

RELAZIONE

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# Progetto di fattibilità tecnico economica per la realizzazione del parco Eolico Offshore Kailia – Studio di Impatto Ambientale

## *Relazione specialistica di valutazione dell'impatto acustico sottomarino*

<b>00</b>	Febbraio 2024	<b>EMISSIONE DEFINITIVA</b>	Marie-Noël Matthews, Federico Campo Ozkan Sertlek, Sam Welch Federica Pace	R. Racca M. Donato	R. Mezzalama L. Manzone
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

**CLIENT CODE**

IMP.			GROUP.			TYPE			PROGR.			REV	
K	A	I	C	S	T	R	E	L	0	1	0	0	0

CLASSIFICATION

*Final Issue*

UTILIZATION SCOPE

*Documentazione SIA*

*This document is property of Kailia Energia S.r.l. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Kailia Energia S.r.l.*

 <small>PARCO EOLICO MARINO</small>			<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			<i>PAGE</i> 2 di/of 35

## Indice

<b>1.0</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1	Descrizione sintetica dell'opera .....	5
1.2	Scenario Massimo Progettuale .....	6
1.3	Rumore ambientale .....	7
1.4	Criteri per la valutazione degli impatti sulla fauna marina .....	9
1.4.1	Generalità .....	9
1.4.2	Soglie di impatto acustico .....	10
<b>2.0</b>	<b>METODI.....</b>	<b>12</b>
<b>3.0</b>	<b>RISULTATI.....</b>	<b>13</b>
<b>4.0</b>	<b>DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....</b>	<b>14</b>
<b>5.0</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>16</b>

### TABELLE

Tabella 1:	Specie di cetacei note essere presenti nel Mar Mediterraneo e il loro stato di conservazione. LF = low frequency (bassa frequenza) e MF/HF = mid/high frequency (media/alta frequenza). .....	9
Tabella 2:	Soglie di insorgenza del primo disturbo comportamentale per mammiferi marini esposti a sorgenti di rumore sott'acqua.....	10
Tabella 3:	Soglie di insorgenza per PTS e TTS per i mammiferi marini secondo Southall et al. (2019). .....	11
Tabella 4:	Tabella 4: Soglie di insorgenza di disturbo comportamentale ([NSF] 2011) e danno uditivo (Finneran et al., 2017) per le tartarughe marine. ....	11
Tabella 5:	Soglie di insorgenza del danno uditivo per i pesci (Popper et al., 2014) esposti a rumore impulsivo. ....	11

### FIGURE

Figura 1:	Inquadramento generale del Progetto e delle opere offshore.....	6
Figura 2:	Curve di Wenz - 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). ....	7
Figura 3:	Traffico navale nel Mar Adriatico Meridionale e Mar Ionio durante il 2021 (fonte: marinetraffic.com)..	8
Figura 4:	Densità spettrale di potenza in bande di terzi di ottava per le registrazioni effettuate nell'estate 2023 presso il sito proposto per il parco eolico galleggiante. ....	9

 <p><b>Kailia Energia</b> PARCO EOLICO MARINO</p>	 <p><b>JASCO</b> APPLIED SCIENCES</p>	 <p><b>WSP</b></p>	<p><i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b></p> <hr/> <p><i>PAGE</i> 3 di/of 35</p>
--	---	--	--

**APPENDICI**

**APPENDICE A**

Terminologia

**APPENDICE B**

Modello di Propagazione

**APPENDICE C**

Impatto fisiologico

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

ACCOBAMS	<i>Agreement for the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area</i>
CNR	Centro di Ricerca Nazionale
dB	Decibel
doc.	Documento
LF	<i>Low Frequency / Cetacei bassa frequenza</i>
MF	<i>Mid-frequency / Cetacei media frequenza</i>
MOODS	<i>Master Oceanographic Observational Data Set</i>
MW	MegaWatts
OWF	<i>Offshore Wind Farm (Parco Eolico Offshore)</i>
PTS	<i>Permanent Threshold Shift / Danno uditivo permanente</i>
rif.	Riferimento
SPL o $L_p$	Livello di pressione sonora
SEL	Livello di esposizione sonora
TTS	<i>Temporary Threshold Shift / Danno uditivo temporaneo</i>
TUW	<i>Turtles Underwater / Tartarughe in acqua</i>

			CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			PAGE 5 di/of 35

## 1.0 INTRODUZIONE

### 1.1 Descrizione sintetica dell'opera

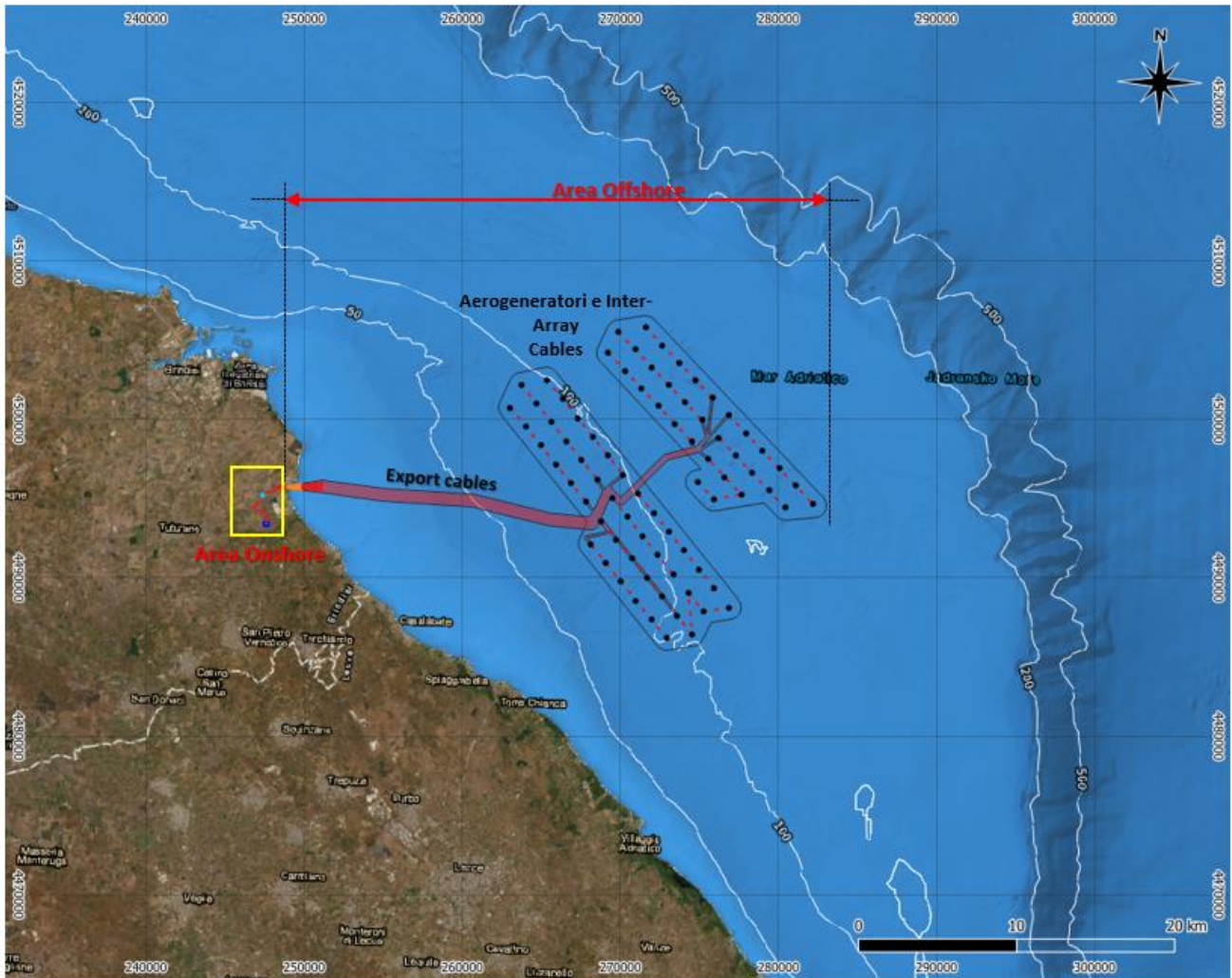
Il Progetto **del Parco Eolico Offshore Kailia** (di seguito Progetto) consiste nell'installazione e nell'esercizio di un parco eolico offshore galleggiante con una potenza complessiva di 1.170 MW, localizzato di fronte alla costa SudOrientale della regione Puglia, in corrispondenza dello specchio di mare compreso indicativamente tra la Città di Brindisi (Provincia di Brindisi) e San Cataldo (Comune di Lecce, Provincia di Lecce). Il parco eolico, composto da 78 aerogeneratori, interessa un'area pari a circa 175 km<sup>2</sup>, che si trova a distanze dalla costa comprese tra circa 8.7 km (distanza minima dalla costa) e 21.9 km e su un fondale marino con profondità comprese tra 70 e 125 m circa. Il Progetto include anche le linee di trasmissione tra gli aerogeneratori (*inter-array cables*) e tra l'ultima turbina della stringa e la buca giunti in Località Cerano (Comune di Brindisi, Provincia di Brindisi) (*export cable*). A terra, un sistema di cavidotti interrati e una sottostazione elettrica consentono il collegamento con la Rete in Comune di Brindisi nei pressi della Centrale Termoelettrica Federico II in Località Cerano.

La società proponente del Progetto è Kailia Energia S.r.l. con sede a Milano (MI); maggiori informazioni sulla società proponente sono fornite nel capitolo 1.4 dello SIA.

Il Progetto Kailia include i seguenti principali elementi:

- Componenti offshore:
  - il parco eolico offshore sarà composto da 78 aerogeneratori per complessivi 1.170 MW. L'impianto è suddiviso in quattro campi denominati Kailia A, B, C e D;
  - sistema di cavi marini per la trasmissione dell'energia elettrica prodotta dagli aerogeneratori all'interno del parco (*inter-array cables*) e dal parco alla buca giunti terrestre (*export cable*). La tensione dei cavi marini è 66 kV;
- Componenti onshore (Lato Utente e Sezione Rinforzo Rete), tutte localizzate nel Comune di Brindisi (BR) in località Cerano in aree agricole prossime al confine della Centrale Termoelettrica (CTE) Federico II di Cerano e nella zona a Sud di Brindisi.

Nella Figura 1 si riporta l'inquadramento generale del progetto con enfasi sulle opere offshore.



**Figura 1: Inquadramento generale del Progetto e delle opere offshore.**

## 1.2 Scenario Massimo Progettuale

Per il procedimento di VIA del progetto del Parco Eolico Offshore Kailia si è deciso di utilizzare un approccio *Design Envelope* per definire il Progetto. Tale approccio e le motivazioni di questa scelta sono ampiamente spiegate nel Volume 1 dello Studio di Impatto Ambientale (SIA) (rif. doc. KAI.CST.REL.001.1.00), a cui si rimanda per dettagli. In particolare, il *Design Envelope* riguarda alcune soluzioni tecnologiche ancora in fase di valutazione che saranno definite nelle successive fasi di progettazione. Nel caso di Kailia, il *Design Envelope Approach* viene utilizzato per definire un progetto del “caso conservativo”, ovvero lo Scenario Massimo Progettuale, che a sua volta consente una valutazione precauzionale degli impatti associati. In sede di valutazione degli impatti, infatti, per ogni componente ambientale potenzialmente impattata dagli elementi che fanno parte del *Design Envelope*, l’impatto viene valutato per il caso peggiore, ossia considerando tra le possibili opzioni di Progetto quelle che generano fattori di impatto maggiori sulla componente ambientale in esame. Questo approccio assicura che ciascun impatto venga valutato sulla base dei parametri di progettazione peggiori per ciascuna componente ambientale potenzialmente impattata. In questo rispetto, anche se diverse attività (quali ad esempio lo scavo della trincea per la posa dei cavi di export, l’installazione di un tratto di cavidotto marino in prossimità dell’approdo tramite perforazione teleguidata orizzontale, il movimento di navi,

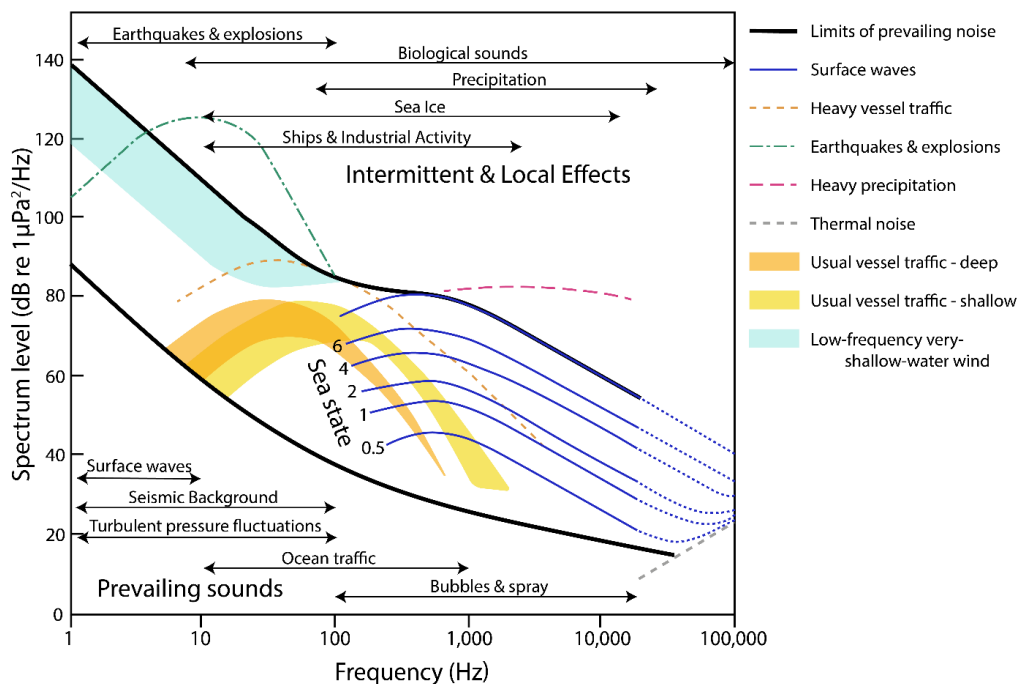
ecc.) potranno far parte del processo di costruzione, in questo studio è stata modellizzata soltanto l'attività considerata di massimo impatto acustico per stimare le distanze di possibile effetto sulle varie specie marine.

Per quanto riguarda il presente studio, i principali parametri progettuali considerati sono stati:

- Per la fase di costruzione: installazione di ancoraggi con *pile driving*, considerato il metodo più impattante dal punto di vista del rumore prodotto tra i diversi tipi di ancoraggi possibili per il Progetto (si è assunto che due pali di ormeggio adiacenti possano essere infissi in successione nell'arco di 24 ore, e non si conducano installazioni simultanee);
- Per la fase di esercizio: 78 turbine (massimo numero di turbine).

### 1.3 Rumore ambientale

I suoni ambientali che creano il paesaggio acustico marino sono prodotti da molte fonti naturali e antropiche (Figura 2). Le principali sorgenti naturali sono vento, precipitazioni e, in regioni polari e sub-polari, 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 (Dean, 2000). 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.



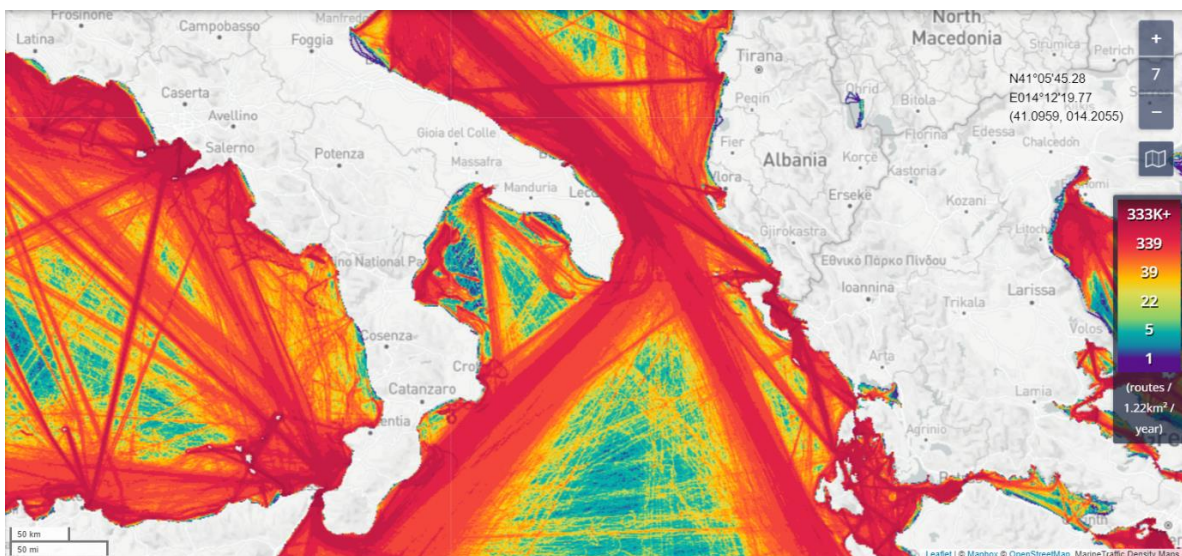
Nota: Le linee spesse indicano i limiti del suono ambientale prevalente.

**Figura 2: Curve di Wenz - 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).**

Non sono disponibili pubblicazioni scientifiche formali riguardanti il suono ambientale specificamente nell'area potenzialmente interessata acusticamente dal Progetto; pertanto, è possibile riferirsi solamente a studi effettuati in acque limitrofe. Il paesaggio sonoro dell'Adriatico Settentrionale (coste croate) è stato descritto nella stagione

primaverile e quella estiva (Picciulin et al. 2022). Sono stati riportati valori di Livello di Pressione Sonora (SPL) per la maggior parte inferiori ai 95 dB re 1  $\mu$ Pa nella banda di frequenze 63–2000 Hz durante la primavera. Durante l'estate questo valore viene superato come conseguenza dell'incremento del rumore da imbarcazioni dovuto alle attività turistiche. Similmente i livelli di rumore alle alte frequenze (2–20 kHz) risultavano superiori ai 105 dB re 1  $\mu$ Pa durante la stagione estiva.

Relativamente alle sorgenti antropiche nell'area d'interesse<sup>1</sup> è possibile affermare che il rumore di fondo nell'area è notevolmente influenzato dal traffico navale, in quanto ci sono molte importanti rotte di navigazione come si evince dalla Figura 3. Questa zona è stata identificata come un hotspot per il rumore subacqueo da ACCOBAMS (Maglio et al., 2016) ed è soggetta a frequenti campagne di esplorazione sismica. Uno studio pubblicato nel 2021 (Širović e Holcer., 2021) ha riportato i livelli di rumore proveniente da questo tipo di attività. I dati sono stati acquisiti a 70–125 km di distanza da due operazioni di esplorazione sismica tramite airguns avvenute in autunno e inverno nel Mar Adriatico SudOrientale (al largo del Montenegro). I valori di livello di esposizione sonora (SEL) calcolati nella banda dei 15–200 Hz corrispondevano a 130 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup> s, con massimi fino a 148 dB re: 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup> s durante il survey autunnale, in acque profonde. Durante il survey invernale invece sono stati riportati SEL di 135 dB re: 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup> s (Širović e Holcer., 2021).



**Figura 3: Traffico navale nel Mar Adriatico Meridionale e Mar Ionio durante il 2021 (fonte: marinetraffic.com).**

Dati sul rumore di sottofondo relativi all'area potenzialmente interessata acusticamente dal Progetto sono stati acquisiti sul campo dal Centro di Ricerca Nazionale (CNR) durante tre stagioni (primavera, estate e inverno) per un periodo di circa un mese per ogni stagione nell'anno 2022. Per ulteriori informazioni su tali dati si rimanda al Capitolo 8.10 del Volume 2 dello Studio di Impatto Ambientale (rif. Doc. KAI.CST.REL.001.2.00) I livelli di pressione sonora per ogni minuto nella banda di frequenza 20 Hz to 20 kHz sono stati calcolati dal CNR e messi a disposizione della JASCO per poter utilizzare i valori mediani come riferimento per il rumore di sottofondo. Sia in estate che in inverno i livelli mediani di pressione sonora  $L_p$  riscontrati sono ~117 dB re 1  $\mu$ Pa (finestra temporale di 20 secondi, banda larga compresa fra i 20 Hz e i 20 kHz); i valori in bande di terzi di ottava sono presentati in Figura 4.

<sup>1</sup> L'area di interesse comprende il Mar Adriatico Meridionale.



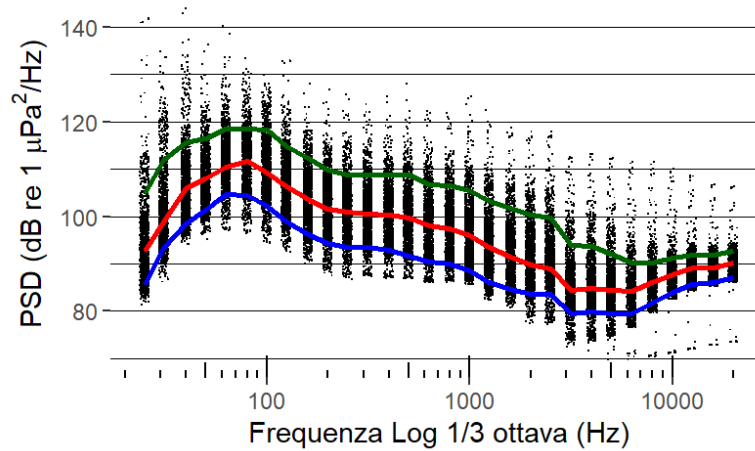


Figura 4: Densità spettrale di potenza in bande di terzi di ottava per le registrazioni effettuate nell'estate 2023 presso il sito proposto per il parco eolico galleggiante.

## 1.4 Criteri per la valutazione degli impatti sulla fauna marina

### 1.4.1 Generalità

Lo studio è focalizzato sull'impatto del rumore subacqueo sui mammiferi marini e sulle tartarughe marine, in quanto questi sono stati identificati nel documento di SIA come recettori sensibili per il progetto proposto (cfr. KAI.CST.REL.001.1.00).

Le specie di cetacei elencate nella Tabella 1 sono state riscontrate nel Mar Mediterraneo (Gnone et al., 2023). Nell'area meridionale della Puglia sono inoltre stati registrati in epoca recente degli avvistamenti di foca monaca (*Monachus monachus*); la specie, per via dell'esiguo numero di esemplari in Mediterraneo e per il notevole interesse conservazionistico che ricopre, merita un particolare livello di attenzione (Bundone et al., 2019).

Tabella 1: Specie di cetacei note essere presenti nel Mar Mediterraneo e il loro stato di conservazione. LF = low frequency (bassa frequenza) e MF/HF = mid/high frequency (media/alta frequenza).

Nome comune	Nome scientifico	IUCN status 2022	Gruppo uditivo
<b>Misticeti</b>			
Balenottera minore <sup>1</sup>	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Vulnerabile (VU)	LF (Southall et al., 2019)
Balenottera comune	<i>Balaenoptera physalus</i>	Minacciata (EN)	
<b>Odontoceti</b>			
Delfino comune <sup>1</sup>	<i>Delphinus delphis</i>	In via di estinzione (EN)	MF (Borsani e Farchi, 2011) o HF (Southall et al., 2019)
Stenella striata	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Minima preoccupazione (LC)	
Tursiopo	<i>Tursiops truncatus</i>	Minima preoccupazione (LC)	
Grampo <sup>1</sup>	<i>Grampus griseus</i>	Dati carenti (DD)	
Globicefalo	<i>Globicephala melas</i>	Dati carenti (DD)	
Capodoglio	<i>Physeter macrocephalus</i>	In via di estinzione (EN)	
Zifio	<i>Ziphius cavirostris</i>	Near threatened (NT)	

Nota: 1) Specie rara nell'area di progetto e nell'area vasta.

## 1.4.2 Soglie di impatto acustico

La Direttiva Habitat (92/43/CEE), recepita in Italia attraverso il D.P.R. n. 357 pubblicata l'8 settembre 1997, vieta il disturbo a qualsiasi singolo animale incluso nell'Allegato IV, come i cetacei. Pertanto, l'Italia richiede ai proponenti di progetti offshore di valutare il potenziale impatto delle fonti di rumore di origine antropica associate alle loro attività rispetto a criteri comportamentali.

Successivamente, e in seguito alla pubblicazione della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (MSFD) (van der Graaf et al., 2012), l'Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha pubblicato una linea guida ufficiale per lo studio e la gestione del suono sottomarino di origine antropica (Borsani e Farchi, 2011). Le linee guida si basano in gran parte sulla MSFD e sui criteri presentati in Southall et al. (2007).

Le linee guida dell'ISPRA rappresentano quindi il documento ufficiale di riferimento per la valutazione degli impatti del suono sottomarino sui cetacei, fornendo il quadro per l'attuazione della MSFD da parte dell'Italia a livello nazionale. Le soglie alla prima insorgenza di disturbi comportamentali riportate in Borsani e Farchi (2011) sono riassunte nella Tabella 2 di seguito.

In questo studio sono utilizzate le soglie corrispondenti all'impatto da suono di tipo impulsivo per l'attività di costruzione e di tipo non impulsivo per la fase di esercizio delle turbine del parco eolico, in linea con la categorizzazione della Marine Strategy Framework Directive (MSFD) (Borsani e Farchi, 2011; van der Graaf et al., 2012, EC, 2017).

**Tabella 2: Soglie di insorgenza del primo disturbo comportamentale per mammiferi marini esposti a sorgenti di rumore sott'acqua.**

Specie	Livello ricevuto per impulso singolo (tipo battipalo) SEL (dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s)	Livello ricevuto per impulsi multipli (tipo airgun) Lp (dB re 1 $\mu$ Pa)	Livello ricevuto per rumore non impulsivo Lp (dB re 1 $\mu$ Pa)
Balenottere	183 (weighted LF, Southall 2007) LF= low frequency cetacean hearing group	120	100-110
Delfino comune Tursiopo Stenella Grampo Capodoglio	183 (weighted MF, Southall 2007) MF= mid frequency cetacean hearing group	90-180	110-120

Le distanze corrispondenti all'eccedenza del criterio di disturbo comportamentale secondo le linee guida ACCOBAMS (2013, 2020), ossia un livello di pressione acustica (Sound Pressure Level, SPL o L<sub>p</sub>) non ponderato di 120 dB re 1  $\mu$ Pa per rumore di tipo continuo e 160 dB re 1  $\mu$ Pa per rumore impulsivo per tutti i gruppi uditivi dei mammiferi marini, rientrano nei criteri inclusi nelle linee guida di Borsani e Farchi (2011) e sono dunque anch'essi presentati.

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) e rappresentano le linee guida più recenti e complete per stimare l'impatto del rumore antropogenico sui mammiferi marini. 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 delle specie considerate. I livelli di esposizione sonora, 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'allegato APPENDICE A (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.

Le soglie di insorgenza descritte da Finneran et al. (2017) e [NSF] National Science Foundation (US) (2011) sono state utilizzate rispettivamente per calcolare i raggi di impatto per il danno uditivo e disturbo comportamentale per le tartarughe marine (Tabella 4), mentre le soglie di insorgenza descritte da Popper et al. 2014 sono state utilizzate per stimare il potenziale danno ai pesci esposti a suoni di tipo impulsivo (Tabella 5). Per i pesci non sono ancora state definite soglie per il disturbo comportamentale o per i suoni di tipo continuo.

**Tabella 3: Soglie di insorgenza per PTS e TTS per i mammiferi marini secondo Southall et al. (2019).**

Gruppo uditivo	Rumore continuo		Rumore impulsivo	
	TTS: SEL (ponderato)	PTS: SEL (ponderato)	TTS: SEL (ponderato)	PTS: SEL (ponderato)
Cetacei – basse frequenze Low frequency (LF) cetaceans	179	199	168	183
Cetacei – alte frequenze High frequency (HF) cetaceans	178	198	170	185
Pinnipedi focidi in acqua: Phocid carnivores in water (PCW)	181	201	170	185

**Tabella 4: Tabella 4: Soglie di insorgenza di disturbo comportamentale ([NSF] 2011) e danno uditivo (Finneran et al., 2017) per le tartarughe marine.**

Tipo di disturbo	Metrica	Rumore continuo	Rumore impulsivo
Comportamentale	Lp (dB re 1 $\mu$ Pa)	166	166
PTS	SEL24h (dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s)	220	204
TTS	SEL24h (dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s)	200	189

**Tabella 5: Soglie di insorgenza del danno uditivo per i pesci (Popper et al., 2014) esposti a rumore impulsivo.**

Tipo di animale	Potenziale danno letale (morte)		Danno da cui si può recuperare (recoverable injury)		TTS
	SEL24h	PK	SEL24h	PK	SEL24h
Pesci senza vescicola natatoria	>219	>213	>216	>213	>>186
Pesci con vescicola natatoria non coinvolta nella funzione uditiva	210	>207	203	>207	>186
Pesci con vescicola natatoria coinvolta nella funzione uditiva	207				186

Nota: . Per il disturbo comportamento non sono stabilite soglie. SEL 24 h viene espresso con l'unità di misura Db re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>.s mentre il livello di picco PK viene espresso in Db re 1  $\mu$ Pa.

 PARCO EOLICO MARINO			CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			PAGE 12 di/of 35

## 2.0 METODI

Il presente documento è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista. In ogni caso, i contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art.24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale.

 PARCO EOLICO MARINO			<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			<i>PAGE</i> 13 di/of 35

### 3.0 RISULTATI

Il presente documento è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista. In ogni caso, i contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art.24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale.

			CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			PAGE 14 di/of 35

## 4.0 DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Lo scopo del presente studio è stato di definire e caratterizzare i livelli di sorgente associati con le attività più rumorose previste per le diverse fasi del progetto del parco eolico flottante offshore Kailia e di modellizzare le distanze di potenziale impatto sui mammiferi marini, le tartarughe e i pesci che possono essere presenti nell'area.

Le due attività selezionate per la modellizzazione sono state l'installazione delle ancore degli aerogeneratori (fase di costruzione) e l'operazione regolare degli aerogeneratori durante l'esercizio del parco eolico. Entrambe sono state modellizzate con un profilo della velocità del suono invernale, che è considerato il più favorevole per la diffusione su lunghe distanze, e con uno estivo.

La definizione dei livelli di sorgente per l'attività dei battipali ha utilizzato input basati sullo studio ingegneristico per il progetto e considerando il più cautelativo dei casi, che per questo progetto è corrisposto all'utilizzo di energia di percussione minima (cioè 60 kJ) a una penetrazione di 10 m. Non è inaspettato che i livelli più alti vengano ottenuti al livello di energia minore, dato che l'uso di basse energie è associato con una limitata penetrazione iniziale e di conseguenza più vibrazione del palo nella colonna d'acqua. I pali previsti sono di piccole dimensioni e dunque non è sorprendente che i livelli soglia per il disturbo comportamentale presentati nelle linee guida di Borsani e Farchi (2011) non siano ecceduti. La soglia di disturbo comportamentale considerata da ACCOBAMS (Lp pari a 160 dB re 1 µPa) viene invece ecceduta entro 960 m dall'installazione nel peggiore dei casi, che corrisponde all'infissione del palo con energia minima (60 kJ) in inverno, e 450 m nel migliore dei casi (stesso pilone a un'energia di 180 kJ) sempre di inverno. La differenza fra i due scenari è principalmente dovuta alla più avanzata penetrazione del palo nel substrato nel secondo caso.

La stagionalità, che impatta il profilo di propagazione del suono nella colonna d'acqua, non sembra avere un effetto rilevante sui raggi di impatto calcolati che sono in tutti i casi valutati molto simili fra loro. La batimetria dell'area è risultata rilevante per la propagazione del suono; la maggior parte della propagazione sulle lunghe distanze avviene infatti verso NordEst/Nord-NordEst dove il fondale raggiunge più velocemente profondità maggiori mentre verso SudOvest, caratterizzato da batimetria poco profonda, i livelli cadono rapidamente a un valore corrispondente al rumore di fondo ambientale.

I livelli di sorgente calcolati dalla JASCO sulle misurazioni effettuate dalla Scottish Association for Marine Science (Risch et al., 2023) per le turbine operative semi-sommersibili del parco eolico Kinkardine sono stati usati come input per la modellizzazione del parco operativo. Lo spettro utilizzato include dunque tutti i tipi di rumore associati con questo tipo di galleggiante e la relativa turbina, cioè il rumore dei sistemi di ancoraggio, delle pompe operative e dei generatori.

Il rumore sottomarino in esercizio è leggermente superiore al suono ambientale per le turbine individuali e il parco complessivo; tuttavia, i livelli sonori scendono ai livelli ambientali (cioè sotto un Lp di 117 dB re 1 µPa calcolato su 10 secondi) entro pochi metri dalla sorgente. Inoltre, entro meno di 1 km dalla turbina i livelli scendono di altri 10 dB. Questi risultati sono coerenti con quanto riportato in altri studi (Kraus et al. 2016, HDR 2019). Eventuali cambiamenti comportamentali causati dall'esposizione ai suoni subacquei dovrebbero essere a breve termine e localizzati in aree limitrofe agli aerogeneratori.

Una limitazione della modellizzazione effettuata è il fatto che i livelli di sorgente non sono stati adattati alle caratteristiche delle turbine; ad esempio, è noto che i toni a basse frequenze sono correlati a proprietà della turbina tipo il numero di poli del generatore e il numero di rotazioni al minuto, o le caratteristiche delle pompe per lo zavorramento. Dato che poche misure sono attualmente disponibili su questi sistemi galleggianti, nessuna delle quali è esattamente comparabile ad un'altra, e data la presenza di molteplici sorgenti, non è possibile corroborare con affidabilità uno spettro dei livelli di sorgente basandosi solo sui dati ingegneristici. Pertanto, le misurazioni sul campo di sistemi strutturalmente simili sono state ritenute il proxy migliore per questo tipo di

 Kailia Energia PARCO EOLICO MARINO	 JASCO APPLIED SCIENCES	 WSP	<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b> <i>PAGE</i> 15 di/of 35
--	---	---	--

sorgente. Inoltre, lo studio condotto presso Hywind Scotland (Burns et al., 2022) ha dimostrato che non è possibile predire né un segnale caratteristico nominale di una soluzione di ancoraggio, che invece può variare da turbina a turbina, né il suo livello assoluto, che comunque è di minore entità rispetto al rumore tonale continuo. Inoltre, il modello non considera il traffico navale associato alla manutenzione delle turbine.

			<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			<i>PAGE</i> 16 di/of 35

## 5.0 BIBLIOGRAFIA

- [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](https://accobams.org/wp-content/uploads/2020/05/GL_Impact_anthropogenic_noise.pdf).
- [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>.
- [NSF] National Science Foundation (US). 2011. Final Programmatic Environmental Impact Statement/Overseas. Environmental Impact Statement for Marine Seismic Research Funded by the National Science Foundation or Conducted by the US Geological Survey. National Science Foundation, Arlington, VA, USA. [https://www.nsf.gov/geo/oce/envcomp/usqs-nsf-marine-seismic-research/nsf-usqs-final-eis-oeis\\_3june2011.pdf](https://www.nsf.gov/geo/oce/envcomp/usqs-nsf-marine-seismic-research/nsf-usqs-final-eis-oeis_3june2011.pdf).
- 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.
- Buckingham, M.J. 2005. Compressional and shear wave properties of marine sediments: Comparisons between theory and data. Journal of the Acoustical Society of America 117: 137-152. <https://doi.org/10.1121/1.1810231>.
- Bundone, L., A. Panou, and E. Molinaroli. 2019. On sightings of (vagrant?) monk seals, *Monachus monachus*, in the Mediterranean Basin and their importance for the conservation of the species. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 29(4): 554-563. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.3005>.
- Burns, R.D.J., S.B. Martin, M.A. Wood, C.C. Wilson, C.E. Lumsden, and F. Pace. 2022. HYWIND Scotland Floating Offshore Wind Farm: Sound Source Characterisation of Operational Floating Turbines. Document Number 02521, Version 2.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for Equinor Energy AS.
- 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>.
- 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>.



			<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			<i>PAGE</i> 17 di/of 35

- 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>.
- Etter, P.C. 2009. Review of ocean-acoustic models. *OCEANS 2009*, 26-29 Oct. 2009, pp. 1-6.
- European Commission. 1992. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of the European Union* L 206/7. <http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/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](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>.
- GEBCO Bathymetric Compilation Group. 2019. The GEBCO\_2019 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land. British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre. [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/gebco\\_2019/gebco\\_2019\\_info.html](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2019/gebco_2019_info.html).
- Gnone, G., M. Bellingeri, S. Airoidi, J. Gonzalvo, L. David, N. Di-Méglio, A.M. Cañadas, A. Akkaya, T. Awbery, et al. 2023. Cetaceans in the Mediterranean Sea: Encounter Rate, Dominant Species, and Diversity Hotspots. *Diversity* 15(3): 321. <https://www.mdpi.com/1424-2818/15/3/321>.
- Hamilton, E.L. 1980. Geoacoustic modeling of the sea floor. *Journal of the Acoustical Society of America* 68(5): 1313-1340. <https://doi.org/10.1121/1.385100>.
- Holzer, T.L., M.J. Bennett, T.E. Noce, and J.C. Tinsley. 2005. Shear-Wave Velocity of Surficial Geologic Sediments in Northern California: Statistical Distributions and Depth Dependence. *Earthquake Spectra* 21(1): 161-177. <https://doi.org/10.1193/1.1852561>.
- JASCO Applied Sciences. 2019. *Underwater Acoustics: Noise and the Effects on Aquatic Life. A Pocket Handbook*. 4th (interim) edition.
- Lippert, S., M. Nijhof, T. Lippert, D. Wilkes, A. Gavrilov, K. Heitmann, M. Ruhnau, O. von Estorff, A. Schäfke, et al. 2016. COMPILE—A Generic Benchmark Case for Predictions of Marine Pile-Driving Noise. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 41(4): 1061-1071. <https://doi.org/10.1109/JOE.2016.2524738>.

			<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
			<i>PAGE</i> 18 di/of 35

- Lippert, T., M. Ruhnau, S. Lippert, O. von Estorff, M.A. Ainslie, and M. Nijhof. 2017. COMPILE II: A real-life benchmark scenario for pile driving noise estimations. 4th Underwater Acoustics Conference and Exhibition (UACE 2017). 2-8 Sep 2017, Skiathos, Greece. [http://www.uaconferences.org/docs/UACE2017\\_Papers/829\\_UACE2017.pdf](http://www.uaconferences.org/docs/UACE2017_Papers/829_UACE2017.pdf).
- MacGillivray, A.O. 2014. A model for underwater sound levels generated by marine impact pile driving. Proceedings of Meetings on Acoustics 20(1). <https://doi.org/10.1121/2.0000030>.
- Maglio, A., G. Pavan, M. Castellote, and S. Frey. 2016. Overview of the Noise Hotspots in the Accobams Area: Part I – Mediterranean Sea.
- Picciulin, M., E. Armelloni, R. Falkner, N. Rako-Gospić, M. Radulović, G. Pleslić, S. Muslim, H. Mihanović, and T. Gaggero. 2022. Characterization of the underwater noise produced by recreational and small fishing boats (<14 m) in the shallow-water of the Cres-Lošinj Natura 2000 SCI. Marine Pollution Bulletin 183: 114050. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114050>.
- 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.
- Risch, D., G. Favill, B. Marmo, N. van Geel, S. Benjamins, P. Thompson, A. Wittich, and B. Wilson. 2023. Characterisation of underwater operational noise of two types of floating offshore wind turbines. In: Energy, S.O.R. (ed.). Scottish Association for Marine Science. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Rischetal.pdf>.
- Ross, D. 1976. Mechanics of Underwater Noise. Pergamon Press, NY, USA.
- Širović, A. and D. Holcer. 2021. Ambient Noise from Seismic Surveys in the Southern Adriatic Sea. In Joksimović, A., M. Đurović, I.S. Zonn, A.G. Kostianoy, and A.V. Semenov (eds.). The Montenegrin Adriatic Coast: Marine Biology. Springer International Publishing, Cham. pp. 497-514. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71071-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71071-0_10).
- 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>.
- 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

 <p><b>Kailia Energia</b> PARCO EOLICO MARINO</p>	 <p><b>JASCO</b> APPLIED SCIENCES</p>	 <p>WSP</p>	<p>CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b></p> <hr/> <p>PAGE 19 di/of 35</p>
--	---	---	---

(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](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>.

 <p><b>Kailia Energia</b> PARCO EOLICO MARINO</p>	 <p><b>JASCO</b> APPLIED SCIENCES</p>	 <p>wsp</p>	<p>CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b></p>
--	---	---	---

**APPENDICE A**

# Terminologia

			CODE
			<b>KAI.CST.REL.010.00</b>

## 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.  $L_{eq}$  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 superiori a  $L_5$  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.

			CODE
			KAI.CST.REL.010.00

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

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

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

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

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

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

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

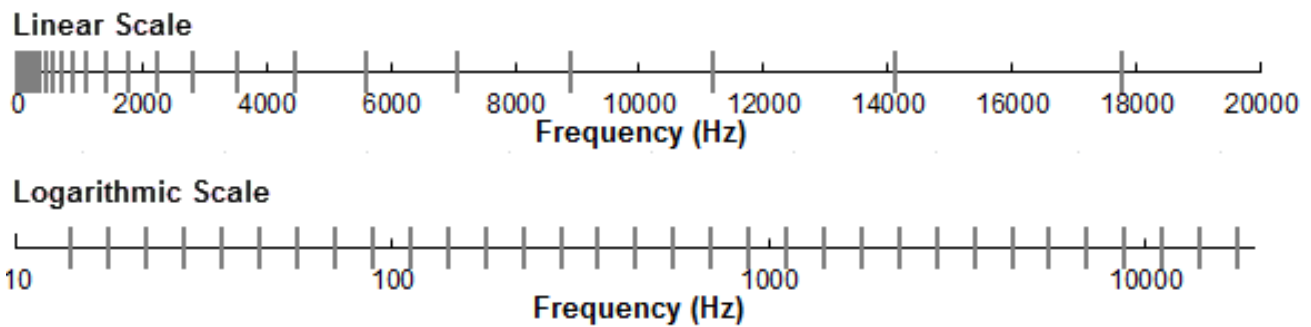


Figura 1: Bande di frequenza di un terzo d'ottava (linee verticali) mostrate su una scala di frequenza lineare e su una scala logaritmica.

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

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

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

$$\text{Broadband } Lp = 10 \log_{10} \sum_i 10^{\frac{L_{p,i}}{10}} \text{ dB} \quad (\text{A-2})$$

La Figura 2 mostra un esempio di come i livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava si confrontano con i livelli di densità spettrale della pressione sonora di un segnale sonoro ambientale. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più larghe di 1 Hz, l' $L_p$  della banda di 1/3 d'ottava è maggiore dei livelli spettrali, specialmente alle frequenze più alte. L'analisi per bande di terzo d'ottava viene applicata a sorgenti di rumore continue e impulsive. Per le sorgenti impulsive viene tipicamente riportato il SEL in banda di 1/3 d'ottava.

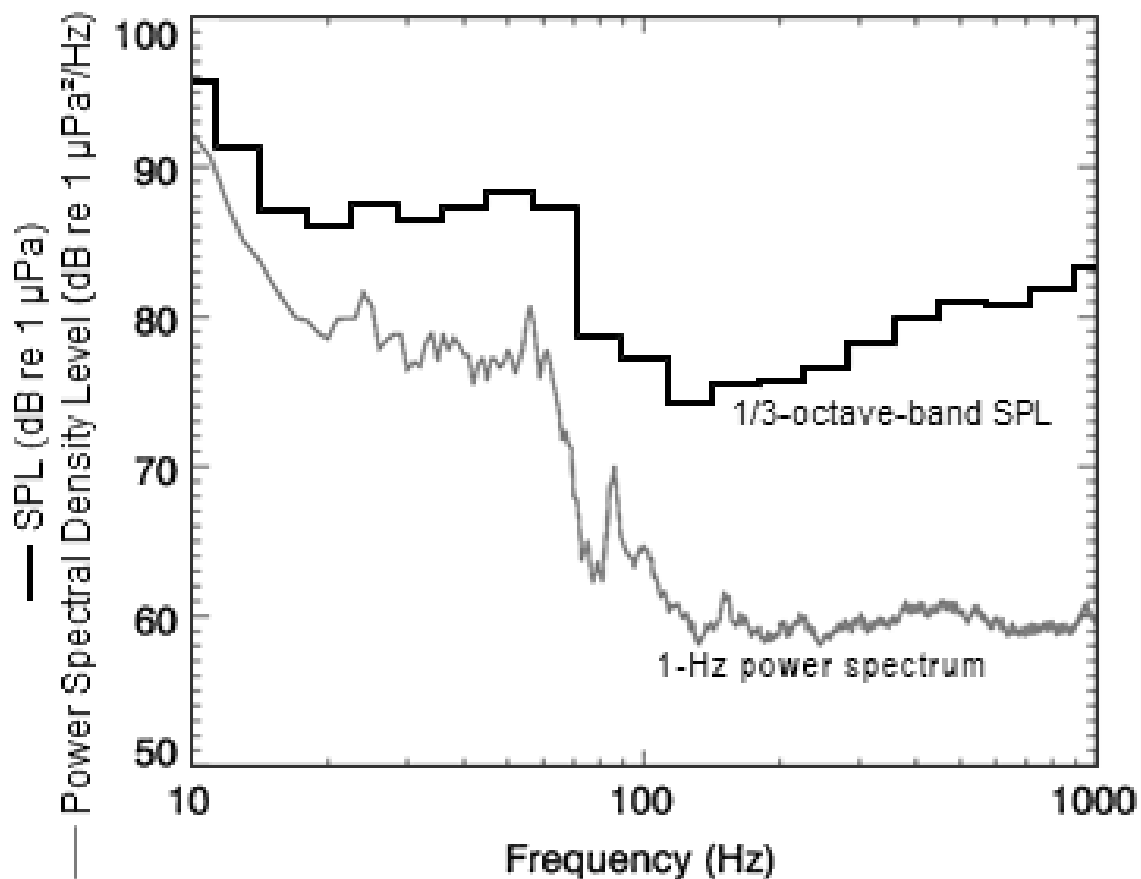


Figura 2: Livelli di densità spettrale della pressione sonora e i corrispondenti livelli di pressione sonora in banda di 1/3 d'ottava del suono ambientale di esempio mostrati su una scala di frequenza logaritmica. Poiché le bande di 1/3 d'ottava sono più ampie all'aumentare della frequenza, l' $L_p$  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 per le valutazioni del livello di rumore per gli esseri umani. Le nuove funzioni di ponderazione in frequenza sono espresse come:

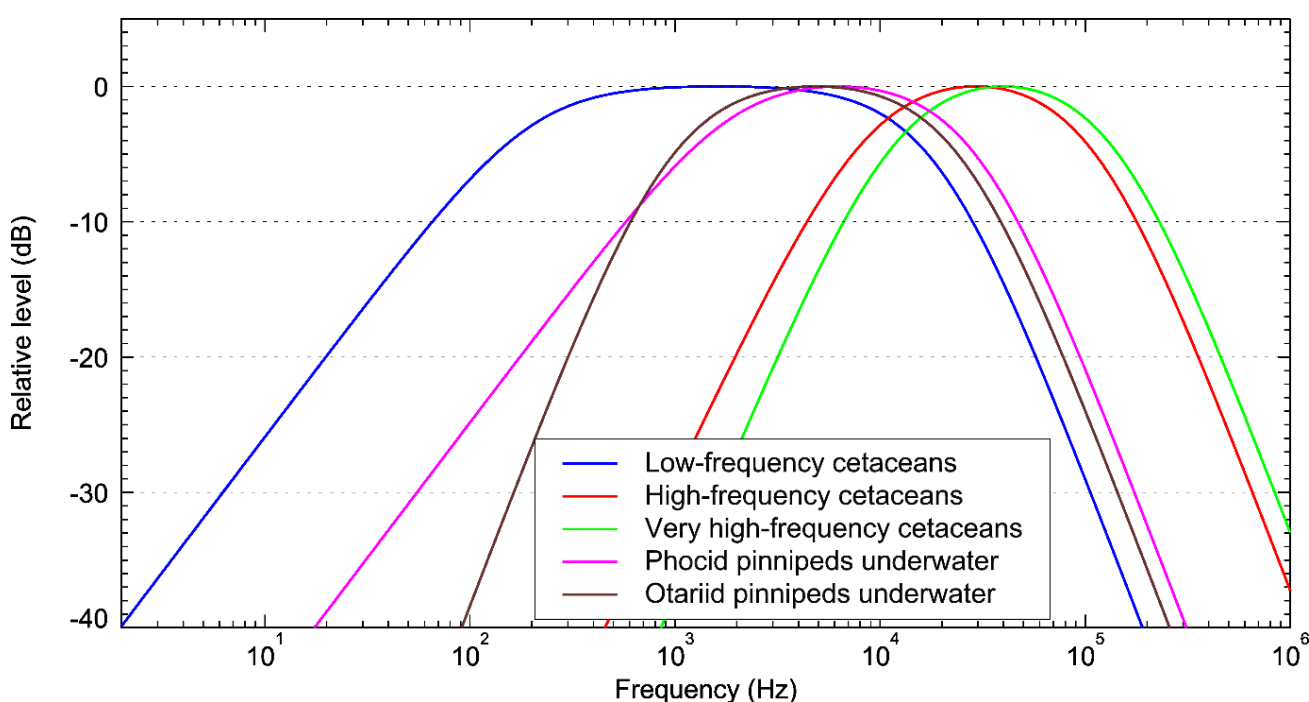
$$G(f) = K + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{[1 + (f/f_1)^2]^a [1 + (f/f_2)^2]^b} \right\} \quad (\text{A-6})$$

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 1 elenca i parametri di ponderazione della frequenza per ciascun gruppo uditivo. La Figura 3 mostra le curve di ponderazione in frequenza risultanti.

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

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



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



 <p><b>Kailia Energia</b> PARCO EOLICO MARINO</p>	 <p><b>JASCO</b> APPLIED SCIENCES</p>	 <p>wsp</p>	<p>CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b></p>
--	---	---	---

**APPENDICE B**

## Modello di propagazione

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 e 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 e 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 5° ottenendo  $N = 360^\circ / \Delta\theta$  numero di piani (Figura 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 3-D 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 1). Questi livelli di massima profondità vengono quindi presentati come contorni di colore attorno alla sorgente (ad esempio, Figura 2).

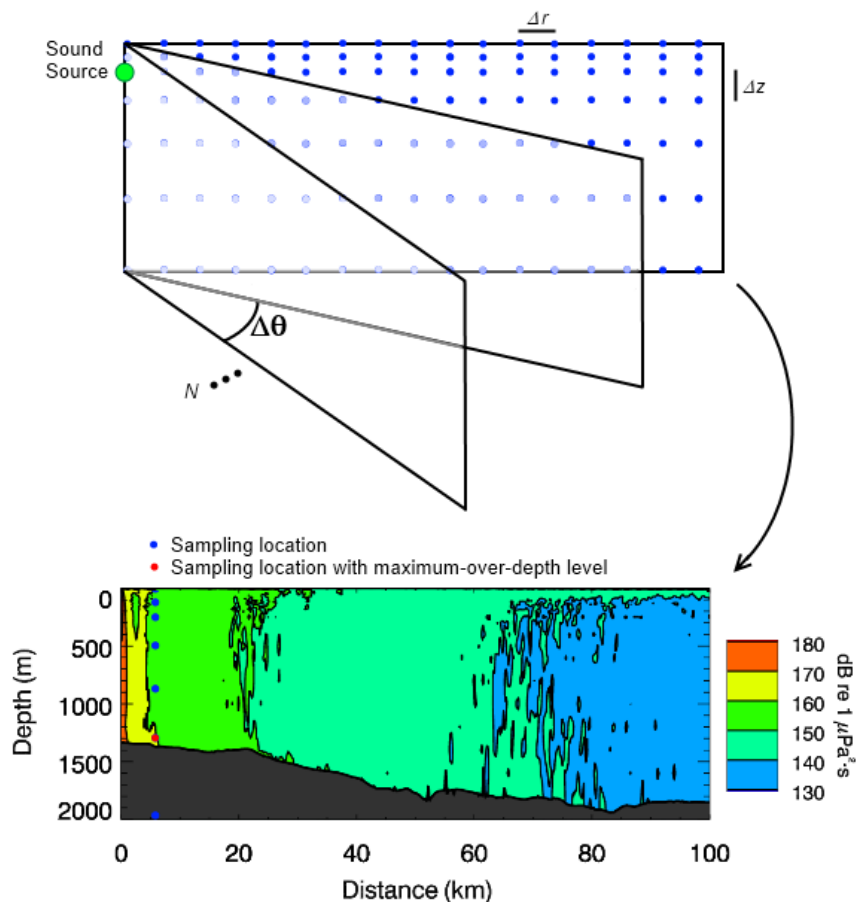


Figura 1: Rappresentazione degli approcci  $N \times 2$ -D e massimo-sulla-profondità.

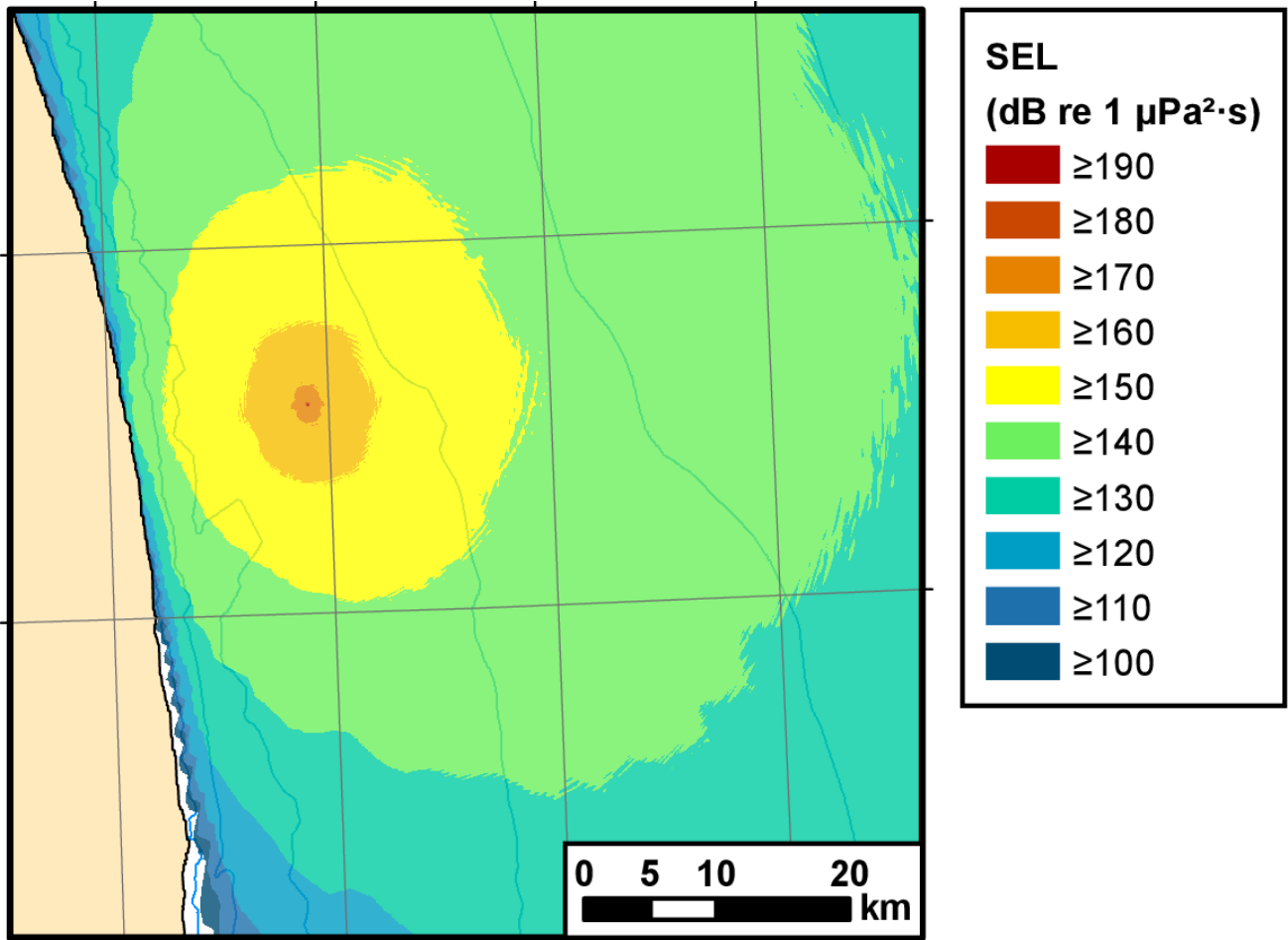


Figura 2: Esempio di una mappa dell'SEL Massimo sulla profondità. Example of a maximum-over-depth SEL per una sorgente non specificata.

 <p><b>Kailia Energia</b> PARCO EOLICO MARINO</p>	 <p><b>JASCO</b> APPLIED SCIENCES</p>	 <p>wsp</p>	<p>CODE <b>KAI.CST.REL.010.00</b></p>
--	---	---	---

**APPENDICE C**

## Impatto fisiologico

 Kailia Energia PARCO EOLICO MARINO	 JASCO APPLIED SCIENCES	 WSP	<i>CODE</i> <b>KAI.CST.REL.010.00</b>
--	---	---	--

Il presente documento è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista. In ogni caso, i contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art.24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale.