

Appendice E
Caratterizzazione delle Sorgenti e
Modellizzazione della
Propagazione del Rumore
Sottomarino

Doc. No. P0012454-1-H5 Rev.2 – Aprile 2020



E.1 INTRODUZIONE

In recepimento delle osservazioni espresse dagli Enti nel corso degli incontri tenutosi con il Tavolo Tecnico e delle richieste formulate da ISPRA ed ARPA Puglia nel parere trasmesso da ISPRA con prot. 2019/56111 del 27/09/2019, si è provveduto a caratterizzare le sorgenti di rumore sottomarino e modellare la trasmissione del rumore subacqueo per definire le opportune misure di monitoraggio e di mitigazione, inclusa l'istituzione di una opportuna "exclusion zone" che tenga conto delle soglie di disturbo per i cetacei.

Per lo svolgimento di tali attività ci si è avvalsi del supporto altamente specializzato di JASCO Applied Sciences.

E.2 SINTESI DEI RISULTATI

Le attività hanno previsto la modellizzazione di due scenari:

- ✓ uno scenario rappresentativo delle attività svolte in mare aperto ("Offshore");
- ✓ uno rappresentativo delle attività effettuate in prossimità della costa ("Nearshore").

I mezzi navali in ciascuno degli scenari sono stati individuati sulla base delle attività di costruzione e delle tipologie di mezzi previsti. In entrambi i casi si è considerata la presenza della nave posatubi, di una unità navale tipo Platform Supply Vessel – PSV e di un' unità navale per survey marine.

In considerazione delle caratteristiche specifiche delle unità navali previste, sono stati determinati i livelli sonori di sorgente complessivi ("broad-band") rispettivamente pari a 192,0, 178,2 e 178,2 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$, definiti sulla base di misurazioni dirette dei mezzi ipotizzabili durante la costruzione o di unità navali di analoga tipologia di riferimento ("proxy"), considerate appropriate.

I campi sonori subacquei stimati sono stati calcolati per i livelli di pressione sonora (SPL, Lp) e per i livelli di esposizione al suono accumulati nelle 24 ore (SEL_{24h}, L_E), a seconda dei diversi criteri di valutazione degli effetti del rumore considerati (NMFS 2018; Popper et al., 2014).

La seguente tabella riassume i risultati per le distanze massime (R_{max}) rispetto ai valori soglia definiti dai criteri più recenti individuati in letteratura per il possibile spostamento permanente o temporaneo della soglia di udibilità (rispettivamente Permanent Threshold Shift – PTS e Temporary Threshold Shift – TTS individuati dal National Oceanic and Atmospher Administration - NOAA, 2018).

Tabella 1: Sintesi delle Distanze Soglia per Sorgenti di Tipo Continuo per Criterio SEL_{24h} negli Scenari Modellati

Relevant hearing group	Injury criteria	R _{max} (km)							
		Offshore				Nearshore			
		Pipelay vessel	PSV	Survey vessel	All vessels	Pipelay vessel	PSV	Survey vessel	All vessels
Mid-frequency cetaceans	PTS	–	–	–	0.12	–	–	–	0.12
	TTS	0.10	0.06	0.05	0.28	0.13	0.06	0.06	0.29
Low-frequency cetaceans	PTS	0.15	0.03	0.03	0.27	0.24	0.03	0.03	0.35
	TTS	3.46	0.37	0.36	3.70	6.22	0.85	0.80	6.56
Phocid pinnipeds	PTS	0.04	0.01	0.01	0.23	0.04	0.01	0.01	0.23
	TTS	0.61	0.13	0.13	0.75	1.15	0.18	0.20	1.26

Le distanze sono valutate dal punto centrale delle posizioni dei messi navali considerati.

Il segno "–" indica che le soglie non vengono raggiunte ad alcuna distanza.

Si evidenzia che i valori SEL cumulati, in base ai quali sono state calcolate le suddette distanze, rappresentano uno scenario estremamente conservativo basato sull'ipotesi, ritenuta piuttosto improbabile, che un individuo rimanga fermo in una determinata posizione per l'intera durata dell'attività e che l'attività produca costantemente i livelli di rumore definiti per il periodo di 24 ore.

La distanza indicata per i criteri SEL_{24h} non significa necessariamente che eventuali esemplari che si trovino all'interno di questa distanza dalla sorgente possano subire un danno, bensì che potrebbero risultare esposti ad un livello sonoro associato alla possibilità di danno qualora dovessero permanere entro tale distanza per l'intera durata dell'attività nel corso delle 24h.

Per quanto riguarda il criterio di risposta comportamentale dei mammiferi marini di 120 dB re 1 μ Pa SPL proposto nella letteratura (NMFS, 2013), la distanza massima calcolata risulta pari a circa 34,8 km.

Le distanze massime calcolate per i criteri individuati da Popper et al. (2014) per i pesci con vescica natatoria risultano pari a 0,23 km per lesioni recuperabili e 0,25 km per TTS.

Nel seguito si riporta una sintesi delle attività condotte; si rimanda per la descrizione di dettaglio al rapporto tecnico (in lingua inglese):

- ✓ definizione delle caratteristiche delle sorgenti di rumore presenti;
- ✓ individuazione degli scenari da modellizzare;
- ✓ studio della propagazione del rumore sottomarino tramite modellizzazione;
- ✓ individuazione delle misure di mitigazione e di monitoraggio da adottare per la protezione della fauna marina.

E.3 CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI

Il progetto Poseidon prevede la costruzione di un gasdotto che attraversa il Mar Ionio consentendo l'importazione di gas naturale dalla Grecia all'Italia.

La sezione italiana del gasdotto è composta da una parte offshore (circa 41,3 km di lunghezza) dal limite di 12 miglia nautiche delle acque italiane a Sud-Est della penisola salentina che si dirige in una direzione Nord-Nord-Ovest, prima di voltarsi verso una direzione Sud-Ovest e fare approdo a Sud-Est del Porto di Otranto.



Figura 1: Progetto IGI Poseidon – Sezione Italiana

Il gasdotto prosegue poi a terra per altri 2,5 km a Sud-Ovest verso il terminal del gas di Otranto.

La sezione offshore comprende l'approdo a terra, una sezione di circa 550 m dal punto di approdo (posto a 150 m dalla costa) fino a un punto di uscita a mare (posto a circa 400 m al largo) realizzata tramite perforazione direzionale orizzontale (HDD).

Le attività di costruzione di interesse ai fini dello studio sono di seguito elencate:

- ✓ scavo della trincea all'Exit Point della TOC;
- ✓ completamento della perforazione della TOC;

- ✓ tiro/posa della condotta a mare (considerando sia lo scenario previsto di progetto che il caso alternativo di contingency);
- ✓ realizzazione degli attraversamenti;
- ✓ posa della condotta offshore;
- ✓ eventuali interventi di mitigazione dello span (qualora necessari o richiesti).

Le attività di costruzione della sezione onshore del gasdotto non sono ritenute di interesse ai fini del presente studio in quanto non avranno alcun significativo effetto sui livelli di rumore sottomarino.

La seguente tabella riepiloga le diverse attività di costruzione per le sezioni offshore e nearshore e le fonti di rumore definite per ciascuna fase. Per le diverse fonti presenti vengono quindi valutati i livelli specifici di sorgente (Welch, S.J., F. Pace; 2019).

Tabella 1: Attività di Costruzione e Sorgenti di Rumore

Tipologia Mezzo [Nota 0]	Operazioni Nearshore [Nota 1]					Operazioni Offshore [Nota 7]			
	Scavo della Trincea	Uscita HDD	Tiro/Posa della condotta (barge)	Pipe recovery	Tiro/Posa della condotta (DP vessel)	Interventi Pre-Posa	Posa della Condotta	Verifica Post Posa	Interventi Post-posa
TSHD DP Vessel ("Shoalway" o similare)	X								
Chiatta Posatubi ("Castoro 10" o similare)			X [Nota 5]						
No. 2 rimorchiatori AHT ("Union Princess" o similari)	X [Nota 6]	X [Nota 6]	X [Nota 5]						
PSV/Mezzo di costruzione leggero (vessel tipico)	X [Nota 2]	X [Nota 2]	X [Nota 2]	X [Nota 2]	X [Nota 2]	X [Nota 2]	X [Nota 2]		X [Nota 2]
Nave posatubi Dynamic Positioning ("Castorone" o "Solitaire" o similare)				X [Nota 5]	X [Nota 4]		X		
Survey vessel / subsea construction vessel ("Calamity Jane" o similare)		X [Nota 8]		X [Nota 8]	X [Nota 8]	X [Nota 8]	X [Nota 8]	X	
Falldown pipe vessel ("Stornes" o similare) o Construction vessel									X [Nota 3]
Guard vessel ("Union Princess" o similare)									X [Nota 9]

Note:

In grigio chiaro sono indicati i mezzi navali che sono stati considerati solo in condizioni di backup/contingency (incluso il c.d. "Contingency-case" costituito dalla posa disaccoppiata della condotta mediante unità navale tipo barge per le acque poco profonde e pipe-lay vessel a partire dalla profondità di circa 40m).

[Nota 0] I vessel si assumono cautelativamente presenti sulle 24 ore.

[Nota 1] Le operazioni di cantiere sotto costa si assumono sequenziali. Le fasi di uscita HDD e tiro della linea potrebbero essere parzialmente sovrapposte.

[Nota 2] Si assume in via cautelativa che il PSV sia presente in sito per tutto il tempo.

[Nota 3] La fase di post-lay potrebbe includere eventuali interventi in rock-dumping se necessari mediante l'utilizzo di un falldown pipe vessel [40]

[Nota 4] Il DP vessel si assume essere posizionato con la poppa a 200 – 220 m dal pozzo di uscita lungo l'asse della condotta, in questo punto la profondità del fondale di circa 40 m

[Nota 5] Caso di contingency/backup alternativo rispetto al metodo previsto dal progetto che considera il landfall/tiro della condotta completamente disaccoppiato dalla posa della condotta offshore. Il pontone e la nave posatubi non saranno presenti contemporaneamente. Il pontone avvierà la posa dalla trincea, abbandonando la condotta sul fondale. Il mezzo lascerà quindi l'area e la nave posatubi arriverà successivamente per recuperare la condotta e proseguire la posa in direzione della Grecia.

[Nota 6] L'Anchored Barge e l'AHT vessel si considerano come di riserva o di emergenza. Il vessel di riferimento può essere considerato come un'ipotesi conservativa dal momento che l'eventuale barge sarà più piccolo del Castoro 10.

[Nota 7] Le operazioni di costruzione offshore si assumono consecutive.

[Nota 8] Il survey vessel si ipotizza presente durante il pre-lay (scavo della trincea e installazione dei materassi in cemento e sleeper in acciaio), monitoraggio della posa sul fondale della condotta (eventuale rock dumping).

[Nota 9] Da utilizzare temporaneamente, in caso di eccessivi free-span della pipeline che potrebbero costituire un rischio con le reti da pesca, precedente alla mitigazione dei free-span..

E.3.1 TRAILING SUCTION HOPPER DREDGER (TSHD)

Per le attività di dragaggio si prevede l'impiego di una unità tipo "Shoalway", o nave equivalente.

Non sono disponibili misurazioni dirette per la nave specificata; tuttavia sulla base dei dati misurati per altre navi di analoga tipologia TSHD (Hannay et al. 2004) o simili disponibili da letteratura (De Jong et al. 2010, Robinson et al. 2011) si è proceduto alla definizione della nave da utilizzare come proxy.

Le specifiche per le possibili navi TSHD sono elencate nella seguente tabella insieme a quelle dello Shoalway. Si evidenzia che le informazioni da De Jong et al. (2010) risultano limitate e fornite solo a seguito della comunicazione diretta con uno degli autori (C. de Jong, comm. Pers., 4 aprile 2018).

Tabella 2: Caratteristiche Unità Navale TSHD

	<i>Shoalway</i>	<i>Cristoforo Colombo</i>	<i>Sand Falcon</i>	<i>Dredger 6</i>
Length (m):	90.0	119.6	100.0	~100.0
Breadth (m):	19.0	22.2	19.5	-
Draft (m):	6.82	7.14	7.8	-
Hopper capacity (m ³):	4 500	7 200	4 000	-
Total Installed power (kW):	6 700	10 850	4 920	6 000–7 000
Data source:	Unavailable	Hannay et al. (2004)	Robinson et al. (2011)	De Jong et al. (2010)

I livelli equivalenti broad-band di sorgente puntiforme per le unità navali individuati per le navi Cristoforo Colombo, Sand Falcon e Dredger 6 sono rispettivamente 189.6, 188.8 e 185.0 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$.

I livelli in banda di terzi d'ottava per ciascuna delle potenziali navi proxy sono presentati nella seguente figura.

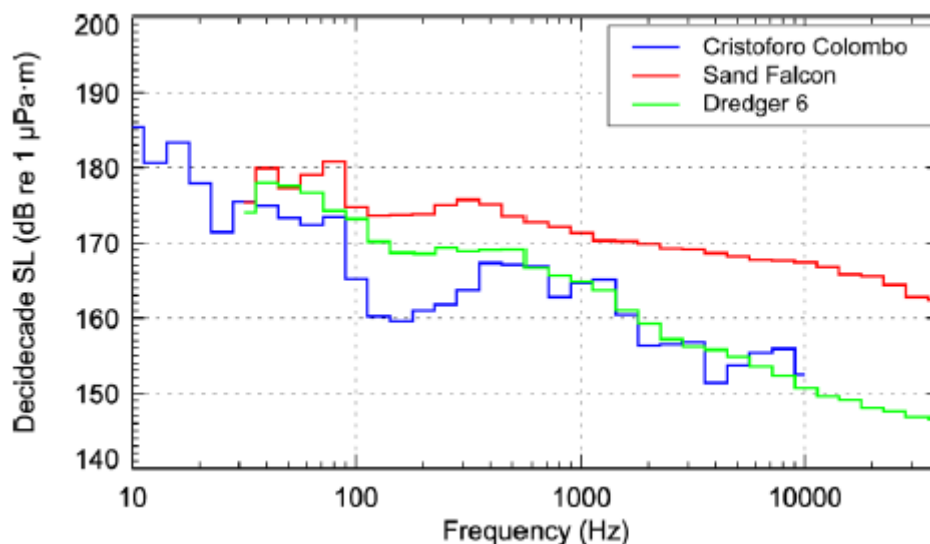


Figura 1: TSHD – Livelli Sorgenti in Banda di frequenza

Per la valutazione dei livelli di rumore, si è fatto conservativamente riferimento alla nave "Sand Falcon".

E.3.2 NAVE POSATUBI – DYNAMIC POSITIONING

Le due possibili navi posatubi prese in considerazione sono le navi "Castorone" e "Solitaire". I dettagli di queste navi sono presentati nella seguente tabella.

Tabella 3: Caratteristiche Unità Navale Posatubi (Dynamic Positioning)

	Castorone	Solitaire
Length (m):	330.0	300.0
Breadth (m):	39.0	40.6
Draft (m):	10.6	10.1
Propulsion power (kW):	67 200	46 800
Total installed power (kW):	68 400	51 500

Non risultano disponibili da letteratura dati per i livelli di sorgente per Castorone mentre i livelli di sorgente in banda di frequenza per la nave Solitaire possono essere derivati dalle misurazioni del rumore effettuate da Nedwell ed Edwards (2004). Il livello della sorgente monopolare broadband per la nave Solitaire è stato calcolato in 192 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$ a una profondità della sorgente di 7 m.

I livelli in banda di terzi d'ottava sono presentati nella seguente figura. Si evidenzia che la nave Solitaire è stata utilizzata in passato come nave proxy per Castorone (Zykov et al. 2013) e poiché le navi sono simili, è considerato un proxy appropriato ai fini del presente studio.

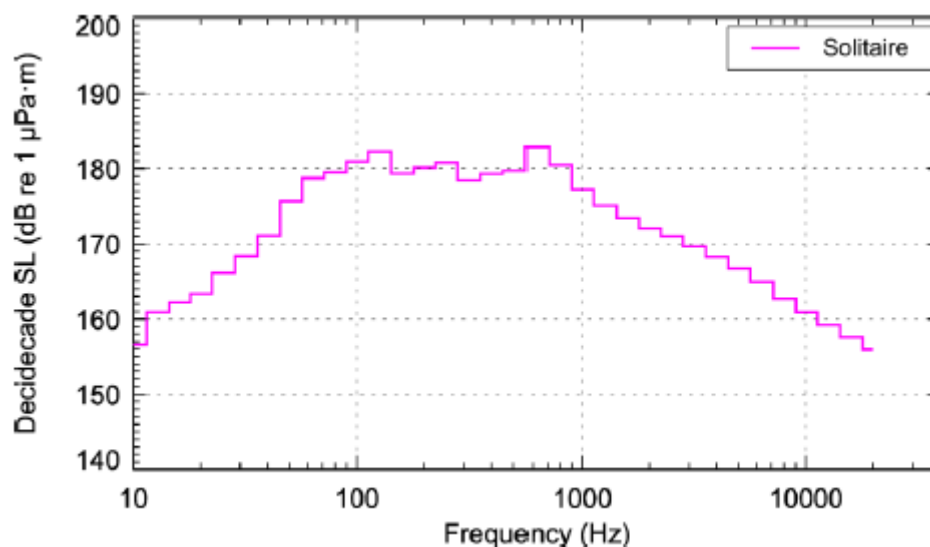


Figura 2: Nave Posatubi DP - Livelli Sorgenti in Banda di frequenza

E.3.3 PLATFORM SUPPLY VESSEL/LIGHT CONSTRUCTION VESSEL

Per lo svolgimento delle attività non sono state definite specifiche unità navali di tipo PSV o da costruzioni marine leggere / PSV; tuttavia si prevede di utilizzare una tipica nave di supporto offshore (OSV) durante le operazioni. I dettagli di un OSV generico sono presentati nella seguente tabella.

Sulla base dei dati disponibili da letteratura per le navi di supporto, si è fatto alle unità DP DSV Fu Lai e Setouchi Surveyor, entrambe utilizzate in passato come navi proxy per le navi di supporto (Zykov et al. 2013, McPherson et al. 2019). I dettagli delle due navi proxy proposte sono presentati nella seguente tabella.

Tabella 4: Caratteristiche Unità Navale PSV/Light Construction vessel

	Typical offshore supply vessel	DSV Fu Lai	Setouchi Surveyor
Length (m):	80.0	107.0	65.0
Breadth (m):	19.0	19.0	11.3
Draft (m):	6.3	6.6	4.9
Propulsion power (kW):	6 000	3 x bow thrusters (2×800-1200 BHP, 1×816BHP) 3 x stern thrusters (2×700 BHP, 1×816 BHP) 2×3700 BHP engines each driving a single variable pitch propeller	Stem propulsion system: 2 x 1000 BHP (5-blade directional fixed pitch props) Bow thrusters: 2 x 1300 BHP (6 blade-variable pitch props)
Total installed power (kW):	12 000	9 500	3 400
Power in use during data collection (kW):	n/a	2 237	2 237
Data source:	n/a	MacGillivray (2006)	Hannay et al. (2004)

I livelli di sorgente puntiforme per i due vessel DSV Fu Lai e Setouchi Surveyor sono rispettivamente 178.2 e 186.1 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$, e i livelli di sorgente per banda di terzi d'ottava per ciascuna delle potenziali navi proxy sono presentati nella seguente figura.

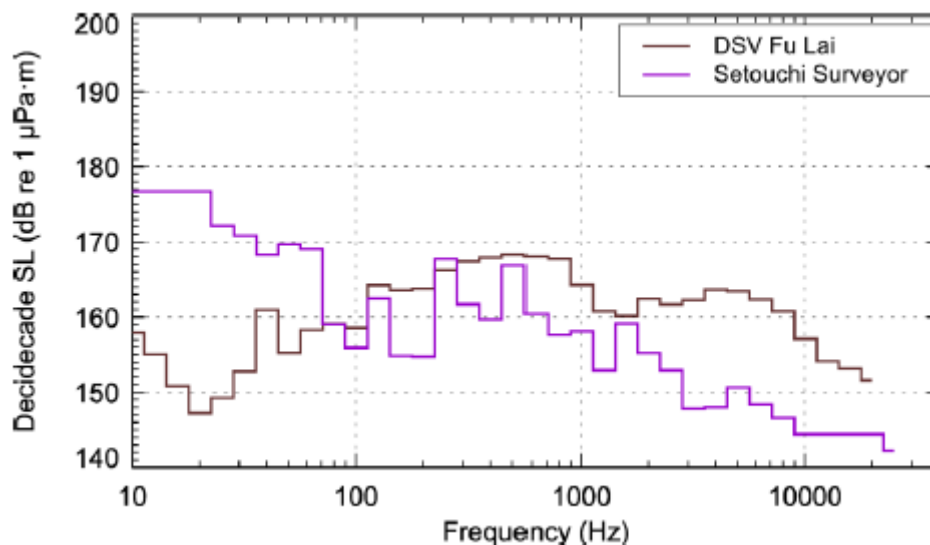


Figura 3: PSV/Light Construction Vessel - Livelli Sorgenti in Banda di Frequenza

La scelta del mezzo navale da utilizzare come proxy è caduta sul DSV Fu Lai, ritenuto maggiormente significativo in relazione ai maggiori livelli di rumore caratterizzanti i range di frequenze più significativi per le specie di interesse (oltre i 75Hz¹) nonché per le caratteristiche dimensionali e di potenza installata.

E.3.4 SURVEY VESSEL/SUBSEA CONSTRUCTION VESSEL

La seguente tabella illustra le caratteristiche dell'unità navale che si prevede di poter impiegare nel corso delle attività ("Calamity Jane" o equivalente).

¹ Limite inferiore delle frequenze udibili per i pinnipedi in acqua (75Hz-75kHz) indicato da Southall, 2007.

Tabella 5: Caratteristiche Unità Navale Survey Vessel/Subsea Construction Vessel

	<i>Calamity Jane</i>
Length (m):	150.9
Breadth (m):	20.2
Draft (m):	7.6
Propulsion system:	2 x 2 393 kW S.E.M.T Pielstick 6PC2-3L400 engines 2 x main propellers: 2.5 m diameter controllable pitch (2 x 30 t thrust) 4 x 1 150 kW Schottel SRP-1010 FP retractable azimuth thrusters
Total installed power (kW):	13 255

Non sono disponibili da letteratura livelli di sorgente specifici per il mezzo, tuttavia ai fini della modellazione del rumore emesso, si ritiene che la propulsione con sistema DP costituisca la fonte di rumore predominante.

Per tale motivo, si è fatto riferimento al medesimo proxy individuato per i mezzi di tipo PSV.

E.3.5 ANCHOR HANDLING TUG - AHT

Nel caso di necessità, si prevede l'impiego di una unità navale tipo AHT ("Union Princess" o equivalente), le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Da letteratura non risultano dati specifici per tale mezzo, per cui si sono considerati i valori di livello di sorgente per altri mezzi AHT (Hannay et al. 2004). Le due unità navali esaminate sono Katun e Britoil 51, le cui caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 6: Caratteristiche AHT

	<i>Union Princess</i>	<i>Katun</i>	<i>Britoil 51</i>
Length (m):	67.4	72.0	45.0
Breadth (m):	15.5	17.2	11.8
Draft (m):	7.4	6.3	5.6
Propulsion power (kW):	12 000	9000	4922
Data source	n/a	Hannay et al. (2004)	Hannay et al. (2004)

I livelli di sorgente puntiforme broad-band per il Katun sono 184,4 e 190,3 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$ rispettivamente durante l'ancoraggio e il transito e per Britoil 51 sono 199,7 e 190,9 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2 \text{m}^2$ rispettivamente durante l'ancoraggio e il transito.

I livelli di sorgente per banda di terzi d'ottava per i due mezzi sono presentati nella seguente figura.

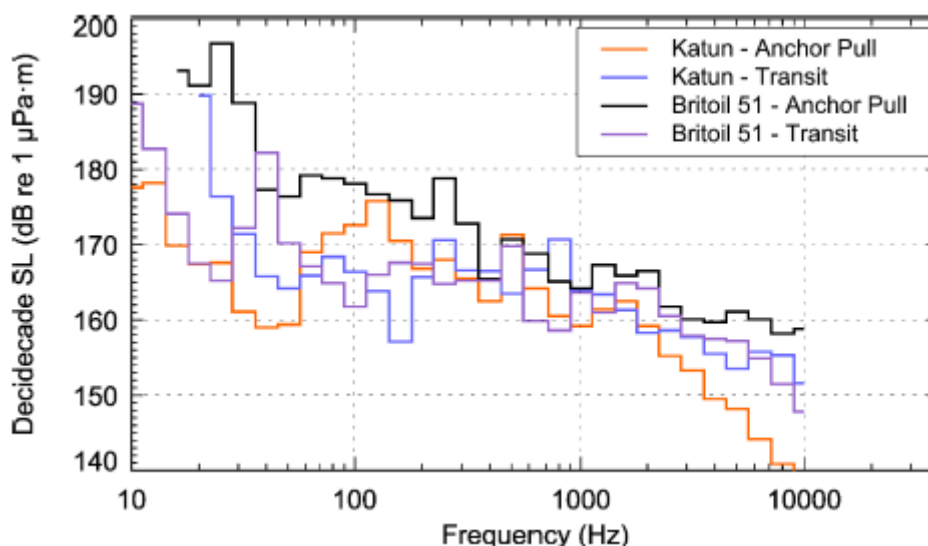


Figura 4: AHT - Livelli Sorgenti in Banda di Frequenza

Si evidenzia che le informazioni relative al Britoil 51 sono state riportate solo a titolo di riferimento. Si ritiene infatti che, sulle base delle caratteristiche dimensionali e di potenza installata del mezzo di previsto impiego per le attività di costruzione in progetto, la scelta del vessel proxy è ricaduta sul Katun, ritenuto maggiormente affine al mezzo di previsto impiego nonché rappresentativo per questa tipologia di unità navale.

E.3.6 FALLPIPE VESSEL

Il mezzo navale di previsto impiego, qualora risulti necessaria la realizzazione degli interventi di rock-dumping successivi alla posa della condotta, sarà costituito dall'unità navale con sistema dynamic positioning "Stornes", o equivalente. Le caratteristiche sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 7: Caratteristiche FallPipe Vessel

	<i>Stornes</i>
Length (m):	175.0
Breadth (m):	26.2
Draft (m):	10.6
Propulsion system:	3 x 1 500 kW bow thrusters 2 x 2 200 kW retractable thrusters
Total installed power (kW):	16 572

Non sono disponibili da letteratura livelli di sorgente specifici per il mezzo, tuttavia ai fini della modellazione del rumore emesso, si può ritenere che la propulsione con sistema DP costituisca la fonte di rumore predominante rispetto alle operazioni di rock dumping non presentano caratteristiche.

Per tale motivo, si è fatto riferimento al medesimo proxy individuato per i mezzi di tipo PSV.

E.3.7 TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA – TOC

Le operazioni di trivellazione orizzontale controllata – TOC saranno eseguite dalla terraferma, tramite una apparecchiatura di perforazione e attrezzature di supporto alla perforazione (pompe fanghi, unità di riciclaggio etc.).

La perforazione (a rotazione e con l'ausilio di fanghi) avverrà attraverso lo strato roccioso dal punto di ingresso a terra fino al punto uscita a mare, in corrispondenza del quale avverrà la posa della condotta ed il tiro a terra.

Al riguardo occorre evidenziare che in letteratura non sono stati rilevati studi dedicati che permettano la definizione di livelli di sorgente da considerare².

In ogni caso, poiché la maggior parte dell'attrezzatura di perforazione sarà posizionata a terra, si può ritenere che il rumore proveniente dalle operazioni dell'HDD non contribuirà in modo significativo al livello sonoro sottomarino nell'area di interesse rispetto ai contributi del rumore emesso dai mezzi navali impiegati per le attività di costruzione³.

E.3.8 SURVEY GEOFISICI

Preliminarmente alle operazioni di posa della condotta sono previste indagini specifiche finalizzate ad escludere la presenza di ordigni abbandonati lungo il tracciato della condotta. Tali operazioni saranno effettuate tramite strumentazione di tipo Multi Beam Echosounder, Side Scan Sonar e Sub Bottom Profiler, installata su di una unità tipo ROV.

Sulla base delle caratteristiche previste della strumentazione MBES/SSS/SBP, si può ritenere che l'impatto sui livelli complessivi di rumore sottomarino sarà minimo se confrontato con il rumore della nave utilizzata per la strumentazione ("survey vessel").

Sia l'MBES che l'SSS funzionano a frequenze molto alte (170 kHz +) e a queste frequenze è probabile che l'assorbimento dell'acqua di mare domini la perdita di propagazione dovuta alla trasmissione (fino a 50-60 dB per km), quindi è probabile che i livelli risultino inferiori alle soglie di riferimento a distanze nell'ordine della decina di metri dalla sorgente.

Il SBP ha una gamma di frequenza operativa inferiore ma è altamente direzionale in senso verticale con una propagazione laterale molto ridotta, quindi ancora una volta si può considerare l'impatto trascurabile rispetto al rumore della nave.

E.3.9 RUMORE DI FONDO

I livelli sonori ambientali o di fondo che contribuiscono a formare il paesaggio sonoro marino sono costituiti da fonti naturali e antropogeniche.

Le principali fonti ambientali di suono includono il vento e le precipitazioni atmosferiche.

Il rumore generato dal vento nell'oceano è ben descritto (ad esempio, Wenz 1962, Ross 1976) e il suono delle onde è noto per essere un importante contributo ai livelli sonori vicino alla costa (Deane 2000). Le precipitazioni sono una fonte di rumore frequente, con i contributi in genere si concentrano a frequenze superiori a 500 Hz. Alle basse frequenze (<100 Hz), i terremoti e altri eventi geologici possono contribuire al paesaggio sonoro.

Il suono antropogenico (generato dall'uomo) può essere un sottoprodotto delle operazioni della nave, come il suono del motore che si irradia attraverso gli scafi delle navi e i sistemi di propulsione, soprattutto per il fenomeno della cavitazione, oppure può essere prodotto intenzionalmente per lo svolgimento di rilievi sismici o sonar militari, risultando come i principali contributi nelle profondità del mare

Il contributo delle fonti antropogeniche al paesaggio sonoro degli oceani è aumentato dagli anni '50 al 2010, in gran parte guidato da un maggiore traffico marittimo (Ross 1976, Andrew et al. 2011). Le tendenze recenti suggeriscono che i livelli sonori globali stiano livellando o siano potenzialmente in calo in alcune aree (Andrew et al. 2011, Miksis-Olds e Nichols 2016).

² Si rileva un unico studio di Nedwell, 2012 ("Assessment of underwater noise during the installation of export power cables at the Beatrice Offshore Wind Farm" – Subacoustech Environmental Report No. E318R0106), nel quale si cita un valore misurato in ambiente fluviale poco profondo durante esecuzione di TOC (SPL 129.5 dB), tuttavia non vengono forniti dati ed informazioni sufficienti sulle condizioni di misura e metriche impiegate. Peraltro, a fronte del valore misurato, lo studio evidenzia come i valori risultino estremamente bassi, per cui non vengono ulteriormente utilizzati nello studio in esame.

³ In aggiunta a quanto osservato nello studio di JASCO, si evidenzia che le attività di perforazione in mare da impianto fisso non sono in genere considerate tra quelle caratterizzate da livelli di rumore significativi. Ad esempio, Simmonds (2004) riporta livelli broadband di sorgente (0.045-7.07 kHz) pari a SPL 59 dB re 1uPa-m con punte di 62.5 dB a frequenze di 16kHz, nel caso di perforazioni con impianto su jack-up, mentre valori più elevati sono riferiti alle perforazioni da nave.

Le attività di ricerca di idrocarburi in mare con airgun, l'infissione di pali e l'esercizio delle piattaforme di produzione possono comportare un innalzamento del rumore a distanze nell'ordine della decina fino al migliaio di km (Bailey et al. 2010, Miksis-Olds and Nichols 2016, Delarue et al.2018).

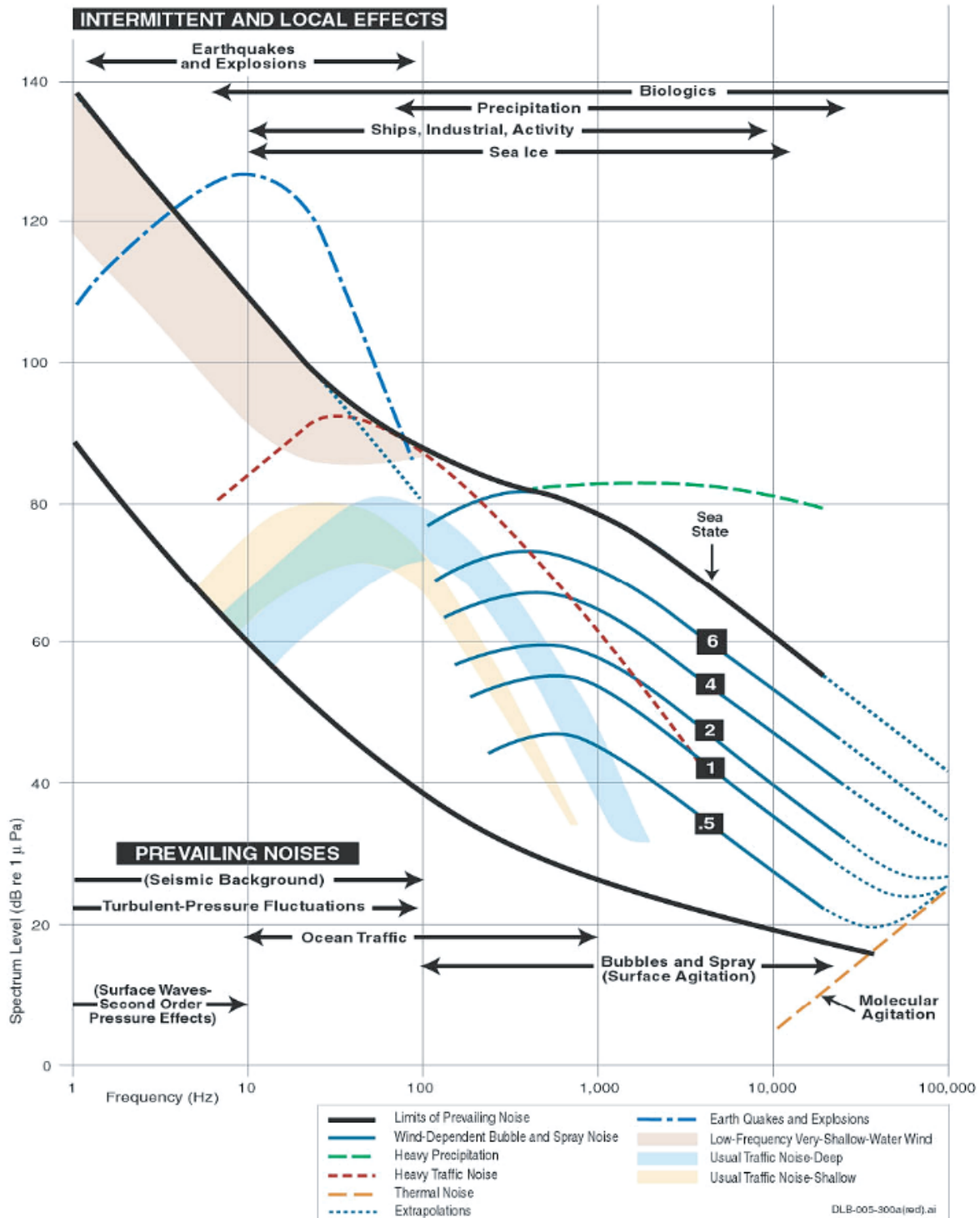


Figura 5: Rumore Sottomarino – Curve di Wenz della Densità Spettrale dei Livelli di Rumore Marino associati Fonti Naturali e Trasporto Marittimo (NRC 2003, adattato da Wenz, 1962)

Il Mar Adriatico e il Mar Ionio sono zone di navigazione piuttosto trafficate (si veda la seguente figura).

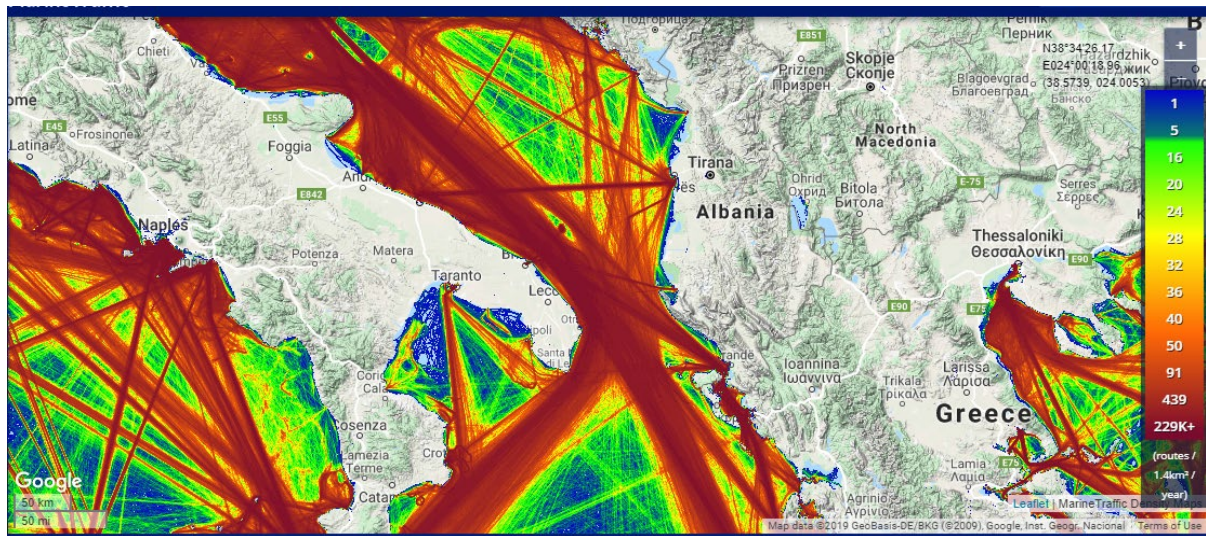


Figura 6: Mappa della Densità del Traffico Marino nel corso del 2017 (sito www.marinetraffic.com)

Si può pertanto ritenere che il rumore delle navi contribuisca maggiormente al rumore ambientale antropogenico nella regione.

In assenza di dati di monitoraggio a lungo termine per l'area, i livelli di rumore di fondo possono essere stimati sulla base delle curve di Wenz.

La conversione delle linee per i limiti del rumore prevalente in valori SPL a banda larga fornisce un valore di circa 119,3 dB re 1 μ Pa per il limite superiore e 70,8 dB re 1 μ Pa per il limite inferiore. La conversione di questi in SEL24h non ponderati equivalenti fornisce quindi valori di 168,7 e 120,1 dB re 1 μ Pa² s per i limiti superiore e inferiore, rispettivamente. Per una valutazione più precisa del rumore ambientale per l'area si potrebbe considerare la linea per il traffico intenso per le frequenze più basse e lo stato del mare per le frequenze più alte (la velocità media approssimativa del vento per il mese modellato). In questo caso, considerando come esempio il mese di Marzo (Sea state 2) i livelli equivalenti di banda larga SPL e SEL24h per il rumore ambientale sono rispettivamente 112,0 dB re 1 μ Pa e 161,4 dB re 1 μ Pa² s.

E.4 DEFINIZIONE DEGLI SCENARI

Sulla base delle attività di costruzione previste, delle unità navali e delle caratteristiche delle sorgenti di rumore individuate, si è provveduto all'identificazione degli scenari da considerare per la modellazione della propagazione del rumore marino.

La definizione degli scenari da modellare e delle unità navali da considerare si è basata sui seguenti criteri:

- ✓ individuazione dello scenario rappresentativo delle attività svolte in prossimità della costa ("Nearshore"), ai fini della valutazione dei livelli di rumore associati e della definizione delle necessarie misure di mitigazione e monitoraggio per le specie di mammiferi marini maggiormente significative (Tursiopo) o di cui è stata valutata la potenzialmente presenza (Foca monaca);
- ✓ individuazione dello scenario rappresentativo delle attività svolte in mare aperto ("Offshore"), ai fini della valutazione dei livelli di rumore associati e della definizione delle necessarie misure di mitigazione e monitoraggio per le specie di mammiferi marini maggiormente significative (Tursiopo) o potenzialmente presenti in prossimità della scarpata continentale.

La seguente tabella illustra i mezzi navali previsti nelle diverse fasi associate con i livelli di rumore delle sorgenti associate (proxy). Per maggiori dettagli in merito alle attività di costruzione si rimanda al Capitolo 3 del Progetto di Monitoraggio Ambientale.

Tabella 8: Sintesi degli Scenari

Tipologia Mezzo	Nearshore operations								Offshore operations									
	N1		N2		N3 a		N3b		N4		O1		O2		O3		O4	
	Scavo della Trincea	Equivalent Monopole BB source level	Uscita TOC	Equivalent Monopole BB source level	Tiro/Posa della condotta (Barge)	Equivalent Monopole BB source level	Pipe recovery	Equivalent Monopole BB source level	Tiro/Posa della condotta (DP Vessel)	Equivalent Monopole BB source level	Interventi pre-posa	Equivalent Monopole BB source level	Posa della condotta	Equivalent Monopole BB source level	Verifica post-posa	Equivalent Monopole BB source level	Interventi post-posa	Equivalent Monopole BB source level
TSHD DP Vessel ("Shoalway" o similare)	Sand Falcon	188,8																
Chiatta Posatubi ("Castoro 10" o similare)					-	-												
No. 2 rimorchiatori AHT ("Union Princess" o similari)	Katun (pull)	184,4	Katun (pull)	184,4	Katun (pull)	184,4												
PSV/Mezzo di costruzione leggero (vessel tipico)	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2			DSV Fu Lai	178,2
Nave posatubi Dynamic Positioning ("Castorone" o "Solitaire" o similare)							Solitaire	192	Solitaire	192			Solitaire	192				
Survey vessel / subsea construction vessel ("Calamity Jane" o similare)			DSV Fu Lai	178,2			DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2	DSV Fu Lai	178,2		
Falldown pipe vessel ("Stornes" o similare) o Construction vessel																	DSV Fu Lai	178,2
Guard vessel ("Union Princess" o similare)																	Katun (transit)	190,3
NUMERO MEZZI (Tra parentesi in caso di contingency/backup)	2 (4)		2 (4)		1(4)		(3)		3		2		3		(1)		(3)	
MAX NOISE LEVEL (MSL, dB re 1µPa ² m ²)	188,8		184,4		184,4		192		192		178,2		192		178,2		190,3	

Come si può osservare:

- ✓ per gli scenari nearshore, i livelli di sorgente più elevati (ritenuti maggiormente significativi per quanto riguarda il livello di rumore emesso) sono quelli caratterizzati dalla presenza della nave posatubi (posa della condotta e tiro);
- ✓ per gli scenari offshore, analogamente, i livelli di sorgente più elevati (ritenuti maggiormente significativi per quanto riguarda il livello di rumore emesso) si rilevano nella fase di posa, in relazione alla presenza della nave posatubi;
- ✓ nei casi considerati di contingency/backup o nel caso alternativo della posa in acque poco profonde con barge (nearshore), si rileva un possibile maggior numero di mezzi navali, caratterizzati tuttavia da livelli massimi di sorgente meno elevati dei precedenti;

La scelta degli scenari considerati per la modellizzazione è pertanto ricaduta sulla posa della condotta con nave DP (sia nearshore che offshore), considerando la presenza contemporanea di:

- ✓ nave posa tubi;
- ✓ PSV;
- ✓ survey vessel.

Si evidenzia che la modellizzazione delle medesime sorgenti nei due scenari permette di valutare la variazione nella propagazione del rumore in considerazione delle diverse condizioni ambientali al contorno (in particolare morfologia e caratteristiche geoacustiche).

Per l'ubicazione delle sorgenti si è considerata l'unità navale posizionata lungo il tracciato di posa, con il survey vessel posizionato lungo il tracciato a una distanza di sicurezza di 100 m in direzione della poppa (ovvero verso l'approdo di Otranto) ed il PSV posizionato parallelamente alla nave posa tubi, anche in questo caso ad una distanza di sicurezza di 100 m. In particolare:

- ✓ per lo scenario nearshore si è considerata la nave posa tubi posizionata in corrispondenza del punto di minore distanza dalla grotta potenzialmente idonea alla presenza di foca monaca più prossima al tracciato. Il PSV è stato ipotizzato sul lato di sinistra (in direzione della costa);
- ✓ per lo scenario offshore si è considerata la nave posa tubi posizionata in corrispondenza del limite delle 12Nm dalla linea di base, nella posizione interna all'area di studio più prossima alla scarpata continentale. Il PSV è stato ipotizzato sul lato di dritta (in direzione della costa).

L'ubicazione dei punti di sorgente dei due scenari modellizzati e le coordinate dei punti, insieme alle relative profondità di fondale, sono illustrati nella seguente tabella e figura.

Figura 7: Posizione delle Sorgenti Modellizzate

Site	Vessel	Latitude	Longitude	UTM (WGS84), Zone 34 N		Water depth (m)
				X (m)	Y (m)	
Offshore	Pipelay vessel	39° 52' 9.8242" N	18° 41' 21.3359" E	302371	4415817	131.1
	Platform Supply Vessel (PSV)	39° 52' 15.9916" N	18° 41' 10.2278" E	302112	4416014	128.4
	Survey vessel	39° 52' 6.4198" N	18° 41' 18.1253" E	302292	4415714	130.8
Nearshore	Pipelay vessel	40° 9' 15.7284" N	18° 30' 24.7572" E	287656	4447871	48.5
	Platform Supply Vessel (PSV)	40° 9' 17.7048" N	18° 30' 19.9044" E	287543	4447935	44.1
	Survey vessel	40° 9' 6.4440" N	18° 30' 18.2664" E	287495	4447589	40.0

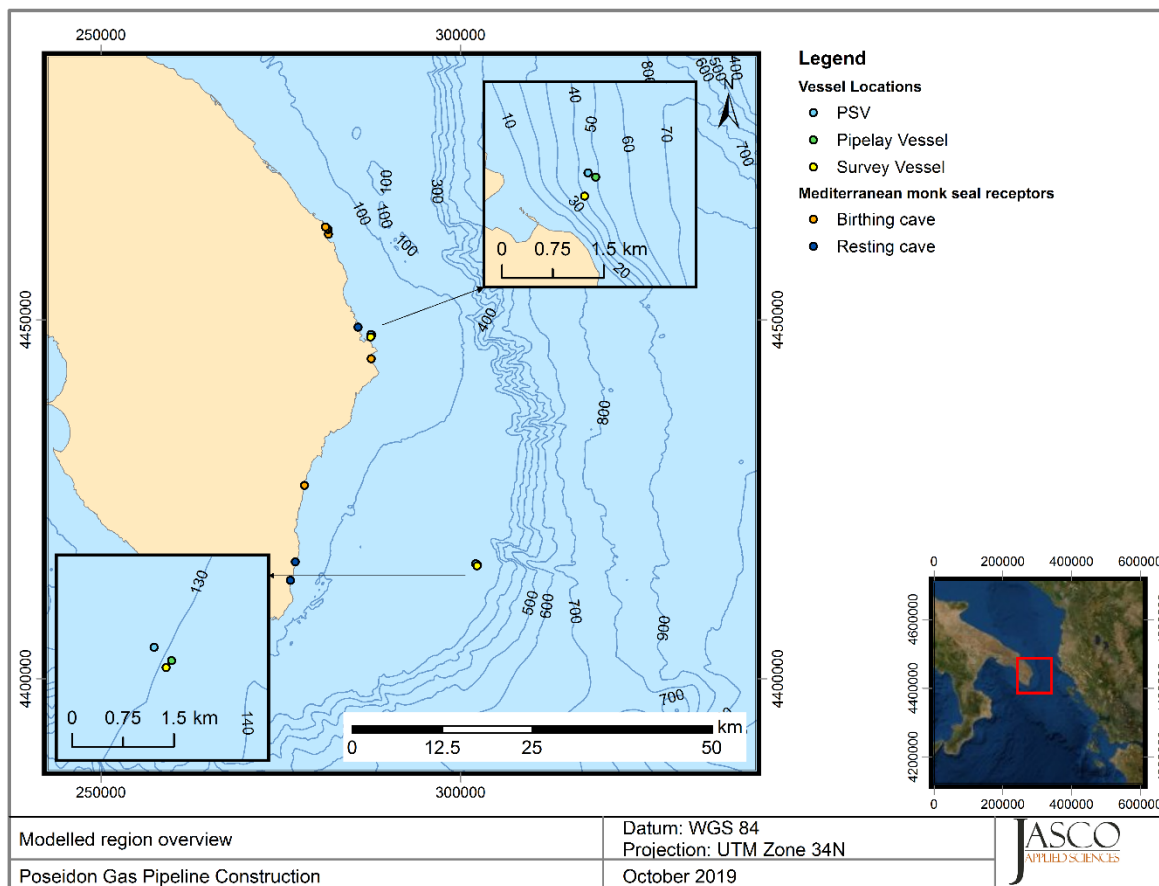


Figura 8: Ubicazione delle Sorgenti Modellizzate

E.5 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO

E.5.1 METODOLOGIA IMPIEGATA

La modellizzazione della propagazione del rumore è stata effettuata da JASCO con un software proprietario dedicato, che impiega un'equazione parabolica di tipo range-dependent accoppiata a un modello gaussiano ray-trace (MONM-BELLHOP) per stimare il campo acustico attorno alle navi per frequenze da 10 Hz a 25 kHz.

Gli spettri di sorgente acustica di ciascun mezzo navale sono stati utilizzati nella modellazione di propagazione per calcolare il campo SPL nell'area di indagine.

Il campo SPL è stato quindi convertito in SEL_{24h} usando l'equazione

$$SEL_{24h} = SPL + 10 \text{ Log}_{10}(T)$$

dove T = 86400 secondi (pari al numero di secondi in 24 ore), assumendo che le navi operino su una base costante di 24 ore.

E.5.2 SORGENTI DI RUMORE

Le caratteristiche delle sorgenti da utilizzare come input al modello sono state definite sulla base delle navi di previsto impiego o, laddove non disponibili dati di letteratura, state prese in considerazione le unità navali di riferimento (proxy).

Si evidenzia che le navi proxy sono state selezionate tra quelle ritenute idonee sulla base dell'adozione di un approccio conservativo nella scelta della nave con il livello di fonte più elevato.

Poiché la fonte di rumore dominante dalle navi è la cavitazione dell'elica, la profondità della sorgente (Z_s) di ciascuna nave è stata stimata in base al diametro e alla profondità dell'elica usando la seguente equazione di Gray e Greeley (1980):

$$Z_s = D - 0.85d$$

dove D è la profondità del centro dell'elica e d è il diametro dell'elica. Un riepilogo delle sorgenti acustiche, inclusi i livelli di sorgenti puntiforme ("monopole") utilizzati nella modellazione sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 9: Vessel Proxy Utilizzati per la Modellizzazione

Modelled vessel type	Proxy vessel name	Source depth (m)	Broadband MSL (dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$)
Pipelay vessel	<i>Solitaire</i>	9.13	192.0
PSV	<i>DSV Fu Lai</i>	6.00	178.2
Survey vessel	<i>DSV Fu Lai</i>	6.93	178.2

Gli spettri sonori delle sorgenti sono quindi illustrati nella seguente figura. Si evidenzia che le le sorgenti modellizzate sono state assunte come fonti puntuali omnidirezionali.

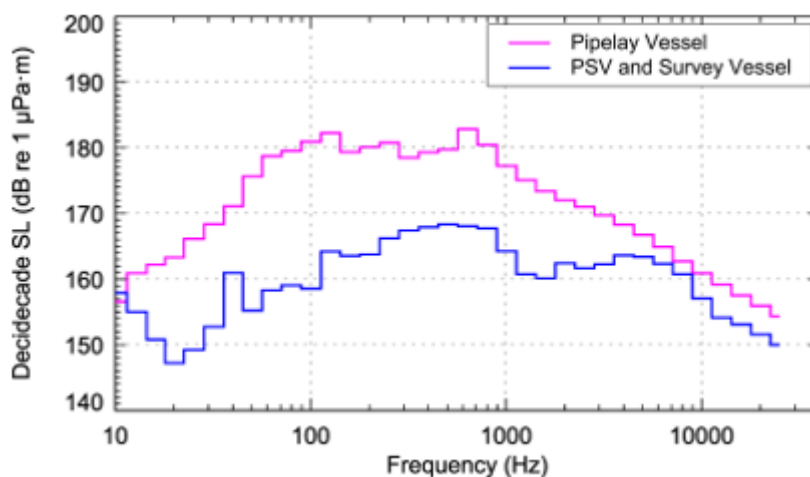


Figura 9: Spettro Acustico in Banda di Terzi d'Ottava utilizzato per la Modellizzazione

La nave posatubi considerata è una unità navale di grandi dimensioni, con propulsione Dynamic Positioning ("Solitaire"). L'unità è lunga circa 300m, con larghezza circa 40m e pescaggio di 10m, e potenza di propulsione di 46800 kW.

I livelli di sorgente broad-band e in terzi di banda d'ottava sono stati derivati dalle misurazioni effettuate da Nedwell ed Edwards (2004), con Monopole Source Level - MSL di 192 dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$.

Lo spettro in bande di terzi d'ottava è stato definito durante operazioni di posa e con il sistema DP operativo; gli alti livelli di sorgente a frequenze tra circa 200 e 800Hz erano associati principalmente al posizionamento dinamico della nave e ai movimenti del propulsore.

Per l'unità tipo PSV si è fatto riferimento alla nave DP "DSV Fu Lai", lunga circa 107m, larga 19m e con pescaggio 6.6m, con potenza installata di 9600 kW inclusi 3 propulsori di prua e 3 propulsori di poppa.

I livelli di sorgente broad-band ed in banda di terzi d'ottava sono stati derivati dalle misurazioni effettuate da MacGillivray (2006), con MSL 178,2 re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2$.

Il survey vessel previsto per le attività è costituito dalla nave "Calamity Jane" (o equivalente, con lunghezza di circa 150m, larghezza 20m e pescaggio 7.6m, con potenza installata totale di 13255 kW e una potenza di propulsione di 9386 kW. Ai fini della modellazione si è ritenuto che il sistema DP sia la fonte di rumore predominante e sono stati assunti i valori riferiti alla nave "DSV Fu Lai". Poiché la potenza di propulsione del DSV Fu Lai e Calamity Jane

sono approssimativamente uguali (rispettivamente 9600 e 9386 kW), non è stato eseguito alcun ridimensionamento a livello di sorgente.

E.5.3 STIMA DELLE DISTANZE R_{MAX} E $R_{95\%}$

I livelli sonori sono stati calcolati in base ai campi di rumore definiti tramite i modelli di propagazione, campionati prendendo il valore massimo su tutte le profondità modellate sopra il fondale marino per ogni posizione all'interno dell'area di studio.

Sono state quindi definite le distanze previste a cui vengono raggiunti gli specifici livelli specifici. Si evidenzia che sono state considerate due distanze relative alla sorgente per ciascun livello sonoro (si veda l'esempio in figura):

- ✓ R_{max} , pari alla massima distanza su tutte le direzioni considerate;
- ✓ $R_{95\%}$, ovvero la distanza oltre la quale i punti a distanza maggiore sono inferiori al 5%.

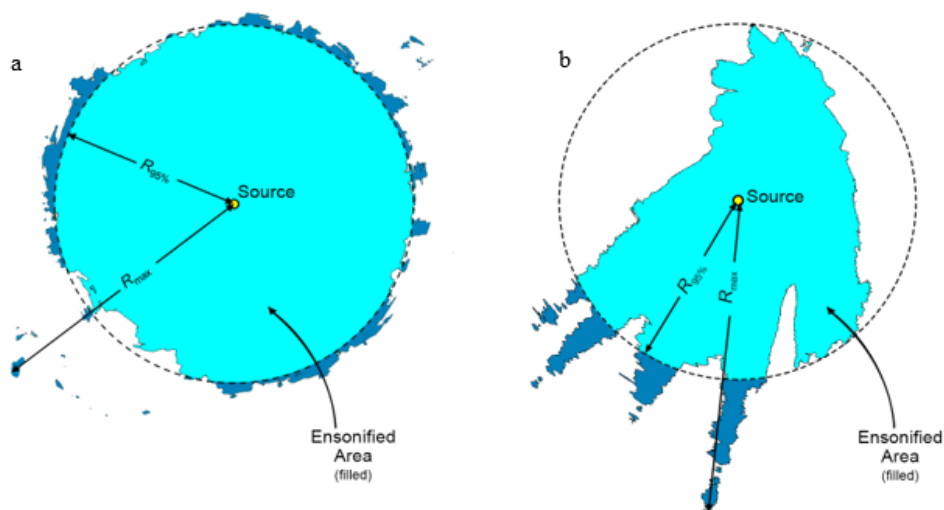


Figura 10: Distanze R_{max} e $R_{95\%}$

L' $R_{95\%}$ viene utilizzato perché le superfici descritte dai campi sonori sono spesso di forma irregolare.

In alcuni casi, un contorno del livello sonoro potrebbe presentare piccole sporgenze o frange isolate anomale. In casi come questo, in cui relativamente pochi punti sono esclusi in una determinata direzione, R_{max} può rappresentare in modo errato l'area della regione esposta a tali effetti e l' $R_{95\%}$ è considerato più rappresentativo. Al contrario, in casi fortemente asimmetrici radialmente, l' $R_{95\%}$ potrebbe trascurare frange significative del campo sonoro. In tali casi, R_{max} potrebbe rappresentare meglio la regione di effetto in direzioni specifiche.

Casi come questo sono generalmente associati a caratteristiche batimetriche che influenzano in questo senso la propagazione. La differenza tra R_{max} e $R_{95\%}$ dipende dalla direttività della sorgente e dalla non uniformità dell'ambiente acustico.

E.5.4 PARAMETRI AMBIENTALI

E.5.4.1 Batimetria

La batimetria ad alta risoluzione è risultata disponibile per una limitata area del fondale marino lungo il tracciato della condotta, vicino alla costa italiana. Per integrare questi dati, le profondità in tutta l'area modellata sono state estratte dalla griglia batimetrica europea EMODnet, con estensione $1/16 \times 1/16$ arco minuto (circa 115×115 m) renderizzata per i bacini marittimi europei (EMODnet Bathymetry Consortium 2018).

La batimetria ad alta risoluzione è stata sovrapposta alla batimetria EMODnet e interpolata per un buffer di 500 m attorno ai dati ad alta risoluzione per preservarne la fedeltà. La batimetria per un'area di 300×300 km è stata estratta e ri-grigliata, con una griglia di curvatura minima, su una proiezione di coordinate della Zona 34 (datum WGS84 di Universal Transverse Mercator) con una spaziatura regolare della griglia di 100×100 m.

E.5.4.2 Parametri Geoacustici

In un ambiente poco profondo, le interazioni tra il campo acustico e il fondo marino sono importanti e sono necessari precisi profili geoacustici per una corretta modellazione acustica. Le interazioni tra il campo acustico e il fondo marino diventano meno significative in acque molto profonde.

Sia per lo scenario offshore che per quello nearshore, le caratteristiche dello strato superficiale sono state determinate sulla base delle informazioni disponibili ed integrate con dati di letteratura disponibili pubblicamente per le stratigrafie più profonde. Il modello MONM-BELLHOP considera solo le proprietà delle onde di taglio dello strato superficiale; quindi questi valori sono stati considerati costanti in tutto lo strato del fondo marino.

E.5.4.2.1 Scenario Offshore

Per il sedimento superficiale nell'area di studio è stata considerata la presenza di argilla calcarea sabbiosa molto morbida, considerata nella modellizzazione come "come argilla sabbia-limo" con riferimento ai dati da Hamilton (1980). Un sondaggio in aree prossime (Lopez e Biondino 1983) ha indicato la presenza di uno strato sotterraneo di formazione "grainstone", considerata nella modellizzazione come calcare con riferimento alle proprietà definite da di Jensen et al. (2011).

Un riepilogo delle proprietà geoacustiche per lo scenario offshore è riportato nella seguente tabella.

Tabella 10: Scenario Offshore – Caratteristiche Geoacustiche Utilizzate nella Modellizzazione

Depth below seafloor (m)	Material	Density (g/cm ³)	P-wave speed (m/s)	S-wave speed (m/s)	P-wave attenuation (dB/λ)	S-wave attenuation (dB/λ)
0-400	Sand-silt-clay	1.6-2.0	1558.25-2183.61	286.73	0.23-1.04	1.38
400+	Limestone	2.4	3000		0.1	

E.5.4.2.2 Scenario Nearshore

Per il sedimento superficiale nell'area di studio è stata considerata la presenza di sabbia ghiaiosa da media a grossa, con calcareniti affioranti e compatte. Per tale strato si è fatto riferimento alle caratteristiche di "sabbia grossolana" riportate da Hamilton (1980), sovrapponendolo ad uno strato di calcarenite semi-cementata e calcarenite ben cementata, secondo i valori riportati da Duncan e Gavrilov (2012).

Un riepilogo delle proprietà geoacustiche per lo scenario offshore è riportato nella seguente tabella.

Tabella 11: Scenario Nearshore – Caratteristiche Geoacustiche Utilizzate nella Modellizzazione

Depth below seafloor (m)	Material	Density (g/cm ³)	P-wave speed (m/s)	S-wave speed (m/s)	P-wave attenuation (dB/λ)	S-wave attenuation (dB/λ)
0-10	Coarse sand	2.03-2.05	1808.85-1825.94	473.96	0.85-0.84	6.26
10-50	Semi-cemented sand/calcarenite	2.2	2000		0.3	
50+	Well-cemented calcarenite	2.7	2600		0.5	

E.5.4.3 Profilo di Velocità

Il profilo di velocità del suono in acqua per entrambi gli scenari è stato ricavato dai profili di temperatura e salinità del General Environmental Digital Model V 3.0 (GDEM; Teague et al. 1990, Carnes 2009) dell'Ufficio Navale Oceanografico Statunitense. GDEM fornisce una climatologia oceanica della temperatura e della salinità per gli oceani del mondo su una griglia di latitudine-longitudine con una risoluzione di 0,25 °, con una risoluzione temporale di un mese, basata su osservazioni storiche globali dal Master Oceanographic Observational Data Set (MOODS). I profili di climatologia includono 78 punti di profondità fissa fino a una profondità massima di 6800 m (dove

applicabile). I profili GDEM temperatura-salinità sono stati convertiti in profili di velocità del suono secondo Coppens (1981).

Il profilo della velocità del suono rappresentativo del mese di Marzo è stato scelto per rappresentare le condizioni più conservative per la modellazione, in quanto ha il gradiente più piatto vicino alla superficie; questa è la condizione più sfavorevole in termini di maggiore propagazione del suono a lungo raggio.

Il profilo di velocità del suono è stato generato utilizzando i profili di temperatura e salinità estratti per tale mese per le coordinate 40,25 ° N, 18,5 ° E fino a una profondità di 200 m. Il profilo è stato quindi combinato con i dati per le coordinate 40 ° N, 19 ° E per estendere il profilo sino alla profondità di 900 m e con dati relativi alle coordinate da 39,25 ° N, 18 ° E per estendere ulteriormente il profilo fino ad una profondità di 2400 m. Oltre questa profondità, i dati sono stati estrapolati linearmente fino a 2549,5 m.

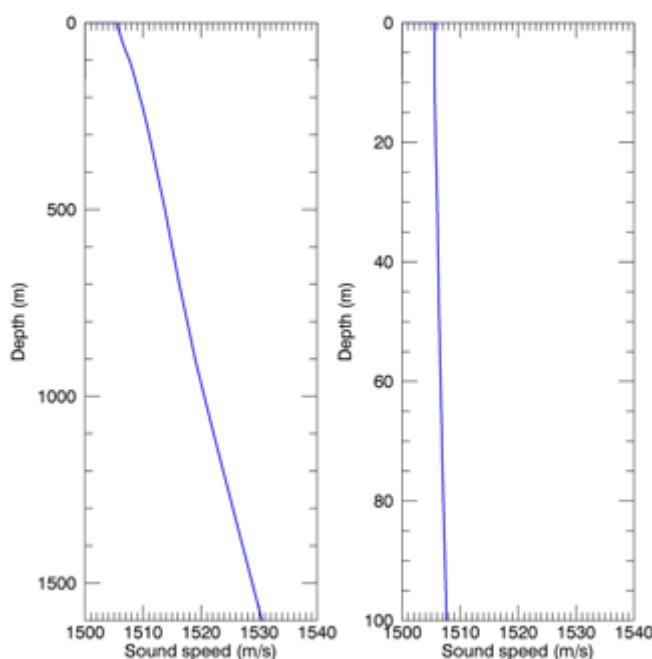


Figura 11: Profilo di Velocità utilizzato per la Modellizzazione

E.5.5 GEOMETRIA DEL MODELLO

Per valutare tramite modello MONM-BELLHOP le distanze cui vengono raggiunti i livelli di riferimento, i campi sonori di ciascuna nave sono stati modellati fino a d almeno 50 km dalla posizione della sorgente, considerando ricevitori posti ad una distanza verticale con separazione orizzontale di 10 m lungo le direzioni modellizzate.

I campi sonori sono stati modellati con una risoluzione angolare orizzontale di 2,5 ° per un totale di N = 144 piani radiali. Le profondità dei ricevitori sono state scelte per coprire l'intera colonna d'acqua nell'area di studio, da 1 m fino a un massimo di 1400 m, con distanze verticale incrementate in relazione alla profondità.

I risultati modellizzati della propagazione, espressi come perdita di trasmissione rispetto al livello di sorgente per le bande in terzi d'ottava da 10 a 794 Hz (stimati tramite MONM) sono stati integrati con i risultati per le bande in terzi d'ottava tra 1 e 25 kHz (stimati tramite BELLHOP) per definire i valori relativi all'intera banda di interesse.

E.6 CRITERI UTILIZZATI PER LA VALUTAZIONE DEI POSSIBILI EFFETTI

Il rumore subacqueo può influire sulla fauna marina in vari modi e le valutazioni di impatto si basano su criteri complessi.

In una valutazione dei possibili effetti del rumore generato da una attività sulle specie marine andrebbero considerate le diverse possibili conseguenze, in termini di danni, disturbi ed effetti cronici.

Dovrebbe inoltre essere considerato se questi effetti potrebbero derivare da un singolo evento o in conseguenza di una esposizione cumulativa. Alcuni requisiti regolamentatori validi nel contesto internazionale generalmente fanno riferimento ai primi due aspetti, ma i soggetti pubblici sembrano orientarsi sempre di più anche sulla valutazione degli effetti cronici e cumulativi.

Le opinioni degli esperti del settore risultano tuttavia divergenti sul miglior metodo per stimare i possibili effetti di danno e di disturbo sulle specie. Poiché la valutazione degli effetti cronici è ancora più complessa e più difficile da quantificare, al momento non esiste un consenso su come eseguire tali valutazioni.

Il presente studio ha fatto riferimento ai seguenti criteri:

- ✓ Soglie di livello di esposizione al rumore ponderate in frequenza (SEL; LE) per potenziali danni ai mammiferi marini, basate su NMFS (2018);
- ✓ Soglia comportamentali basate sui criteri NMFS (NMFS 2013) per mammiferi marini in generale (pari a di 120 dB re 1 μ Pa SPL per sorgenti sonore continue);
- ✓ Soglie di livello di pressione acustica SPL per potenziali danni ai pesci sulla base delle linee guida sull'esposizione al suono dei pesci di Popper et al. (2014).

Si evidenzia che i criteri di soglia NMFS (2018) sono ritenute le più recenti linee guida sulle best-practice applicabili alla valutazione degli impatti dei mammiferi marini.

E.6.1 VALORI DI RIFERIMENTO PER I MAMMIFERI MARINI

E.6.1.1 Livelli Soglia di Danno

I recenti criteri stabiliti dal National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) per potenziali danni (NMFS 2018) e le precedenti versioni (NOAA 2013, 2015, NMFS 2016) sono stati oggetto di esame e discussione da parte degli Esperti del settore. Il presente studio ha pertanto considerato i metodi specifici e le soglie per danno potenziale riassunti da NMFS (2018), riportati nella seguente tabella.

Tabella 12: Livello di Pressione Acustica non ponderata (SPL) e Livello di Esposizione al Rumore di 24 ore (SEL_{24h}) per Effetti Acustici di Rumore Continuo su Mammiferi Marini

Hearing group	NMFS (2013)	NMFS (2018)	
	Behaviour	Injury (PTS)	(TTS)
	SPL (dB re 1 μ Pa)	Weighted SEL _{24h} (dB re 1 μ Pa ² -s)	Weighted SEL _{24h} (dB re 1 μ Pa ² -s)
High-frequency cetaceans	120	173	153
Mid-frequency cetaceans		198	178
Low-frequency cetaceans		199	179
Phocid pinnipeds in water		201	181

Esistono due categorie di possibile effetto sulla soglia uditiva (perdita dell'udito):

- ✓ spostamento permanente della soglia uditiva (PTS) attribuibile ad una lesione fisica agli organi uditivi di un animale;
- ✓ spostamento temporaneo della soglia uditiva (TTS) rappresentato da una riduzione temporanea della sensibilità uditiva di un animale a causa dell'affaticamento delle cellule ciliate del recettore nella coclea.

Il presente studio fa riferimento ad entrambe i criteri raccomandati da NMFS (2018), considerando sia la PTS che la TTS.

E.6.1.2 Livelli di Disturbo Comportamentale

A differenza dei livelli soglia per il potenziale danno, per quanto riguarda i possibili effetti di tipo comportamentale non risulta pubblicata alcuna guida recente sulle soglie di disturbo per i mammiferi marini.

NMFS ha storicamente usato come criterio di livello sonoro per i suoni continui, il valore 120 dB re 1 μ Pa SPL, applicabile in generale a tutti i mammiferi marini (NMFS 2013). Nel presente studio si è fatto riferimento a tale valore.

E.6.2 VALORI DI RIFERIMENTO PER PESCI E RETTILI MARINI

Nel 2006, è stato istituito il gruppo di lavoro sugli effetti del suono su pesci e tartarughe marine per continuare a sviluppare criteri di esposizione al rumore iniziato da un gruppo di esperti scientifici NOAA due anni prima. Il gruppo di lavoro ha sviluppato linee guida con soglie specifiche per diversi livelli di effetti per diversi gruppi di specie (Popper et al. 2014). Le linee guida definiscono soglie quantitative per tre tipi di effetti immediati:

- ✓ mortalità, compresi i danni che possono causarla;
- ✓ danni recuperabili, inclusi quelli che difficilmente potrebbero causare mortalità (es: danni alle cellule ciliate);
- ✓ TTS.

Gli effetti di mascheramento e comportamentali possono essere valutati qualitativamente, valutando il rischio relativo anziché mediante soglie specifiche di livello sonoro. Tuttavia, poiché dipendono da intervalli soggettivi basati sull'attività, questi effetti non sono considerati ai fini del presente studio e sono inclusi nella seguente tabella solo per completezza. Poiché la presenza o l'assenza di una vescica natatoria ha un ruolo nell'udito, la suscettibilità dei pesci a possibili danni dovuti all'esposizione al rumore dipende dalle specie e dalla presenza e dal possibile ruolo di una vescica natatoria nell'udito. Pertanto, sono state proposte soglie diverse per i pesci senza vescica natatoria, pesci con una vescica natatoria non utilizzata per l'udito e pesci che usano le vesciche natatorie per l'udito. Tartarughe, uova di pesce e larve di pesce sono considerate separatamente; tuttavia, a causa della mancanza di dati relativi agli effetti del rumore sulle tartarughe, le soglie per questo gruppo sono in gran parte basate su quelle per i pesci.

La tabella illustra i livelli soglia di effetti definiti da Popper et al. (2014) per trasporti marittimi e rumore continuo.

Tabella 13: Criteri per l'Esposizione al Rumore Continuo per Pesci e Tartarughe Marine, adattati da Popper et al. (2014)

Type of animal	Mortality and Potential mortal injury	Impairment			Behaviour
		Recoverable injury	TTS	Masking	
Fish: No swim bladder (particle motion detection)	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) High (F) Moderate	(N) Moderate (I) Moderate (F) Low
Fish: Swim bladder not involved in hearing (particle motion detection)	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) High (F) Moderate	(N) Moderate (I) Moderate (F) Low
Fish: Swim bladder involved in hearing (primarily pressure detection)	(N) Low (I) Low (F) Low	170 dB SPL for 48 h	158 dB SPL for 12 h	(N) High (I) High (F) High	(N) High (I) Moderate (F) Low
Sea turtles	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) High (F) Moderate	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish eggs and fish larvae	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) Low (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low	(N) Moderate (I) Moderate (F) Low

E.7 RISULTATI DELLA MODELLIZZAZIONE

Il presente Capitolo riporta i risultati della modellizzazione del rumore sottomarino per gli scenari considerati, in forma di tabelle e di mappe del rumore.

I risultati nelle tabelle fanno riferimento alle distanze Rmax e R95%, così come definite in precedenza, mentre le mappe dei campi sonori mostrano i valori SEL come massimo valore lungo l'intera colonna d'acqua.

E.7.1 SCENARIO OFFSHORE

I valori riportati fanno riferimento alla propagazione del rumore sia per le singole navi considerate che per presenza contemporanea.

I risultati sono presentati in forma di SEL24h e SPL.

Tabella 14: Scenario Offshore - Distanze Massime (Rmax) e 95% (R95%) (in km) per i valori SEL24h non ponderati (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

SEL _{24h} (L _E ; dB re 1 μPa ² -s)	Pipelay vessel		PSV		Survey vessel		All vessels	
	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}
200	0.17	0.16	0.03	0.03	0.03	0.03	0.29	0.26
190	0.84	0.81	0.11	0.11	0.11	0.11	0.96	0.88
180	3.73	3.41	0.51	0.39	0.40	0.38	3.92	3.50
170	28.0	19.0	2.33	1.93	2.44	1.96	28.7	20.3
160	*	*	10.3	8.6	12.0	9.0	*	*
150	*	*	66.0	50.8	69.8	52.3	*	*

* Radii extend beyond modelling boundary.

Tabella 15: Scenario Offshore - Distanze Massime (Rmax) e 95% (R95%) (in km) per i valori SPL (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

SPL (L _A ; dB re 1 μPa)	Pipelay vessel		PSV		Survey vessel		All vessels	
	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}
170	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.23	0.22
160	0.05	0.05	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.23	0.22
150	0.18	0.18	0.04	0.03	0.03	0.03	0.30	0.27
140	0.90	0.84	0.12	0.12	0.12	0.11	0.99	0.90
130	6.08	3.82	0.60	0.60	0.59	0.57	6.45	3.96
120†	29.6	22.9	2.60	2.29	2.62	2.27	34.8	23.5
110	*	*	12.2	9.52	12.5	9.94	*	*

* Radii extend beyond modelling boundary.

† Threshold for marine mammal behavioural response to continuous noise (NMFS 2013).

Tabella 16: Scenario Offshore - Distanze Massime (Rmax) (in km) per i valori soglia SEL24h per i mammiferi marini in base alla Guida tecnica NOAA-NMFS 2018 (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

Hearing group	SEL _{24h} impact threshold	SEL _{24h} threshold level (L _E ; dB re 1 μPa ² ·s)	Range R _{max} (km)			
			Pipelay vessel	PSV	Survey vessel	All vessels
High-frequency cetaceans	PTS	173	0.11	0.07	0.06	0.29
	TTS	153	2.37	0.83	1.43	2.76
Mid-frequency cetaceans	PTS	198	–	–	–	0.12
	TTS	178	0.10	0.06	0.05	0.28
Low-frequency cetaceans	PTS	199	0.15	0.03	0.03	0.27
	TTS	179	3.46	0.37	0.36	3.70
Phocid pinnipeds in water	PTS	201	0.04	0.01	0.01	0.23
	TTS	181	0.61	0.13	0.13	0.75

A dash indicates the threshold is not reached at any distance.

Tabella 17: Scenario Offshore - Distanze Massime (Rmax) (in km) per i valori soglia SPL per i Pesci indicati da Popper et al. (2014) (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

Hearing group	SPL impact threshold	SPL threshold level (L ₀ ; dB re 1 μPa)	Range R _{max} (km)			
			Pipelay vessel	PSV	Survey vessel	All Vessels
Fish: Swim bladder involved in hearing	Recoverable injury	170 dB SPL for 48 h	0.01	<0.01	<0.01	0.23
	TTS	158 dB SPL for 12 h	0.07	0.01	0.01	0.25

Di seguito vengono quindi riportate le mappe dei livelli di rumore per i campi sonori SEL24h e SPL. Nelle figure sono inoltre mostrate le distanze a cui vengono raggiunti i valori soglia SEL24h NMFS (2018).

Si evidenzia che le distanze delle curve isoplete vicino alle sorgenti sono spesso simili in tutte le direzioni. Tuttavia, in relazione alla variazione delle caratteristiche ambientali, le distanze per le isoplete minori (più lontane dalle sorgenti) presentano andamenti diversi con le direzioni considerate.

Tale fenomeno può comportare la presenza di aree di piccole dimensioni con livelli di rumore localmente più elevati (come evidenziato dalle differenze tra i valori Rmax e R95%).

Il campo sonoro risultante la modellizzazione sembra inoltre interrompersi in alcuni mappe a causa dell'impossibilità di propagazione del rumore attraverso l'area a terra, dando luogo ad un'ombra acustica in cui il livello di rumore originato dalle attività risulta fortemente limitato.

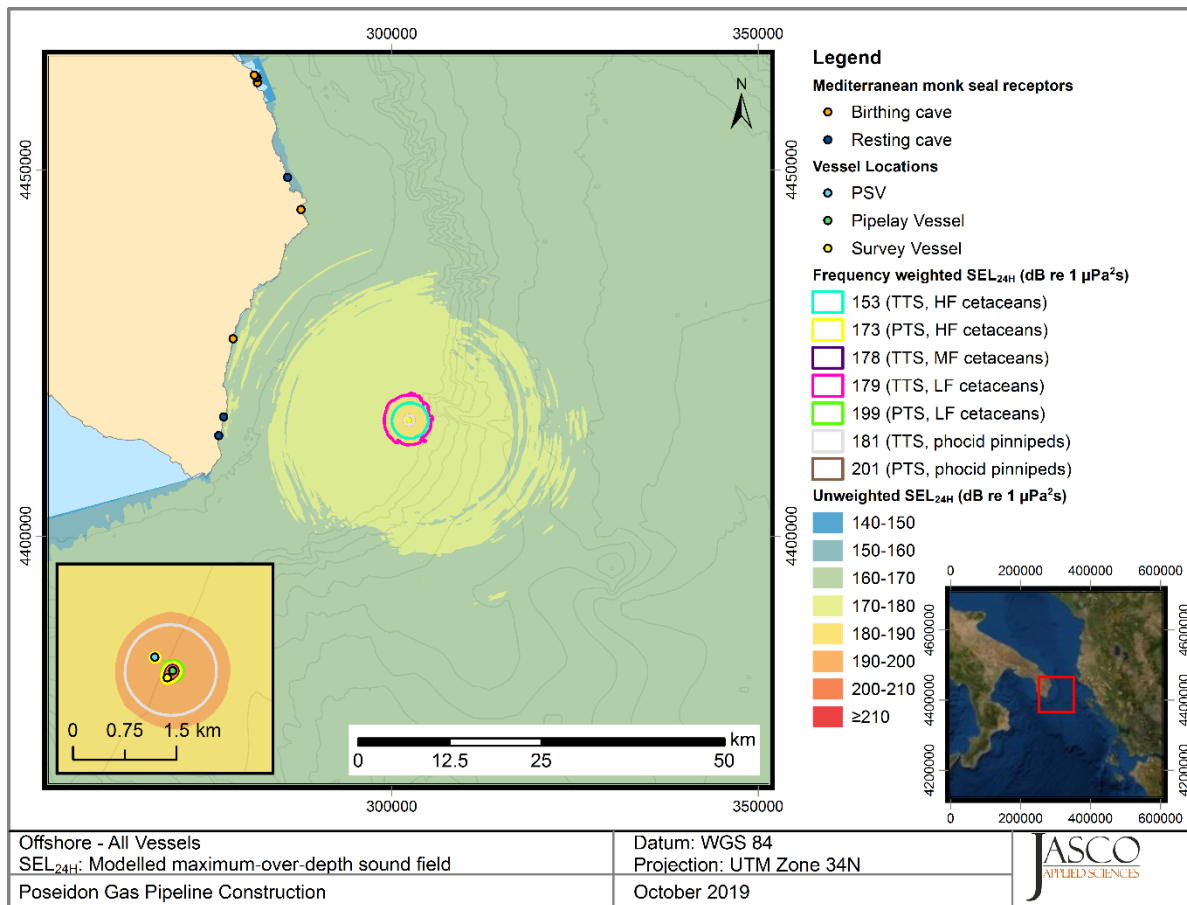


Figura 12: Scenario Offshore – Mappa delle Isopete del Livello di Esposizione al Rumore SEL_{24h} (massimo lungo la colonna d'acqua)

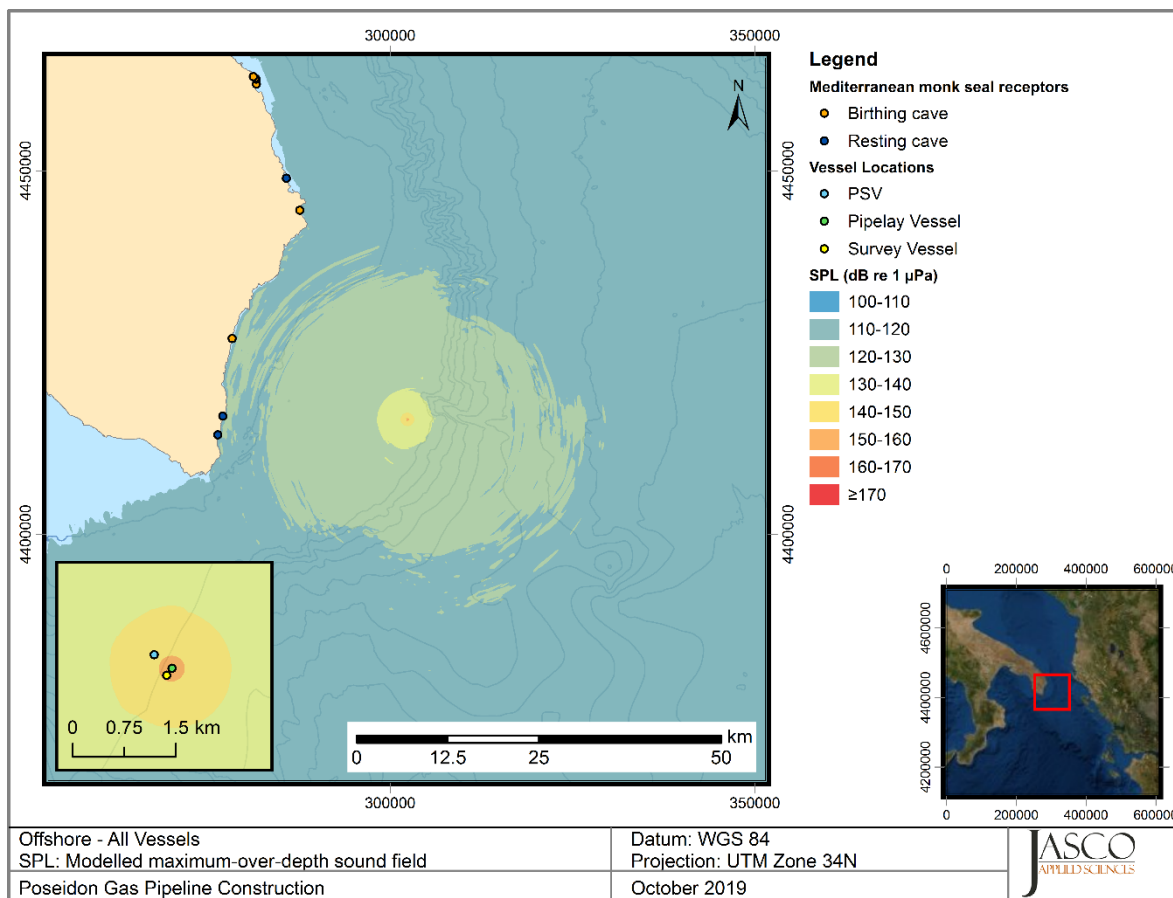


Figura 13: Scenario Offshore – Mappa delle Isopete del Livello di Rumore SPL (massimo lungo la colonna d’acqua)

E.7.2 SCENARIO NEARSHORE

I valori riportati fanno riferimento alla propagazione del rumore sia per le singole navi considerate che per presenza contemporanea.

I risultati sono presentati in forma di SEL_{24h} e SPL.

Tabella 18: Scenario Nearshore - Distanze Massime (R_{max}) e 95% (R_{95%}) (in km) per i valori SEL_{24h} non ponderati (massimo lungo la colonna d’acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

SEL _{24h} (L _E ; dB re 1 μPa ² -s)	Pipelay vessel		PSV		Survey vessel		All vessels	
	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}	R _{max}	R _{95%}
200	0.31	0.28	0.03	0.03	0.03	0.03	0.42	0.38
190	1.48	1.28	0.16	0.15	0.17	0.15	1.54	1.39
180	6.17	5.01	0.83	0.69	0.78	0.71	6.56	5.27
170	27.1	21.8	4.10	3.08	3.92	3.06	32.7	24.2
160	*	*	13.8	12.2	15.9	13.4	*	*
150	*	*	*	*	*	*	*	*

* Radii extend beyond modelling boundary.

Tabella 19: Scenario Nearshore - Distanze Massime (R_{max}) e 95% ($R_{95\%}$) (in km) per i valori SPL (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

SPL (L_p ; dB re 1 μ Pa)	Pipelay vessel		PSV		Survey vessel		All vessels	
	R_{max}	$R_{95\%}$	R_{max}	$R_{95\%}$	R_{max}	$R_{95\%}$	R_{max}	$R_{95\%}$
170	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.22	0.14
160	0.06	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.22	0.17
150	0.34	0.31	0.04	0.04	0.04	0.04	0.45	0.40
140	1.64	1.36	0.17	0.16	0.19	0.17	1.71	1.45
130	7.56	5.43	0.92	0.74	0.91	0.76	7.69	5.71
120†	33.0	26.3	4.37	3.40	4.34	3.62	33.2	27.0
110	*	*	16.5	13.2	19.9	14.8	*	*

* Raddii extend beyond modelling boundary.

† Threshold for marine mammal behavioural response to continuous noise (NMFS 2013).

Tabella 20: Scenario Nearshore - Distanze Massime (R_{max}) (in km) per i valori soglia SEL24h per i mammiferi marini in base alla Guida tecnica NOAA-NMFS 2018 (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

Hearing group	SEL _{24h} impact threshold	SEL _{24h} threshold level (L_E ; dB re 1 μ Pa ² -s)	Range R_{max} (km)			
			Pipelay vessel	PSV	Survey vessel	All vessels
High-frequency cetaceans	PTS	173	0.15	0.08	0.09	0.32
	TTS	153	2.37	1.62	1.50	2.84
Mid-frequency cetaceans	PTS	198	–	–	–	0.12
	TTS	178	0.13	0.06	0.06	0.29
Low-frequency cetaceans	PTS	199	0.24	0.03	0.03	0.35
	TTS	179	6.22	0.85	0.80	6.56
Phocid pinnipeds in water	PTS	201	0.04	0.01	0.01	0.23
	TTS	181	1.15	0.18	0.20	1.26

A dash indicates the threshold is not reached at any distance.

Tabella 21: Scenario Nearshore - Distanze Massime (R_{max}) (in km) per i valori soglia SPL per i Pesci indicati da Popper et al. (2014) (massimo lungo la colonna d'acqua), misurati dal punto centrale delle posizioni delle navi per lo scenario che coinvolge tutte le navi

Hearing group	SPL impact threshold	SPL threshold level (L_p ; dB re 1 μ Pa)	Range R_{max} (km)			
			Pipelay vessel	PSV	Survey vessel	all vessels
Fish: Swim bladder involved in hearing	Recoverable injury	170 dB SPL for 48 h	0.01	<0.01	<0.01	0.22
	TTS	158 dB SPL for 12 h	0.11	0.01	0.01	0.23

Di seguito vengono quindi riportate le mappe dei livelli di rumore per i campi sonori SEL_{24h} e SPL. Nelle figure sono inoltre mostrate le distanze a cui vengono raggiunti i valori soglia SEL_{24h} NMFS (2018).

Si evidenzia che le distanze delle curve isoplete vicino alle sorgenti sono spesso simili in tutte le direzioni. Tuttavia, in relazione alla variazione delle caratteristiche ambientali, le distanze per le isoplete minori (più lontane dalle sorgenti) presentano andamenti diversi con le direzioni considerate.

Tale fenomeno, maggiormente evidente per lo scenario Nearshore, può comportare la presenza di aree di piccole dimensioni con livelli di rumore localmente più elevati (come evidenziato dalle differenze tra i valori R_{max} e R_{95%}).

Il campo sonoro risultante la modellizzazione sembra inoltre interrompersi in alcune mappe a causa dell'impossibilità di propagazione del rumore attraverso l'area a terra, dando luogo ad un'ombra acustica in cui il livello di rumore originato dalle attività risulta fortemente limitato.

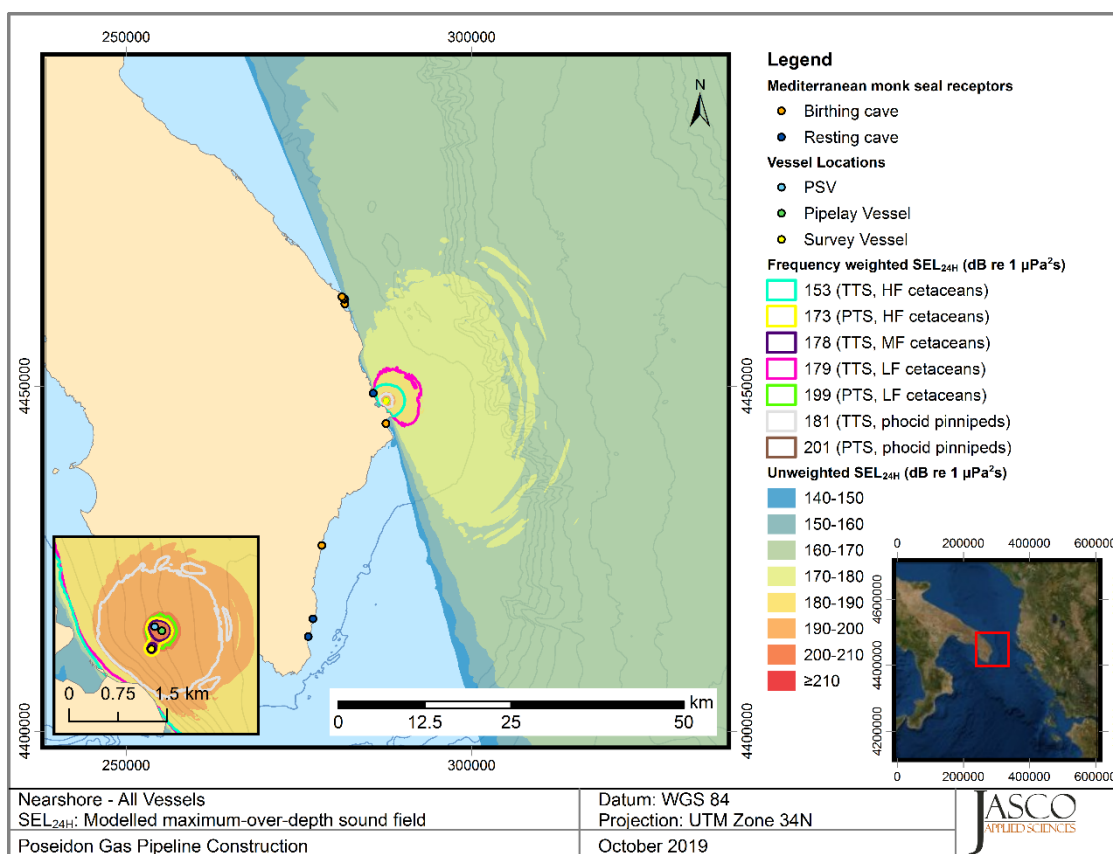


Figura 14: Scenario Nearshore – Mappa delle Isoplete del Livello di Esposizione al Rumore SEL_{24h} (massimo lungo la colonna d'acqua)

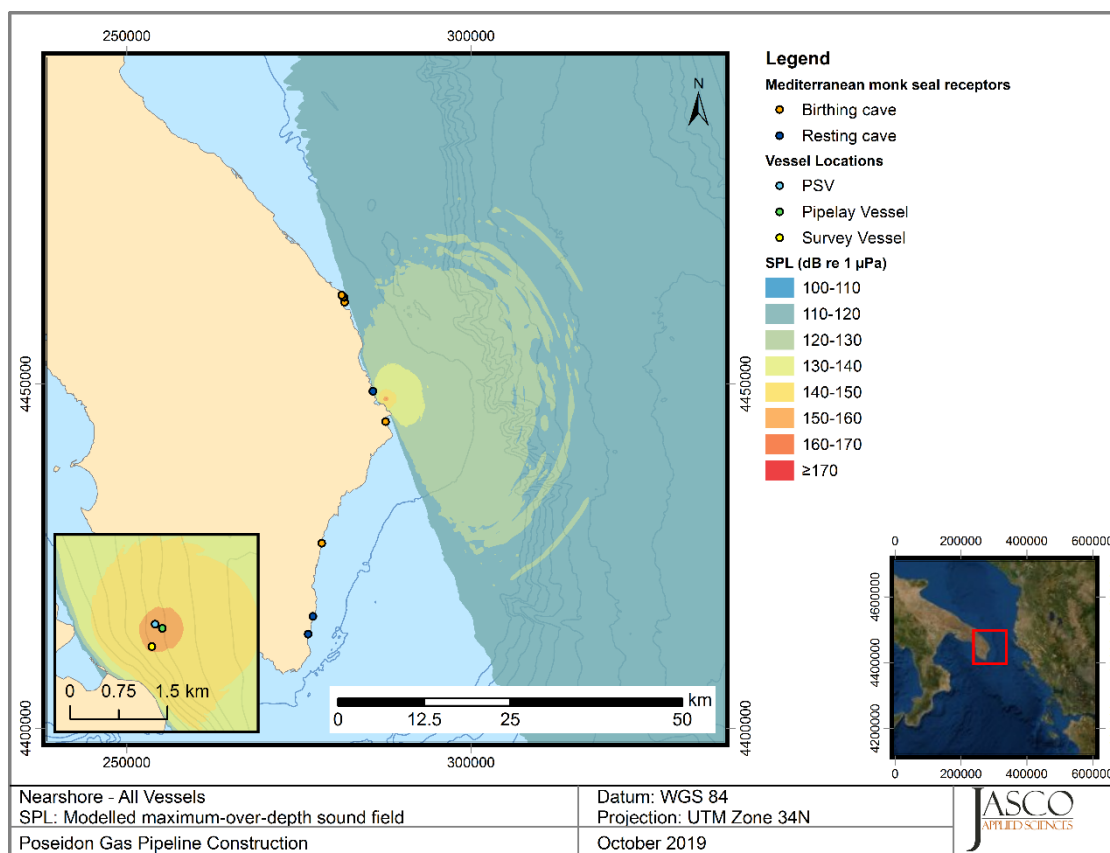


Figura 15: Scenario Nearshore – Mappa delle Isopete del Livello di Rumore SPL (massimo lungo la colonna d'acqua)

E.8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La modellizzazione del rumore sottomarino emesso nel corso delle attività di costruzione del metanodotto è stata valutata in via conservativa, considerando:

- ✓ la presenza contemporanea di tre unità navali, assumendo le condizioni operative maggiormente gravose in termini di livelli di rumore emesso;
- ✓ lo svolgimento delle attività nel mese di Marzo come scenario più conservativo in relazione alla maggiore propagazione del rumore.

La modellazione è stata condotta tramite il software MONM-BELLHOP per generare un campo sonoro SPL, che è stato quindi convertito in SEL24h assumendo che le navi funzionassero per un periodo costante di 24 ore.

Nella modellizzazione si è inoltre tenuto conto delle variazioni batimetriche specifiche del sito e delle proprietà geoaustiche locali.

Il campo sonoro originato nel corso delle attività risulta ampiamente dominato dalla nave posatubi.

La batimetria risulta avere un effetto limitato sulla propagazione del rumore nello scenario Offshore con distanze delle isopete sostanzialmente simili in tutte le direzioni, ad eccezione della regione che si trova nell'ombra acustica della penisola salentina. Viceversa, la vicinanza delle navi alla costa nello scenario Nearshore comporta che la batimetria abbia un grande effetto sulla propagazione, con le isopete che presentano lobi di maggiore estensione comunque in direzione offshore.

Le distanze da tutte le isopete risultano generalmente maggiori nello scenario Nearshore rispetto a quello Offshore. Ciò è dovuto alla differenza nelle proprietà geoaustiche del fondale marino nelle due aree di studio, con il sedimento più grossolano e lo strato roccioso più superficiale della piattaforma interna nello scenario nearshore che è più riflettente del sedimento a grana più fine dell'area offshore.

Il confronto dei risultati della modellizzazione con i valori soglia SEL24h dei mammiferi marini e i criteri SPL proposti nelle più recenti fonti riconosciute a livello internazionale permettono di evidenziare quanto segue:

- ✓ Livello di Esposizione al Rumore (SEL):
 - le massime distanze per i livelli soglia PTS SEL24h NMFS (2018) sono pari a 0,12 e 0,35 km per i cetacei a media e bassa frequenza, rispettivamente. Le distanze massime per i valori soglia TTS con gli stessi criteri sono 0,29 e 6,56 km per i cetacei a media e bassa frequenza, rispettivamente.
 - le distanze massime per i livelli soglia PTS e TTS per pinnipedi in acqua risultano rispettivamente 0,23 e 1,26 km (Offshore e Nearshore rispettivamente); questo è il gruppo uditivo pertinente per la foca monaca del Mediterraneo identificato come una specie sensibile al rumore.
 - le distanze massime si sono avute tutte per lo scenario Nearshore, tuttavia l'esatto profilo batimetrico è meno preciso nella regione direttamente adiacente alla costa; quindi, sarebbe inappropriato definire in dettaglio il campo di rumore nelle posizioni esatte delle caverne individuate. I livelli di rumore generale nelle aree adiacenti alle grotte sono tuttavia evidenziati nelle mappe del rumore.
 - occorre notare che i valori SEL cumulati rappresentano uno scenario fortemente conservativo basato sull'ipotesi improbabile che un animale rimanga fermo in una determinata posizione per la durata dell'operazione e che l'operazione produrrà costantemente i livelli di rumore specificati nel periodo di 24 ore. La distanza riportata per i livelli soglia SEL24h non significa pertanto che la fauna marina eventualmente presente all'interno di questa distanza subisca dei danni, bensì che possa risultare esposta ad un livello sonoro associato al valore soglia di potenziale danno, qualora rimanesse entro tale distanza per l'intero periodo di esposizione modellizzato (24h).
- ✓ Livello di Pressione Acustica (SPL):
 - la distanza massima cui viene raggiunto il valore di riferimento per il disturbo comportamentale sui mammiferi marini NMFS (2013) di 120 dB re 1 μ Pa SPL risulta nell'ordine di 30km;
 - la distanza massima dei valori soglia stabiliti da Popper et al. (2014) per i pesci con vescica natatoria coinvolta nell'udito sono rispettivamente 0,23 e 0,25 km per danni recuperabili e TTS;
 - le distanze a cui vengono raggiunti i valori di riferimento SPL (si vedano la sezione E.6.1 e la Tabella 15) sono risultate maggiori per lo scenario Offshore rispetto a quello Nearshore;
 - nell'area di studio sono state segnalate alcune specie di tartarughe marine. In assenza di livelli soglia specifici per questo gruppo uditivo, si può fare riferimento ai relativi criteri di rischio di Popper et al. (2014). Questo porta a considerare che sussiste un basso rischio di mortalità, danni recuperabili o TTS a qualsiasi distanza dalla fonte. Tuttavia, si rileva un maggiore rischio del mascheramento del rumore in prossimità delle sorgenti che diminuisce con la distanza fino a basso rischio e un moderato rischio di disturbi comportamentali a distanze vicine, che diminuisce con la distanza fino a basso rischio.

E.9 RIFERIMENTI

Welch, S.J., F. Pace, and M.A. Wood. 2019. Poseidon Gas Pipeline Construction, Italy: Acoustic Modelling for Assessing Marine Fauna Sound Exposures. Document 01919, Version 1.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for RINA Consulting

[ISO] International Organization for Standardization. 2006. ISO 80000-3:2006. Quantities and Units – Part 3: Space and time. <https://www.iso.org/standard/31888.html>.

[ISO] International Organization for Standardization. 2017. ISO 18405:2017. Underwater acoustics – Terminology. Geneva. <https://www.iso.org/standard/62406.html>.

[NMFS] National Marine Fisheries Service. 1998. Acoustic Criteria Workshop. Dr. Roger Gentry and Dr. Jeanette Thomas Co-Chairs.

[NMFS] National Marine Fisheries Service. 2013. Marine Mammals: Interim Sound Threshold Guidance (webpage). National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce. http://www.westcoast.fisheries.noaa.gov/protected_species/marine_mammals/threshold_guidance.html.

[NMFS] National Marine Fisheries Service. 2016. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55. 178 pp.

[NMFS] National Marine Fisheries Service. 2018. 2018 Revision to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59. 167 pp. <https://www.fisheries.noaa.gov/webdam/download/75962998>.

[NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2013. Draft guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammals: Acoustic threshold levels for onset of permanent and temporary threshold shifts. National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, and NMFS Office of Protected Resources, Silver Spring, MD, USA. 76 pp.

[NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2015. Draft guidance for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammal hearing: Underwater acoustic threshold levels for onset of permanent and temporary threshold shifts. NMFS Office of Protected Resources, Silver Spring, MD, USA. 180 pp.

[NOAA] National Oceanic and Atmospheric Administration. 2016. Document Containing Proposed Changes to the NOAA Draft Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Threshold Levels for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts, p. 24. http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/draft_guidance_march_2016_.pdf.

EMODnet Bathymetry Consortium. 2018. EMODnet Digital Bathymetry (DTM) (webpage). EMODnet Bathymetry Consortium.

Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finneran, R.L. Gentry, C.R. Greene, Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, et al. 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals* 33(4): 411-521. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753846>.

Southall, B.L., J.J. Finneran, C. Reichmuth, P.E. Nachtigall, D.R. Ketten, A.E. Bowles, W.T. Ellison, D.P. Nowacek, and P.L. Tyack. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 45(2): 125-232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>.

Wenz, G.M. 1962. Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *Journal of the Acoustical Society of America* 34, 1936 (1962).