

	PROGETTISTA 	COMMESSA	UNITA' -
	LOCALITA' ALTO TIRRENO	REL-AMB-E-00018	
	PROGETTO / IMPIANTO Progetto FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti		Rev. 0

APPENDICE D

RUMORE SOTTOMARINO

RUMORE SOTTOMARINO

INTEGRAZIONE

Premessa

Il presente documento include:

1. una nota metodologica generale (Sezione 1)
2. le stime tramite modello di propagazione della diffusione del suono generato dalle principali sorgenti continue (Sezione 2) e intermittenti (Sezione 3) che, in base alle informazioni attualmente disponibili, si prevede siano attive durante la realizzazione del progetto “FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti” presso Vado Ligure (Savona).

Tutte le sezioni sono state revisionate e aggiornate rispetto alle versioni precedenti (Rif. report del 20/02/2024 per la propagazione del suono continuo e report del 22/07/2024 per la propagazione del suono intermittente) in relazione alle ottimizzazioni progettuali e alle richieste di integrazioni formulate nell’ambito del progetto.

Il presente documento è stato redatto da:

- Dott.ssa Daniela Silvia Pace
- Dott. Giancarlo Giacomini
- Dott.ssa Giulia Pedrazzi
- Dott. Rosario Grammauta

Settembre 2024

SEZIONE 1

Nota metodologica

1.1 INTRODUZIONE

Questa sezione riporta la descrizione degli elementi metodologici comuni utilizzati per stimare la propagazione dei suoni continui e intermittenti generati nel corso delle diverse fasi di attività per la realizzazione del progetto “FSRU Alto Tirreno e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti” presso Vado Ligure (Savona). La sezione include:

- la terminologia tecnica e la descrizione delle grandezze acustiche;
- i dettagli dei modelli di propagazione, le caratteristiche del fondale dell’area, i profili della velocità del suono a sorgente (area FSRU) nelle 4 stagioni, e i relativi parametri di input dei modelli.

1.2 TERMINOLOGIA, DEFINIZIONI E GRANDEZZE ACUSTICHE

La terminologia tecnica utilizzata in questo documento (Tabella 1-1) è quella indicata dalla ISO 18405:2017 (www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18405:ed-1:v1:en), che definisce i termini, le grandezze e le espressioni impiegate nel campo dell’acustica subacquea, compresi i suoni naturali, biologici e antropogenici.

Tabella 1-1. Lista dei termini e delle espressioni di acustica subacquea utilizzati in questo documento (ISO 18405:2017).

Termine	Espressione	Descrizione
Sound Pressure Level (root mean square)	$(L_{p,rms})$ dB re 1 μ Pa	$L_{p,rms}$ è il rapporto in decibel tra la pressione sonora quadratica media in tutta la banda di frequenza ($\overline{p^2}$), e il quadrato della pressione sonora di riferimento che per il suono nell’acqua è un micropascal ($p_0 = 1 \mu Pa$) (ANSI S1.1-1994 R2004)
Sound Exposure Level	$(L_{E,p})$ dB re 1 $\mu Pa^2 s$	$L_{E,p}$ è il rapporto in decibel tra l’integrale nel tempo del quadrato della pressione misurata nell’intervallo di tempo considerato (E_p), e il valore di riferimento che per il suono nell’acqua è ($E_{p,0} = 1 \mu Pa^2 s$).
Source Level	(L_{SE}) dB re 1 $\mu Pa^2 m^2 s$	SL o L_{SE} è il rapporto in decibel tra il fattore a sorgente $F_s = r^2 \overline{p^2}$, e valore di riferimento per $L_{E,p}$ è $F_{s,0} = 1 \mu Pa^2 m^2 s$
Transmission Loss (TL)	(TL) dB	TL è la riduzione di un livello specificato tra due punti x_1 e x_2 che sono all’interno di un campo acustico subacqueo. In forma di formula $\Delta L_{TL} = L(x_1) - L(x_2)$, dove $L(x)$ è il livello specificato nella posizione x . Per convenzione, x_1 è scelto per essere più vicino alla fonte del suono rispetto a x_2 , in modo che la trasmissione persa sia una quantità positiva. TL è espresso in decibel (dB) e, in questo caso, TL è anche stimato per ciascuna frequenza nella banda di un terzo di ottava (TL_f).

Date le caratteristiche delle sorgenti di rumore previste, e in linea con le considerazioni del “*Technical Subgroup on Underwater Noise and other Forms of Energy*” (Dekelin et al., 2014; Borsani e Farchi, 2011a, b), le grandezze acustiche utilizzate per la stima delle distanze alle quali i livelli di pressione sonora sono tali da provocare disturbo comportamentale alle specie di cetacei sensibili alle basse (LF) e medie frequenze (MF), e ai pinnipedi, sono:

- Suoni continui: *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa;
- Suoni intermittenti: *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa² s per impulso (*single strike*).

La stima della distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ per i suoni continui e di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa² s per i suoni intermittenti (*single strike*) è stata effettuata utilizzando la perdita di trasmissione (*Transmission Loss*, $TL_f(r)$) ottenuta da modello di propagazione per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava presente nello spettro di frequenza delle sorgenti.

Per ogni frequenza è stato stimato il livello sonoro *Sound Level* $l_f(r)$ in funzione della distanza secondo la seguente relazione:

$$Sound\ Level_f(r) = SL_f(r) - TL_f(r)$$

dove $SL_f(r)$ è la distribuzione in frequenza del valore a sorgente di $L_{p,rms}$ (L_{Sp}) nel caso di suoni continui e di $L_{E,p}$ (L_{SE}) nel caso di suoni intermittenti.

Per i suoni continui, il valore complessivo di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms,i}(r)$ relativo alla generica sorgente è stato ottenuto utilizzando la seguente relazione:

$$L_{p,rms,i}(r) = 10 \log_{10} \left(\sum_f 10^{0.1 \text{ Sound level}_f(r)} \right)$$

I valori di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}(r)$ ottenuti dalla presenza contemporanea di diverse sorgenti, utili a generare le mappe di distribuzione spaziale dei livelli acustici considerati, sono stati ottenuti utilizzando la seguente relazione:

$$L_{p,rms}(r) = 10 \log_{10} \left(\sum_i 10^{0.1 L_{p,rms,i}(r)} \right).$$

Per i suoni intermittenti, il valore complessivo di *Sound Exposure Level* $L_{E,p}(r)$ per impulso in funzione della distanza è stato ottenuto utilizzando la seguente relazione:

$$L_{E,p}(r) = 10 \log_{10} \left(\sum_f 10^{0.1 \text{ Sound level}_f(r)} \right).$$

1.3 MODELLO DI PROPAGAZIONE E PARAMETRI DI INPUT

Per stimare la propagazione dei suoni continui e intermittenti è stato utilizzato il modello RAMGeo, una delle versioni di *Range-Dependent Acoustic Model* (RAM) che, secondo la letteratura di riferimento (Etter, 2009; Farcas et al., 2016), è adatto a modellare la propagazione del suono sia in acque costiere (*shallow water*) che in acque profonde (*deep water*).

Al fine di assicurare trasparenza di impiego, ripetibilità metodologica e comparazione dei risultati (Robinson et al., 2014) è stata utilizzata la suite open-source AcTUP v.2.2, distribuita dal *Center for Marine Science and Technology (CMST) – Curtin University of Technology*, Australia (<http://cmst.curtin.edu.au>) eseguita in ambiente Matlab.

La modellazione della propagazione dei suoni continui e intermittenti si è basata su uno spettro di frequenza in bande di 1/3 di ottava (Hz) in grado di coprire l'energia principale emessa durante le diverse attività previste nel corso del progetto.

Il modello per i suoni continui e il modello per i suoni intermittenti sono stati implementati su base stagionale, utilizzando i profili della velocità del suono nella colonna d'acqua (in prossimità dell'area sorgente FSRU) rappresentativi delle 4 stagioni (inverno, primavera, estate e autunno; Figura 1-1) e considerando sia le proprietà delle sorgenti di rumore (frequenze caratteristiche) sia i percorsi di propagazione (profondità e configurazione del fondale in funzione della distanza).

Sono quindi stati utilizzati i seguenti parametri di input per ciascun modello:

- Profondità della sorgente continua: 10 m;
- Profondità della sorgente intermittente: 80 m;
- Profondità del ricevitore: 10 m;
- Frequenze centrali delle bande di 1/3 di ottava (Hz): 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 79, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 397, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000;
- Profilo stagionale della velocità del suono (Figura 1-1) in funzione della profondità stimato attraverso l'equazione NPL <http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/soundseawater/> (*National Physical Laboratory*) utilizzando i dati di temperatura e salinità relativi all'anno 2023 scaricati dal portale *E.U. Copernicus Marine Service* https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTYEAR_PHY_006_004_E3R11;
- Profilo batimetrico: dati estratti dal portale National Centers for Environmental Information <https://www.ncei.noaa.gov/maps/grid-extract/>
- Fondale (Tabella 1-2): tipologia, velocità longitudinale del suono, *shear speed*, *P-wave attenuation*, *S-wave attenuation* e densità (e.g. Hamilton, 1980, 1982; Hamilton & Bachman, 1982; MacGillivray et al., 2014).

Tabella 1-2. Caratteristiche del fondale dell'area (Rif. NQF24001-REL-NAV-E-10120 - Rev 01 - Id 11484893) e parametri di input del modello.

Profondità (m)	Materiale	Densità (Kg/m ³)	Onda di compressione		Onda trasversale	
			Velocità (m/s) Cp	Attenuazione (dB/λ) αp	Velocità (m/s) Cs	Attenuazione (dB/λ) αs
0-1	Sabbia/limo	1600	1560	0.18	180	2
>1	Roccia	2600	2900	0.3	1350	0.5

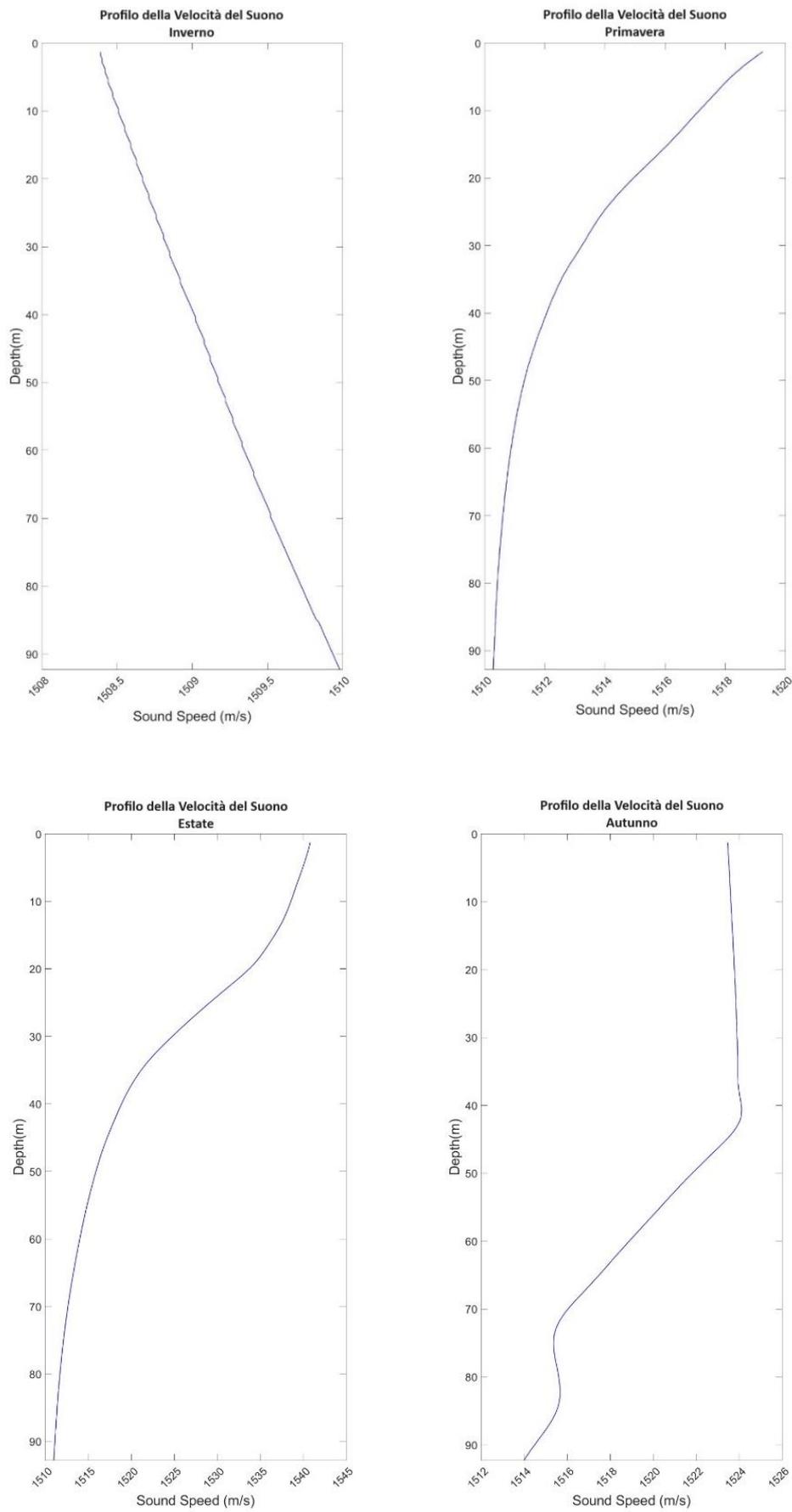


Figura 1-1. Profili della velocità del suono a sorgente (area FSRU) nelle 4 stagioni.

SEZIONE 2

Modello di propagazione dei suoni continui e stima delle distanze di disturbo comportamentale per mammiferi e rettili marini

2.1 INTRODUZIONE

Questa sezione riporta una stima tramite modello di propagazione della diffusione del suono generato dalle principali sorgenti continue (non impulsive) che, in base alle informazioni attualmente disponibili, si prevede siano attive durante la realizzazione dell'opera presso Vado Ligure.

Le informazioni prodotte dal modello sono necessarie per esaminare le distanze potenziali di disturbo comportamentale sulla componente biologica mammiferi e rettili marini e per definire di conseguenza l'estensione della zona di monitoraggio ante, durante e post-operam (Rif. Doc REL-AMB-E-000006_PMA).

Le impostazioni modellistiche sono state esaminate in diversi step di verifica per assicurare che i parametri di input fossero corretti, che l'output fosse rappresentato correttamente e che tutti i calcoli fossero coerenti; tuttavia, permangono le limitazioni nell'uso di modelli di propagazione del suono in ambiente tridimensionale.

La sezione include:

- la stima dei livelli sonori a sorgente;
- la simulazione della perdita di trasmissione (*Transmission Lost*, TL) nelle 4 stagioni per 4 frequenze specifiche (63 Hz, 125 Hz, 250 Hz e 500 Hz);
- le distanze di disturbo comportamentale per le specie di mammiferi e rettili marini.

2.2 STIMA DEI LIVELLI A SORGENTE (*Source Level*, SL)

I valori dei livelli a sorgente in funzione della frequenza sono stati ottenuti utilizzando una tipica distribuzione in bande di un terzo di ottava compatibile con quella dei lavori previsti e considerando le caratteristiche delle sorgenti in relazione alle fasi di cantiere (installazione del sistema di ormeggio e *subsea facilities*, realizzazione del microtunnel e posa della condotta), e fase di esercizio (scarico del gas). In particolare:

- Installazione del sistema di ormeggio e *subsea facilities*: livelli a sorgente considerando la presenza contemporanea di 3 tipologie di imbarcazioni (N=1 Motonavi, pontoni senza gru, N=1 Motonavi, pontoni con gru, N=3 Rimorchiatori e altre tipologie di imbarcazioni);
- Realizzazione del microtunnel e posa della condotta: livelli a sorgente considerando la presenza contemporanea di 3 tipologie di imbarcazioni (N=1 Motonavi, pontoni senza gru, N=1 Motonavi, pontoni con gru, N=1 Rimorchiatori e altre tipologie di imbarcazioni);
- Scarico del gas: adattamento dei livelli a sorgente ottenuti nel corso dello scarico del gas della nave metaniera Ougarta al terminale LNG Golar Tundra di Piombino a seguito delle registrazioni effettuate nei giorni 7-8 luglio 2023.

Per quanto concerne la fase di cantiere sono stati selezionati i valori di riferimento a sorgente di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) dB re 1 μ Pa m riportati nella tabella 2-1.

Per le motonavi e pontoni senza gru, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella figura 2-1. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) è 175.1 dB re 1 μ Pa m.

Per le motonavi e pontoni con gru, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella figura 2-2. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) è 176.4 dB re 1 μ Pa m.

Per i rimorchiatori e altre tipologie di imbarcazioni, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella figura 2-3. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) è 172.7 dB re 1 μ Pa m.

Tabella 2-1. Valori di riferimento dei livelli a sorgente di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) dB re 1 μ Pa m.

Sorgenti	Valori a sorgente di <i>Sound Pressure Level (root mean square)</i> (L_{Sp}) dB re 1 μ Pa m
Motonavi, pontoni senza gru	175.1
Motonavi, pontoni con gru	176.4
Rimorchiatori e altre tipologie di imbarcazioni	172.7

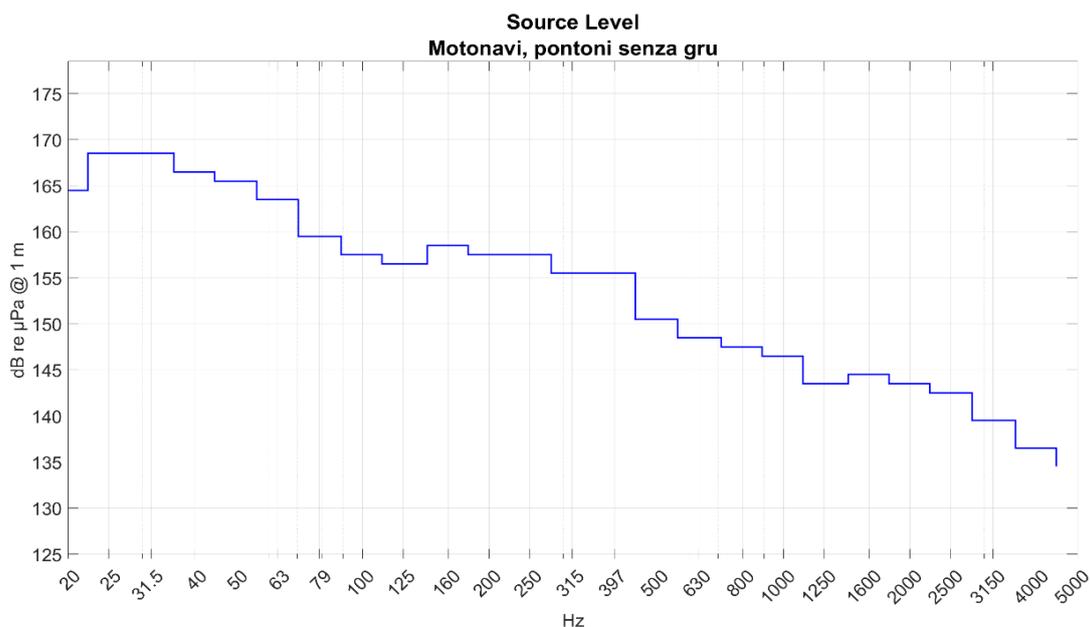


Figura 2-1. Stima dei valori di *Source Level* (L_{Sp}) [dB re 1 μ Pa m] in bande di un terzo di ottava per motonavi e pontoni senza gru.

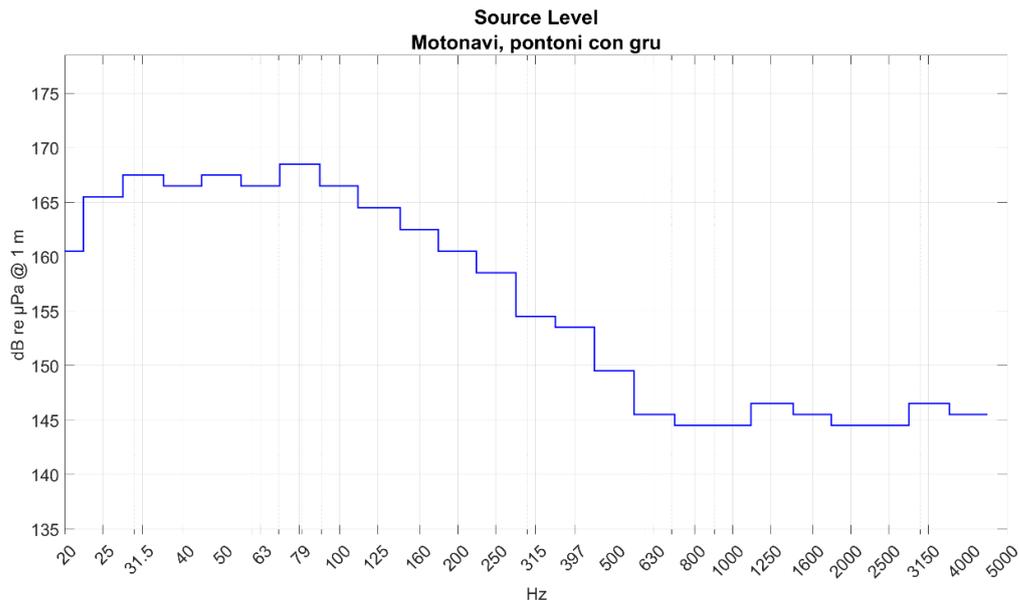


Figura 2-2. Stima dei valori di Source Level (L_{sp}) [dB re 1 μ Pa m] in bande di un terzo di ottava per motonavi e pontoni con gru.

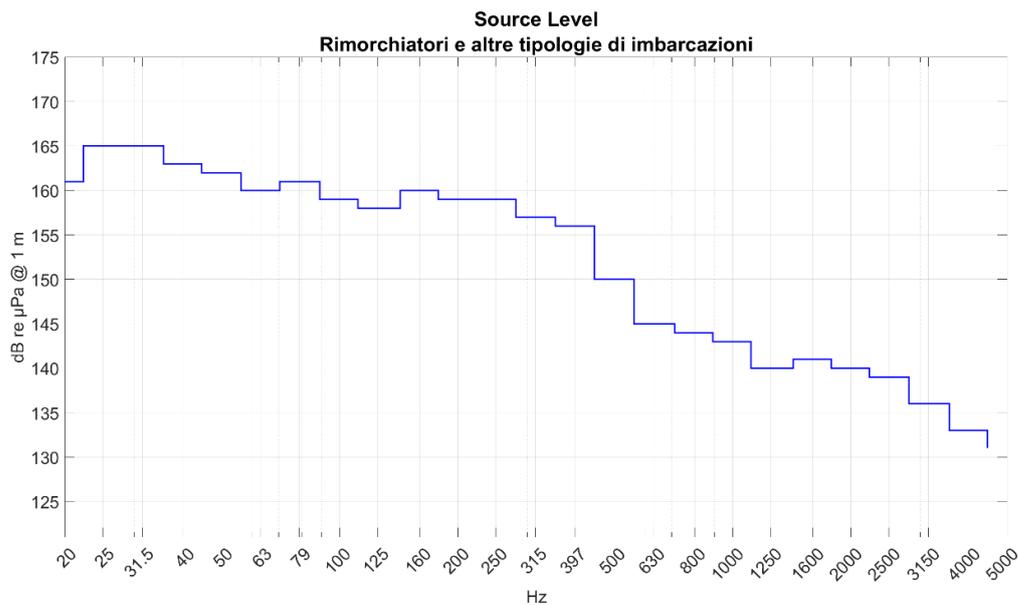


Figura 2-3. Stima dei valori di Source Level (L_{sp}) [dB re 1 μ Pa m] in bande di un terzo di ottava per rimorchiatori e altre tipologie di imbarcazioni.

Per quanto concerne la fase di esercizio, che consiste nello scarico del gas, i livelli a sorgente sono stati stimati considerando i valori ottenuti nel corso dello scarico della nave metaniera Ougarta al terminale LNG Golar Tundra di Piombino a seguito delle registrazioni effettuate nei giorni 7-8 luglio 2023. I valori di Source Level (L_{sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella figura 2-4. Il valore complessivo di Sound Pressure Level (root mean square) (L_{sp}) è 166.0 dB re 1 μ Pa m.

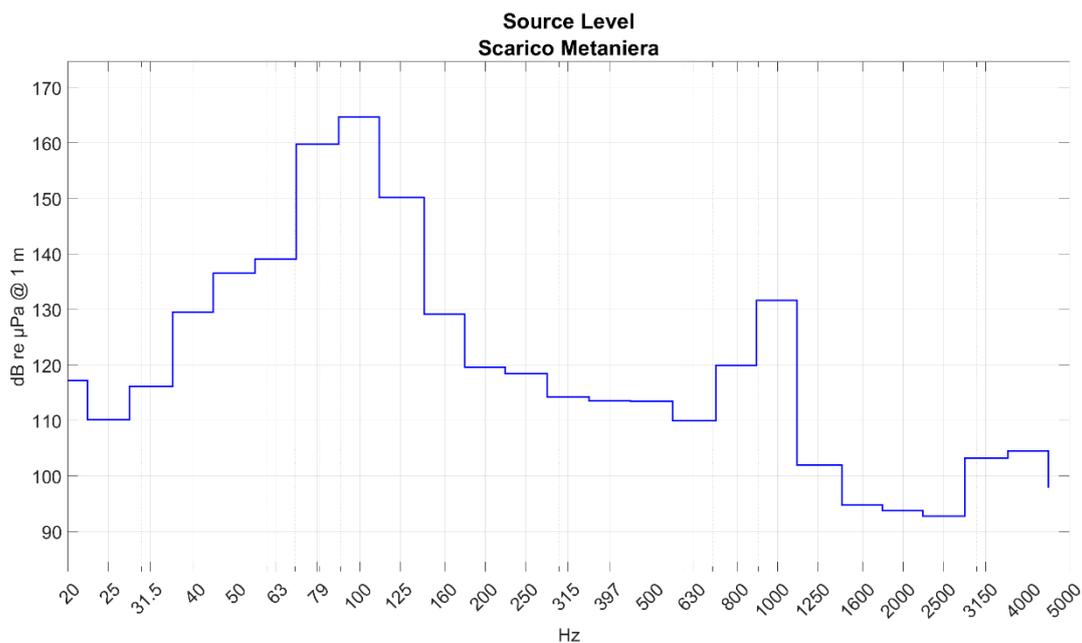


Figura 2-4. Stima dei valori di Source Level (L_{sp}) [dB re 1 μ Pa m] in bande di un terzo di ottava per lo scarico del gas.

La tabella 2-2 riporta in sintesi i valori di riferimento dei livelli a sorgente di *Sound Pressure Level* (L_{sp}) dB re 1 μ Pa m durante le varie fasi di attività utilizzati per le stime di propagazione.

Tabella 2-2. Valori di riferimento dei livelli a sorgente di *Sound Pressure Level* (L_{sp}) dB re 1 μ Pa m in relazione alle diverse fasi di attività.

Sorgente/attività	Valori a sorgente di <i>Sound Pressure Level</i> (L_{sp}) [dB re 1 μ Pa m]
Installazione del sistema di ormeggio e <i>subsea facilities</i>	181.2
Realizzazione microtunnel e posa della condotta	179.7
Scarico del gas	166.0

2.3 SIMULAZIONE DELLA PERDITA DI TRASMISSIONE

Per la stima della distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level* $L_{p,rms}$ è stata modellizzata la perdita di trasmissione (*Transmission Loss*, $TL_f(r)$) per ogni frequenza centrale delle bande di un terzo di ottava presenti nello spettro di frequenza delle sorgenti. Le figure 2-5, 2-6, 2-7 e 2-8 riportano i risultati in relazione al profilo batimetrico dell'area (fino a 50 km di distanza dal punto dove sarà localizzata la FSRU) per le frequenze di 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz e 500 Hz nelle 4 stagioni.

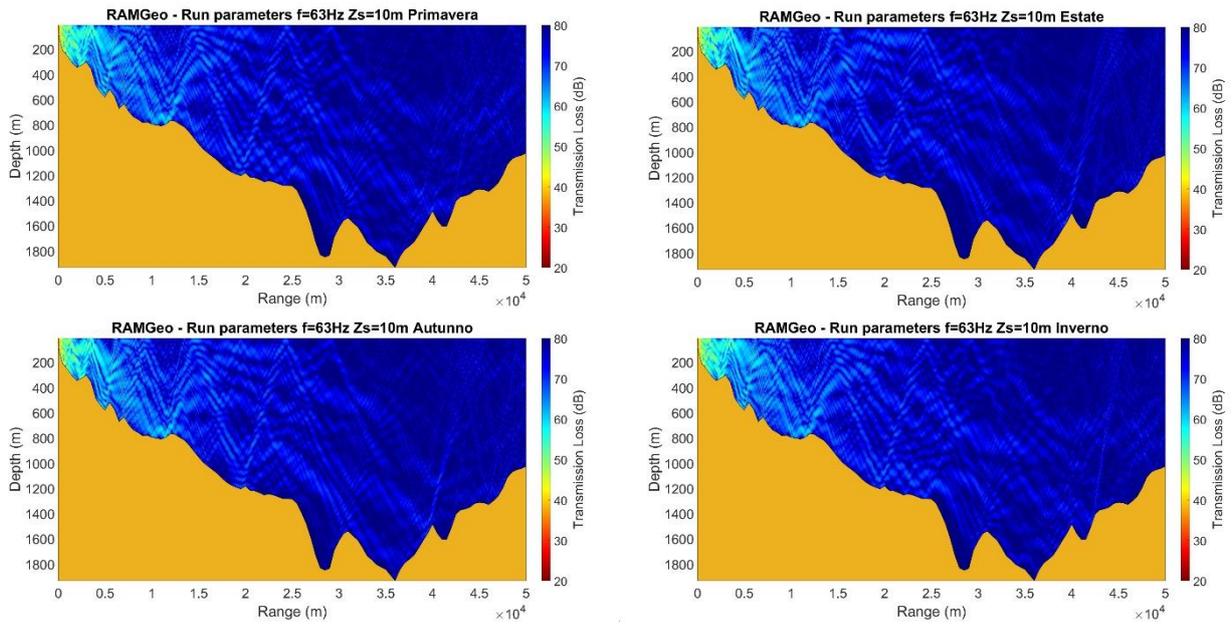


Figura 2-5. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 63 Hz per la sorgente posta a 10 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

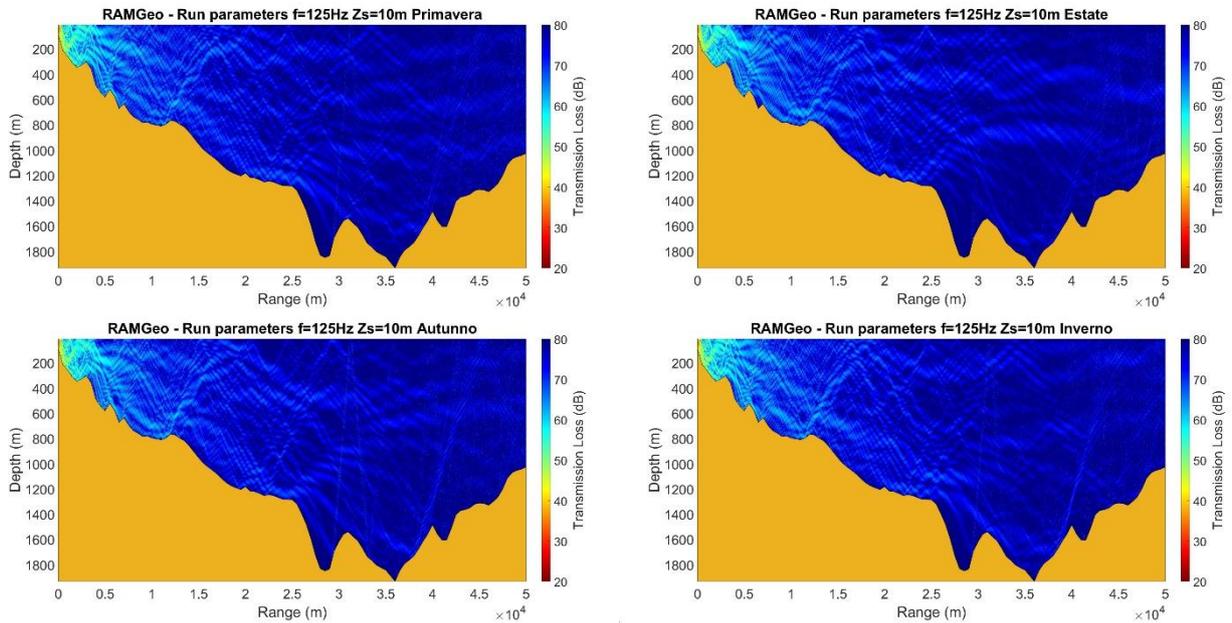


Figura 2-6. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 125 Hz per la sorgente posta a 10 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

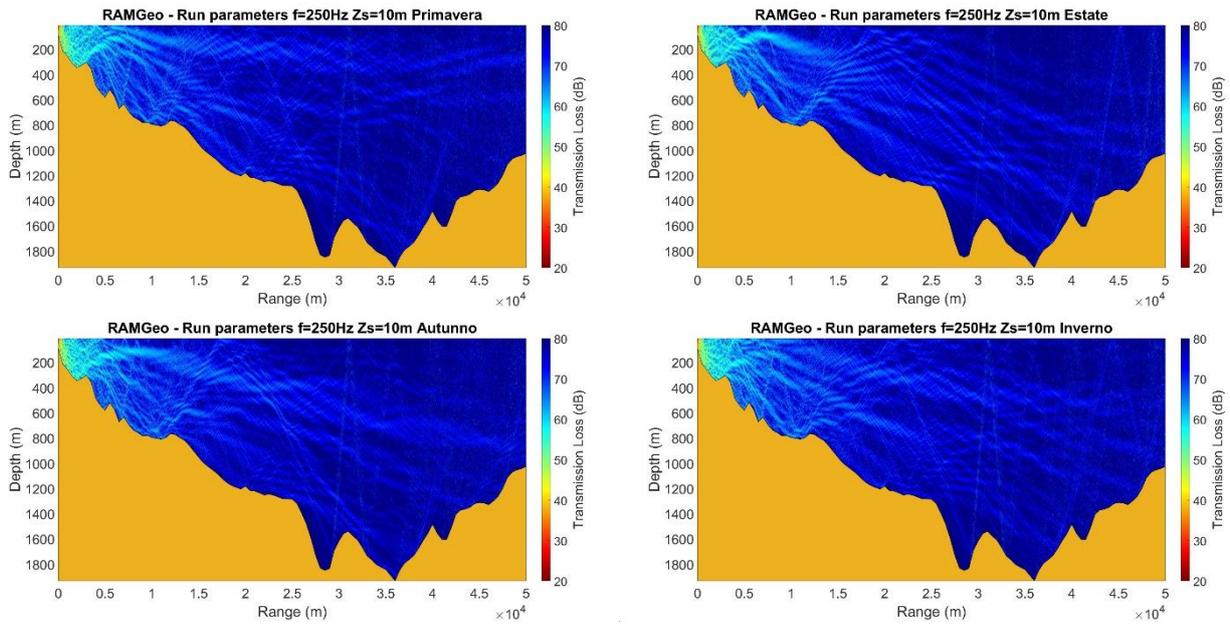


Figura 2-7. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 250 Hz per la sorgente posta a 10 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

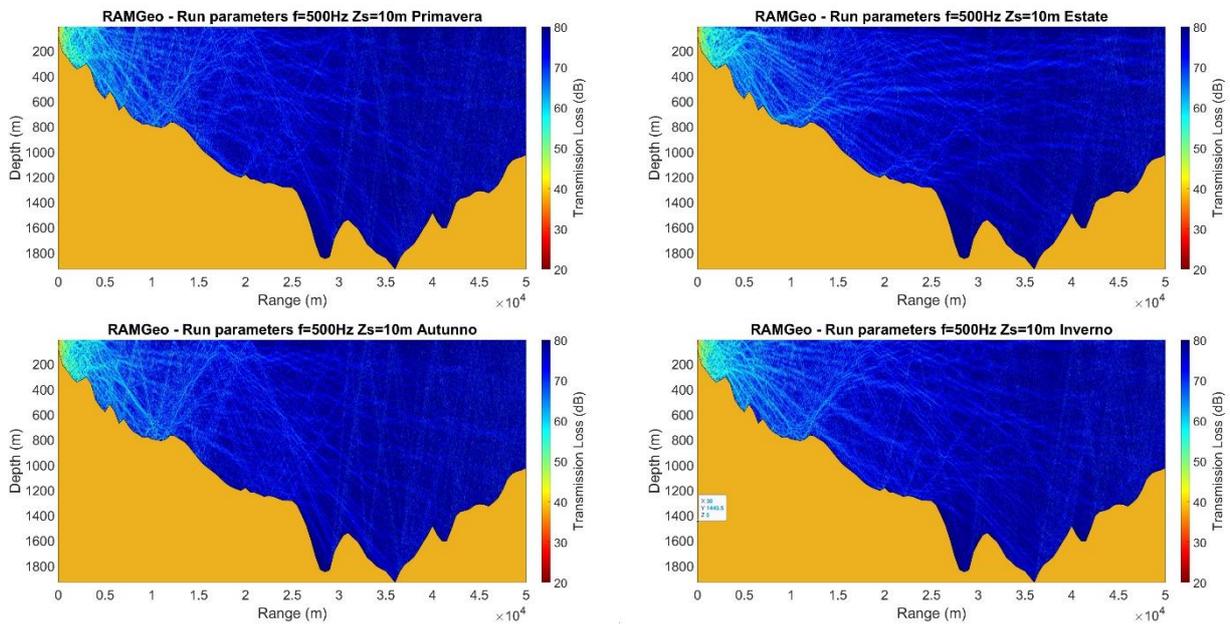


Figura 2-8. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 500 Hz per la sorgente posta a 10 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

2.4 DISTANZE DI DISTURBO COMPORTAMENTALE PER LE SPECIE DI MAMMIFERI MARINI (suoni continui)

La Tabella 2-3 riporta i valori soglia per il disturbo comportamentale sulle diverse specie di mammiferi (cetacei e focidi) e rettili marini presenti nell'area del Santuario Pelagos in caso di suoni continui. Queste informazioni sono state ricavate dalle Linee Guida Ispra per lo studio del rumore antropico in ambiente marino (Borsani e Farchi, 2011b) e dal recente aggiornamento del *Marine Mammal Acoustic Technical Guidance* del *National Marine Fisheries Service* (2018) <https://www.fisheries.noaa.gov/s3/2023-05/TECHMEMOGuidance508.pdf>.

Tabella 2-3. Valori soglia ($L_{p,rms}$) per il disturbo comportamentale in caso di suoni continui per mammiferi (cetacei e focidi) e rettili marini.

Gruppi uditivi funzionali	Specie	Range uditivo	Sound pressure level (root mean square) ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa
Rettili	<i>Caretta caretta</i>	50 Hz – 1.2 kHz	175
Pinnipedi - Focidi	<i>Monachus monachus</i>	50 Hz – 86 kHz	120
Cetacei bassa frequenza (LF)	<i>Balaenoptera physalus</i>	7 Hz – 35 Hz	100-110
Cetacei media frequenza (MF)	<i>Physeter macrocephalus</i>	150 Hz – 160 kHz	110-120
	<i>Ziphius cavirostris</i>		
	<i>Globicephala melas</i>		
	<i>Grampus griseus</i>		
	<i>Tursiops truncatus</i>		
	<i>Stenella coeruleoalba</i>		
	<i>Delphinus delphis</i>		

La Tabella 2-4 riporta la stima delle distanze dalle sorgenti continue (da modello di propagazione) alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie target nelle 4 stagioni. Sono state selezionate le soglie di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ di 110 e 120 dB re 1 μ Pa (vedi tabella 2-3) perché rappresentano quelle più conservative e, per massima precauzione, sono state anche incluse le distanze relative al livello soglia di 100 dB re 1 μ Pa. I valori riportati in tabella dovranno essere necessariamente verificati e aggiornati in base alle specifiche imbarcazioni e agli strumenti/macchinari realmente utilizzati durante i lavori, al fine di determinare i livelli sonori effettivi ai quali sono esposte le specie target.

Le mappe di isoplete di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ per le 4 stagioni nelle varie fasi dei lavori sono restituite nelle Figure 2-9 (installazione del sistema di ormeggio e *subsea facilities*), 2-10 (realizzazione del microtunnel e posa della condotta), e 2-11 (scarico del gas). Le figure riportano le distanze da ciascuna delle sorgenti in cui si raggiunge la soglia del disturbo comportamentale *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms} = 110$ dB re 1 μ Pa per le specie di cetacei sensibili alle basse frequenze (LF), $L_{p,rms} = 120$ dB re 1 μ Pa per le specie di cetacei sensibili alle medie frequenze (MF) e la soglia di precauzione di $L_{p,rms} = 100$ dB re 1 μ Pa.

Tabella 2-4. Distanze dalla sorgente alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie di mammiferi e rettili marini nelle 4 stagioni in relazione alle soglie per i suoni continui.

Sorgente/attività	Stagione	Gruppi uditivi funzionali	Valori soglia Sound pressure level (root mean square) ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa	Distanza dalla sorgente (m)
Installazione del sistema di ormeggio e subsea facilities	Autunno	Soglia di precauzione	100	33200
		LF	110	14000
		MF	120	5620
	Inverno	Soglia di precauzione	100	34800
		LF	110	15200
		MF	120	5870
	Primavera	Soglia di precauzione	100	33240
		LF	110	14950
		MF	120	5630
	Estate	Soglia di precauzione	100	28170
		LF	110	13160
		MF	120	5610
Realizzazione microtunnel e posa della condotta	Autunno	Soglia di precauzione	100	27500
		LF	110	12100
		MF	120	4745
	Inverno	Soglia di precauzione	100	31800
		LF	110	12960
		MF	120	5140
	Primavera	Soglia di precauzione	100	29100
		LF	110	12850
		MF	120	4780
	Estate	Soglia di precauzione	100	24480
		LF	110	12290
		MF	120	4650
Scarico del gas	Autunno	Soglia di precauzione	100	9720
		LF	110	4100
		MF	120	900
	Inverno	Soglia di precauzione	100	9050
		LF	110	4170
		MF	120	930
	Primavera	Soglia di precauzione	100	9000
		LF	110	4160
		MF	120	930
	Estate	Soglia di precauzione	100	9630
		LF	110	3600
		MF	120	940

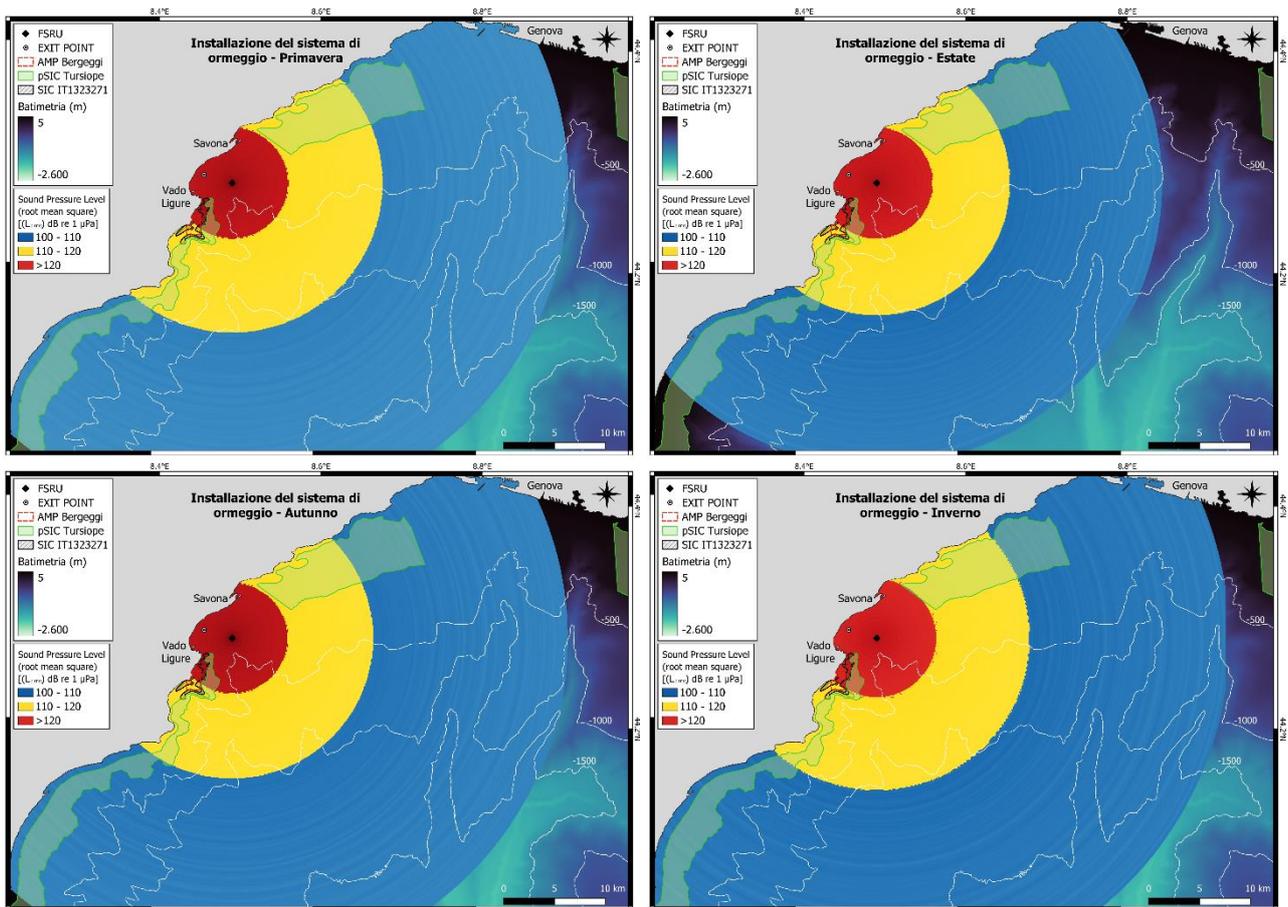


Figura 2-9. Mappa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square) ($L_{p,rms}$)* dB re 1 μ Pa per l'installazione del sistema di ormeggio e *subsea facilities* ipotizzando un valore a sorgente (L_{sp}) di 181.2 dB re 1 μ Pa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. Le mappe riportano le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di $L_{p,rms} = 120, 110$ e 100 dB re 1 μ Pa, ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie frequenze (MF) e alle basse frequenze (LF), e la soglia di precauzione, rispettivamente. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

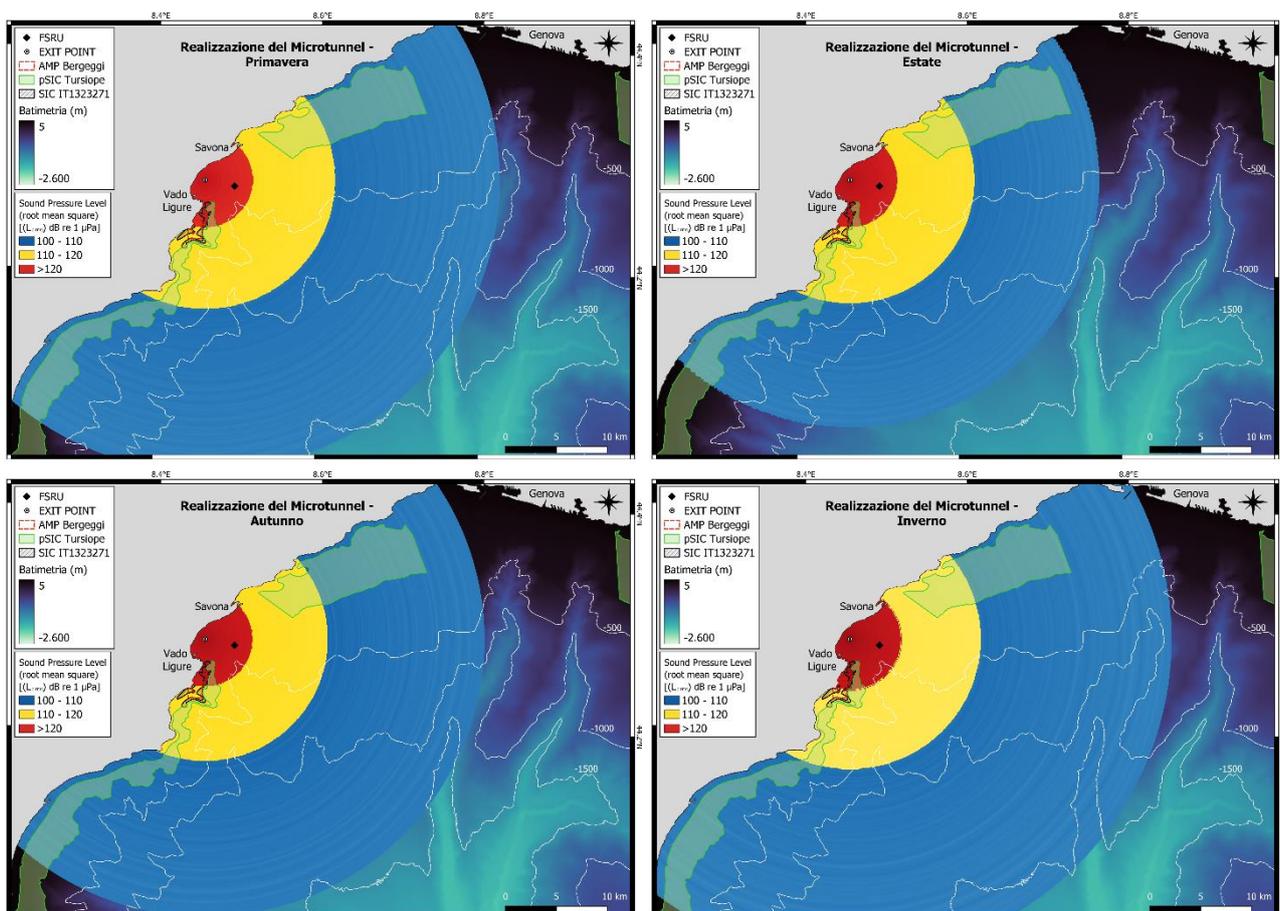


Figura 2-10. Mappa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μPa per la realizzazione del microtunnel e posa della condotta ipotizzando un valore a sorgente (L_{Sp}) di 179.7 dB re 1 μPa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. Le mappe riportano le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di $L_{p,rms} = 120, 110$ e 100 dB re 1 μPa , ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie frequenze (MF) e alle basse frequenze (LF), e la soglia di precauzione, rispettivamente. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

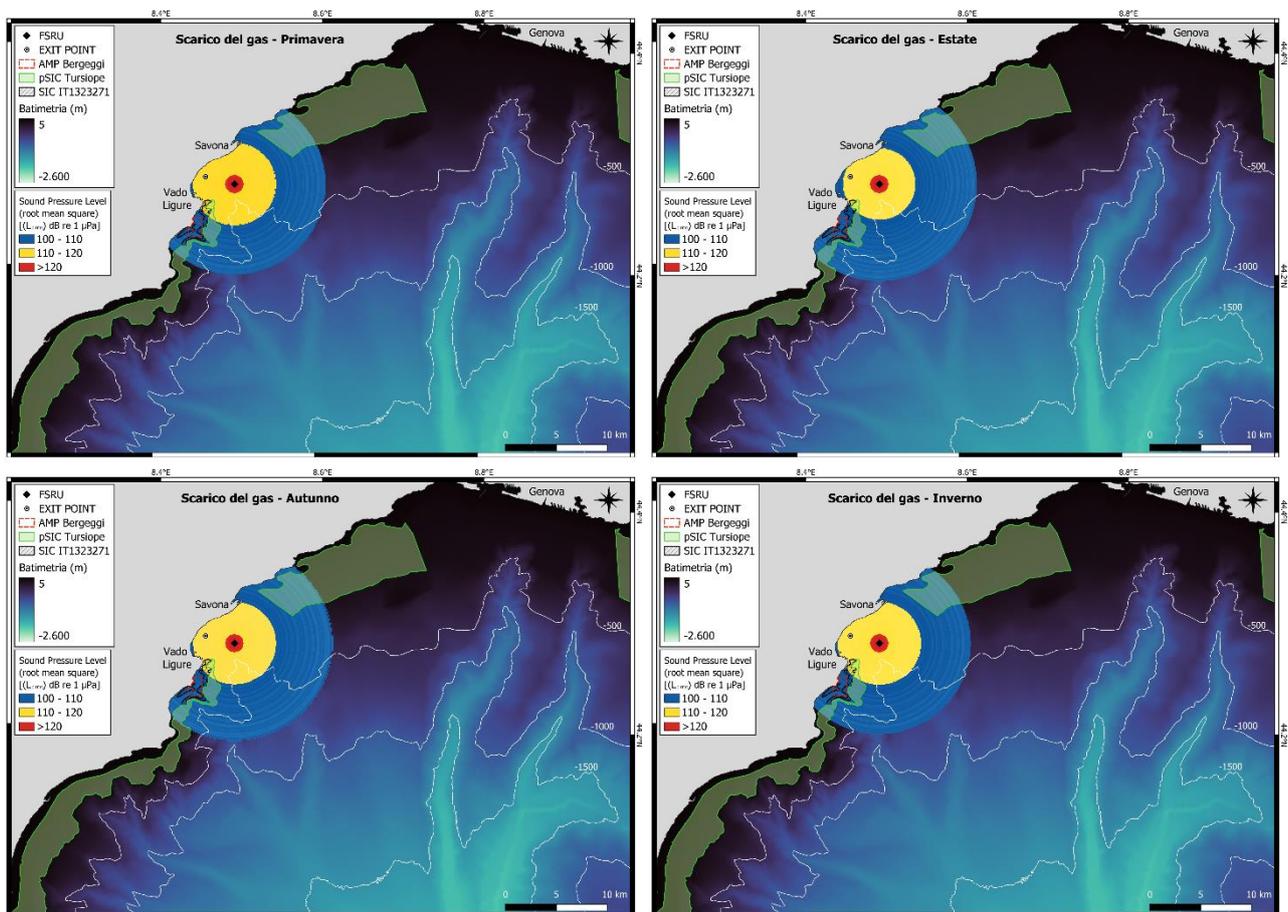


Figura 2-11. Mappa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa per lo scarico del gas ipotizzando un valore a sorgente (L_{Sp}) di 166.0 dB re 1 μ Pa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. Le mappe riportano le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di $L_{p,rms} = 120, 110$ e 100 dB re 1 μ Pa, ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie frequenze (MF) e alle basse frequenze (LF), e la soglia di precauzione, rispettivamente. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

2.5 CONCLUSIONI

Le attività associate alla installazione del sistema di ormeggio e *subsea facilities*, la realizzazione del microtunnel e la posa della condotta, e lo scarico del gas sono state modellate usando le informazioni ad oggi disponibili e i valori ricavati dalla letteratura e da dati acustici relativi ad analoghe operazioni.

Il modello di propagazione acustica qui utilizzato restituisce:

- un'approssimazione della perdita di trasmissione nell'area di interesse (fino a 50 km di distanza dalla posizione della FSRU);
- stime conservative delle distanze dalle diverse sorgenti alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale in relazione alle soglie riportate in tabella 2-3, assumendo che l'individuo "ricevente" sia fermo per tutta la durata dell'esposizione sonora;
- per la fase di installazione del sistema di ormeggio e *subsea facilities*, i valori più elevati sono stati stimati in inverno, con distanze di circa **5900 m dalla sorgente** per le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 120$ dB re 1 μ Pa (specie di cetacei sensibili alle medie frequenze), di **15200 m dalla sorgente** per le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 110$ dB re 1 μ Pa (specie di cetacei sensibili alle basse frequenze), e di **34800 m dalla sorgente** per le soglie di precauzione di $L_{p,rms} = 100$ dB re 1 μ Pa.
- per la fase di realizzazione del microtunnel e posa della condotta, i valori più elevati sono stati stimati in inverno, con distanze di circa **5100 m dalla sorgente** cui si raggiungono le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 120$ dB re 1 μ Pa (specie di cetacei sensibili alle medie frequenze), di quasi **13000 m dalla sorgente** per le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 110$ dB re 1 μ Pa (specie di cetacei sensibili alle basse frequenze), e di **31800 m dalla sorgente** per le soglie di precauzione di $L_{p,rms} = 100$ dB re 1 μ Pa.
- per la fase di scarico del gas, i valori più elevati sono stati stimati in inverno, con distanze di circa **900 m dalla sorgente** per le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 120$ dB re 1 μ Pa (specie di cetacei sensibili alle medie frequenze), di quasi **4200 m dalla sorgente** per le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 110$ dB re 1 μ Pa (specie di cetacei sensibili alle basse frequenze), e di **9000 m dalla sorgente** per le soglie di precauzione di $L_{p,rms} = 100$ dB re 1 μ Pa.

Considerando le elevate distanze alle quali si ipotizzano disturbi comportamentali per le specie target durante le diverse fasi di realizzazione dell'opera, sarà effettuata una attività specifica di misure di rumore sul campo a cadenza regolare, al fine di ottenere informazioni sui livelli effettivamente riscontrati durante i lavori e introdurre eventuali perfezionamenti alle stime qui effettuate. In questo modo si potranno identificare le aree di disturbo comportamentale per le specie target coerenti con le condizioni acustiche proprie di ciascuna fase di attività e attuare gli opportuni interventi di mitigazione.

Per la mitigazione del rumore continuo generato principalmente dalla movimentazione di mezzi navali nel corso delle lavorazioni è infatti prevista l'adozione di procedure quali:

- la definizione di aree di mitigazione dove effettuare i monitoraggi (ante-, durante e post) che siano basate sulle distanze di disturbo, applicando un approccio precauzionale;
- il rallentamento, l'interruzione, il posticipo dell'avvio o l'avvio progressivo delle attività in caso di presenza visiva/acustica delle specie target nelle aree di mitigazione;

- l'introduzione di misure vincolanti per la navigazione (riduzione della velocità e, in caso di osservazione di specie target, comunicazione via radio della loro presenza e mantenimento di una distanza di sicurezza).

La letteratura recente riporta infatti come la sola riduzione della velocità a 10 nodi (o inferiore) sia in grado di ridurre in modo significativo non solo il rischio di collisione ma anche i livelli di rumore provocato dalla navigazione (e.g. Findlay et al. 2023; Lajaunie et al., 2023; Zinke, 2023; ZoBell et al., 2021).

SEZIONE 3

Modello di propagazione dei suoni intermittenti prodotti dall'installazione del sistema di ormeggio tramite infissione di pali e stima delle distanze di disturbo comportamentale per mammiferi e rettili marini

3.1 INTRODUZIONE

Questa sezione riporta una stima tramite modello di propagazione della diffusione del suono intermittente generato durante la fase di installazione del sistema di ormeggio della FSRU presso Vado Ligure, che in base alle informazioni attualmente disponibili, si prevede avverrà tramite palificazione a impatto (Rif. 160025-59-AS-J-9).

Le informazioni prodotte dal modello sono necessarie per esaminare le distanze potenziali di disturbo comportamentale sulla componente biologica mammiferi e rettili marini e per definire di conseguenza l'estensione della zona di monitoraggio ante-, durante e post-operam (Rif. Doc REL-AMB-E-000006_PMA).

Le impostazioni modellistiche sono state esaminate in diversi step di verifica per assicurare che i parametri di input fossero corretti, che l'output fosse rappresentato correttamente e che tutti i calcoli fossero coerenti; tuttavia, permangono le limitazioni nell'uso di modelli di propagazione del suono in ambiente tridimensionale.

La sezione include:

- la stima dei livelli sonori a sorgente;
- la simulazione della perdita di trasmissione (*Transmission Lost*, TL) nelle 4 stagioni per 4 frequenze specifiche (63 Hz, 125 Hz, 250 Hz e 500 Hz);
- le distanze di disturbo comportamentale per le specie di mammiferi e rettili marini.

3.2 STIMA DEI LIVELLI A SORGENTE (*Source Level*, SL)

I valori dei livelli a sorgente in funzione della frequenza sono stati ottenuti utilizzando una tipica distribuzione in bande di un terzo di ottava compatibile con quella dei lavori previsti per l'installazione del sistema di ormeggio tramite palificazione a impatto (*impact pile-driving*). In questa tecnica di infissione, un palo viene infisso/martellato nel substrato da un pistone battipalo idraulico, generando un rumore di tipo impulsivo.

Sono state inoltre considerate le caratteristiche della sorgente, ovvero un battipalo IQIP Hydrohammer S-500 is (o simile) (Rif AS0849-M002-00_underwater_Noise_indication), per le cui proprietà acustiche, mantenendo un approccio conservativo, si è fatto riferimento ai dati di letteratura relativi ai livelli acustici di *Sound Exposure Level* (L_{SE}) tipicamente associati alle attività di palificazione a impatto ($L_{SE} = 170-225$ dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$) (Bellmann et al., 2020; Popper & Hawkins, 2016; Tsouvalas, 2020; Popper et al., 2023) e alle caratteristiche/dimensioni dei pali che saranno utilizzati (lunghezza: 31 metri; diametro: 2 metri).

È stato quindi selezionato il valore di riferimento a sorgente di *Sound Exposure Level* (L_{SE}) per impulso di 217 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$. I valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella figura 3-1.

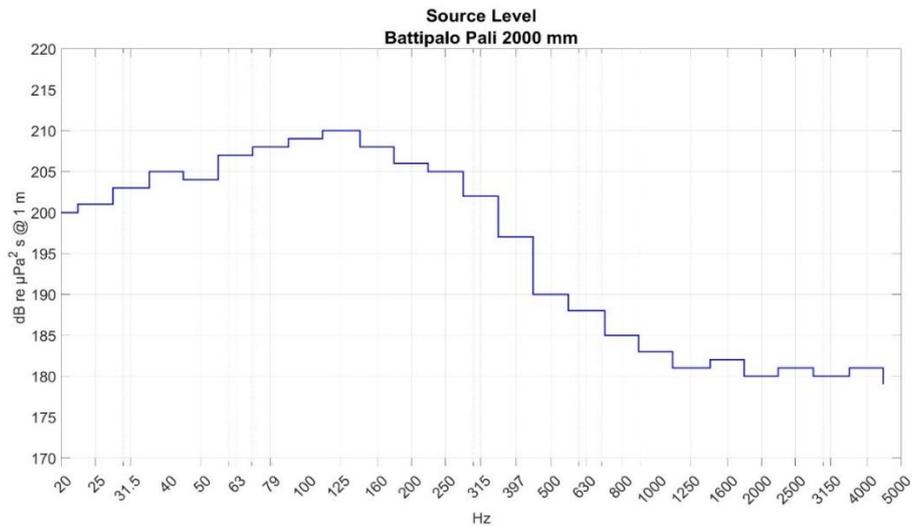


Figura 3-1. Stima dei valori di *Source Level* (L_{SE}) [dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di infissione a impatto di pali di 2 m di diametro.

3.3 SIMULAZIONE DELLA PERDITA DI TRASMISSIONE

Per la stima della distribuzione spaziale di *Sound Exposure Level* $L_{E,p}$ è stata modellizzata la perdita di trasmissione (*Transmission Loss*, $TL_f(r)$) per ogni frequenza centrale delle bande di un terzo di ottava presenti nello spettro di frequenza della sorgente. Le figure 3-2, 3-3, 3-4 e 3-5 riportano i risultati in relazione al profilo batimetrico dell'area (fino a 50 km di distanza dal punto dove sarà localizzata la FSRU) per le frequenze di 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz e 500 Hz nelle 4 stagioni.

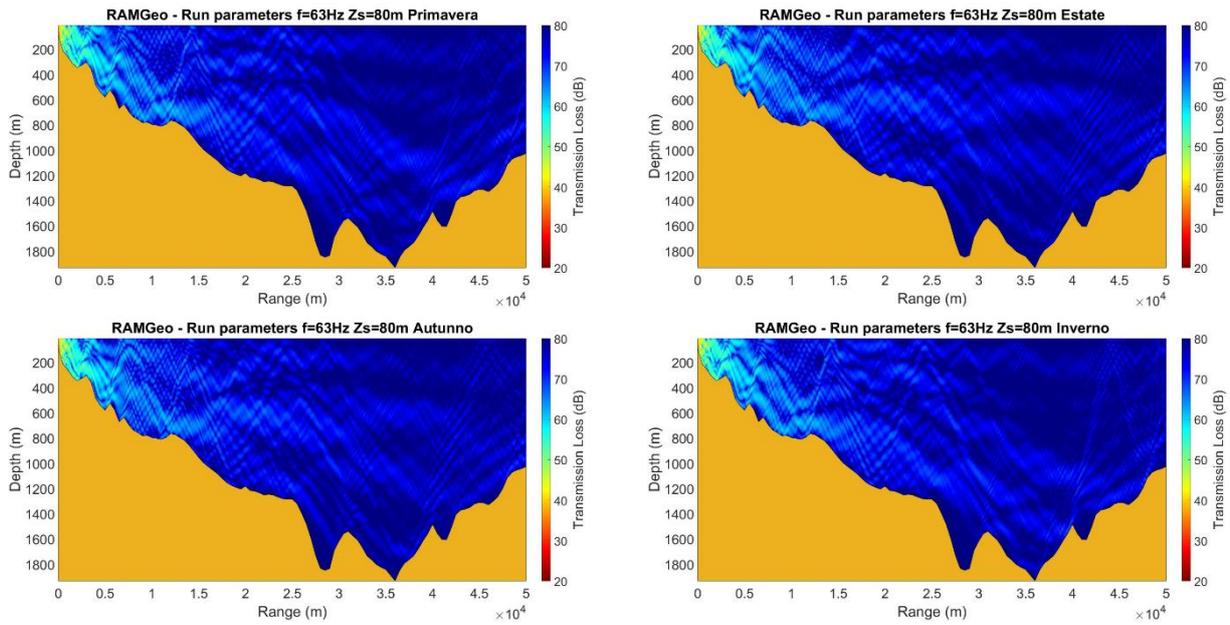


Figura 3-2. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 63 Hz per la sorgente posta a 80 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

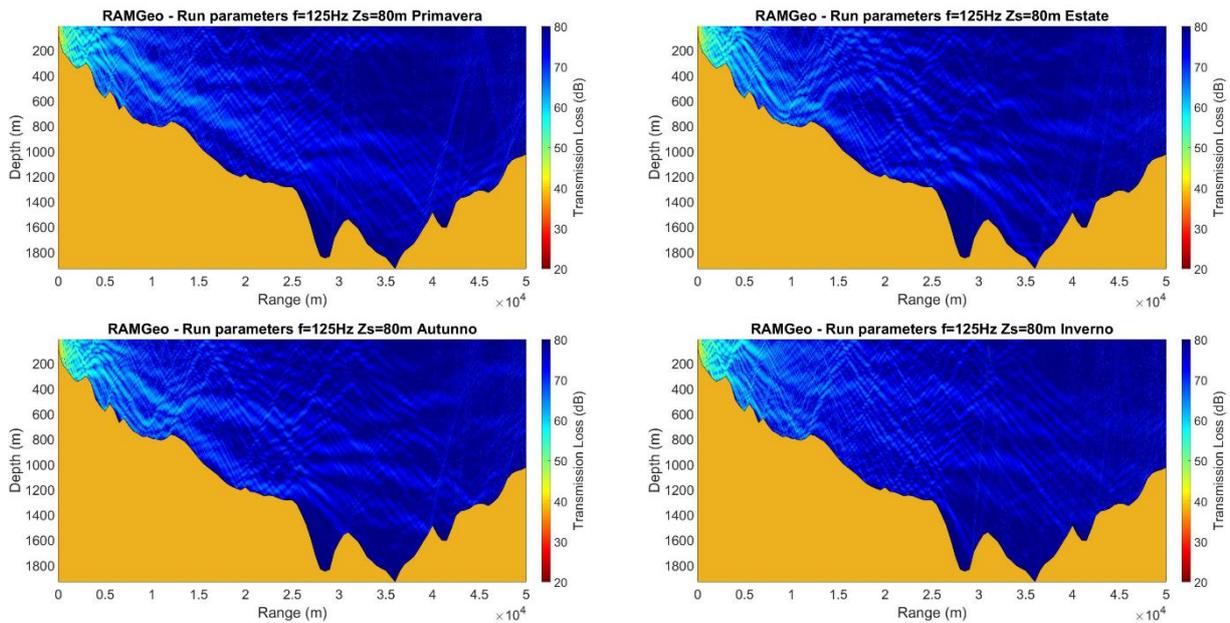


Figura 3-3. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 125 Hz per la sorgente posta a 80 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

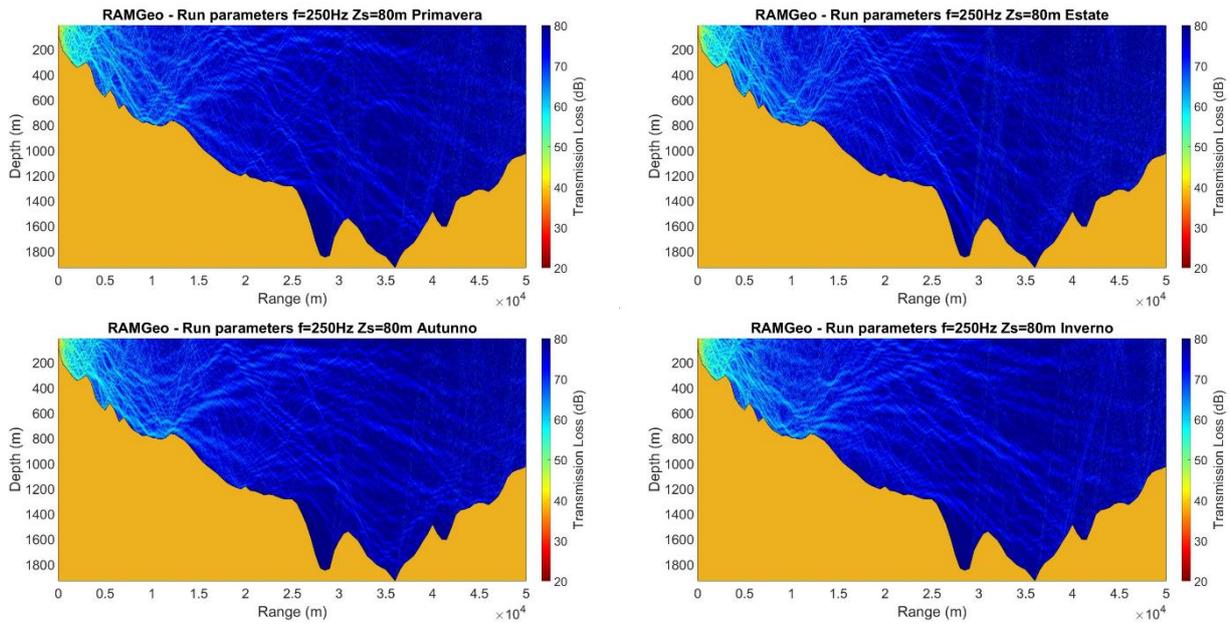


Figura 3-4. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 250 Hz per la sorgente posta a 80 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

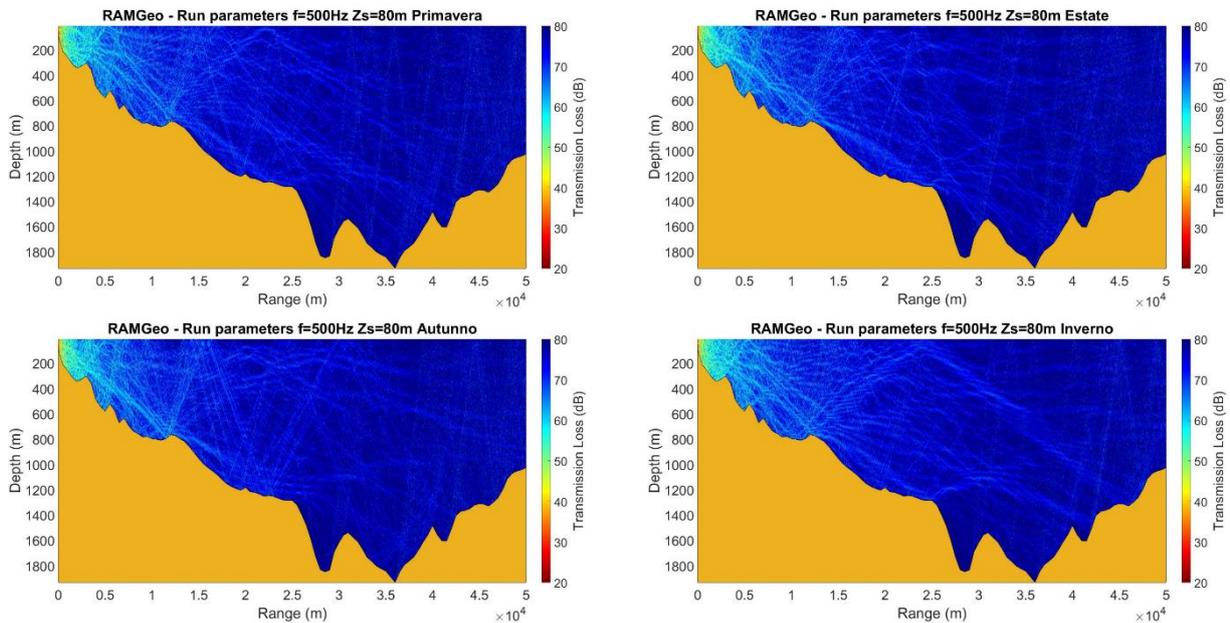


Figura 3-5. Simulazione della perdita di trasmissione *Transmission Loss* (TL) stimata a 500 Hz per la sorgente posta a 80 m di profondità nelle 4 stagioni. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

3.4 DISTANZE DI DISTURBO COMPORTAMENTALE PER LE SPECIE DI MAMMIFERI MARINI (suono intermittente)

La Tabella 3-1 riporta i valori soglia per il disturbo comportamentale riferiti ai suoni intermittenti (impulsivi) per le diverse specie di mammiferi (cetacei e focidi) e rettili marini presenti nell'area del Santuario Pelagos. Queste informazioni sono state ricavate dalle Linee Guida Ispra per lo studio del rumore antropico in ambiente marino (Borsani e Farchi, 2011b) e dal *National Marine Fisheries Service* (2023)

https://www.fisheries.noaa.gov/s3/2023-02/ESA%20all%20species%20threshold%20summary_508_OPR1.pdf

La Tabella 3-2 riporta la stima delle distanze dalla sorgente (da modello di propagazione) alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie target nelle 4 stagioni. In tutti i casi è stata selezionata la soglia di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) di 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ per singolo impulso riferita ai cetacei a bassa e media frequenza, come da linee guida Ispra (Borsani e Farchi, 2011b).

Tali distanze dalla sorgente stimate dal modello dovranno essere necessariamente verificate e aggiornate in base alle caratteristiche del martello effettivamente utilizzato durante i lavori, al fine di determinare i livelli sonori effettivi ai quali sono esposte le specie target.

Tabella 3-1. Valori soglia per il disturbo comportamentale in caso di suoni intermittenti per mammiferi (cetacei e focidi) e rettili marini.

Gruppi uditivi funzionali	Specie	Range uditivo	Descrittore	Valore Soglia
Rettili	<i>Caretta caretta</i>	50 Hz – 1.2 kHz	<i>Sound pressure level (root mean square)</i> ($L_{p,rms}$)	175 dB re 1 μPa
Pinnipedi - Focidi	<i>Monachus monachus</i>	50 Hz – 86 kHz	<i>Sound pressure level (root mean square)</i> ($L_{p,rms}$)	160 dB re 1 μPa
Cetacei bassa frequenza (LF)	<i>Balaenoptera physalus</i>	7 Hz – 35 kHz	<i>Sound Exposure Level</i> ($L_{E,p}$)	183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
Cetacei media frequenza (MF)	<i>Physeter macrocephalus</i>	150 Hz – 160 kHz	<i>Sound Exposure Level</i> ($L_{E,p}$)	183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$
	<i>Ziphius cavirostris</i>			
	<i>Globicephala melas</i>			
	<i>Grampus griseus</i>			
	<i>Tursiops truncatus</i>			
	<i>Stenella coeruleoalba</i>			
	<i>Delphinus delphis</i>			

Tabella 3-2. Distanze dalla sorgente alle quali i livelli sonori per singolo impulso sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie di mammiferi e rettili marini in relazione alla soglia per i suoni intermittenti.

Stagione	Gruppi uditivi funzionali	Valore soglia <i>Sound Exposure Level</i> ($L_{E,p}$) dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	Distanza dalla sorgente (m)
Inverno	LF=cetacei bassa frequenza	183	<100
	MF=cetacei media frequenza		
Primavera	LF=cetacei bassa frequenza		<100
	MF=cetacei media frequenza		
Estate	LF=cetacei bassa frequenza		<100
	MF=cetacei media frequenza		
Autunno	LF=cetacei bassa frequenza		<100
	MF=cetacei media frequenza		

Le stime di propagazione di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) relative all'installazione del sistema di ormeggio tramite palificazione a impatto, con le distanze dalla sorgente in cui si raggiunge la soglia del disturbo comportamentale di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) per singolo impulso di 183 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ per le 4 stagioni, sono riportate nelle mappe di isoplete in Figura 3-6.

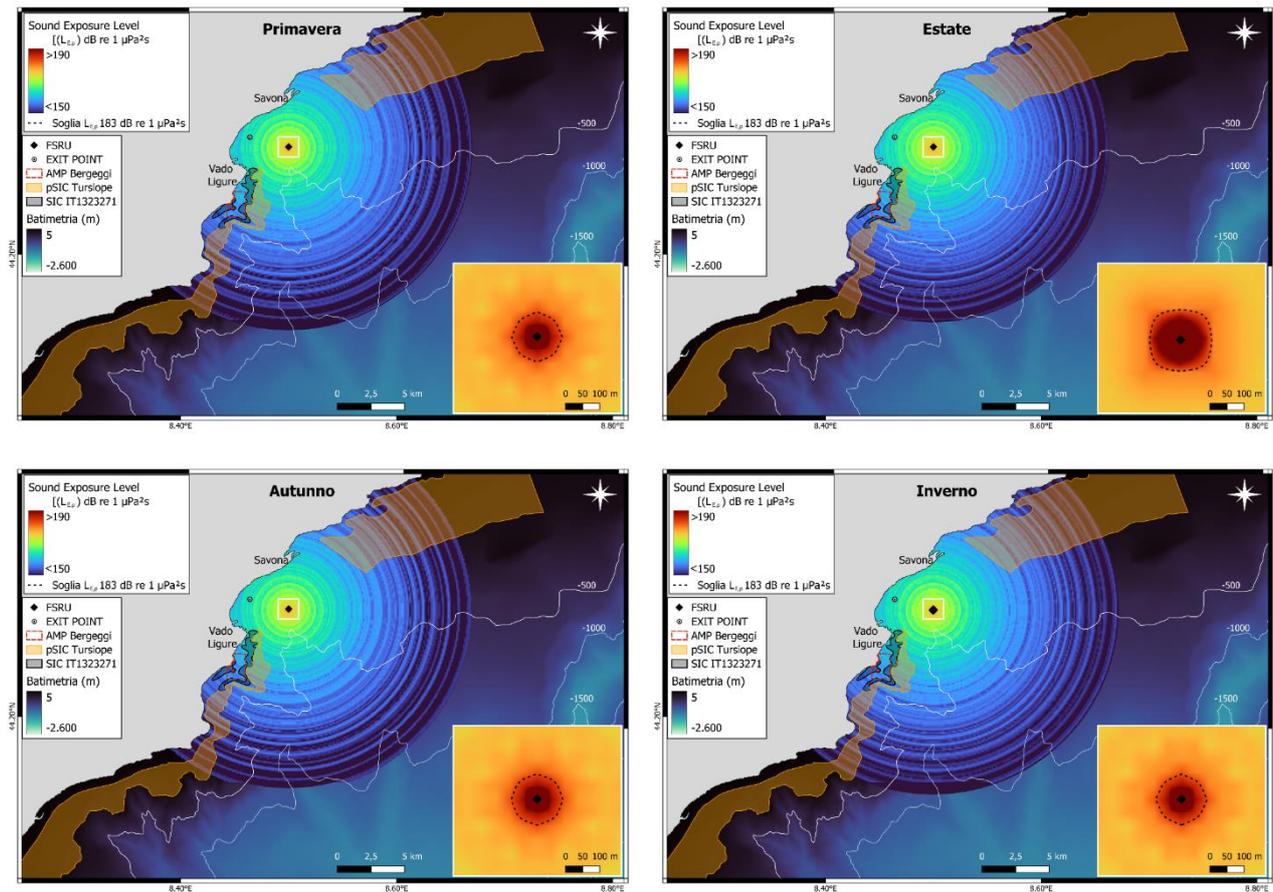


Figura 3-7. Mappa di distribuzione spaziale di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re $1 \mu Pa^2 s$ per singolo impulso, stimata per l'attività di palificazione a impatto ipotizzando un valore a sorgente (L_{SE}) di 217 dB re $1 \mu Pa^2 m^2 s$ e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta la distanza dalla sorgente dove si stimano livelli di $L_{E,p}$ di 183 dB re $\mu Pa^2 s$, ovvero la soglia di disturbo comportamentale per le specie di cetacei LF e MF per i suoni intermittenti. In alto a sinistra la Primavera, in alto a destra l'Estate, in basso a sinistra l'Autunno, in basso a destra l'Inverno.

3.5 CONCLUSIONI

L'installazione del sistema di ormeggio tramite infissione di pali è stata modellata usando le informazioni ad oggi disponibili e i dati acustici ricavati dalla letteratura per analoghe operazioni.

Il modello di propagazione acustica qui utilizzato restituisce:

- un'approssimazione della perdita di trasmissione nell'area di interesse (fino a 50 km di distanza dalla posizione della FSRU);
- stime conservative nelle 4 stagioni della distanza dalla sorgente alla quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale in relazione alle soglie riportate in tabella 3-1, assumendo che l'individuo "ricevente" sia fermo per tutta la durata dell'esposizione sonora;
- in tutte le stagioni, una distanza di circa **100 m dalla sorgente** alla quale si raggiungono i livelli soglia di disturbo comportamentale riferiti ai suoni intermittenti di $L_{E,p} = 183$ dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ **per singolo impulso** per tutte le specie considerate (mammiferi e rettili marini).

Considerando le esigue distanze alle quali si ipotizzano disturbi comportamentali per le specie target durante le operazioni di infissione dei pali (singolo impulso), sarà effettuata una specifica di misure di rumore sul campo all'avvio di questa attività, al fine di ottenere informazioni sui livelli effettivamente riscontrati durante i lavori e introdurre eventuali perfezionamenti alle stime qui effettuate. In questo modo si potranno identificare le aree di disturbo comportamentale per le specie target coerenti con le condizioni acustiche proprie di questa attività e attuare gli opportuni interventi di mitigazione (inclusi eventuali sistemi di riduzione del suono irradiato dalla sorgente se necessari).

Per la mitigazione dei suoni intermittenti generati dalle attività di infissione dei pali è prevista l'adozione di procedure quali:

- la definizione di aree di mitigazione dove effettuare i monitoraggi (ante-, durante e post) che siano basate sulle distanze di disturbo, applicando un approccio precauzionale;
- il rallentamento, l'interruzione, il posticipo dell'avvio o l'avvio progressivo delle attività in caso di presenza visiva/acustica delle specie target nelle aree di mitigazione.

BIBLIOGRAFIA

- ACCOBAMS (2022). Methodological Guide: Guidance on underwater noise mitigation measures V. 3.1. ACCOBAMS-MOP8/2022/Inf44, 33 pp. https://accobams.org/wp-content/uploads/2022/11/MOP8.Inf44_Methodological-guide-noise-V3.1.pdf
- Belmann, M.A., May, A., Wendt, T., Gerlach, S., Remmers, P., Brinkmann, J. (2020). Underwater noise during percussive pile driving: Influencing factors on pile-driving noise and technical possibilities to comply with noise mitigation values. ERA Report. Itap.
- Bertolini, S., Borsani, J.F., Curcuruto, S., De Rinaldis, L., Farchi, C. (2012). Valutazione e mitigazione dell'impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani. ISPRA Rapporto Tecnico, 1-37 pp. <https://agentifisici.isprambiente.it/index.php/documentazione-rumore-subacqueo/category/285-ispra-2012-mitigazione-prospezioni-geofisiche?download=482:ispra-2012-mitigazione-prospezioni-geofisiche>
- Borsani, J.F., Farchi, C. (2011a). Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne. Parte I. ISPRA Rapporto Tecnico. <https://agentifisici.isprambiente.it/index.php/documenti/documentazione-tecnica/category/298-attivita-2-rumore-subacqueo?download=711>
- Borsani, J.F., Farchi, C. (2011b). Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne. Parte II. ISPRA Rapporto Tecnico. <https://agentifisici.isprambiente.it/index.php/documentazione-rumore-subacqueo/category/331-ispra-2011-linee-guida-rumore-subacqueo?download=966:ispra-2011-linee-guida-rumore-subacqueo-2a-parte>
- Dekeling, R. P. A., M.L. Tasker, A. J. Van der Graaf, M. A. Ainslie, M. H. Andersson, M. André, J. F. Borsani, K. Brensing, M. Castellote, D. Cronin, J. Dalen, T. Folegot, R. Leaper, J. Pajala, P. Redman, S. P. Robinson, P. Sigray, G. Sutton, F. Thomsen, S. Werner, D. Wittekind, J. V. Young (2014). Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas Part I, Part II e Part III. EUR, Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, ISBN 978-92-79-36339-9. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC88045>
- Elmer, K.H., Gerasch, W.J., Neumann, T., Gabriel, J., Betke, K., Schultz-von-Glahn, M. (2007). Measurement and reduction of offshore wind turbine construction noise. DEWI Magazine, 30. p. 6. <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Elmer-et-al-2007.pdf>
- Etter, P.C., 2009. Review of ocean-acoustic models. Proc. IEEE Oceans 2009.
- Farcas, A., Thompson, P. M., & Merchant, N. D. (2016). Underwater noise modelling for environmental impact assessment. Environmental Impact Assessment Review, 57:114-122.
- Findlay, C. R., Rojano-Doñate, L., Tougaard, J., Johnson, M. P., & Madsen, P. T. (2023). Small reductions in cargo vessel speed substantially reduce noise impacts to marine mammals. Sci. Adv. 9, 1–11.
- Hamilton, E. L. (1980). Geoacoustic modeling of the sea floor. Journal of the Acoustical Society of America, 68: 1313–1340.
- Hamilton, E.L. (1982). Compressional Waves in marine sediments. Geophysics, 37: 620-646, 1982.
- Hamilton E.L., Bachman R.T (1982). Sound velocity and related properties of marine sediments. The Journal of the Acoustical Society of America, 72(6): 1891–1904.
- ICF Jones & Stokes (2009). Technical guidance for assessment and mitigation of the hydroacoustic effects of pile driving on fish. ICF Jones & Stokes, and Illingworth & Rodkin, Inc. Final report, p. 367. <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/environmental-analysis/documents/env/bio-tech-guidance-hydroacoustic-effects-110215-a11y.pdf>
- Lajaunie, M., Ollivier, B., Ceyrac, L., Dellong, D., & Le Courtois, F. (2023). Large-scale simulation of a shipping speed limitation measure in the Western Mediterranean Sea: Effects on underwater noise. Journal of Marine Science and Engineering, 11(2), 251. <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/2/251>
- MacGillivray, A.O., McPherson, C., McPherson, G., Izett, J., Gosselin, J., Li, Z., & Hannay, D. (2014).

Modelling underwater shipping noise in the Great Barrier Reef Marine Park with AIS vessel track data. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 249, No. 3, pp. 4467-4476). Institute of Noise Control Engineering.

NMFS - National Marine Fisheries Service (US) (2014). Marine Mammals: Interim Sound Threshold Guidance (webpage). National Marine Fisheries Service, NOAA, U.S. Department of Commerce. http://www.westcoast.fisheries.noaa.gov/protected_species/marine_mammals/threshold_guidance.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 pp. <https://www.fisheries.noaa.gov/webdam/download/75962998>

Popper, A.N., Sisneros, J., Hawkins, A.D., Thomsen, F. (eds) (2023). The Effects of Noise on Aquatic Life. Springer, Cham, New York. 1292 pp.

Popper, A.N., Hawkins, A.D. (eds) (2016). The Effects of Noise on Aquatic Life II. Springer Science+Business Media New York. 1243 pp.

Robinson, S. P., Lepper, P. A., & Hazelwood, R. A. (2014). Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550. <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/gpg133-underwater-noise-measurement.pdf>

Tsouvalas, A. (2020). Underwater Noise Emission Due to Offshore Pile Installation: A Review. Energies, 13:3037. <https://doi.org/10.3390/en13123037>

Verfuss, U.K., Sinclair, R.R. and Sparling, C.E. (2019). A review of noise abatement systems for offshore wind farm construction noise, and the potential for their application in Scottish waters. Scottish Natural Heritage Research Report No. 1070. <https://www.nature.scot/naturescot-research-report-1070-review-noise-abatement-systems-offshore-wind-farm-construction-noise>

Zinke, L. (2023). Slow down for marine mammals. Nature Reviews Earth & Environment, 4(10), 682-682.

ZoBell, V. M., Frasier, K. E., Morten, J. A., Hastings, S. P., Peavey Reeves, L. E., Wiggins, S. M., & Hildebrand, J. A. (2021). Underwater noise mitigation in the Santa Barbara Channel through incentive-based vessel speed reduction. Scientific Reports, 11(1), 18391.