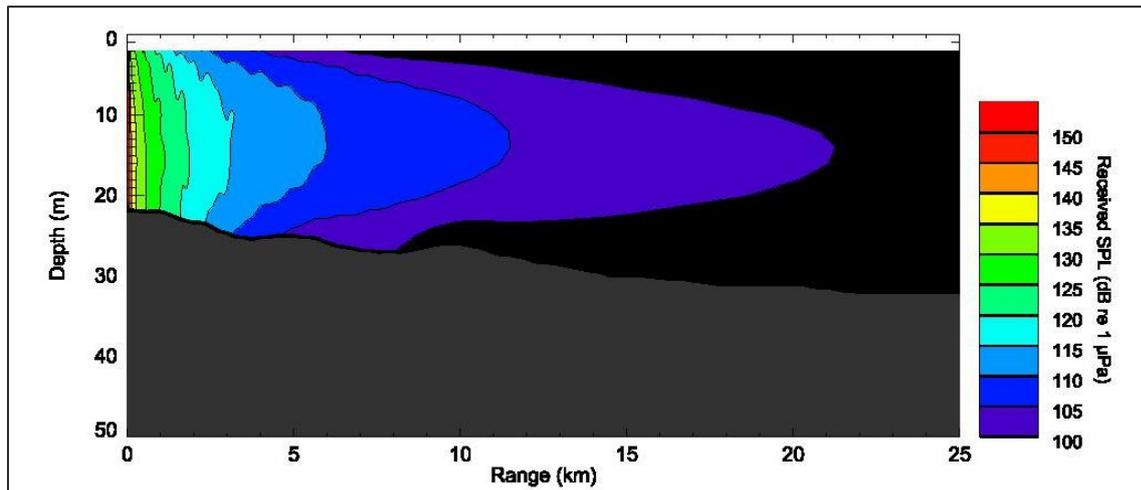


Figura 12. Sito 1 Caorle: sezione trasversale (azimut 180°) che mostra il livello di pressione sonora ogni 5 dB lungo il transetto di maggiore propagazione del suono subacqueo fino per il Gaslog.

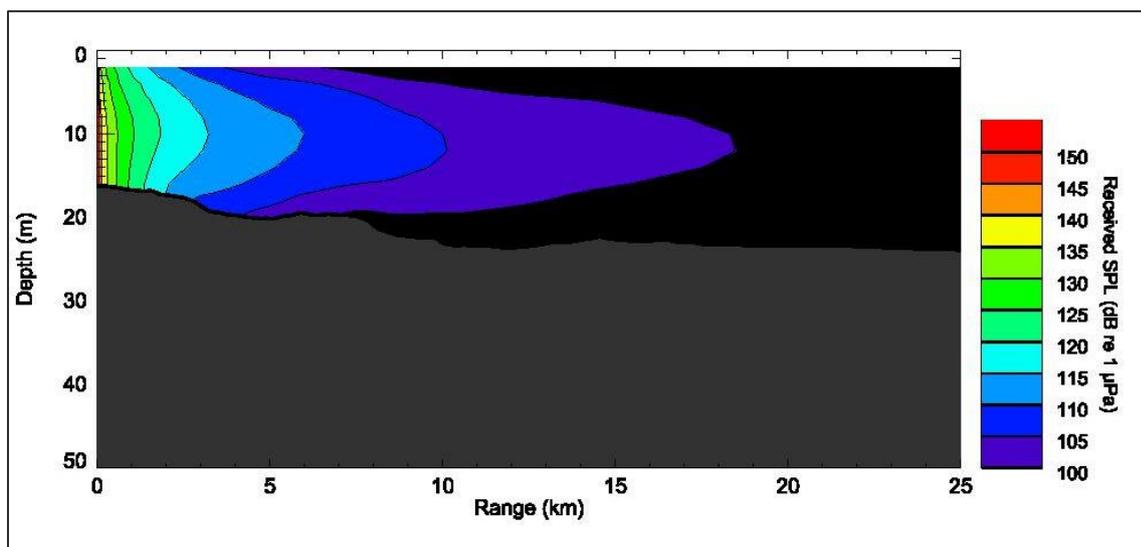


Figura 13. Sito 2 Monfalcone: sezione trasversale (azimut 220°) che mostra il livello di pressione sonora ogni 5 dB lungo il transetto di maggiore propagazione del suono subacqueo fino per il Gaslog.

4. Discussione e Conclusioni

Lo scopo del presente studio è stato di definire i livelli sonori di sorgente delle le navi associate con le attività di allibo del progetto GNL di Monfalcone e modellizzare le distanze di potenziale impatto sui mammiferi marini. La modellizzazione è stata effettuata per due siti, uno al largo della costa compresa fra Caorle e Bibione, e l'altro al largo del porto di Monfalcone nel golfo di Trieste. Quest'ultimo è nei pressi della riserva naturale marina di Miramare (designata come IMMA e Natura 2000), un'importante area per la presenza del tursiopo (cetaceo appartenente al gruppo uditivo di alta frequenza) e delle tartarughe marine (*Caretta caretta*).

La definizione dei livelli di sorgente è stata complessa in quanto sono disponibili pochi dati di misurazioni effettuate su navi simili a quelle impiegate per questo progetto. Sebbene un database abbastanza comprensivo sia presente per rimorchiatori e navi cisterna (MacGillivray and de Jong 2021), questi livelli di sorgente sono applicabili principalmente per navi in transito mentre il modello considera le operazioni di allibo durante le quali le navi sono statiche intorno alla posizione in cui avviene il trasferimento del gas liquido. Pertanto, si è ritenuto che la cavitazione delle eliche non dovesse essere inclusa nella stima dei livelli di sorgente. Di conseguenza, il modello di (Daniel et al. 2022) è stato utilizzato per ottenere delle stime realistiche. Numerosi presupposti sono stati considerati in questo studio in base alle informazioni attualmente disponibili sulla configurazione delle navi, come descritto nella metodologia. L'accuratezza della modellizzazione è soggetta alla validità di tali presupposti.

Il modello inoltre considera che il ricevitore, cioè un animale esposto alla sorgente di rumore, rimanga statico per 24 ore consecutive nell'area esposta quando vengono stimate le distanze di eccedenza delle soglie di PTS e TTS. Questo non è realistico rispetto al comportamento dei mammiferi marini considerando anche che utilizzano il loro ambiente in tre dimensioni ed il livello sonoro cambia con la profondità. Inoltre, una durata continua nell'arco di 24 ore per le operazioni di trasferimento del gas liquefatto è stata considerata in via precauzionale ma non è detto che tali attività durino per un tempo così prolungato in quanto l'operazione dipende dalla capacità delle navi coinvolte.

Fra i due siti modellizzati non si riscontrano differenze notevoli nelle massime distanze di impatto in quanto la profondità è simile (e bassa); si nota però la diversa topografia dell'area riparata del golfo di Trieste in contrasto con l'area aperta di fronte a Caorle. In questo contesto, l'area totale di impatto è più estesa per il sito 1 (Caorle) in quanto il suono si propaga in tre delle direzioni cardinali a lungo raggio mentre per il sito 2 (Monfalcone) si incontra la costa entro pochi km in tre direzioni. D'altro canto, il sito 2 è molto prossimo all'IMMA e quindi potrebbe essere più impattante per i mammiferi marini. Una valutazione completa dell'impatto ai fini di raffronto deve però tenere in considerazione altri fattori in aggiunta agli effetti dell'esposizione al rumore subacqueo, ed è quindi al di fuori dello scopo di questo studio. Una differenza realmente minima è stata riscontrata fra gli scenari a) e b), indicando che l'aggiunta della nave guardiana per le operazioni non comporta un sostanziale incremento dei livelli. Questo è attribuibile al fatto che l'impronta acustica è principalmente determinata dal livello di sorgente della "nave madre" cioè il Gaslog

Il rumore sottomarino associato con la presenza delle navi modellizzate ha il potenziale di causare disturbo comportamentale a tutte le specie di mammiferi marini presenti nell'area, ma entro distanze relativamente limitate. Bisogna inoltre considerare che la modellizzazione è stata effettuata per il mese di febbraio, un profilo particolarmente favorevole alla propagazione del suono, presentando quindi lo scenario più cautelativo dal punto di vista della stima degli impatti. Il rumore sottomarino modellizzato è percettibilmente superiore al sottofondo ambientale tipico, cioè un L_p di 110 dB re $1\mu\text{Pa}$; tuttavia, i livelli sonori scendono al disotto di questo livello entro 6km dalla sorgente. Se invece si considera un L_p intorno ai 120 dB re $1\mu\text{Pa}$ come rumore ambientale, come riscontrato in certi anni di monitoraggio ambientale condotto da Picciulin et al. (2019), i livelli sonori scenderebbero a quel livello entro ~2km dalla sorgente.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Marta Picciulin e I suoi collaborator del Centro Nazionale Ricerche (**CNR**) – Institute of Marine Science (ISMAR, Venezia) per la disponibilità nel condividere e spiegare i dati relativi al rumore ambientale nel mare Adriatico settentrionale.

Glossario

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

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 **1/3-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. Unità: secondo (s).
Simbolo: T_{90} .

90% livello di pressione sonora (90% SPL)

Il **livello di pressione sonora** calcolato sulla **90%-energia nella finestra temporale** di un impulso.

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 sonora** 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

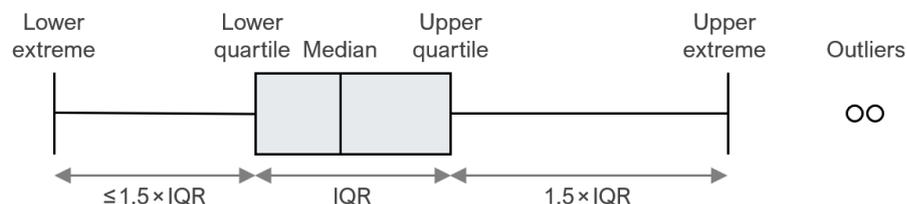
Banda di **frequenza** la cui larghezza è un decimo. *Nota:* la larghezza di una banda di **decidecade** aumenta con l'aumentare della frequenza centrale.

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 di dati statistici 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

Un 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 [profilo di velocità del suono](#) e la salinità.

contorno di uguale volume

Curva che mostra, in funzione della [frequenza](#), il [livello di pressione sonora](#) necessario 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.

decidecade

Un decimo di [decade](#). Una decidecade è approssimativamente uguale a un terzo di [ottava](#) ($1 \text{ ddec} \approx 0,3322 \text{ ott}$) e per questo motivo viene talvolta chiamato "[1/3-ottava](#)".

energia livello di sorgente

Proprietà di una sorgente sonora ottenuta sommando al [livello di esposizione sonora](#) misurato nel [far field](#) la [propagation loss](#) 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 da f_1 a f_2 . In forma di equazione, la densità spettrale di energia E_f è data da: $E_f = 2 \int_{f_1}^{f_2} |X(f)|^2 df / f_2 - f_1$, 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:

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

Nota: 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 (2017).

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: pascal al quadrato secondo ($\text{Pa}^2 \text{s}$). Simbolo: E .

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 **otaridi**, 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 **otaridi** 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).

geoacustica

Relativo alle proprietà acustiche del fondale marino.

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 otaridi 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) cetaceans

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. Unità: watt per metro quadrato (W/m^2). Simbolo: *I*.

isopleto

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

larghezza di banda

Un intervallo all'interno di una banda continua di frequenze. Unità: **hertz (Hz)**.

livello

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

livello a banda larga

Il **livello** totale misurato su un intervallo di **frequenza** specificato.

livello di esposizione sonora (SEL)

Il **livello** (L_E) dell'**esposizione sonora** (E) in una determinata banda di **frequenza** e finestra temporale: $L_E = 10 \log_{10}(E/E_0)$. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento (E_0) per il suono in acqua: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ s}$.

livello di pressione sonora (SPL), rms sound pressure level

Il **livello** (L_p) della **pressione sonora** quadratica media del tempo (p_{rms}^2) in una determinata banda di **frequenza** e finestra temporale: $L_p = 10 \log_{10}(p_{\text{rms}}^2/p_0^2) = 20 \log_{10}(p_{\text{rms}}/p_0)$, dove rms è l'abbreviazione di root-mean-square. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento (p_0^2) per il suono in acqua: $1 \mu\text{Pa}^2$.

livello di sorgente di densità spettrale di energia

Proprietà di una sorgente sonora uguale al **livello** di **energie densità spettrale** della **pressione sonora** misurata nel **far field** più la **propagation loss** dal centro acustico della sorgente alla posizione del ricevitore. Unità: decibel (dB). Valore di riferimento: $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ m}^2 \text{ s/Hz}$.

livello di sorgente, source level (SL)

Proprietà di una sorgente sonora uguale al **livello** di **pressione sonora** misurato nel **far field** più la **propagation loss** 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** di una data variabile di campo misurato (o che verrebbe misurato) in una posizione definita.

low-frequency (LF) cetaceans

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) cetaceans

Vedi gruppo uditivo.

misticete

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

M-weighting

Un insieme di **funzione di ponderazione della frequenza uditiva** proposte da Southall et al. (2007).

nodo (kn)

Un miglio nautico all'ora.

non ponderato

Termine che indica che non viene applicata alcuna [funzione di ponderazione della frequenza](#).

odontocete

La presenza dei denti, anziché 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. Le [onda di taglio](#) nel fondo del mare possono essere convertite in onda compressionale nell'acqua all'interfaccia acqua-fondale.

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 [onda compressionale](#) 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 otaridi sono adattati a una vita semiacquatica; usano le loro grandi pinne anteriori per la propulsione. Le loro orecchie li distinguono dai [focidi](#). Gli otaridi sono uno dei tre gruppi principali della superfamiglia Pinnipedia; gli altri due gruppi sono [focidi](#) e trichechi.

otariid pinnipeds in water (OW)

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. Paragonare a [temporary threshold shift](#).

phocid pinnipeds in water (PW)

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), **otaridi** (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. Unità: pascal (Pa). Simbolo: *p*.

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, $PL(x) = SL - L(x)$. Unità: decibel (dB). Vedi anche **transmission loss**.

rilevamento automatico

L'output di un **rilevatore automatizzato**.

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.

rumore acustico

Suono che interferisce con un processo acustico.

rumore di sottofondo

Combinazione di **suono di sottofondo**, self-noise acustico e riverbero del sonar. Il suono di sottofondo 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 **rumore di sottofondo** 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 sottofondo** più volte durante un periodo di osservazione.

suono non impulsivo

Suono che non è un **suono di sottofondo**. 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. Paragonare a **permanent threshold shift**.

termoclino

Un intervallo di profondità vicino alla superficie dell'oceano che subisce gradienti di temperatura maggiori rispetto agli strati sopra e sotto di essa dovuti al riscaldamento o al raffreddamento per conduzione di calore dall'atmosfera e dal riscaldamento dal sole.

transmission loss (TL)

La differenza tra un **livello** specificato in una posizione e quello in una posizione diversa: $TL(x_1, x_2) = L(x_1) - L(x_2)$. Unità: decibel (dB). 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) cetaceans

Vedi gruppo uditivo.

very low-frequency (VLF) cetaceans

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 p.
- [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 p. 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>.
- [IMO] International Maritime Organization. 2014. *MEPC 66/21. Annex 5. Resolution MEPC.245(66). 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships*. p. 5. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/245\(66\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/245(66).pdf).
- [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. 2017. *ISO 18405:2017. Underwater acoustics – Terminology*. Geneva. <https://www.iso.org/standard/62406.html>.
- [NMFS] National Marine Fisheries Service (US). 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*. US Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59. 167 p. [https://media.fisheries.noaa.gov/dam-migration/tech_memo_acoustic_guidance_\(20\)_pdf_508.pdf](https://media.fisheries.noaa.gov/dam-migration/tech_memo_acoustic_guidance_(20)_pdf_508.pdf).
- [NRC] National Research Council (US). 2003. *Ocean Noise and Marine Mammals*. National Research Council (US), Ocean Studies Board, Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals. The National Academies Press, Washington, DC, USA. <https://doi.org/10.17226/10564>.
- Ainslie, M.A. 2010. *Principles of Sonar Performance Modeling*. Praxis Books. Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-87662-5>.
- 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 p.
- Carnes, M.R. 2009. *Description and Evaluation of GDEM-V 3.0*. US Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS. NRL Memorandum Report 7330-09-9165. 21 p. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a494306.pdf>.
- Clark, C.W. 1990. Acoustic behaviour of mysticete whales. In Thomas, J.A. and R.A. Kastelein (eds.). *Sensory Abilities of Cetaceans*. Springer, Boston, MA. pp. 571-583. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0858-2_40.
- Coppens, A.B. 1981. Simple equations for the speed of sound in Neptunian waters. *Journal of the Acoustical Society of America* 69(3): 862-863. <https://doi.org/10.1121/1.382038>.
- Daniel, J., M. Schuster, J.E. Quijano, J.N. Dolman, and A.O. MacGillivray. 2022. *ECHO Cavitation Inception Speed Study—Phase 1: Task 2 Technical Report*. Document Number 02783, Version 2.0. Technical report by JASCO Applied Sciences and DW-ShipConsult GmbH for Vancouver Fraser Port Authority.

- 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/10.1080/09524622.1997.9753353>.
- 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. 2009. *Review of ocean-acoustic models*. OCEANS 2009, 26-29 Oct. 2009, pp. 1-6.
- 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. <https://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, USA.
- 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, USA. 49 p. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1026445.pdf>.
- Finneran, J.J., E.E. Henderson, D.S. Houser, K. Jenkins, S. Kotecki, and J. Mulsow. 2017. *Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis (Phase III)*. Technical report by Space and Naval Warfare Systems Center Pacific (SSC Pacific). 183 p. https://nwtteis.com/portals/nwtteis/files/technical_reports/Criteria_and_Thresholds_for_U.S._Navy_Acoustic_and_Explosive_Effects_Analysis_June2017.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. <https://doi.org/10.1139/cjz-2016-0098>.
- IUCN-MMPATF. 2017. *Northern Adriatic IMMA Factsheet In: Force, I.J.S.W.M.M.P.A.T.* (ed.). <https://www.marinemammalhabitat.org/wp-content/uploads/imma-factsheets/Mediterranean/Northern-Adriatic-Mediterranean.pdf>.
- 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): 369. <https://doi.org/10.3390/jmse9040369>.
- Maglio, A., G. Pavan, M. Castellote, and S. Frey. 2016. *Overview of the Noise Hotspots in the ACCOBAMS Area, Part I - Mediterranean Sea*.
- McPherson, C.R., J.E. Quijano, M.J. Weirathmueller, K.R. Hiltz, and K. Lucke. 2019. *Browse to North-West-Shelf Noise Modelling Study: Assessing Marine Fauna Sound Exposures*. Document Number 01824, Version 2.2. Technical report by JASCO Applied Sciences for Jacobs. https://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/PER_documentation2/Appendix%20D%203.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://doi.org/10.1121/1.3672648>.

- Picciulin, M., A. Codarin, S. Malavasi, R. Fiorin, S. Colla, and N. Rako-Gospic. 2019. The noisy coastal areas of the transboundary Northern Adriatic Sea. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 37(1): 070002. <https://asa.scitation.org/doi/abs/10.1121/2.0001051>.
- 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.). *International Conference on Theoretical and Computational Acoustics*. Volume 2. World Scientific Publishing Co. pp. 947-956.
- RINA Consulting. 2022. *P0030812-1-H3_Ubicazione_Nave_Madre*. <https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/8984/13240?Testo=&RaggruppamentoID=158#form-cercaDocumentazione>.
- Ross, D. 1976. *Mechanics of Underwater Noise*. Pergamon Press, NY, USA.
- 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>.
- 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/10.1578/AM.33.4.2007.411>.
- 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. <https://doi.org/10.1029/JC095iC05p07167>.
- Tyack, P.L. and C.W. Clark. 2000. Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales. (Chapter 4) In Au, W.W.L., R.R. Fay, and A.N. Popper (eds.). *Hearing by Whales and Dolphins*. Springer, New York. pp. 156-224. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1150-1_4.
- Urick, R.J. 1983. *Principles of Underwater Sound*. 3rd edition. McGraw-Hill, New York, London. 423 p.
- 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. http://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/MSFD_reportTSG_Noise.pdf.
- Wenz, G.M. 1962. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *Journal of the Acoustical Society of America* 34(12): 1936-1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>.

Appendice A. Terminologia

A.1. Acustica sottomarina

Il suono è più comunemente descritto utilizzando la metrica del livello di pressione sonora (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' L_p quadratico medio (root-mean square, rms) viene utilizzato per quantificare i suoni generati dall'attività target.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

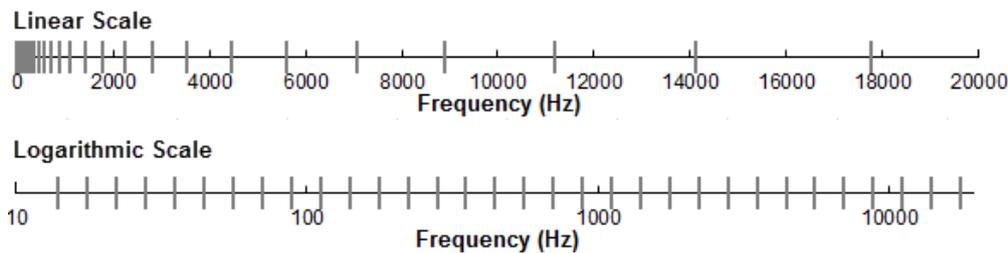


Figura A-1. Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.

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

$$L_{p,i} = 10 \log_{10} \int_{f_{lo,i}}^{f_{hi,i}} S(f) df \text{ dB} \tag{A-1}$$

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

$$\text{Broadband } L_p = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \text{ dB} \tag{A-2}$$

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.

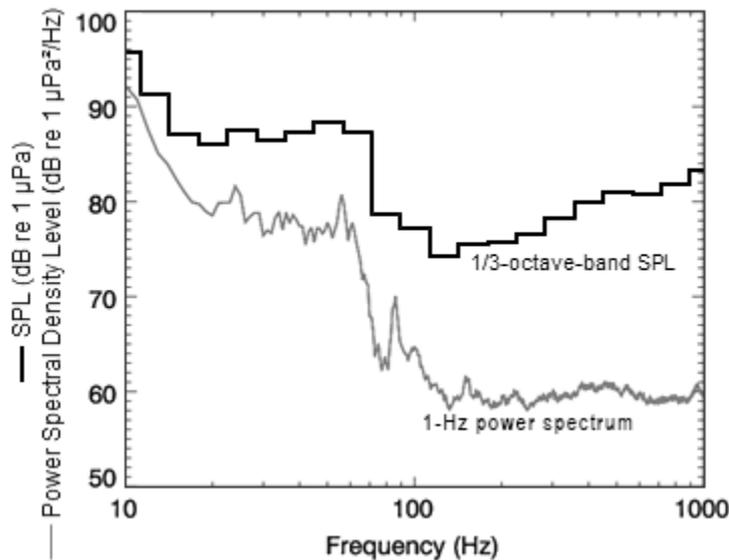


Figura A-2. Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l' L_p 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	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>f</i> ₁ (Hz)	<i>f</i> ₂ (Hz)	<i>K</i> (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

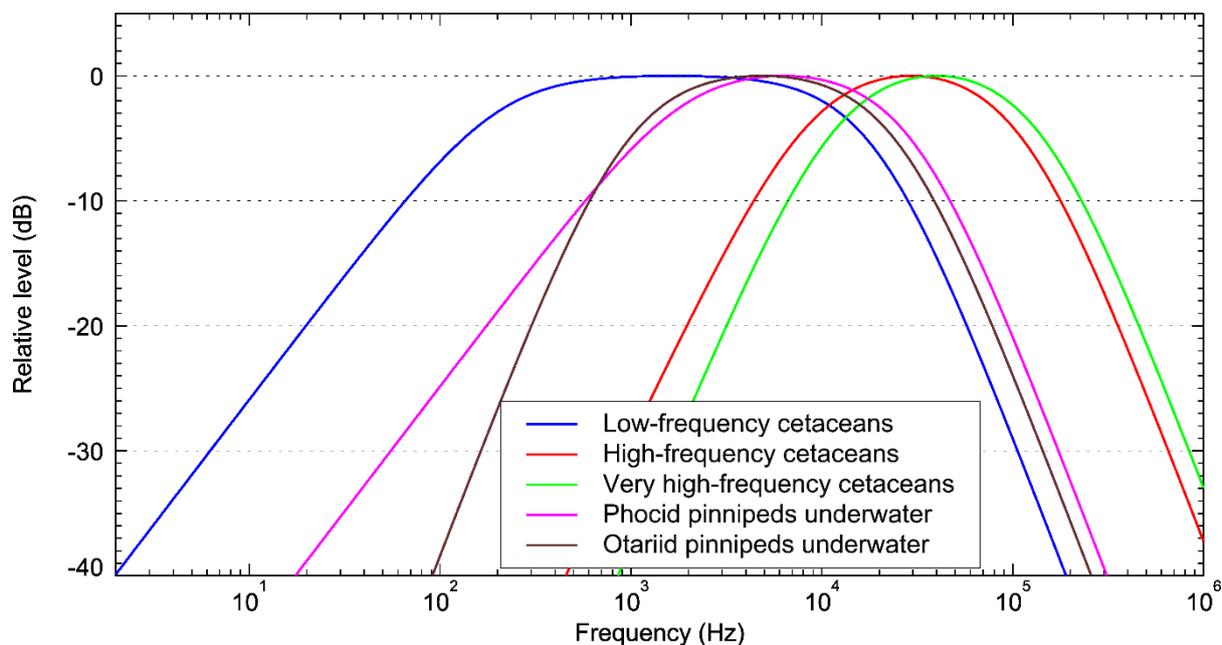


Figura A-3. Funzioni di ponderazione uditiva per i gruppi uditivi funzionali dei mammiferi marini come raccomandato da Southall (2019).

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).

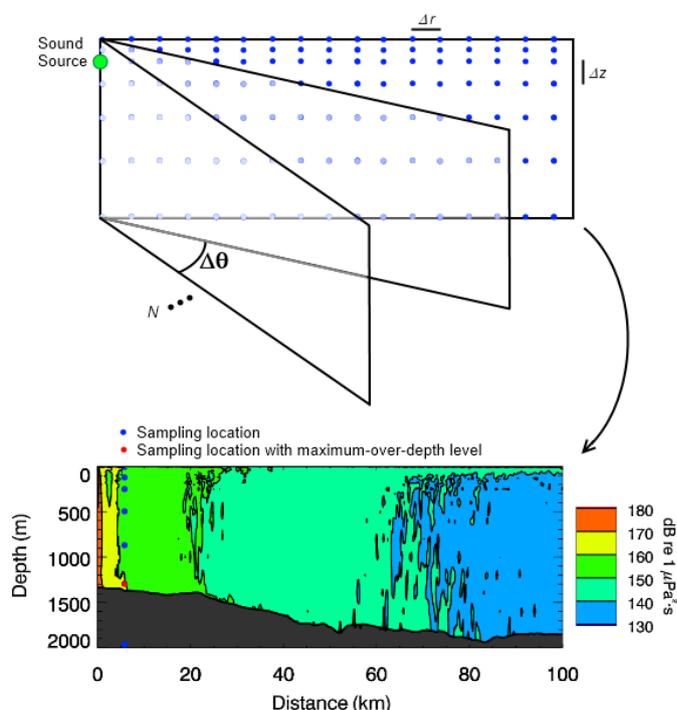


Figura B-1. Rappresentazione degli approcci $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.

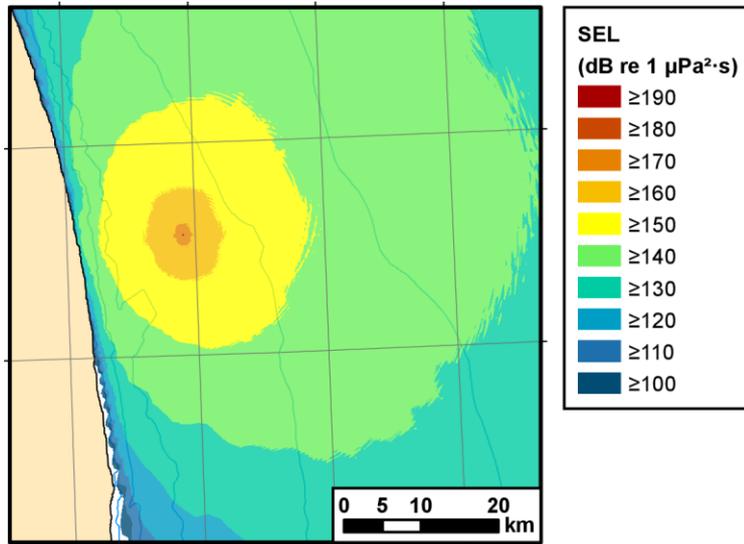


Figura B-2. Esempio di una mappa dell' SEL Massimo sulla profondità dell' SEL per una sorgente non specificata.