

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 1 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

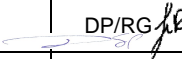
AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA

STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE

ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

Annesso 7

STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DISTURBO SUI MAMMIFERI MARINI

00	Emissione per Permessi	DP/RG 	MS	NF	Marzo 2024
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 2 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	TERMINOLOGIA E DEFINIZIONI	5
3.	METODOLOGIA	6
3.1.	Livelli sonori ambientali	6
3.2.	Stima dei livelli sonori delle sorgenti e propagazione del rumore	7
4.	RISULTATI	14
5.	CONCLUSIONI	18
6.	BIBLIOGRAFIA	20

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 3 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

1. PREMESSA

Il presente documento riporta i risultati della nuova indagine acustica condotta per stimare, attraverso modello di propagazione, i livelli di rumore prodotti dall'infissione di pali (attraverso battitura e vibroinfissione) nell'ambito dei lavori di adeguamento delle strutture del pontile principale del Terminale GNL Italia di Panigaglia.

Questo studio aggiorna il documento già approvato e presentato nell'ambito del progetto "Vessel Reloading", ed escluso dalla Procedura di Valutazione dell'Impatto Ambientale con Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n.74 del 06/02/2023 – Parere n. 571 del 10 ottobre 2022 acquisito al prot. MiTE_2022-0132886 del 26 ottobre 2022.

Il presente studio considera:

- 1) la stima dei livelli di rumore prodotti nel corso dell'infissione di pali di diametro 0.47 metri, 0.80 metri, 1.82 metri e 3.00 metri;
- 2) la stima delle distanze di disturbo comportamentale (Borsani e Farchi, 2011a, b) per le specie di cetacei nel corso della vibroinfissione (rumore continuo) e battitura (rumore impulsivo).

Riguardo il punto 1), l'indagine acustica qui riportata ha considerato parte delle informazioni già contenute nel documento 201417C-308-RT-6000-002 - Annesso 8 del progetto "Vessel Reloading" e elaborato gli aggiornamenti del progetto di Ammodernamento riportati in Tabella 1—1.

Riguardo il punto 2), si evidenzia che in Italia la Direttiva Habitat (Direttiva 92/43/CEE DEL CONSIGLIO del 21 maggio 1992 recepita tramite il Regolamento D.P.R. 8 settembre 1997 n. 357) stabilisce il divieto a perturbare le specie come i cetacei inseriti nell'Allegato IV - Specie animali e vegetali di interesse comunitario che richiedono una protezione rigorosa (articolo 12.1). Di conseguenza, incrementi di rumore sottomarino che determinino il raggiungimento di livelli tali da causare lesioni temporanee o permanenti alle specie di cetacei non possono essere accettati e i livelli a cui è necessario fare riferimento sono esclusivamente quelli di disturbo comportamentale.

I valori soglia relativi al disturbo comportamentale per i cetacei sensibili alle basse (LF) e alle medie frequenze (MF) in caso di rumore continuo e impulsivo utilizzati in questo documento sono riportati in Tabella 1—2.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 4 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Tabella 1—1 Caratteristiche dei pali da infiggere e delle lavorazioni (Rif. TPIDL: 201417C-308-RT-6000-001 e aggiornamenti ottobre 2023).

	FONDAZIONE BRICCOLE		SUPPORTO DIMA	SOSTEGNO ANTINCENDIO
Numero di pali	20	24	max 4 per ogni palo di fondazione	8
Diametro pali [m]	1.82	3.00	0.80 – 1.00	0.47
Spessore pali [mm]	20 – 32	20 – 32	20 – 32	10 – 32
L _{infissa} [m] - profondità infissione pali	42	40	ca. 20	40
Modalità esecutiva	vibroinfissione – battitura	vibroinfissione – battitura	vibroinfissione	vibroinfissione
TEMPI di infissione	1 h ca.	2,5 h ca.	1h ca.	1h ca.
TEMPI di estrazione	-	-	1h ca.	

Tabella 1—2 Valori soglia di *Sound Pressure Level* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa in caso di rumore continuo e di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa²s in caso di rumore impulsivo per il disturbo comportamentale alle specie di cetacei sensibili alle basse (LF) e alle medie frequenze (MF) (Borsani e Farchi, 2011b).

Gruppi uditivi funzionali	Specie	Range uditivo	Rumore continuo	Rumore impulsivo (battipalo)
			<i>Sound Pressure Level</i> (root mean square) ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa	<i>Sound Exposure Level</i> ($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa ² s
Cetacei bassa frequenza (LF)	<i>Balaenoptera physalus</i>	7 Hz – 35 Hz	110	183
Cetacei media frequenza (MF)	<i>Physeter macrocephalus</i>	150 Hz – 160 kHz	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>			

Il presente studio pertanto riporta:

- La sintesi dei livelli di rumore stimati nel 2021 nell'area del Porto di La Spezia
- Le stime dei livelli sonori delle sorgenti (infissione a impatto e vibroinfissione) e la propagazione del rumore
- La stima delle distanze di disturbo comportamentale per le specie di cetacei
- Le mappe di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa e *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa² s

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 5 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

2. TERMINOLOGIA E DEFINIZIONI

La terminologia tecnica qui utilizzata si riferisce alla ISO 18405:2017 (www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:18405:ed-1:v1:en). La ISO 18405:2017 definisce i termini e le espressioni impiegate nel campo dell'acustica subacquea, compresi i suoni naturali, biologici e antropogenici.

In Tabella 2-1 è riportata la lista dei termini presenti in questo documento.

Tabella 2—1 Lista dei termini e delle espressioni di acustica subacquea (ISO 18405:2017).

Termine	Definizione	Descrizione
<i>Sound Pressure Level (root mean square)</i>	$(L_{p,rms})$ 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)
<i>Sound Exposure Level</i>	$(L_{E,p})$ 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 ($E_{p,0} = 1 \mu Pa^2 s$)
<i>Source Level</i>	Per $L_{p,rms}$ <ul style="list-style-type: none"> (L_{Sp}) dB re 1 $\mu Pa^2 m^2$ o dB re 1 $\mu Pa m$ Per $L_{E,p}$ <ul style="list-style-type: none"> (L_{SE}) dB re 1 $\mu Pa^2 m^2 s$ 	SL o L_S è il rapporto in decibel tra il fattore a sorgente $F_s = r^2 \overline{p^2}$, e valore di riferimento che per $L_{p,rms}$ è $F_{S,0} = 1 \mu Pa^2 m^2$ per $L_{E,p}$ è $F_{S,0} = 1 \mu Pa^2 m^2 s$
<i>Transmission Loss (TL)</i>	(TL) dB	E' 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_i).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 6 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

3. METODOLOGIA

3.1. Livelli sonori ambientali

Il giorno 6 aprile 2021 è stata condotta un'indagine acustica al fine di determinare i livelli di rumore subacqueo presso il terminale di Panigaglia. Tale indagine è stata svolta in relazione al progetto "Vessel Reloading", escluso dalla Procedura di Valutazione dell'Impatto Ambientale con Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica n.74 del 06/02/2023 - Parere n. 571 del 10 ottobre 2022 acquisito al prot. MiTE_2022-0132886 del 26 ottobre 2022, e si trova integralmente riportata nel documento Annesso 8 "Studio Acustico Subacqueo e Valutazione degli impatti potenziali indotti sui Mammiferi Marini" (rif. 201417C-308-RT-6000-002 - REL-AMB-E-20023).

Durante l'indagine sono stati acquisiti i livelli di rumore ambientale in 17 punti disposti lungo quattro transetti ad una distanza crescente dal terminale.



Figura 3-1 Mappa dei siti di registrazione per i rilievi di rumore condotti il 6 aprile 2021.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 7 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Le analisi del rumore subacqueo hanno evidenziano:

1. livelli di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ (dB re 1 μ Pa) compresi in media tra 85.9 e 102.5;
2. livelli di *Sound Pressure Level (peak)* $L_{p,pk}$ (dB re 1 μ Pa) compresi in media tra 111.4 e 121.9;
3. livelli di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa²s che non mostrano trend particolari in relazione alla distanza dal terminale;
4. livelli di *Mean Square Sound Pressure Spectral Density Level* più elevati (seppur contenuti) nelle bande di un terzo di ottava fino a 2000 Hz.

È da sottolineare che la campagna di misure 2021 è stata effettuata in condizioni di traffico navale molto ridotto, in un periodo particolare (le festività pasquali durante le restrizioni di traffico navale imposte dall'emergenza COVID), e con poche sorgenti acustiche antropiche attive. Pertanto, le stime di rumore riportate rappresentano una specifica fotografia temporale caratterizzata da bassi livelli di rumore all'interno del Porto di La Spezia.

3.2. Stima dei livelli sonori delle sorgenti e propagazione del rumore

L'infissione dei pali nell'ambito dei lavori di adeguamento delle strutture del pontile del terminale GNL Italia di Panigaglia prevede:

- la palificazione a impatto (*impact pile-driving*), in cui un palo viene infisso/martellato nel substrato da un pistone battipalo idraulico; il rumore generato da questa tecnica di infissione è di tipo impulsivo;
- la vibro-palificazione (*vibro pile-driving*), in cui pesi eccentrici rotanti creano una forza alternata sul palo, facendolo vibrare (e quindi infiggere) nel substrato; il rumore generato da questa tecnica di infissione è di tipo continuo.

Per la definizione delle proprietà acustiche delle sorgenti (battipalo e vibroinfissore) si è quindi fatto riferimento a dati di letteratura relativi ai livelli acustici tipicamente associati alle attività di palificazione a impatto e vibroinfissione (Tabella 3 -1) (Illingworth & Rodkin, 2007; Government of South Australia, 2012; Jiménez-Arranz et al., 2014; Tsouvalas, 2020), ed alle caratteristiche dei pali e degli strumenti di infissione (Tabella 1-1), mantenendo un approccio conservativo.

Tabella 3-1 Livelli sonori della palificazione a impatto e della vibroinfissione.

Piling method	Character	Noise descriptor	Source levels	Most energy
Impact	Impulsive	SEL	170–225 dB re 1 μ Pa ² ·s	100 Hz and 1 kHz
		SPL	180–235 dB re 1 μ Pa	
		Peak level	190–245 dB re 1 μ Pa	
Vibro-driving	Continuous	SPL	160–200 dB re 1 μ Pa	100 Hz and 2 kHz

Poiché il rumore generato dalle attività di infissione e la sua propagazione dell'ambiente circostante dipendono principalmente dalla dimensione e dal tipo di

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 8 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

palo, dall'energia d'impatto e dal tipo di strumento utilizzato (battipalo o vibroinfissore), dalla profondità dell'acqua e dal tipo di substrato in cui il palo viene infisso (Tetra Tech, 2013; Buehler et al., 2015), per stimare la propagazione del rumore nell'area dei lavori di Panigaglia è stato utilizzato il modello RAMGeo, una delle versioni di Range-Dependent Acoustic Model (RAM) adatto a stimare la propagazione del rumore nei fondali entro la scarpata continentale (Farcas et al., 2016).

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.

Il modello è stato implementato considerando le proprietà delle sorgenti di rumore (frequenze caratteristiche e profondità) e dei percorsi di propagazione (profondità e caratteristiche del fondale in funzione della distanza, velocità del suono nella colonna d'acqua). Sono quindi stati utilizzati i seguenti parametri di input del modello:

- Profondità della sorgente: 5 m
- Profondità del ricevitore: 5 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 della velocità del suono in funzione della profondità stimato attraverso la formula empirica di Mackenzie (1981) (Figura 3—2);
- Fondale (Tabella 3—1): tipologia, velocità longitudinale del suono, shear speed, P-wave attenuation, S-wave attenuation e densità (e.g. Hamilton, 1980, 1982; MacGillivray et al., 2014);
- Profilo batimetrico: dati estratti dal portale National Centers for Environmental Information <https://www.ncei.noaa.gov/maps/grid-extract/>

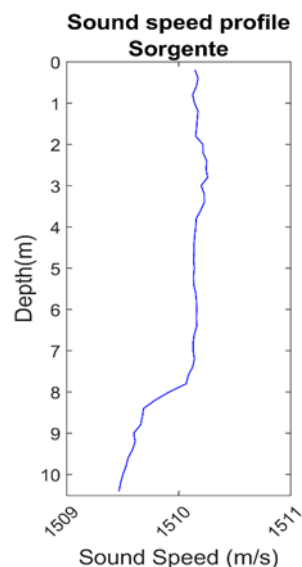


Figura 3-2 Profilo della velocità del suono a sorgente (pontile GNL Italia di Panigaglia).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 9 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Tabella 3—1 Caratteristiche del fondale dell'area (Petri e Borselli, 2021) e parametri di input.

Profondità (m)	Materiale	Densità (Kg/m ³)	Onda di compressione		Onda trasversale	
			Velocità (m/s) C _p	Attenuazione (dB/λ) α _p	Velocità (m/s) C _s	Attenuazione (dB/λ) α _s
0-5.5	Argille Limose compreso fango	1690	1560	0.9	107	2.0
5.5 – 15.5	Argille limose con sabbie e sabbie grossolane	1700	1600	1.0	137	5.3
> 15.5	Argille limose con sabbie e ghiaie beige screziate	2110	1800	1.2	399	5.8

La modellazione della propagazione 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 attività di palificazione a impatto e vibroinfissione. Date le caratteristiche delle sorgenti di rumore previste, ed 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 descrizione dell'impatto acustico che genera l'infissione dei pali e per la stima delle distanze alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo alle specie di cetacei sensibili alle basse frequenze (LF) e medie frequenze (MF) sono:

- 1) *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μPa^2 s per impulso (nel caso del battipalo idraulico che genera rumore impulsivo);
- 2) *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μPa (nel caso del vibroinfissore che genera rumore di tipo continuo).

La stima della distribuzione spaziale di *Sound Exposure Level* $L_{E,p}$ e *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ 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:

$$\text{Sound Level}_f(r) = SL_f(r) - TL_f(r)$$

dove nel caso dell'infissione a impatto $SL_f(r)$ è la distribuzione in frequenza del valore a sorgente di $L_{E,p}$ rappresentativo di un singolo impulso (L_{SE}), mentre per la vibroinfissione $SL_f(r)$ è la distribuzione in frequenza del valore a sorgente di $L_{p,rms}$ (L_{Sp}).

I valori complessivi di Sound Level in funzione della distanza $L(r)$, utili a generare mappe di distribuzione spaziale dei livelli acustici considerati, sono stati ottenuti utilizzando la seguente relazione:

$$L(r) = 10 \text{Log}_{10} (\sum_f 10^{0.1 \text{Sound level}_f(r)})$$

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 10 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

I valori delle sorgenti in funzione della frequenza sono stati ottenuti utilizzando una tipica distribuzione in bande di un terzo di ottava dei livelli a sorgente compatibili a quelli dei lavori di adeguamento delle strutture del pontile del terminale GNL Italia di Panigaglia (vedi Tabella 3-1 ; Government of South Australia, 2012). Sono quindi stati selezionati i valori di riferimento a sorgente riportati in Tabella 3-3 (Ainslie et al., 2012; British Columbia Environmental Assessment Office, 2016), considerando il diametro dei pali che saranno utilizzati (vedi Tabella 1—1).

Tabella 3—2 Valori di riferimento dei livelli a sorgente di Sound Exposure Level (L_{SE}) per impulso dB re $1 \mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$ per l'infissione a impatto e di Sound Pressure Level (root mean square) (L_{Sp}) dB re $1 \mu\text{Pa m}$ per la vibroinfissione (Ainslie et al., 2012; British Columbia Environmental Assessment Office, 2016).

Diametro pali (m)	Modalità	Valori a sorgente di Sound Pressure Level (root mean square) (L_{Sp}) dB re $1 \mu\text{Pa m}$	Valori a sorgente per impulso di Sound Exposure Level (L_{SE}) dB re $1 \mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$
0.47	Vibroinfissione	190	-
0.80	Vibroinfissione	194	-
1.82	Infissione a impatto	-	214
	Vibroinfissione	197	-
3.00	Infissione a impatto	-	224
	Vibroinfissione	199	-

Per la **vibroinfissione dei pali di diametro 0.47 metri (470 mm)**, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella Figura 3-3. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level* (root mean square) (L_{Sp}) è 190 dB re $1 \mu\text{Pa m}$.

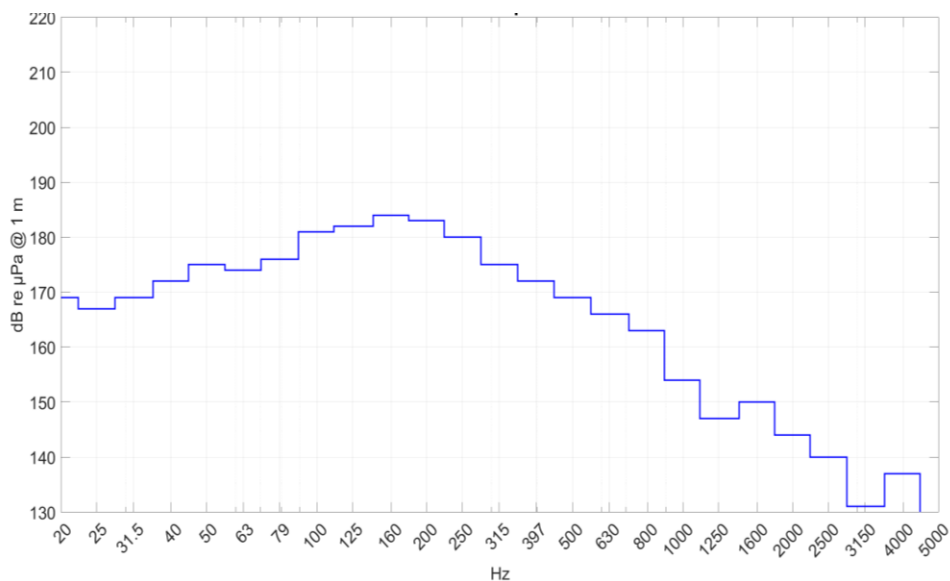


Figura 3-3 Stima dei valori di *Source Level* (L_{Sp}) [dB re $1 \mu\text{Pa m}$] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di vibroinfissione di pali di 0.47 metri (470 mm) di diametro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 11 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Per la **vibroinfissione dei pali di diametro 0.80 metri (800 mm)**, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella Figura 3-4. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level* (root mean square) (L_{Sp}) è 194 dB re 1 μPa m.

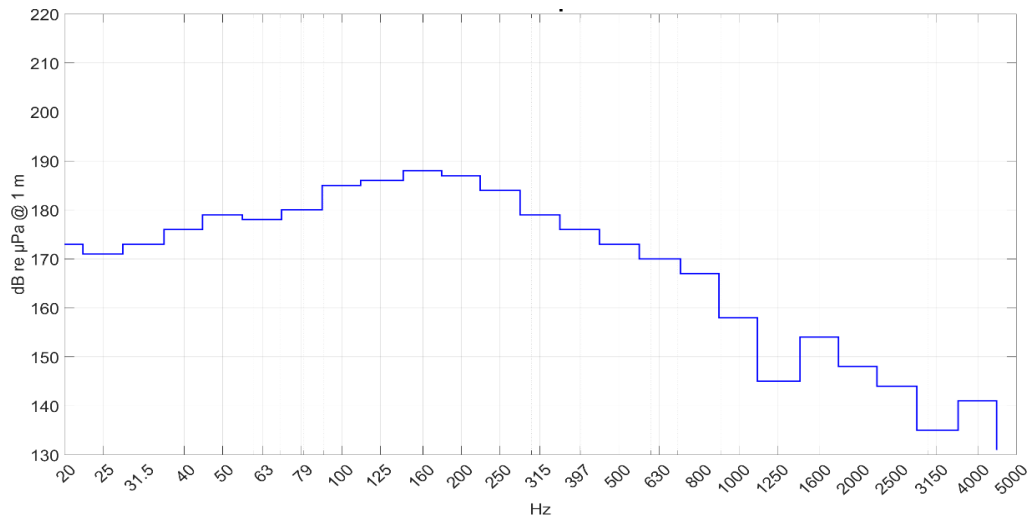


Figura 3-4 Stima dei valori di *Source Level* (L_{Sp}) [dB re 1 μPa m] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di vibroinfissione di pali di 0.80 metri (800 mm) di diametro.

Per l'**infissione a impatto dei pali da 1.82 metri**, i valori di *Source Level* (L_{SE}) in funzione della frequenza sono rappresentati nella Figura 3-5. Il valore complessivo di *Sound Exposure Level* (L_{SE}) è 214 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$.

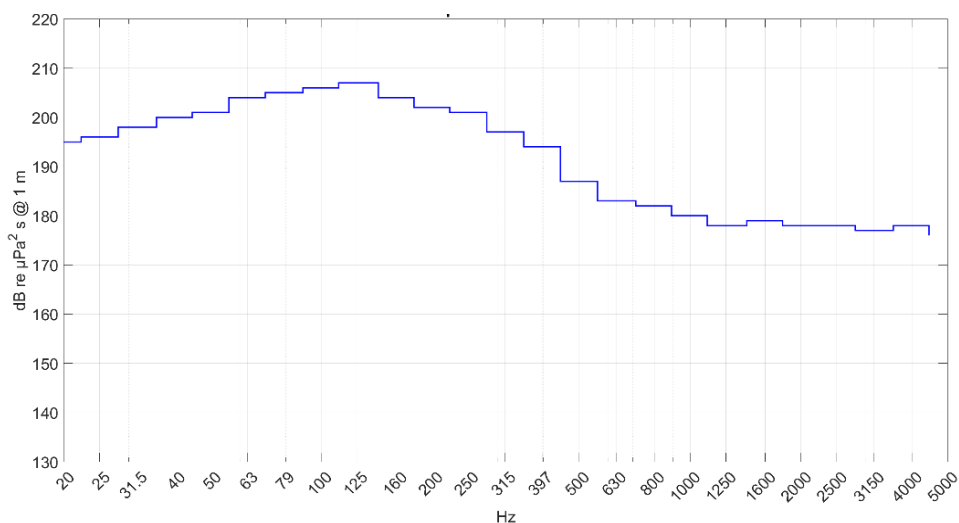


Figura 3-5 Stima dei valori di *Source Level* (L_{SE}) [dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di infissione a impatto di pali di 1.82 metri (1820 mm) di diametro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 12 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Per la **vibroinfissione dei pali di diametro 1.82 metri (1820 mm)**, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati in Figura 3-6. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) è 197 dB re 1 $\mu\text{Pa m}$.

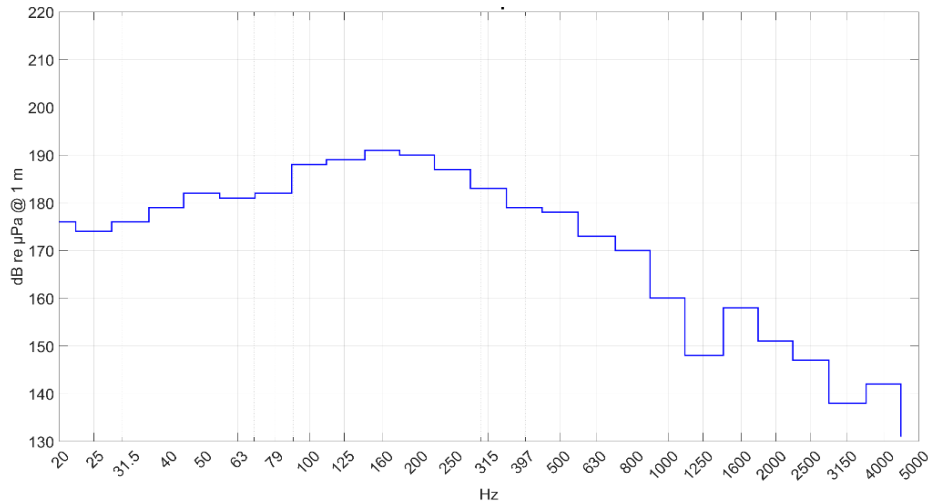


Figura 3-6 Stima dei valori di *Source Level* (L_{Sp}) [dB re 1 $\mu\text{Pa m}$] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di vibroinfissione di pali di 1.82 metri (1820 mm) di diametro.

Per l'**infissione a impatto dei pali da 3.00 metri**, i valori di *Source Level* (L_{SE}) in funzione della frequenza sono rappresentati in Figura 3-7. Il valore complessivo di *Sound Exposure Level* (L_{SE}) è 224 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$.

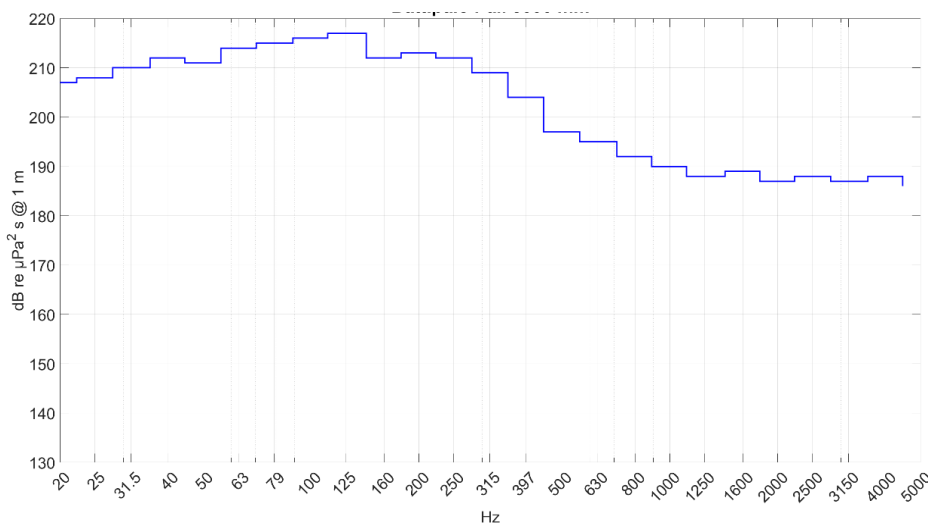


Figura 3-7 Stima dei valori di *Source Level* (L_{SE}) [dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di infissione a impatto di pali di 3.00 metri (3000 mm) di diametro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 13 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Per la **vibroinfissione dei pali di diametro 3.00 metri (3000 mm)**, i valori di *Source Level* (L_{Sp}) in funzione della frequenza sono rappresentati in Figura 3-8. Il valore complessivo di *Sound Pressure Level (root mean square)* (L_{Sp}) è 199 dB re 1 $\mu\text{Pa m}$.

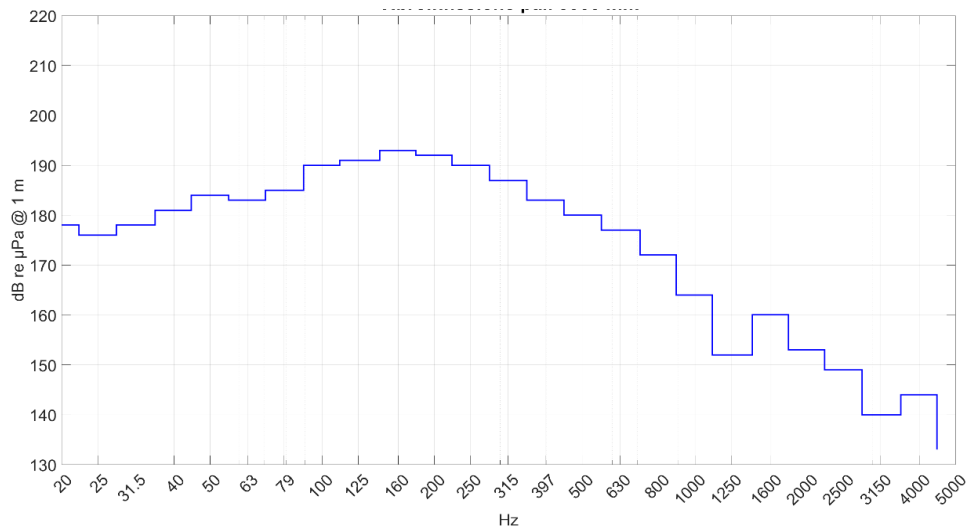



Figura 3-3 Stima dei valori di *Source Level* (L_{Sp}) [dB re 1 $\mu\text{Pa m}$] in bande di un terzo di ottava per le operazioni di vibroinfissione di pali di 3.00 metri (3000 mm) di diametro.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 14 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

4. RISULTATI

La tabella seguente (Tabella 4—1) riporta le distanze dalla sorgente alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle basse frequenze (LF) e medie frequenze (MF) in relazione alle soglie riportate in Tabella 1—2.

Tabella 4—1 Distanze dalla sorgente alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle basse frequenze (LF) e medie frequenze (MF) in relazione alle soglie per il rumore impulsivo e continuo indicate da Borsani e Farchi (2011b).

Diametro pali	Modalità	Valori a sorgente di <i>Sound Pressure Level (root mean square)</i> (L_{Sp}) dB re 1 μPa m	Valori a sorgente per impulso di <i>Sound Exposure Level</i> (L_{SE}) dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2 \text{s}$	Gruppi uditivi funzionali	Distanza dalla sorgente
0.47 m	Vibroinfissione	190	-	Cetacei bassa frequenza (LF)	2330 m
				Cetacei media frequenza (MF)	1520 m
0.80 m	Vibroinfissione	194	-	Cetacei bassa frequenza (LF)	2670 m
				Cetacei media frequenza (MF)	1790 m
1.82 m	Infissione a impatto	-	214	Cetacei bassa frequenza (LF)	< 100 m
				Cetacei media frequenza (MF)	
	Vibroinfissione	197	-	Cetacei bassa frequenza (LF)	3200 m
				Cetacei media frequenza (MF)	2000 m
3.00 m	Infissione a impatto	-	224	Cetacei bassa frequenza (LF)	<250 m
				Cetacei bassa frequenza (LF)	
	Vibroinfissione	199	-	Cetacei bassa frequenza (LF)	3480 m
				Cetacei bassa frequenza (LF)	2430 m

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 15 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

I risultati delle stime di propagazione di *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$, per l'attività di **vibroinfissione** dei pali da 0.47 metri, 0.80 metri, 1.82 metri e 3.00 metri sono riportati nella Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3 e Figura 4-4 rispettivamente.

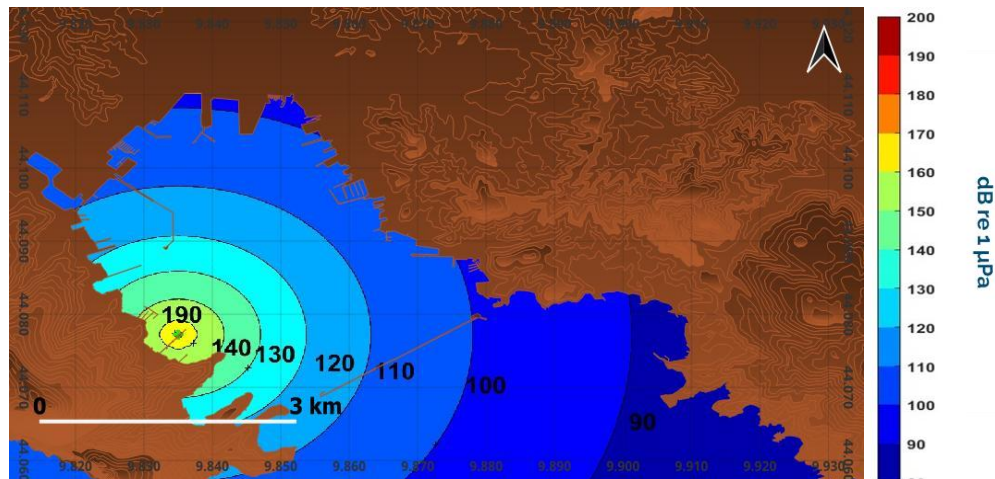


Figura 4-1 Mapa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa per l'attività di vibroinfissione dei pali da 0.47 metri di diametro, ipotizzando un valore a sorgente (L_{Sp}) di 190 dB re 1 μ Pa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di 120 e 110 dB re 1 μ Pa, ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie (MF) e basse (LF) frequenze, rispettivamente.

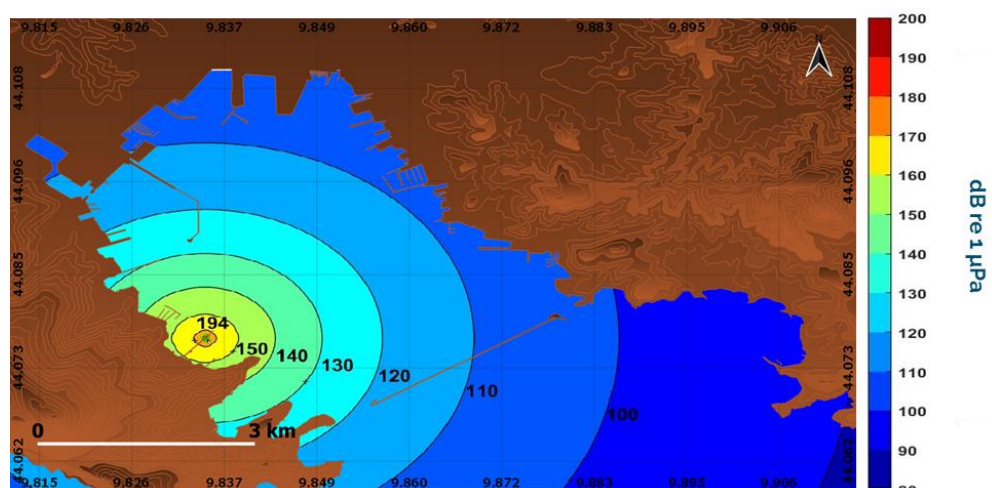


Figura 4-2 Mapa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa per l'attività di vibroinfissione dei pali da 0.80 metri di diametro, ipotizzando un valore a sorgente (L_{Sp}) di 194 dB re 1 μ Pa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di 120 e 110 dB re 1 μ Pa, ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie (MF) e basse (LF) frequenze, rispettivamente.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 16 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

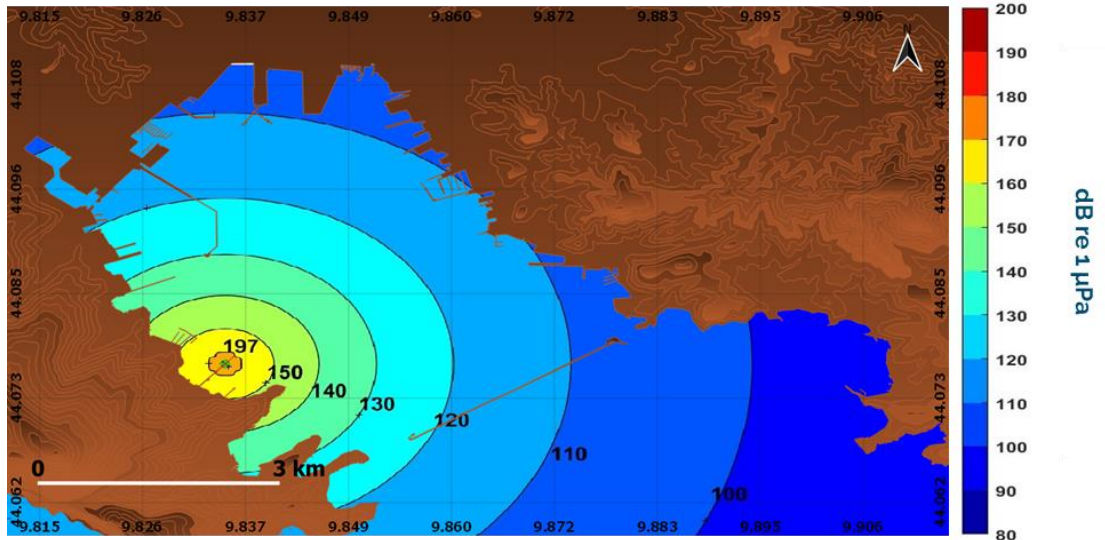


Figura 4-3 Mappa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μPa per l'attività di vibroinfissione dei pali da 1.82 metri di diametro, ipotizzando un valore a sorgente (L_{Sp}) di 197 dB re 1 μPa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di 120 e 110 dB re 1 μPa , ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie (MF) e basse (LF) frequenze, rispettivamente.

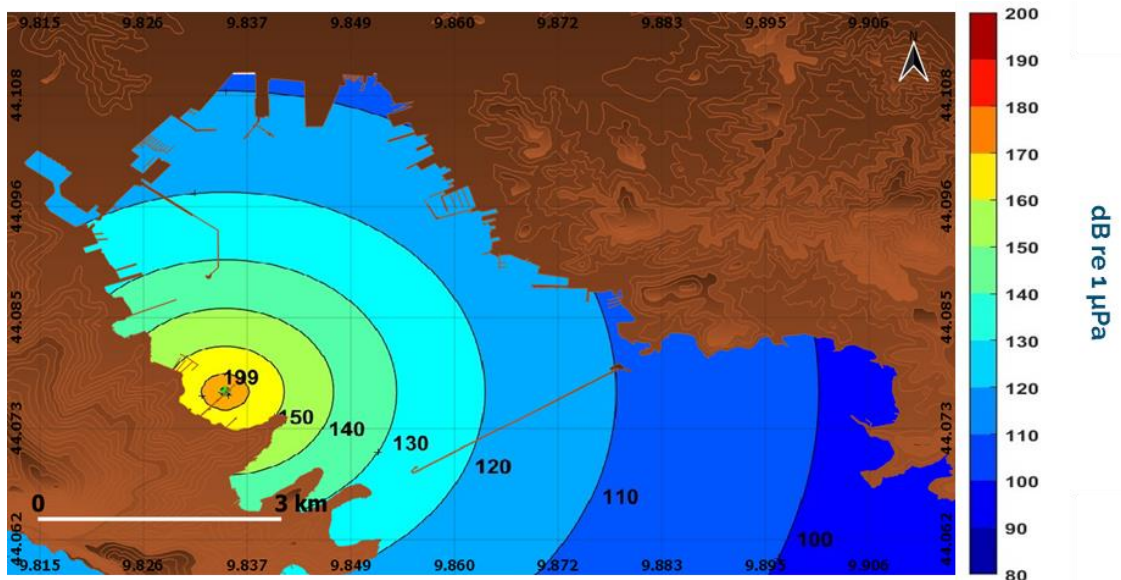


Figura 4-4 Mappa di distribuzione spaziale di *Sound Pressure Level (root mean square)* ($L_{p,rms}$) dB re 1 μPa per l'attività di vibroinfissione dei pali da 3.00 metri di diametro, ipotizzando un valore a sorgente (L_{Sp}) di 199 dB re 1 μPa m e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di 120 e 110 dB re 1 μPa , ovvero le soglie di disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle medie (MF) e basse (LF) frequenze, rispettivamente.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA		REL-AMB-E-09107
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI		Fg. 17 di 21

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

I risultati delle stime di propagazione di *Sound Exposure Level* $L_{E,p}$, per l'attività di **infiissione a impatto** dei pali da 1.82 metri e 3.00 metri sono riportati nelle Figura 4-5 e Figura 4-6, rispettivamente.

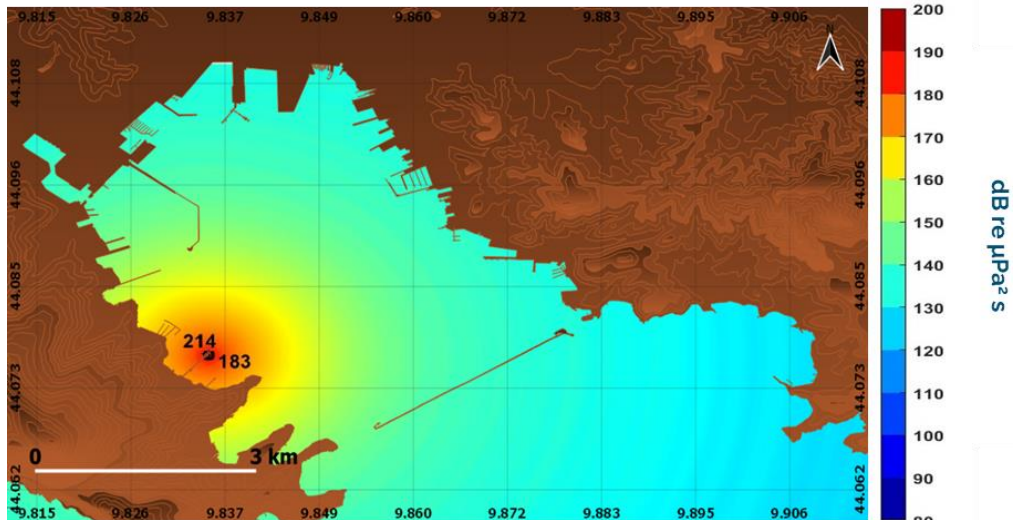


Figura 4-5 Mapa di distribuzione spaziale di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μPa^2 s per l'attività di infissione a impatto dei pali da 1.82 metri di diametro, ipotizzando un valore a sorgente (L_{SE}) per impulso di 214 dB re 1 μPa^2 m² s e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di 183 dB re 1 μPa^2 s, ovvero le soglie di disturbo comportamentale per tutte le specie di cetacei.

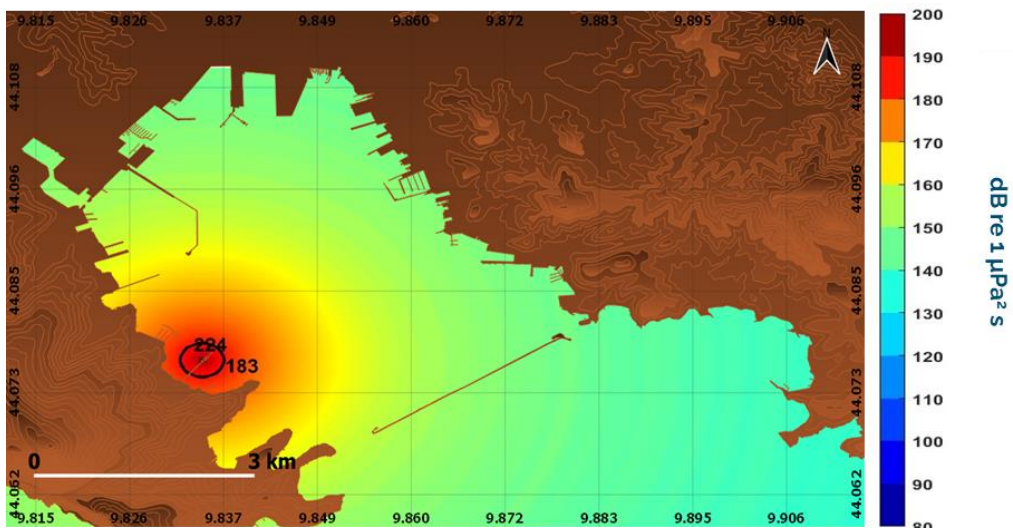


Figura 4-6 Mapa di distribuzione spaziale di *Sound Exposure Level* ($L_{E,p}$) dB re 1 μPa^2 s per l'attività di infissione a impatto dei pali da 3.00 metri di diametro, ipotizzando un valore a sorgente (L_{SE}) per impulso di 224 dB re 1 μPa^2 m² s e *Transmission Loss* ottenuta da modello RAMGeo per ogni frequenza centrale della banda di un terzo di ottava. La mappa riporta le distanze dalla sorgente dove si stimano livelli di 183 dB re 1 μPa^2 s, ovvero le soglie di disturbo comportamentale per tutte le specie di cetacei.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 18 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

5. CONCLUSIONI

Come già indicato nello “*Studio Acustico Subacqueo e Valutazione degli impatti Potenziali Indotti sui Mammiferi Marini*” approvato e presentato nell’ambito del progetto “Vessel Reloading”, progetto escluso dalla Procedura di Valutazione dell’Impatto Ambientale con Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica n.74 del 06/02/2023 - Parere n. 571 del 10 ottobre 2022 acquisito al prot. MiTE_2022-0132886 del 26 ottobre 2022, le stime di rumore subacqueo prodotte in questo documento sono da considerarsi indicative poiché le attività associate alla costruzione delle nuove strutture presso il terminale di Panigaglia sono state modellate usando le informazioni di massima fornite a priori e i valori ricavati dalla letteratura disponibile su pali, attrezzature e analoghe operazioni di infissione.

I livelli sonori delle due attività di infissione (attraverso battipalo e vibroinfissore) sono stati stimati in maniera distinta, sia perché le due attività presentano caratteristiche acustiche differenti (suoni impulsivi e suoni continui) sia perché non avvengono contemporaneamente.

Nonostante le impostazioni modellistiche siano 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, esistono limitazioni nell’uso di modelli di propagazione del suono in ambiente tridimensionale.

Il modello di propagazione acustica qui utilizzato per la valutazione del rumore subacqueo restituisce:

- un’approssimazione della perdita di trasmissione nell’ambiente del porto di La Spezia, dove il suono è attenuato dall’assorbimento dell’energia acustica da parte del fondale fangoso-argilloso e poco profondo, e dalla configurazione geografica relativamente “chiusa” del porto stesso;
- stime conservative delle distanze dalla sorgente alle quali i livelli sonori sono tali da provocare disturbo comportamentale per le specie di cetacei sensibili alle basse frequenze (LF) e medie frequenze (MF) in relazione alle soglie, assumendo che l’individuo “ricevente” sia fermo per tutta la durata dell’esposizione sonora;
- una zona relativamente piccola (entro 250 m dalla sorgente) in cui si raggiunge le soglie di disturbo comportamentale di $L_{E,p} = 183$ dB re $1 \mu\text{Pa}^2$ s per tutte le specie di cetacei per l’**infissione a impatto** dei pali da 1.82 metri e 3.00 metri, in cui la maggior parte dell’energia acustica è concentrata a frequenze <500 Hz che si dissipano rapidamente nei sedimenti poco profondi del porto di La Spezia;
- una zona ampia (fino a 3500 m dalla sorgente) in cui si raggiungono le soglie di disturbo comportamentale di $L_{p,rms} = 110$ dB re $1 \mu\text{Pa}$ (specie sensibili alle basse frequenze) e di $L_{p,rms} = 120$ dB re $1 \mu\text{Pa}$ (specie sensibili alle medie frequenze) per la **vibroinfissione** di tutte le tipologie di pali, in cui la maggior parte dell’energia acustica è concentrata a frequenze <1000 Hz.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 19 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

Considerando le modeste distanze alle quali si ipotizzano disturbi comportamentali per le specie di cetacei durante l'infissione a impatto ottenute utilizzando uno dei modelli consigliati per questo tipo di analisi (RAMGeo), si ritiene necessaria l'esecuzione di una attività specifica di misure sul campo al momento in cui inizieranno le attività di infissione dei pali, 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 definire in maniera più precisa le aree di impatto per i cetacei e aggiornare di conseguenza il piano di monitoraggio.

Pertanto, come già evidenziato nel documento approvato 201417C-308-RT-6000-002 - Annesso 8 del progetto "Vessel Reloading" si suggerisce:

- 1) di realizzare un monitoraggio acustico prima e dopo le attività di adeguamento del pontile del terminale GNL Italia di Panigaglia, utilizzando idonea strumentazione (anche, ad esempio, registratori autonomi posizionati nell'area dei lavori), per determinare i livelli di rumore e l'occorrenza di suoni biologici riconducibili alle specie di cetacei che frequentano la zona;
- 2) di pianificare un monitoraggio per il rumore e la presenza dei cetacei durante le attività, realizzando survey visivi di superficie attraverso imbarcazione dedicata e rilievi acustici continui dei livelli di rumore e della presenza delle specie target con analisi real-time. In ogni caso, prima dell'inizio delle attività giornaliere, si raccomanda di verificare l'assenza di individui all'interno dell'area portuale e di sorvegliare in modo specifico i due ingressi al porto nel corso dello svolgimento dei lavori.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 20 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

6. BIBLIOGRAFIA

- Ainslie, M.A., de Jong, C.A.F., Robinson, S.P., Lepper, P.A. (2012). What is the Source Level of Pile-Driving Noise in Water? In: Popper, A.N., Hawkins, A. (eds) The Effects of Noise on Aquatic Life. Advances in Experimental Medicine and Biology, vol 730. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5_100
- 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>
- British Columbia Environmental Assessment Office (2016). George Massey Tunnel Replacement Project Technical Volume – Underwater Noise Modelling Study. p. 28. Available at: <https://projects.eao.gov.bc.ca/api/document/589b9bd6343013001d4157c0f/etch>
- Buehler, D., R. Oestman, J. Reyff, K. Pommerenck, B. Mitchell (2015). Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish. California Department of Transportation, CALTRANS Technical Report No. CTHWANP-RT-15-306.01.01. pp 532. Available at: https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Caltrans_2009_Guidance_Manual_for_noise_effects_on_fish.pdf
- 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. Available at: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC88045>
- Illingworth & Rodkin (2007). Compendium of pile driving sound data. p. 129. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.395.6932&rep=rep1&type=pdf>
- Farcas, A., Thompson, P. M., & Merchant, N. D. (2016). Underwater noise modelling for environmental impact assessment. Environmental Impact Assessment Review, 57, 114-122.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NQ/G21016	UNITA' 000
	PROGETTO / IMPIANTO AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO - IMPIANTO GNL DI PANIGAGLIA	REL-AMB-E-09107	
	DOCUMENTO STUDIO ACUSTICO SUBACQUEO E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI POTENZIALI INDOTTI SUI MAMMIFERI MARINI	Fg. 21 di 21	Rev. 00

Rif. Cod. Soc. Prog.: 0698-TITA-H-DA-000-107

- 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.
- Jackson, D. R. (1994). APL-UW High-Frequency Ocean Environmental Acoustic Model Handbook, Technical Report, Applied Physics Laboratory University of Washington, Seattle.
- Jiménez-Arranz, G., Banda, N., Cook S., Wyatt, R. (2020). Review on Existing Data on Underwater Sounds from Pile Driving Activities. A report prepared by Seiche Ltd for the Joint Industry Programme (JIP) on E&P Sound and Marine Life. p. 82. Available at: https://gisserver.intertek.com/JIP/DMS/ProjectReports/Cat1/JIP-Proj1.4.2_Review_on_Noise_from_Industrial_Sources.pdf
- 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.
- Mackenzie, K. V. (1981). Nine-term equation for sound speed in the oceans. Journal of the Acoustical Society of America 70, 807-812.
- Petri, P., Borselli, L. 2021. Provincia di La Spezia e Comune di Porto Venere. Relazione geologico-tecnica NTC 2018 in Località Panigaglia. 44 pagine.
- 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. Available at: <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/gpg133-underwater-noise-measurement.pdf>
- Tetra Tech (2013). Underwater Acoustic Modeling Report - Virginia Offshore Wind Technology Advancement Project (VOWTAP). Report by Tetra Tech Inc. Report for Dominion Energy. p. 47. Available at: <https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/TetraTech-2013-Noise.pdf>
- Tsouvalas, A. (2020). Underwater Noise Emission Due to Offshore Pile Installation: A Review. Energies 13, 3037. doi: <https://doi.org/10.3390/en13123037>