



OLT Offshore LNG Toscana S.p.A.



**TERMINALE GALLEGGIANTE DI RIGASSIFICAZIONE
FSRU - TOSCANA**

Piano di monitoraggio del Rumore del Terminale “FSRU Toscana”

Allegato al Piano di Monitoraggio dell’Ambiente Marino rev. 1



Rev 0	19/01/2021	Emissione definitiva	MM/SN/CP	AMDB	CP
Rev.	Data	Descrizione della Revisione	Preparato da	Verificato da	Approvato da



Indice generale

1.	PREMESSA	2
1.1	EFFETTI BIOLOGICI DEL RUMORE SUI CETACEI E SUI CHELONI	2
1.2	LINEE GUIDA ISPRA	3
2.	PRESCRIZIONI RICEVUTE ED OBIETTIVI DEL PIANO	4
3.	CAMPAGNE PREGRESSE, RISULTATI CONSOLIDATI E NUOVE CAMPAGNE	4
3.1	STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE E CAMPAGNA "DI BIANCO"	5
3.2	MONITORAGGIO DEL TERMINALE FSRU-TOSCANA "STAND ALONE": RISULTATI CONSOLIDATI	5
3.3	MONITORAGGIO DEL TERMINALE FSRU-TOSCANA "STAND ALONE": RAZIONALIZZAZIONE	6
3.4	MONITORAGGIO DEGLI ALLIBI	6
3.4.1	TIPOLOGIA DELLE NAVI IN ARRIVO	6
3.4.2	TRATTAMENTO GENERALE DEI DATI DI ALLIBO	7
3.4.3	NUOVE ATTIVITÀ	7
4.	STRUMENTI E METODI DI ANALISI DEI DATI	8
4.1	STRUMENTAZIONE	8
4.1.1	L'IDROFONO	8
4.1.2	LA SONDA CTD	8
4.2	ANALISI IN SITU E CALCOLO DEGLI SPL	8
5.	RESTITUZIONE DEI RISULTATI	10
6.	CONCLUSIONI	10
7.	BIBLIOGRAFIA	11

INDICE FIGURE

Figura 1 - Posizioni delle Stazioni di Campionamento Acustico	5
Figura 2: A confronto, le power spectral density del suono rilevato nelle tre stazioni in direzione Nord dal terminale nella campagna dell'Autunno 2019 (la stessa di cui si riportano le TL nel § 4.3), a titolo di esempio	9

INDICE TABELLE

Tabella 1 Modificata (Borsani & Farchi, 2011)	3
Tabella 2 – Tabella Modificata tratta da Borsani & Farchi, 2011b	3
Tabella 3 – Tabella modificata (Borsani & Farchi, 2011)	4

APPENDICI

APPENDICE 1 Risultati "stand-alone" - strumentazione

APPENDICE 2 Analisi acustica

1. Premessa

Il monitoraggio del rumore connesso alle attività dell'impianto FSRU Toscana e del traffico marittimo a contorno (compreso le metaniere di allibo), è legato all'importanza degli effetti dell'inquinamento acustico sul biota, con particolare riferimento alla biologia/ecologia di Cetacei e Cheloni.

Per inquinamento acustico marino si intende introduzione intenzionale o accidentale di energia acustica nella colonna d'acqua, da fonti puntuali o diffuse tale da provocare effetti deleteri alle risorse viventi vegetali e animali.

L'aumento del rumore sottomarino è causato quindi da un'eccessiva immissione nell'ambiente di suoni e rumori, che si aggiungono ai suoni ambientali naturali; il concetto di inquinamento acustico, che fino a pochi anni fa era riservato all'ambiente subaereo, è stato esteso anche all'ambiente acquatico. In particolare, dopo decenni di ricerche, si è giunti alla conclusione che molti dei suoni antropogenici provocano effetti negativi su diversi gruppi di organismi marini, in particolare cetacei.

Due sono le componenti fisiche importanti di cui tener conto nella propagazione del suono in mare: la frequenza (numero di oscillazioni delle particelle che costituiscono l'onda sonora – in Hertz, Hz) e la pressione sonora (il flusso dell'energia meccanica trasmessa dall'onda sonora attraverso una superficie unitaria nell'unità di tempo – espressa nelle unità logaritmiche deciBel, dB); ne deriva che l'intensità locale del suono è rappresentata dal *sound pressure level* (SPL), su scala logaritmica (dB). La motivazione risiede nel fatto che i cetacei, in quanto mammiferi, rispetto agli altri taxa marini, hanno un evoluto sistema di comunicazione attivo e passivo, caratterizzato da emissioni a differenti frequenze (in funzione della specie presa in considerazione), ma vivendo nel mezzo acquatico sono sottoposti alle sue regole fisiche, quali le onde sonore. Le diverse frequenze di emissione sono riconducibili a funzioni quali la comunicazione intraspecifica (i fischi), l'orientamento e la ricerca delle prede (cliks di ecolocalizzazione).

Al fine di ottemperare agli obblighi di compatibilità ambientale acustica secondo quanto riportato nel descrittore n. 11 della European Marine Strategy Framework [1]. (formalizzate dalle tabelle di ISPRA), l'obiettivo di maggior rilievo del presente documento è quello di descrivere un piano di monitoraggio necessario per ricavare il *source level* (SL) del rumore di tutte le attività del processo legate al funzionamento dell'impianto FSRU Toscana: questo è il SPL localizzato "a un metro" dalla sorgente emittente. Mediante la mappa degli SPL misurati in diversi punti dell'ambiente marino, dalla conoscenza della geometria relativa di questi punti di misura rispetto alla sorgente (FSRU Toscana, metaniere e mezzi di supporto all'allibo) e dalla modellizzazione fisica della propagazione sonora, si possono ricavare i rispettivi SL.

1.1 Effetti biologici del rumore sui Cetacei e sui Cheloni

Gli effetti dell'inquinamento acustico sulle diverse specie di cetacei e tartarughe marine possono essere distinti fondamentalmente in due categorie: effetti "fisici" (traumi, danni etc.) ed effetti "etologici" (allontanamento, disturbo delle attività di predazione, riproduzione, attività "sociali", etc.).

In un ambiente non antropizzato i cetacei si abituano ad un rumore naturale, definito *rumore di fondo* e a comunicare in conseguenza di questo. Ma l'udito per delfini e balene rappresenta la "vista" per l'uomo. Risulta quindi fondamentale per la loro sopravvivenza garantire la sussistenza di tale status ambientale.

Seppur ancora oggetto di numerosi studi, l'inquinamento acustico antropico del mare, ha definito quali siano i suoi principali effetti sui cetacei, in funzione delle frequenze e dei decibel.

I Mysticeti, i cetacei di grandi dimensioni senza i denti (balene e balenottere) sono specializzati nella emissione/ricezione delle basse frequenze (10-5.000 Hz) che riescono a percorrere lunghissime distanze sott'acqua, anche molti km. La motivazione di questo è prettamente etologica in quanto non vivendo in gruppi hanno la necessità di mantenere il "contatto" a distanza. Diversamente avviene per gli Odontoceti che si suddividono in cetacei di medie dimensioni (zifi, globicefali, grampi, tursiopi, stenelle, delfini comuni) che utilizzano le medie frequenze (150Hz-150kHz) e cetacei di piccole dimensioni (focine, inia, kogia) che utilizzano le alte frequenze (200Hz-180kHz). Risulta quindi evidente come da questa classificazione tutto lo spettro delle frequenze coinvolga le differenti specie di cetacei e l'immissione di nuovi "rumori" alle frequenze biologiche utilizzate provochi un effetto di "mascheramento" con la maggiore difficoltà o l'impossibilità di comunicare, cacciare le prede, svolgere attività sociali del branco, riprodursi.

Mentre la frequenza del suono determina, tutto sommato, quanto il cetaceo percepisca il suono stesso, il SPL di un'onda sonora (in dB) che investe un cetaceo può essere tale da provocare diversi comportamenti o danni a seconda della distanza dalla sorgente e dal SL di quella. Questo significa che, ad esempio, un suono a bassa frequenza ed elevati dB abbia un effetto diverso di uno stesso suono ma a dB inferiori. Anche per tale indicatore la precedente classificazione dei cetacei (bassa-media-alta frequenza) viene utilizzata per definirne gli effetti, quali:

- le "prime significative riposte comportamentali", come l'abbandono dell'area di residenza (da 100-110 dB per i cetacei di bassa frequenza; da 110-120 dB per i cetacei di media frequenza; da 140-150 dB per i cetacei di alta frequenza);
- i "barotraumi", veri e propri danni fisici che si manifestano in temporanea perdita della capacità uditiva (la TTS intorno a 220 dB, per tutti i cetacei) per arrivare alla permanente perdita di questa capacità (PTS oltre i 230 dB, anche qui, uguale per tutti i cetacei).

L'aumento dell'inquinamento acustico marino, sin qui descritto per i cetacei, può produrre effetti anche su altri organismi marini quali, pesci, rettili, crostacei e molluschi come descritto da Borsani & Farchi, 2011 [2].

1.2 Linee guida ISPRA

Come indicato nel § 1.1, vengono di seguito prese in considerazione le Linee Guida ISPRA [2] di inquinamento acustico, al fine di limitare al massimo gli effetti descritti nel precedente capitolo.

Nell'area oggetto di studio sono prevalentemente presenti cetacei appartenenti a specie stazionarie quali tursiopi e stenelle (odontoceti appartenenti al gruppo uditivo delle medie frequenze o "mid-frequency cetaceans"); è inoltre segnalata la presenza di cetacei appartenenti a specie saltuariamente in transito quali le balenottere (misticeti appartenenti al gruppo uditivo delle basse frequenze o "low-frequency cetaceans").

Le linee Guida ISPRA [2] definiscono valori soglia per rumori di natura sia impulsiva che continua, in grado di provocare le prime risposte comportamentali, danni temporanei o permanenti ai cetacei. Tuttavia, essendo la misura del rumore sottomarino ed i suoi effetti sui cetacei ancora oggetto di studi, nel caso in cui dovessero essere disponibili aggiornamenti delle linee guida, questi ultimi saranno tenuti nella opportuna considerazione per i futuri piani di monitoraggio.

Nella Tabella 1 sono riportate le bande uditive dei cetacei a cui sono maggiormente sensibili.

Tabella 1 - Modificata (Borsani & Farchi, 2011).

Functional hearing group	Estimated auditory bandwidth	Genera represented (Number species/subspecies)	Frequency-weighting network
Low-frequency cetaceans	7 Hz to 22 kHz	<i>Balaena, Caperea, Eschrichtius, Megaptera, Balaenoptera</i> (13 species/subspecies)	M _S (lf: low-frequency cetaceans)
Mid-frequency cetaceans	150 Hz to 160 kHz	<i>Steno, Sousa, Sotalia, Tursiops, Stenella, Delphinus, Lagenodelphis, Lagenorhynchus, Lissodelphis, Grampus, Peponocephala, Feresa, Pseudorca, Orcinus, Globicephala, Orcaella, Physeter, Delphinapterus, Monodon, Ziphius, Berardius, Tasmacetus, Hyperoodon, Mesoplodon</i> (57 species/subspecies)	M _{mf} (mf: mid-frequency cetaceans)
High-frequency cetaceans	200 Hz to 180 kHz	<i>Phocena, Neophocena, Phocenoides, Platanista, Inia, Kogia, Lipotes, Pontoporia, Cephalorhynchus</i> (20 species/subspecies)	M _M (hf: high-frequency cetaceans)

Nella Tabella 2 sono riportati i valori soglia per diversi tipi di rumore (impulsi singoli, multipli e non impulsivi) capaci di originare le prime significative risposte comportamentali in diverse specie di mammiferi marini.

Tabella 2 – Tabella Modificata tratta da Borsani & Farchi, 2011b.

<p>Valori soglia per Impulsi singoli (tipo battipali): Sound exposure levels SEL: 183 dB re: 1 µPa²-s</p> <p>Valori soglia per Impulsi multipli (tipo survey geosismici): Cetacei bassa frequenza: 120 dB re: 1 µPa RL (RMS/pulse duration) Cetacei media frequenza: 90-180 dB re: 1 µPa RL (RMS/pulse duration) Cetacei alta frequenza: non applicabile</p> <p>Valori soglia per rumori non impulsivi (tipo perforazione, navi etc): Cetacei bassa frequenza: 100-110 dB re: 1 µPa RMS SPL Cetacei media frequenza: 110-120 dB re: 1 µPa RMS SPL Cetacei alta frequenza: 140-150 dB re: 1 µPa RMS SPL</p>
--

I valori soglia riportati infine nella Tabella 3 sono riferiti ai livelli di danno che vanno dalla perdita temporanea (TTS) alla perdita permanente (PTS) della sensibilità uditiva indipendentemente dalla specie.

<i>Tabella 3 – Tabella modificata (Borsani & Farchi, 2011).</i>				
Marine mammal groups	Low, Mid, High -frequency cetaceans		Low, Mid, High -frequency cetaceans	
	Single pulses, Multiple pulses,	Non-pulses	Single pulses, Multiple pulses,	Non-pulses
Sound Type	Perdita permanente (PTS) di sensibilità uditiva		Perdita temporanea (TTS) di sensibilità uditiva	
Effetto	Perdita permanente (PTS) di sensibilità uditiva		Perdita temporanea (TTS) di sensibilità uditiva	
Sound pressure level SPL	230 dB re: 1 μ Pa (peak) (flat)	230 dB re: 1 μ Pa (peak) (flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak) (flat)	224 dB re: 1 μ Pa (peak) (flat)
SEL	198 dB re : 1 μ Pa ² .s	215 dB re : 1 μ Pa ² .s	183 dB re : 1 μ Pa ² .s	195 dB re : 1 μ Pa ² .s

2. Prescrizioni ricevute ed obiettivi del Piano

L'obiettivo del presente Piano di monitoraggio del rumore è quello di adempiere alle prescrizioni che OLT ha ricevuto dal Ministero dell'Ambiente e da ISPRA.

Nel dettaglio, tali prescrizioni sono:

1) Prescrizione n.7 dell'esclusione alla VIA prot. 25280/DVA del 20 ottobre 2010 e Prescrizione n. 26 dell'esclusione alla VIA prot. 01256/DVA del 15 dicembre 2004 che in particolare richiede al punto b. la misura del rumore in acqua su due profili perpendicolari alla distanza di 100m fino alla distanza di 5 km dal Terminale sia durante il funzionamento normale che durante i periodi di massima rumorosità al fine di verificare quanto affermato nello studio ambientale preliminare.

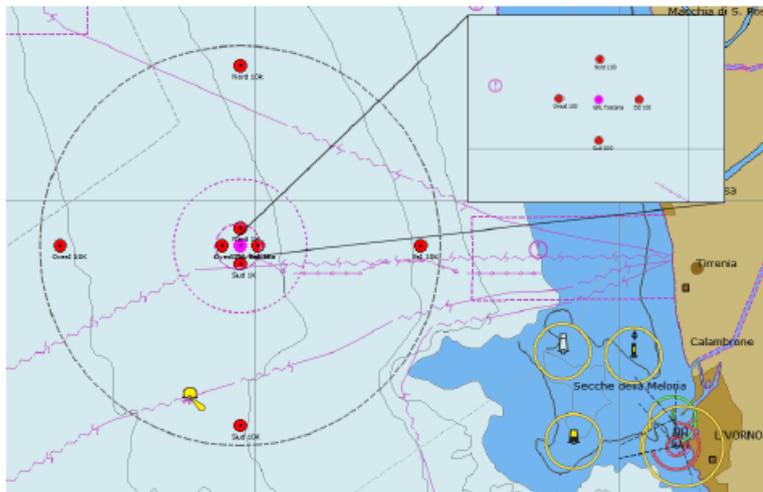
2) Prescrizione n.4 del Parere n. 3216 del 6 dicembre 2019 relativo alle *Modifiche al terminale di rigassificazione GNL per il carico, lo stoccaggio e il successivo scarico su navi metaniere di GNL dedicato ad uso combustibile (small scale – SSLNG)* che richiede: entro 6 mesi dall'atto di notifica (27/07/2020) in accordo con Ispra, e la capitaneria di porto nel rispetto delle condizioni di sicurezza dovrà essere presentato un piano di monitoraggio del Rumore in mare durante gli allibi al Terminale di tutte le varie tipologie di navi utilizzate.

Attualmente la prescrizione di cui al punto 1 è stata ottemperata per quanto riguarda la definizione del piano attraverso la messa a punto di un piano del rumore ad hoc interno al piano di monitoraggio dell'ambiente marino (Piano rev 0) approvato dal provvedimento DVA 2012 – 0011592 del 15/05/2012 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (di seguito MATTM), sulla base del parere favorevole della Commissione VIA n. 907 del 13 aprile 2012 e di ISPRA, acquisito con prot. CTVA 2012-0001043 del 20/03/2012. Le ottemperanze relative all'applicazione del piano di monitoraggio del rumore vengono rilasciate annualmente all'interno di quelle emanate per gli anni di monitoraggio e con gli stessi provvedimenti, da parte delle Autorità preposte; di seguito se ne riportano i principali risultati.

3. Campagne pregresse, risultati consolidati e nuove campagne

La prima prescrizione di cui al § 2 ha imposto la definizione di un Piano di Monitoraggio per l'inquinamento sonoro prodotto dal Terminale. Per ottemperare alla prescrizione OLT ha redatto nel 2012 un piano di monitoraggio (chiamato Piano Rev. 0) all'interno del quale vi era una sezione dedicata al piano di monitoraggio del rumore.

Tale piano, in accordo alle specifiche del MATTM ed ISPRA, richiede un'area di campionamento individuata nella figura seguente con misure, attraverso un idrofono calato nelle stazioni indicate (Figura 1).



WGS84	Latitine N	Longitudine E
Est 100	43° 38,665	09° 59,408
Est 1K	43° 38,666	10° 00,076
Est 10K	43° 38,666	10° 06,791
Sud 100	43° 38,611'	09° 59,333
Sud 1K	43° 38,126	09° 59,330
Sud 10K	43° 33,266	09° 59,330
Ovest 100	43° 38,667	09° 59,260
Ovest 1K	43° 38,666	09° 58,584
Ovest 10K	43° 38,666	09° 51,868
Nord 100	43° 38,719'	09° 59,335
Nord 1K	43° 39,206	09° 59,330
Nord 10k	43° 44,065	09° 59,330

Figura 1 - Posizioni delle Stazioni di Campionamento Acustico.

La frequenza di monitoraggio, come da Piano rev 0 è 4 volte anno, durante le quattro campagne annuali previste per il Piano di Monitoraggio dell'ambiente marino nella sua totalità delle indagini. I risultati dei monitoraggi vengono confrontati con la campagna di bianco, in assenza quindi del terminale (vedere Appendice 1 per maggiori dettagli), e con dei valori di riferimento individuati mediante uno studio ambientale preliminare svolto nell'area di interesse [3].

A seguito della campagna di Bianco, quindi, effettuata nell'agosto 2012, è iniziato il monitoraggio della fase di esercizio, a partire dall'autunno 2013. Da tale momento, sono state effettuate fino ad oggi numerose campagne di misura tutte con cadenza trimestrale, secondo l'alternarsi delle stagioni. Considerando 12 stazioni per ogni campagna e 2 rilevazioni per ogni stazione (sopra e sotto il termoclino, in quanto la velocità di propagazione del suono in mare è fortemente influenzata dal parametro temperatura) si evince come la mole dei dati e delle informazioni conseguenti sia cospicua.

3.1 Studio preliminare ambientale e campagna "di bianco"

Nel 2010 è stato redatto il documento "Valutazione previsionale di impatto acustico subacqueo" [3] con l'analisi teorica dei livelli acustici irradiati in mare dal Terminale FSRU Toscana, al termine del quale viene indicato come indice globale cautelativo il valore di 185 dB re 1 μ Pa @ 1m. Tale valore risulta fondamentale come strumento di confronto tra i livelli di rumore monitorati durante gli anni ed il valore stimato durante la valutazione previsionale di impatto acustico.

La campagna di bianco, in assenza del Terminale, ha evidenziato un rumore ambientale (nella prevista area di posizionamento del Terminale) di 47 dB re 1 μ Pa @ 1m nella banda 10-12 kHz¹. Tale valore risulta fondamentale per il successivo confronto con i valori misurati durante gli anni (Appendice 1).

3.2 Monitoraggio del terminale FSRU-Toscana "stand alone": risultati consolidati

Durante le campagne della fase di esercizio, eseguite fino al VI anno di monitoraggio (i cui risultati e le cui modalità di calcolo sono presentate in appendice 1), alla frequenza tra 10-12 kHz¹ si evidenzia un valore medio di SPL di 102,5 dB re 1 μ Pa @ 1m, con un massimo di 115 dB re 1 μ Pa @ 1m. Tali valori confrontati periodicamente con quelli del documento "Valutazione previsionale di impatto acustico subacqueo" [3] indicano in realtà un impatto del Terminale notevolmente

¹ La scelta di questa banda di frequenza è stata dettata dal fatto che, presso di essa, è ben distinguibile l'emissione del Terminale rispetto all'ambiente "bianco". Inoltre, essendo questa frequenza una frequenza elevata, per cui la TL cresce rapidamente in ragione della distanza dalla sorgente, si è così abbastanza sicuri di "ascoltare" soltanto le emissioni "vicine", anziché quelle "spurie" derivanti per esempio dai corridoi commerciali.

inferiore a quanto previsto (valore stimato 185 dB re 1 μ Pa @ 1m). Va inoltre considerato che il Terminale già nel 2019 ha funzionato a pieno regime, senza un aumento dei valori acustici misurati.

Possiamo quindi affermare che, pur avendo il Terminale alterato l'ambiente acustico dell'area, ad oggi solo in rarissime occasioni sono stati raggiunti i valori che corrispondono ai primi livelli di attenzione indicati dalle Linee Guida di Ispra [2], capaci di originare le prime significative risposte comportamentali, mentre non sono stati mai superati i livelli limiti dei danni temporanei o permanenti (i valori del terminale risultano notevolmente inferiori a tali limiti).

Durante tutte le campagne trimestrali così come richiesto dal Piano rev. 0 (piano approvato), oltre ai risultati delle analisi del rumore in ogni stazione, sono stati registrati dati ambientali (condizioni meteorologiche) e dati fisico-chimici (temperatura, salinità, conducibilità, profondità). L'acquisizione di questi parametri ha permesso di fare un quadro della dipendenza della propagazione della velocità del suono in mare come funzione della:

- profondità: in quanto il fondale aumenta progressivamente da Est a Ovest.
- temperatura, che determina stagionalmente la presenza di un marcato termoclino e di conseguenti canali di propagazione del suono.

Sulla base di quanto sopra è stato predisposto il nuovo piano di monitoraggio del Rumore che tiene conto quindi dei principali fattori che influenzano la propagazione del suono in mare (temperatura e variazione batimetria) con 2 monitoraggi uno nella stagione fredda dove presente termoclino invernale ed uno nella stagione calda, dove presente termoclino estivo, utile confronto con la unica campagna di Bianco effettuata appunto in questo periodo.

3.3 Monitoraggio del terminale FSRU-Toscana "stand alone": razionalizzazione

Alla luce di quanto descritto ed assodato nel § 3.2 ed in appendice 1, qui esponiamo la proposta del Piano di Monitoraggio del rumore "razionalizzato", all'interno del quale le misure tengono conto di quanto segue:

- poca variabilità di anno in anno,
- caratteristiche del rumore del Terminale,
- acustica dell'ambiente marino,
- variabilità stagionale influenzata dalla presenza od assenza del termoclino di superficie.

In ottemperanza alla Prescrizione n.7 dell'esclusione alla VIA prot. 25280/DVA del 20 ottobre 2010 si prevede:

- una riduzione dalle 4 campagne trimestrali a 2 semestrali da realizzarsi rispettivamente in Inverno ed in Estate (quest'ultima comparativa con il Bianco), al fine di mantenere l'informazione in funzione della presenza/assenza del *termoclino*.
- una frequenza del monitoraggio (con un duplice campionamento invernale ed estivo) ogni 3 anni al fine di mantenere un controllo fino a fine vita del terminale.
- un mantenimento dell'area di indagine rispetto a quanto fatto nel Piano rev. 0 (Figura 1 del capitolo 3).

3.4 Monitoraggio degli allibi

La Prescrizione n.4 del Parere n. 3216 del 6 dicembre 2019 richiede ad OLT offshore LNG Toscana entro 6 mesi dal 27/07/2020 la redazione di un piano di monitoraggio del rumore sottomarino durante gli allibi del Terminale di tutte le tipologie di navi utilizzate. Tale capitolo ha lo scopo di proporre il monitoraggio del rumore in tali condizioni ed ottemperare alla prescrizione.

3.4.1 Tipologia delle navi in arrivo

Le categorie di navi che attualmente interessano il terminale FSRU Toscana per il conferimento del GNL, e le tipologie di navi previste in futuro vengono qui descritte.

Per quanto riguarda le navi metaniere per l'approvvigionamento di GNL, il Terminale è attualmente autorizzato al ricevimento di unità da 65.000 a 180.000 m³ di capacità di trasporto per un massimo di No. 59 allibi annui.

In aggiunta alle attività di rigassificazione attualmente in corso, è prevista l'implementazione di un servizio SSLNG per la distribuzione del GNL via mare tramite navi metaniere di piccola taglia (Small Scale LNG Carriers).

La configurazione attuale e futura di esercizio del Terminale "FSRU Toscana" prevede quindi le seguenti tipologie di navi:

- Tipologia 1: navi metaniere;
- Tipologia 2: navi metaniere di piccola taglia (SSLNGC).

3.4.2 Trattamento generale dei dati di allibo

In questo paragrafo si illustrano le tecniche di analisi per i dati di allibo, con i dettagli matematici risolti nell'appendice 2.

La cosa più importante da sottolineare è che, mentre nel caso del monitoraggio dell'FSRU Toscana "stand alone" ci si aspetta sostanzialmente l'emissione di un rumore omogeneo nel tempo per intensità e per caratteristiche spettrali, nel caso delle attività di allibo, che sono molto differenziate dall'arrivo della nave, allo scarico/carico del gas liquefatto, alla ripartenza della nave, si potrebbero avere diversi tipi di rumore nelle diverse fasi operative. È perciò importante, in questo secondo monitoraggio, effettuare le registrazioni del rumore di fase in fase per avere esatta percezione di ciò che sta avvenendo a bordo del Terminale, della nave, dei rimorchiatori e dei correlati apparati di pompaggio. Per questo si prevede di seguire una sequenza di misurazioni molto precisa, comunque confermata in tempo reale da comunicazioni radio fra Terminale e imbarcazione registrante.

3.4.3 Nuove attività

Per la definizione del piano di monitoraggio del rumore durante gli allibi è indispensabile tener conto di diversi fattori:

- variabilità delle sorgenti e delle fasi operative di cui al paragrafo precedente;
- condizioni di sicurezza;
- permessi ed autorizzazioni.

Il monitoraggio del Terminale *Stand-alone* rispetto a quello degli *Allibi* permette di avvicinarsi fino a pochi metri dalla sorgente e quindi di ottenere un SPL a differenti distanze su cui ricavare, con minor approssimazione, le TL (Transmission Loss) e le SL (Source Level) dal modello di propagazione.

Questo è possibile perché l'ordinanza n° 137/2013 [4] e ordinanza n° 6/2014 [5] della Capitaneria di porto determinano quanto segue:

- restrizioni/limitazione alla navigazione ed alle attività in aree concentriche da parte di imbarcazioni (ordinanza n° 137/13 [4]);
- la possibilità di chiedere autorizzazioni/permessi speciali per le attività di monitoraggio dell'ambiente marino ad esclusione dell'intero periodo di avvicinamento, allibo ed allontanamento delle navi metaniere (art. 34 dell'ordinanza n°6 del 2014 [5]).

Durante gli *Allibi* le attuali normative (ordinanze di cui sopra) e le condizioni di sicurezza impongono:

- divieto di entrata all'interno delle 2 nm dell'area di interdizione;
- divieto di effettuare attività tra le 2 e le 4 mn (solo transito con velocità inferiore a 10 nodi)
- divieto di sosta se non per comprovate esigenze di emergenza tra le 4 nm.e le 8 mn (in questa area è consentita la navigazione e le attività).

In funzione di quanto sopra si propone quanto segue:

- Le attività di misura nelle campagne di monitoraggio dell'allibo saranno condotte mantenendo il mezzo nautico a 4 miglia nautiche in posizione ortogonale sul lato destro rispetto a quella del Terminale (lato dei bracci di carico) prima dell'inizio dell'allibo, tenendo conto della traiettoria d'avvicinamento della metaniera oggetto di indagine. La logica di avere una sola stazione è quella di risolvere temporalmente il monitoraggio delle diverse fasi delle operazioni di allibo, tenendosi in comunicazione costante col personale del Terminale.
- Le registrazioni seguiranno le fasi delle attività secondo il programma di scarica. Per ciascuna fase sarà effettuata una registrazione di un tempo ritenuto idoneo (es. 10') a due profondità (sopra e sotto il termoclino).
- Il monitoraggio "Allibi" avrà una frequenza annuale per i primi 4 anni di monitoraggio e una frequenza triennale (ogni 3 anni, in conformità al piano di monitoraggio stand alone) successivamente. Ad ogni monitoraggio verranno misurate n. 2 metaniere "di grandi dimensioni" (Tipologia 1) e n° 2 metaniere "small scale" (Tipologia2). Una metaniera appartenente ad ognuna delle due categorie sarà monitorata nel periodo di termoclino superficiale invernale, e l'altra nel periodo di termoclino superficiale estivo.

Tutto quanto sopra esposto condizioni meteo permettendo e in base al programma annuale delle scariche (se disponibili allibi di quella tipologia di nave nel periodo di termoclino invernale ed estivo).

Si evidenzia che la proposta di piano del Rumore durante un allibo, appena presentata, è pienamente in accordo con le attuali ordinanze della capitaneria di porto 137/13 [4] – 6/2014 [5].

Quanto sopra descritto, è stato validato tramite le campagne di misura presentate nel documento “Valutazione del Rumore sottomarino durante le fasi di allibo di una nave metaniera al Terminale FSRU Toscana– Allibo settembre 2020” redatto per la verifica di ottemperanza della prescrizione al 5° anno di monitoraggio emanata con provvedimento CRESS_DEC_2020 – 0000188 del 25 giugno 2020 sul parere positivo della Commissione tecnica di verifica dell’impatto ambientale VIA e VAS No. 3398 del 8 Maggio 2020. Il Parere infatti riporta la seguente prescrizione:

“Entro un anno solare dalla emissione del presente decreto dovranno essere eseguite, in accordo con la Capitaneria di Porto ed ISPRA, delle misure specifiche di rumore per ogni tipologia di nave, durante tutto il periodo di operazioni di arrivo, ormeggio, scarico del GNL e allontanamento delle stesse navi dal Terminale”.

4. Strumenti e metodi di analisi dei dati

Per il monitoraggio presentato (Stand-alone e Allibo) del terminale FSRU Toscana è previsto l’impiego di attrezzatura specifica ed in particolare di un idrofono fisso in associazione a sonda Multiparametrica CTD.

4.1 Strumentazione

La strumentazione consiste in un sistema integrato di sonda CTD ed idrofono elettricamente isolati e disaccoppiati dall’imbarcazione in modo da renderlo il più fermo possibile rispetto al mare. L’idrofono registra il rumore mentre la sonda CTD le caratteristiche fisiche dell’ambiente.

4.1.1 L’idrofono

Lo strumento in uso per l’acquisizione dei suoni di monitoraggio delle attività del Terminale è l’*idrofono digitale Aquatech DH200GP* per la registrazione dei dati acustici nella banda 10 Hz - 90 kHz.

I dati di rumore acustico acquisiti dall’idrofono digitale sono campionati a 192 kHz (frequenza di campionamento, necessaria per misurare le frequenze di cui sopra) con una sensibilità di -156 dB re $V/\mu\text{Pa}$. Il rumore elettronico dello strumento, se valutato in termini di pressione acustica, a 30 kHz ha un livello equivalente inferiore al livello del rumore del mare a forza “zero”, che, secondo letteratura, è intorno a +22 dB re $1\mu\text{Pa}/\text{Hz}^{1/2}$, pertanto tutto il rumore registrato è relativo a suoni realmente presenti in acqua e non a interferenze introdotte dallo strumento di misura. Per maggiori dettagli sull’idrofono si veda l’appendice 1. Sarà utilizzato tale idrofono o un idrofono con medesime caratteristiche.

4.1.2 La sonda CTD

Sonda *multiparametrica CTD Ageotec IMSV* per la misura di Temperatura, Profondità, Conducibilità e calcolo diretto della Velocità del suono (appendice 1). I dati sono stati registrati su file con PC dedicato mediante il software APWin, con visualizzazione in tempo reale del profilo verticale di temperatura e di tutti i dati acquisiti. Sarà utilizzata tale sonda o una sonda con medesime caratteristiche.

4.2 Analisi in situ e calcolo degli SPL

Attraverso gli strumenti di cui sopra e con le modalità proposte dal piano di monitoraggio del rumore verranno raccolti dati che porteranno all’identificazione delle distribuzioni dei livelli di pressione del suono istantaneo calcolando la percentuale del tempo della singola registrazione in cui $SPL(t)$ supera eventualmente le soglie individuate dalle Linee Guida di Ispra[2].

Sia nel monitoraggio “stand-alone” che di “allibo” le misure sono svolte su imbarcazione attrezzata con la strumentazione descritta precedentemente ed in Appendice 1, con equipaggio composto da tre persone. Raggiunta ogni singola stazione di misura, vengono spenti i motori e si procede alla calata del sistema (CTD + idrofono) alla profondità di circa -55m (sotto il termoclino eventualmente presente) con la sola CTD in funzione e registrazione con software dedicato. Terminato il profilo, con CTD spenta, si procede alla misura del rumore sia sotto il termoclino (a circa -55m) che sopra il termoclino (a circa -8m). La registrazione anche in questo caso avviene con software dedicato. I tempi di misura del rumore variano da 4’ per lo stand alone per ogni profondità nelle stazioni identificate, a 10’ per l’allibo per ogni profondità e per tutte le attività di indagine previste.

La visualizzazione ed il trattamento dei dati sarà effettuata come spiegato nell’appendice 2, appositamente dedicata agli strumenti di analisi dei dati acustici. In particolare, gli spettri del segnale vengono calcolati mediante trasformata di Fourier su tutte le frequenze matematicamente possibili; per maggiore leggibilità, però, ne vengono proposte loro riduzioni in terza d’ottava, così com’è consolidata tradizione in Fisica acustica: nella Figura 2, a titolo di esempio, riportiamo tale

presentazione per le densità spettrali di potenza del suono rilevato nelle tre stazioni Nord della campagna dell'autunno 2019.

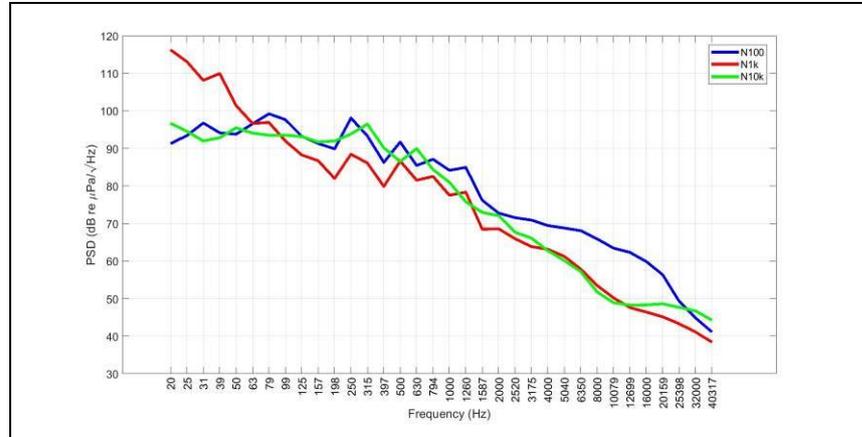


Figura 2 - A confronto, le power spectral density del suono rilevato nelle tre stazioni in direzione Nord dal terminale nella campagna dell'Autunno 2019 (la stessa di cui si riportano le TL nel § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), a titolo di esempio.

Le analisi più complesse, oltre all'analisi di Fourier del rumore, verranno solo accennate nel documento, ed i loro dettagli matematici presentati in appendice 2.

L'analisi del SPL rilevato nei diversi punti di monitoraggio permette quindi di valutare il livello di pressione sonora, in quei punti, e questi risultati permettono di verificare il rispetto dei valori soglia per il disturbo e il danno ai cetacei: è infatti necessario monitorare che questi livelli di campo acustico siano inferiori ai livelli di danno fisiologico nella regione in cui sono prescritte, ed effettuate, le misure.

Oltre a ciò, però, si prescrive naturalmente che anche il *source level* (SL), cioè il SPL presso la sorgente stessa, sia inferiore ai livelli di sicurezza fisiologica dei cetacei: a partire dalle misure *in situ* del rumore effettuate con l'idrofono, allora, si ricava il SL. Per tale analisi si è scelto di operare mediante due strade:

- Ottenendo nel punto di misura un valore di SPL "cumulato, misura in dB dell'RMS delle fluttuazioni di pressione dovute all'onda sonora, risultante dal *contributo di tutte le frequenze* ascoltate dall'idrofono, e poi ricostruendo a ritroso attraverso una formula semplificata, ma sufficientemente accurata per stimare il rumore prodotto dalla sorgente, ovvero il SL anch'esso "cumulato". Tali valori verranno confrontati con i valori soglia delle linee guida ISPRA [2] e con i valori del documento "Valutazione previsionale di impatto acustico subacqueo" [3] indicano in realtà un impatto del Terminale notevolmente inferiore a quanto previsto (valore stimato 185 dB re 1 μ Pa @ 1m). Questo approccio è evidentemente conservativo come ampiamente sottolineato nell'Appendice 2 contando nel valore finale sicuramente contributi provenienti da fonti diverse dal sistema Terminale-Metaniera-Rimorchiatori e contando frequenze non udibili da alcuni tipi di cetacei (tale modalità verrà applicata al monitoraggio dell'Allibo, in quanto si tratta di una multi-sorgente che emette a differenti frequenze);
- Individuando delle frequenze caratteristiche dei mezzi coinvolti nell'analisi (Terminale per lo stand alone e metaniera, rimorchiatori e Terminale per l'allibo)², isolando dallo spettro a quelle frequenze i relativi valori di SPL(f) e propagando questi ultimi a ritroso fino alla sorgente per ottenere i valori di SL(f) per essere confrontati con le soglie delle linee guida ISPRA [2]. Questa propagazione "monocromatica" (ovvero relativa ad una sola frequenza) viene operata questa volta per mezzo di un modello di propagazione acustica (modello Bellhop) che necessita come dato di input anche dello stato del mezzo in cui il rumore si propaga, ovvero i dati misurati dalla sonda CTD ("condizioni Oceanografiche" descritte in Appendice 2). Infine, con lo stesso procedimento e lo stesso strumento modellistico, a partire da ogni SL(f) ottenuta, è stata ricavata per i valori massimi di ogni frequenza individuata la distanza dalla fonte di rumore a cui l'SPL(f) risulta inferiore alle soglie ISPRA [2] ed al valore stimato di emissione durante la VIA pari a 185 dB re 1 μ Pa @ 1m [3]

² Le Frequenze caratteristiche terranno in considerazione la frequenza a cui emette il terminale, quella tipica dei rimorchiatori e quella delle navi a grandi dimensioni nonché i valori utilizzati dalla normativa pari a 63dB e 125 dB tipici per l'indicatore D11.2 tendenze nei livelli di rumorosità ambiente per i suoni continui a bassa frequenza (es: passaggio di navi).

Relativamente agli approcci sopra esposti si evidenzia che entrambi verranno utilizzati per l'analisi delle misure degli allibi, mentre solo il secondo per le misure stand alone (si veda in Appendice 2 la spiegazione dettagliate delle due metodologie): infatti, le operazioni durante le procedure d'allibo, incluso l'avvicinamento e l'allontanamento della metaniera alla regione del terminale, risultano una fonte di emissione broadband su tutto lo spettro comune al background di rumore "di bianco", mentre si è constatato che le emissioni acustiche del Terminale "FSRU Toscana" in assenza di metaniere e rimorchiatori spicca attorno a poche frequenze (circa 12 k Hz) in particolare sul background "bianco"

5. Restituzione dei risultati

Dalle attività di registrazione e successiva analisi (attività esplicitate nei capitoli precedenti) sarà redatto un Report annuale/triennale contenente grafici e tabelle dei livelli registrati di PSDf (Power Spectral density function). L'esempio di PSDf, dato in terze d'ottava, è il tipo di grafico in Figura 2, mentre esempi di campo di TL sono riportati in Appendice 2.

Calcolati i dati SPL ed i dati SL (cumulati, ed a determinate frequenze), gli stessi verranno confrontati con i valori di riferimento dello studio preliminare ambientale [3] e con i valori sopra delle linee guida ISPRA [2].

In caso i valori SL oppure SPL superino i livelli di danno acustico ai cetacei verrà verificato, a quale distanza dalla sorgente i valori di SPL tornano sotto i valori soglia: in questo modo, si determina qual è il perimetro di sicurezza oltre il quale non esiste pericolo fisiologico. Tale informazione verrà esplicitata nei report inviati all'autorità preposta così come richiesto dalle linee guida ISPRA.

6. Conclusioni

Alla luce dei risultati ottenuti nelle precedenti campagne di monitoraggio del rumore ed in ottemperanza alla Prescrizione n.7 dell'esclusione alla VIA prot. 25280/DVA del 20 ottobre 2010 e della nuova Prescrizione n.4 del Parere n. 3216 del 6 dicembre 2019 si propone il seguente piano di monitoraggio del rumore:

Monitoraggio stand alone (solo Terminale): razionalizzazione del piano di monitoraggio in considerazione della poca variabilità misurata di anno in anno riguardo alle caratteristiche del rumore del Terminale, dell'acustica dell'ambiente marino e della variabilità stagionale. Si propone quindi, ogni 3 anni, n. 2 campagne/anno da effettuarsi in inverno e in estate (analisi in condizioni di termoclino invernale/estivo). Similmente alle campagne pregresse, in ciascuna campagna verranno mantenute quattro direzioni: Nord, Sud, Est ed Ovest. In ciascuna direzione, stazioni a 100 m, 1000 m, e 10000 m dall'impianto. In ciascuna stazione: due misure con idrofono a due profondità, sopra e sotto il termoclino stagionale oltre ad una calata di sonda CTD per ciascuna stazione.

Monitoraggio degli allibi: si propone di monitorare, ove disponibili, ogni anno, (per i primi 4 anni) ed ogni 3 anni (successivamente), n° 2 metaniere "di grandi dimensioni" (tipologia1) e 2 metaniere "small scale" (tipologia 2). Una metaniera appartenente ad ognuna delle due tipologie di navi sarà monitorata nel periodo di termoclino superficiale invernale e l'altra nel periodo di termoclino superficiale estivo. Le attività di misura nelle campagne di monitoraggio dell'allibo saranno condotte mantenendo il mezzo nautico a 4 miglia nautiche in posizione ortogonale sul lato destro rispetto a quella del Terminale prima dell'inizio dell'allibo, tenendo conto della traiettoria d'avvicinamento della metaniera oggetto di indagine. La logica di avere una sola stazione è quella di risolvere temporalmente il monitoraggio delle diverse fasi delle operazioni di allibo, tenendosi in comunicazione costante col personale del terminale. Le registrazioni seguiranno le procedure di attività secondo il programma di scarica. Per ciascuna attività sarà effettuata una registrazione di un tempo adeguato (es. 10') a due profondità, sopra e sotto il termoclino.



OLT OFFSHORE LNG TOSCANA

PROJECT: **Piano di monitoraggio del Rumore**



7. Bibliografia

- [1] European Marine Strategy Framework Directive Good Environmental Status (MSFD-GES). *Report of the Technical Subgroup on Underwater Noise and other forms of energy*, pp. 31
- [2] BORSANI J.F., FARCHI C. (2011) "*Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne*", ISPRA, Parte prima/seconda, pp. 9-10.
- [3] STUDIO PRELIMINARE AMBIENTE SPA. "Valutazione previsionale di impatto acustico subacqueo". Studio Ambiente 2010.
- [4] ORDINANZA 137 DEL 2013. "Zone di interdizione, limitazione e preavviso del terminale FSRU Toscana"
- [5] ORDINANZA 6 DEL 2014. "Regolamento delle attività del Terminale di Rigassificazione FSRU Toscana"



OLT Offshore LNG Toscana S.p.A.



**TERMINALE GALLEGGIANTE DI RIGASSIFICAZIONE
FSRU - TOSCANA**

**Piano di monitoraggio del Rumore del Terminale “FSRU Toscana”
APPENDICE 1: Risultati “stand-alone” – strumentazione**



Rev 0	19/01/2021	<i>Emissione definitiva</i>	<i>MM/SN/CP</i>	<i>AMDB</i>	<i>CP</i>
Rev.	Data	Descrizione della Revisione	Preparato da	Verificato da	Approvato da



OLT OFFSHORE LNG TOSCANA

PROJECT: Piano di monitoraggio del Rumore



Indice generale

Capitolo 1. Risultati consolidati sul monitoraggio FSRU-Toscana “stand alone”	3
Capitolo 2. L'idrofono	5
Capitolo 3. La sonda CTD	9

Indice delle figure

Figura 1 - Confronto fra i livelli PSDf in terze d'ottava del Bianco (B), i valori minimi, medi e massimi calcolati tra le campagne P15 e E19 e le singole campagne P15 ed E19.	4
Figura 2 - Diagramma del sistema di misura.	5
Figura 3 - Curve di sensibilità (alto guadagno) misurate in varie condizioni.	6
Figura 4 - Curve di sensibilità rossa alto guadagno, blu basso guadagno con idrofono all'interno della gabbia protettiva.	7
Figura 5 - Conducibilità elettrica in vasca (plot in alto) e stima di velocità del suono in acqua (plot in basso).	7
Figura 6 - Curva alto guadagno (linea rosa) e basso guadagno (linea blu).	8
Figura 7 - Curva di sensibilità in dB fondo scala ADC/uPa.	9
Figura 8 - Valori di calibrazione.	10

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Riepilogo dei livelli alla sorgente delle emissioni acustiche del Terminale. I valori di E18 non sono riportati come indicato nel testo.	3
Tabella 2 - Caratteristiche idrofono.	5
Tabella 3 - Confronti della conducibilità e velocità del suono in vasca.	8
Tabella 4 - Valori misurati sul canale digitale.	9
Tabella 5 - Caratteristica sonda mutriparametrica.	10

Capitolo 1. Risultati consolidati sul monitoraggio FSRU-Toscana “stand alone”

Attraverso i livelli misurati in campo negli anni indagati e con la definizione di un adeguato modello di propagazione del suono, è stato possibile determinare, per ciascuna campagna, il livello di emissione alla sorgente (SL: source level), cioè dal Terminale, e individuare la banda di frequenze prevalente in cui il rumore prodotto altera in misura maggiore quello di fondo naturale.

Nel corso dei monitoraggi i risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli degli anni precedenti al livello di PSDf (Power Spectral Density function) in terze di ottava con i valori stimati alla sorgente al fine di verificare l'andamento temporale negli anni. È stata scelta per questi confronti la stazione E100 a -55m (Tabella 1) dalla quale è stata ricavata SL a 1 m dal Terminale.

La Tabella 1 rappresenta la sintesi delle misure effettuate nelle singole campagne per la stazione più prossima al terminale (E100) a 55metri di profondità (SL a 1 m dal terminale calcolato dal SPL a 100 m a cui viene sottratto la TL-trasmission loss). Ad oggi, nella frequenza di 12 kHz, è stato individuato il maggior contributo di rumore del Terminale. Il livello di rumore ambiente misurato nel Bianco a quella frequenza (12 kHz) è stata di 47 dB. La media dei valori ottenuta dai dati di tutte le campagne finora eseguite in presenza del Terminale è pari a 102,5 dB re 1uPa @ 1m e risulta superiore di 55,5 dB re 1uPa @ 1m rispetto al Bianco, mentre il valore massimo (115 dB re 1uPa @ 1m) per quella stazione, risulta maggiore di 68 dB re 1uPa @ 1m.

È utile confrontare il valore di emissione del Terminale con i due valori di riferimento. Il primo, contenuto nella Valutazione Previsionale redatta durante la fase di progetto, riporta nelle conclusioni un valore atteso di 185 dB re 1uPa @ 1m. Il livello massimo finora registrato di 115 dB re 1uPa @ 1m è dunque ampiamente inferiore a quello calcolato in fase di progetto ed approvato dall'Autorità preposta. Il secondo valore di soglia è rappresentato da quello indicato dalle Linee Guida Ispra, che definisce in 110-120 dB re 1uPa @ 1m il limite al di sopra del quale vengono provocate le prime risposte comportamentali nei cetacei a media frequenza presenti nell'area di interesse. Anche in questo caso il livello di 115 dB re 1uPa @ 1m si colloca entro tali limiti di riferimento. Possiamo quindi affermare che non vi sono superamenti rispetto a quanto previsto in fase di progetto e a quanto affermato dalle attuali linee guida.

Tabella 1 - Riepilogo dei livelli alla sorgente delle emissioni acustiche del Terminale. I valori di E18 non sono riportati come indicato nel testo.

Campagna	SL (Valore stimato alla sorgente) [dB re 1 uPa @1m]	Frequenza
A13	107	12KHz
I14	99	12KHz
P14	102	12KHz
E14	99	12KHz
A14	98	12KHz
I15	107	12KHz
P15	98	12KHz
E15	113	12KHz
A15	112	12KHz
I16	111	12KHz
P16	103	12KHz
E16	107	12KHz
A16	109	12KHz
I17	111	12KHz
P17	91	12KHz
E17	93	12KHz
A17	96	12KHz
I18	99	12KHz
P18	92	12KHz
E18	non calcolabili	
A18	98	12KHz

Tabella 1 - Riepilogo dei livelli alla sorgente delle emissioni acustiche del Terminale. I valori di E18 non sono riportati come indicato nel testo.

I19	100	12KHz
P19	98	12KHz
E19	115	12KHz
Max	115	12KHz
Media	102,5	12KHz
Dev St	7,1	12KHz
Min	91	12KHz

Per caratterizzare meglio l'ambiente acustico nell'area del Terminale in tutto lo spettro di frequenze, che va da 20Hz a 40kHz, è stata considerata per ogni campagna una curva di riferimento della PSDf misurata nella stazione E100 a 55 metri di profondità (Figura 1), ossia la stessa curva presa a riferimento per il calcolo del livello alla sorgente della Tabella 1. Di queste curve è stato calcolato il valore minimo, massimo e la media per l'intero spettro di frequenza rappresentato in terze d'ottava.

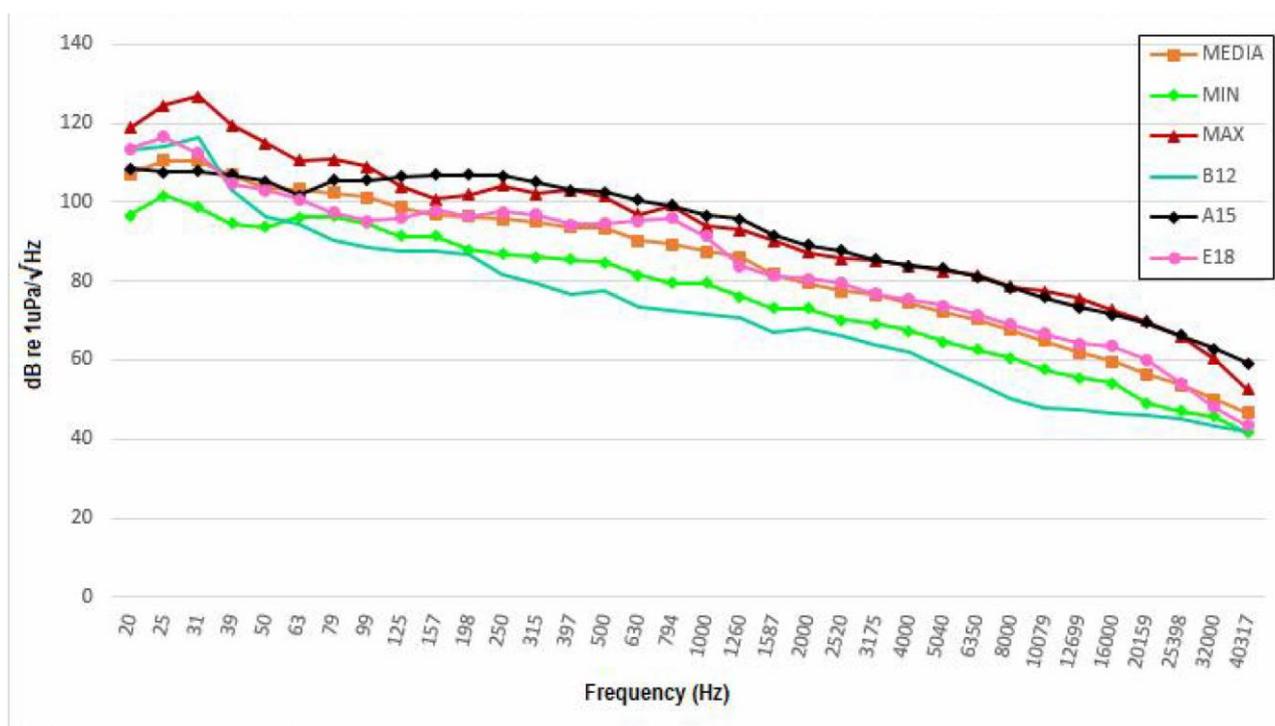


Figura 1 - Confronto fra i livelli PSDf in terze d'ottava del Bianco (B), i valori minimi, medi e massimi calcolati tra le campagne P15 e E19 e le singole campagne P15 ed E19.

La scelta relativa all'impiego di frequenza campione centrata su 12kHz nel monitoraggio stand-alone è giustificata dalle previsioni fatte prima del posizionamento del terminale e dalle prime misurazioni eseguite. Infatti l'ipotesi di presenza di altre fonti di rumore non conosciute ha indotto a scegliere una frequenza centrale (di valore intermedio) tra gli intervalli della banda 20 Hz-40 kHz.

La disponibilità di misure effettuate nella campagna di bianco ha permesso di quantificare il rumore ambientale in assenza del terminale, che tuttavia potrebbe non corrispondere esattamente al rumore ambientale causato da altre sorgenti di rumore quali, ad esempio, traffico navale e particolari condizioni meteo-marine.

Le misurazioni effettuate in presenza del terminale (fase di esercizio) hanno evidenziato, come atteso, che i valori osservati (minimi e massimi) sono sempre stati più elevati rispetto alla curva di bianco (stazione campione E100 a 55 m di profondità). Dall'analisi

delle basse frequenze (50 Hz-1000 Hz) il rumore è originato prevalentemente dal traffico navale indicando quindi fonti di rumore esterne al terminale che si propagano anche da grandi distanze, evidenziando come le maggiori differenze rispetto al bianco siano evidenti intorno alla frequenza di 12kHz e giustificando quindi la scelta di tale frequenza come riferimento per le emissioni del Terminale.

Capitolo 2. L'idrofono

Idrofono digitale Aguatech Smid Technology Serie DH per rilevazione di suoni a bassa frequenza e ampio spettro. Si tratta di idrofono omnidirezionale con 2 preamplificatori a basso rumore con diversi valori di guadagno e 1 digitalizzatore A/D a 2 canali a 24 bit $\Sigma\Delta$ (frequenza di campionamento 192 kHz). (Tabella 2).

Tabella 2 - Caratteristiche idrofono.

Sensibilità canale basso guadagno	dB re V/ μ Pa	-186
Sensibilità canale alto guadagno	dB re V/ μ Pa	-148
Range frequenza	Hz	10 -90.000
Frequenza di campionamento	KHz	100/200
Direzionalità	sferica	omnidirezionale
Rumore di ingresso equivalente	dB re 1 μ Pa/ \sqrt Hz	+24
Consumo	mW	800
Profondità massima	m	1.000

La registrazione avviene tramite acquisizione di segnale con software custom creato appositamente dal costruttore del sistema (Aguatech Smid Technology) per questo scopo.

L'acquisizione simultanea di due canali con guadagni differenti consente di avere una gamma dinamica più ampia e, quindi, raccogliere allo stesso tempo segnali molto deboli o molto forti senza saturazione. Il sistema è dotato di una porta seriale a cui è collegato un dispositivo non acustico (la sonda CTD), in questo modo i dati acustici e non acustici sono integrati nello stesso flusso di dati digitali verso il ricevitore dry-end. Il ricevitore può funzionare in modalità stand-alone in quanto è dotato di due convertitori A/D per uscite analogiche da dati acustici e una porta seriale per l'uscita dati non acustici. L'intero flusso di dati è trasferito a un PC tramite un'interfaccia Ethernet per l'archiviazione dei dati e analisi. La modularità del sistema permette in ogni caso l'integrazione di qualsiasi dispositivo multiparametrico o profilatore di velocità del suono con uscita seriale.

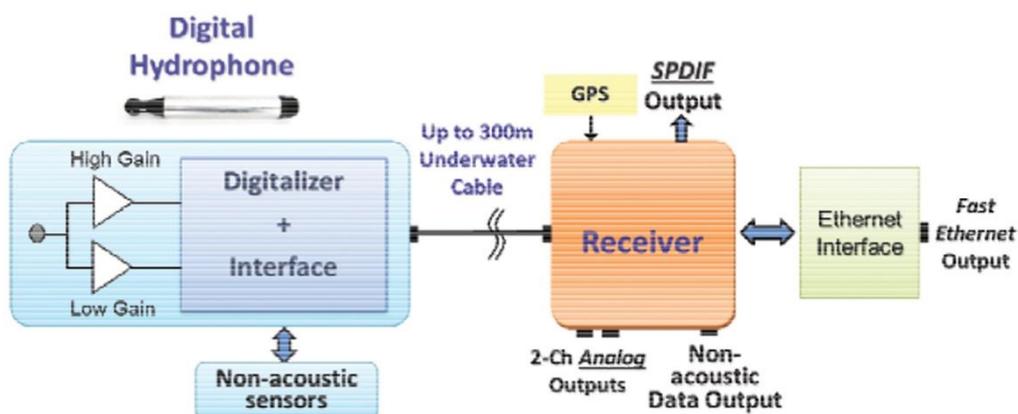


Figura 2 - Diagramma del sistema di misura.

Il Sistema permette:

- Selezione in tempo reale dei punti di misurazione riferiti al termoclino effettivo
- Posizionamento preciso dell'idrofono nella colonna d'acqua
- Ricezione continua dei dati
- la mappatura del rumore ambientale in una griglia di punti
- Distribuire il sistema lungo la colonna d'acqua per la stima SVP (in discesa o in salita)
- Visualizzazione e analisi in tempo reale dell'SVP
- Decidere dove condurre le misurazioni, ad esempio selezionando una profondità sopra e una profondità sotto il termoclino.

Il sistema è stato inizialmente calibrato al CMRE in vasca. Le curve di sensibilità sono state calcolate sia per il guadagno basso che alto. La calibrazione è stata eseguita per confronto utilizzando un idrofono analogico di riferimento calibrato (RESON TC4034); il segnale digitale dell'idrofono è stato acquisito tramite le uscite analogiche del suo ricevitore digitale, dopo conversione D / A al fine di raccogliere dati con un sistema di acquisizione comune. I risultati della calibrazione dell'idrofono sono mostrati nelle figure 3 e 4. Le curve in figura 3 fanno riferimento al canale ad alto guadagno dell'idrofono. Ad alto guadagno la sensibilità dell'idrofono viene confrontata quando l'idrofono si trova in acqua senza la gabbia protettiva mentre il CTD era acceso e spento (plot in alto) e quando è all'interno della gabbia protettiva insieme al CTD (metà plot), con CTD sempre acceso e spento. Non c'è alcuna influenza da parte del CTD in tutta la banda misurata. Il confronto della curva di sensibilità quando l'idrofono è da solo o all'interno della gabbia insieme al CTD è mostrato in figura 2. Questo mira a quantificare l'influenza del telaio e della cassa CTD sulla risposta dell'idrofono. Come previsto, c'è una certa influenza (riflessioni dalle strutture metallica) che provoca una deviazione dalla curva di riferimento (rispetto al solo idrofono) di un massimo di 4 dB.

La figura 3 mostra le curve di sensibilità dei guadagni alto e basso dell'idrofono, quando l'idrofono all'interno dell'intero sistema integrato, con il CTD spento. Le due curve sono identiche, a parte la variazione della sensibilità (costante con la frequenza) corrispondente alla differenza tra i due valori di guadagno (36 dB).

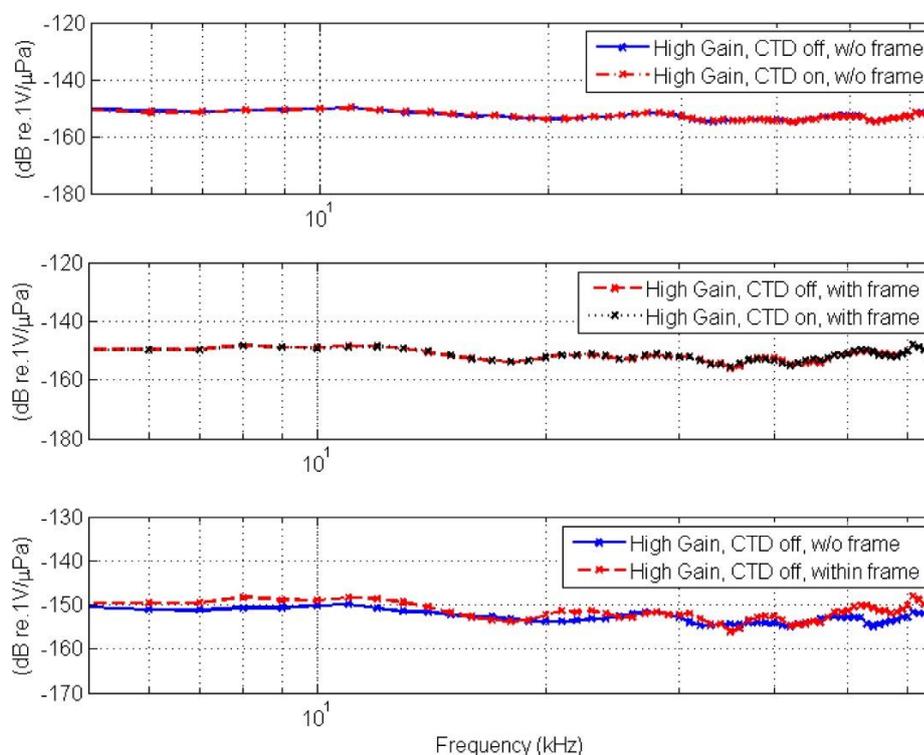


Figura 3 - Curve di sensibilità (alto guadagno) misurate in varie condizioni.

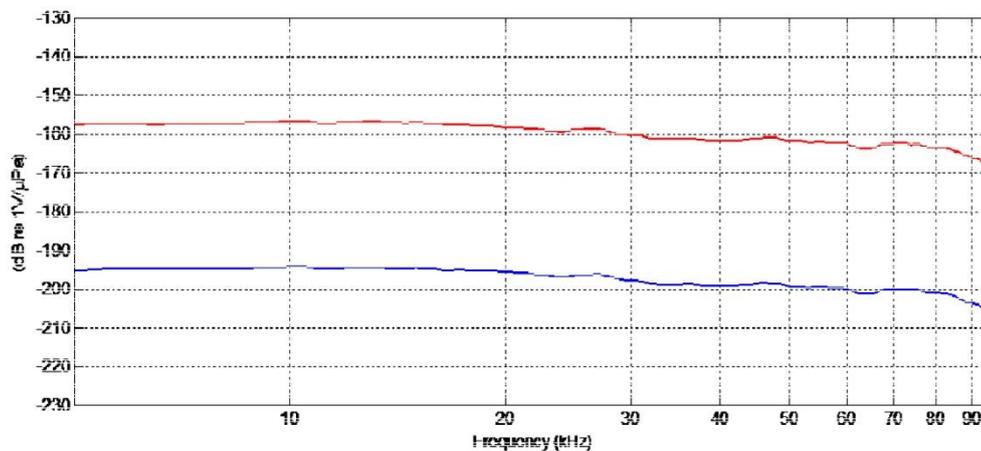


Figura 4 - Curve di sensibilità rossa alto guadagno, blu basso guadagno con idrofono all'interno della gabbia protettiva

La possibile influenza del telaio meccanico e dell'idrofono sulle misure del CTD (in particolare la conducibilità) sono state verificate durante la calibrazione in vasca. Per prima cosa il CTD è stato testato in modalità stand-alone all'interno della vasca (figura 4 plot in alto). Successivamente all'intero della gabbia insieme all'idrofono. In quest'ultimo caso, i dati CTD sono stati integrati con i dati acustici e inviati al ricevitore del sistema in un flusso di dati digitali. Una leggera influenza sulla conducibilità è mostrata in figura 5, che causa un valore leggermente diverso della velocità del suono in acqua tra le due condizioni. Nel test la temperatura dell'acqua era 23,44 °C e salinità 38,8 ‰. La variabilità rientra nella precisione del sensore. Gli effetti della presenza del telaio sulla conducibilità è tale comunque che la variazione della velocità del suono può essere considerata trascurabile dal punto di vista acustico (tabella 3).

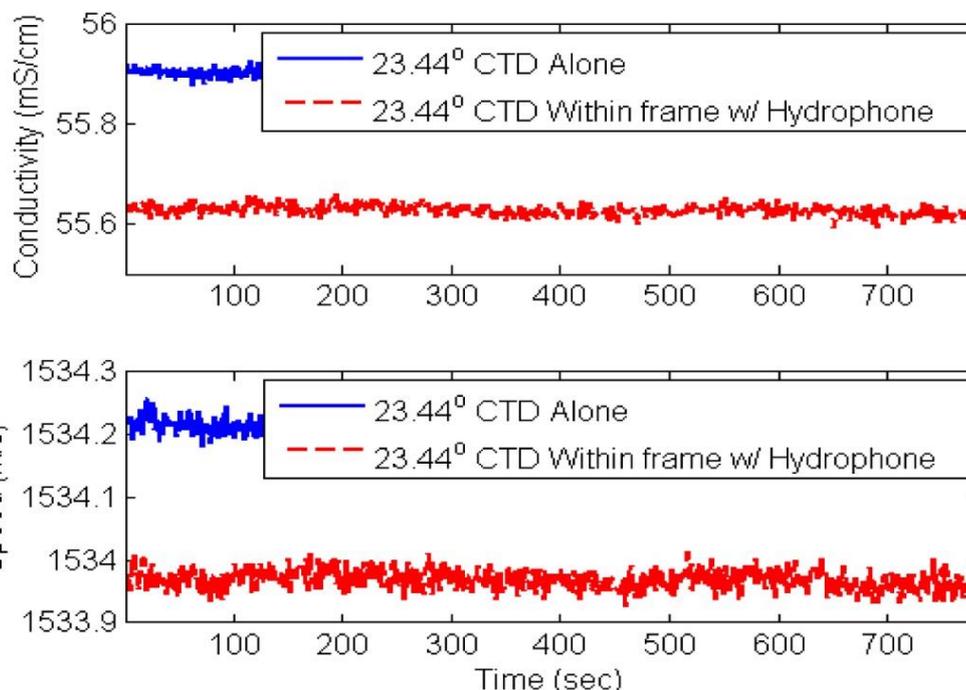


Figura 5 - Conducibilità elettrica in vasca (plot in alto) e stima di velocità del suono in acqua (plot in basso).

Tabella 3 - Confronti della conducibilità e velocità del suono in vasca.

Variable	Mean value		Standard deviation Alone	
	Alone	w/ whole system	Alone	w/ whole system
Conductivity (mS/cm)	55.90	55.626	0.009	0.01
Sound Speed (m/s)	1534.21	1533.97	0.014	0.015

I test ed i valori qui rappresentati sono stati confermati dai monitoraggi in mare.

Un ulteriore calibrazione è stata effettuata nel 2019 nella vasca acustica di COLMAR. Per i canali analogici sono state calcolate le curve di sensibilità prendendo le uscite dei due canali LS e HS del ricevitore e mandandoli all'acquisitore. La calibrazione è avvenuta per riferimento utilizzando un idrofono Colmar mod GP0280 SN103 e un trasduttore ITC1001. In figura 6 sono rappresentate le curve dei 2 canali.

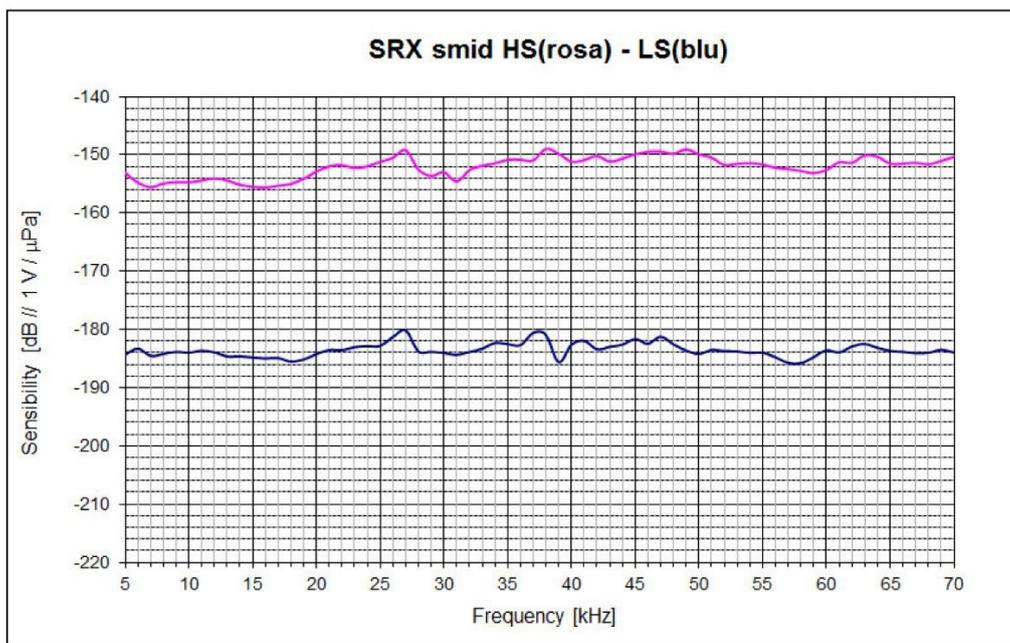


Figura 6 - Curva alto guadagno (linea rosa) e basso guadagno (linea blu).

Per quanto riguarda la calibrazione del segnale digitale, quello che si riporta di seguito è una tabella con i valori determinati durante le misure. Al valore di pressione acustica registrato dall'idrofono di riferimento ad una determinata frequenza si associa il valore in dB re fondo scala ADC, ottenendo così la sensibilità espressa in dB re fondo scala ADC/uPa. Per leggere i segnali digitali e quindi i valori uPa riferiti al fondo scala ADC è stato utilizzato il programma Audacity (tabella 4).

Tabella 4 - Valori misurati sul canale digitale.

freq	sensibilita SN103	veff SN103 (dB re 1Vrms)		dB re 1uPa	uPC rif fondo scala ADC *	dB re fondo scala ADC/uPa
5000	-170,3154557	-16,30617138	0,153	154,0092843	0,45	-160,945034
7000	-170,8667036	-26,1960784	0,049	144,4706252	0,2	-158,4500253
9000	-171,0533734	-25,67993313	0,052	145,3734403	0,45	-152,30919
11000	-171,4673312	-11,0258736	0,281	160,4414576	1	-160,4414576
13000	-171,9009212	-16,19336604	0,155	155,7075552	0,75	-158,2063299
15000	-172,3469657	-17,13970399	0,139	155,2072617	0,9	-156,1224115
17000	-172,7987651	-16,83275016	0,144	155,9660149	0,85	-157,3776364
19000	-173,250098	-18,48906077	0,119	154,7610372	0,65	-158,5027701
21000	-173,695221	-21,61843815	0,083	152,0767828	0,5	-158,0973828
23000	-174,1288689	-21,41162149	0,085	152,7172474	0,55	-157,9099937
25000	-174,5462547	-23,47850395	0,067	151,0677507	0,45	-158,0035005
27000	-174,9430693	-21,61843815	0,083	153,3246311	0,7	-156,4226703
29000	-175,3154819	-17,32922183	0,136	157,98626	0,95	-158,4317879
31000	-175,6601397	-21,11034656	0,088	154,5497931	0,57	-159,432296
33000	-175,9741681	-22,15810795	0,078	153,8160602	0,6	-158,2530352
35000	-176,2551707	-17,45790403	0,134	158,7972667	1	-158,7972667
37000	-176,501229	-21,41162149	0,085	155,0896075	0,8	-157,0278077
39000	-176,7109027	-21,11034656	0,088	155,6005561	0,7	-158,6985953
41000	-176,8832297	-24,15216621	0,062	152,7310635	0,65	-156,4727964
43000	-177,017726	-24,73144013	0,058	152,2862859	0,55	-157,4790321
45000	-177,1143857	-26,37517525	0,048	150,7392104	0,53	-156,253693
47000	-177,1738809	-27,95880017	0,04	149,2148807	0,5	-155,2354807
49000	-177,196562	-27,95880017	0,04	149,2377619	0,38	-157,6420899
51000	-177,1844575	-32,04119983	0,025	145,1432576	0,22	-158,294804

* = letto da audacity (1 = full scale, 2uPCpp audacity)

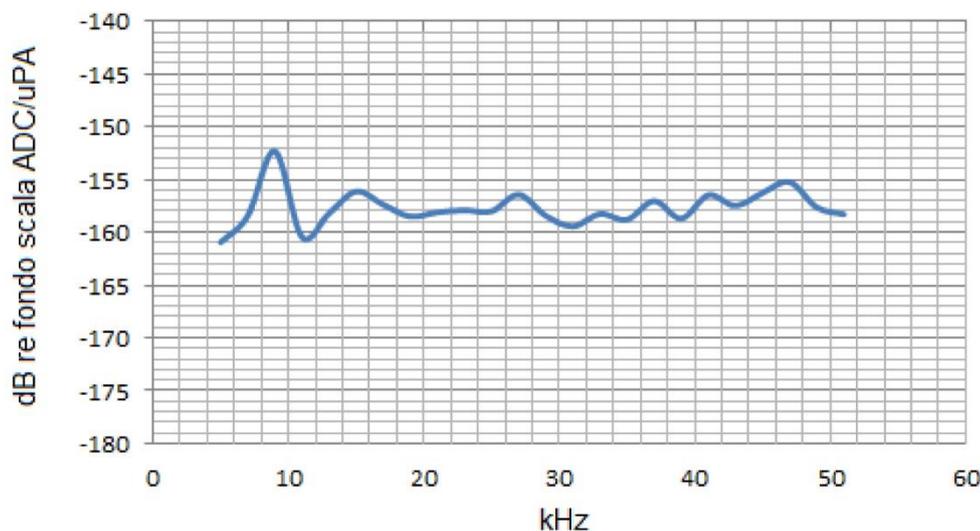


Figura 7 - Curva di sensibilità in dB fondo scala ADC/uPa

In conclusione possiamo indicare come lo strumento descritto sia altamente indicato per le misure da effettuare.

Capitolo 3. La sonda CTD

Sonda multiparametrica CTD Ageotec IMSV con sensori Sonda con sensori CTD per calcolare direttamente la velocità del suono in acqua. I dati sono registrati su file con PC dedicato mediante il software APWin creato dalla casa costruttrice della sonda, con visualizzazione in tempo reale del profilo verticale di temperatura e di tutti i parametri indicati nella descrizione dello strumento.

Tabella 5 - Caratteristica sonda mutiparametrica.

Velocità del suono	Range m/sec	1.350-1.600
	Risoluzione m/sec	0.001
	Accuratezza m/sec	±0.060 (P=2000 dbar) ±0.045 (P=100 dbar)
Temperatura	Range °C	-2 ~ 38
	Risoluzione °C	0.001
	Accuratezza °C	±0.01
Conducibilità	Range S/cm	0~70
	Risoluzione S/cm	0.001
	Accuratezza S/cm	±0.01
Pressione	Range dbar	0~2000
	Risoluzione dbar	0.03
	Accuratezza dbar	±1
Salinità	Range ppt	0~40
	Risoluzione ppt	0.001
	Accuratezza ppt	±0.01

Ultima calibrazione della sonda anno 2019 (calibrazione effettuata dalla casa costruttrice ogni 5 anni o qualora si monitorino misure anomale). In figura 8 sono rappresentati i valori della calibrazione effettuata.

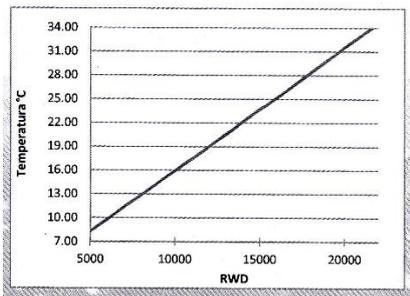
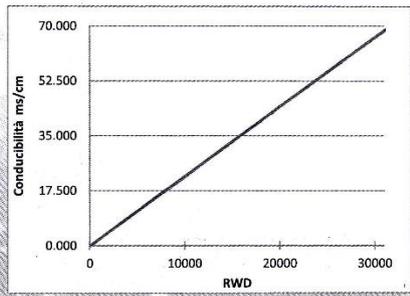
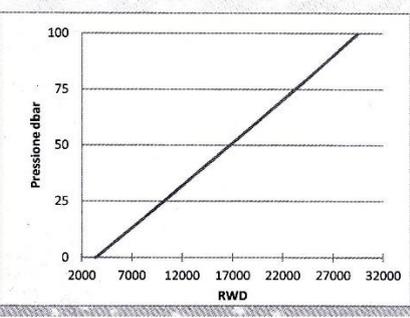
Sensore temperatura	<p>Andamento grafico</p> 	$A(0) = 7.501334E-01$ $A(1) = 1.500675E-03$ $A(2) = 1.699932E-09$
Sensore conducibilità	<p>Andamento grafico</p> 	$A(0) = -1.666842E-01$ $A(1) = 2.231004E-03$ $A(2) = -4.642796E-10$
Sensore pressione	<p>Andamento grafico</p> 	$A(0) = -6.823657+00$ $A(1) = 3.629114E-03$ $A(2) = 6.515438E-10$

Figura 8 - Valori di calibrazione



OLT Offshore LNG Toscana S.p.A.



**TERMINALE GALLEGGIANTE DI RIGASSIFICAZIONE
FSRU - TOSCANA**

Piano di monitoraggio del Rumore del Terminale “FSRU Toscana”

APPENDICE 2: Analisi acustica



Rev 0	19/01/2021	Emissione definitiva	MM/SN/CP	AMDB	CP
Rev.	Data	Descrizione della Revisione	Preparato da	Verificato da	Approvato da



Indice generale

Premessa.....	3
Capitolo 1. Analisi locale del rumore.....	3
Capitolo 1.1. Analisi statistica dei dati	4
Capitolo 1.2. Analisi spettrale	7
Capitolo 2. Ricostruzione del livello di sorgente.....	8
Capitolo 2.1. Misure locali, Equazione d'onda e livello di sorgente	8
Capitolo 2.2 – Metodo semplificato per SL Cumulato.....	9
Capitolo 2.3. Il modello BELLHOP e il calcolo di TL	10
Capitolo 2.3.1 Condizioni Oceanografiche.....	13
Riferimenti.....	14

Indice delle figure

Figura 1 - Letture dei voltaggi riportati dall'idrofono relativamente al dato '2020-09-09_15-17-38ch0.wav': si noti la differenza di amplificazione fra i due canali.	4
Figura 2 - Serie temporali della pressione sonora registrata dai due canali dell'idrofono, riportato a titolo di esempio. Si noti la parziale equalizzazione in ampiezza delle due serie, rispetto a ciò che succedeva per i voltaggi.	5
Figura 3 - Esempio di "SPL istantaneo" per i due canali dell'idrofono: in dB l'equalizzazione fra i canali è quasi completa.	5
Figura 4 - La probabilità a posteriori di avere un dato valore di pressione sonora istantanea. Nel riquadro la relazione fra questa e la probabilità che la pressione sonora istantanea ecceda una data soglia θ	6
Figura 5 - Valore del SPL su ogni minuto di dato degli 11 misurati consecutivamente (in blu), paragonato alle soglie di prima risposta comportamentale (First Behaviour Response, FBR) per i cetacei di bassa (rosso), media (ciano) ed alta (verde) frequenza.....	6
Figura 6 - Spettro di ampiezza per il Ch.1, riportato a titolo di esempio. Nel riquadro, la formula per il valore totale dell'SPL nella banda di frequenze da f_{min} ad f_{max}	7
Figura 7 - Spettro in terze d'ottava per i dati dal Ch1, a titolo di esempio'.	8
Figura 8 - il campo di transmission loss $TL(r,z)$ per ricavare il SL dalle misure dell'idrofono citate, come esempio, in § 0.	12
Figura 9 - La TL di cui in a 10 m di profondità.	13
Figura 10 - Dipendenza della velocità del suono nell'acqua nelle fasi di Avvicinamento (traccia in blu), di Raffreddamento (traccia in rosso), di Discarica (traccia in verde), di Maximum Rate (traccia ciano) e di Allontanamento (traccia nera).	13



Premessa

Come ben spiegato nel Capitolo 1, i dati raccolti dall'idrofono sono serie temporali di scostamenti istantanei della pressione, δp , dalla pressione idrostatica, dovuti al passaggio dell'onda sonora. Con tali fluttuazioni istantanee $\delta p(t)$ si costruiscono i valori di pressione sonora SPL nell'intervallo di tempo definito intervallo di misura: questo SPL è la *misura in dB del quadrato del rapporto fra RMS della pressione sonora ed una pressione di riferimento* (convenzionalmente pari a $1\mu\text{Pa}$). Nell'acquisizione dei dati si è anche definito, ad ogni istante t di misura, un SPL "istantaneo", detto $\text{SPL}(t)$, come la misura in dB del quadrato del rapporto fra la fluttuazione istantanea di pressione portata dall'onda sonora $\delta p(t)$ e la pressione di riferimento. Con tali serie temporali misurate dall'idrofono si è deciso di affrontare due tipi di analisi differenti che, approfondendo aspetti diversi, risultano complementari e ampliamenti sufficienti a caratterizzare il contesto di rumore che si realizza durante le fasi operative considerate.

- a) Con l'analisi statistica si indaga sul tempo di permanenza del valore istantaneo di rumore $\text{SPL}(t)$ al di sotto o al di sopra delle soglie indicate nelle linee guida ISPRA;
- b) Nell'analisi spettrale invece si ricava, mediante una trasformata di Fourier a partire dalla serie temporale misurata, la distribuzione in frequenza del rumore relativo ad ogni fase operativa analizzata (spettro di frequenza $\text{SPL}(f)$). Obiettivo di questo step è ricavare un valore di SL (Source Level) alla sorgente che sia immediatamente confrontabile con le soglie indicate da ISPRA e con il valore di 185 dB comunicato nel documento di VIA. Per ottenere ciò si opera mediante due strade:
 - Ottenendo nel punto di misura un valore di SPL "cumolato", ovvero un contributo di rumore risultante dal contributo di tutte le frequenze ascoltate dall'idrofono, per poi ricostruire a ritroso, attraverso una formula semplificata (ma sufficientemente accurata per stimare l'ordine di grandezza dei valori in gioco), il rumore prodotto dalla sorgente, ovvero il SL anch'esso "cumolato". Questo approccio è evidentemente conservativo poiché ingloba nel valore finale sicuramente contributi provenienti da fonti diverse dal sistema FSRU-Metaniera-Rimorchiatori, e perché va a sommare anche frequenze che i Cetacei non possono udire;
 - Individuando delle frequenze caratteristiche dei mezzi coinvolti nell'analisi (metaniera, rimorchiatori e Terminale), isolando dallo spettro a quelle frequenze i relativi valori di $\text{SPL}(f)$ e propagando questi ultimi a ritroso fino alla sorgente per ottenere i valori di $\text{SL}(f)$ per essere confrontati con le soglie già citate in precedenza. Questa propagazione "monocromatica" (ovvero relativa ad una sola frequenza) viene operata questa volta per mezzo di un modello di propagazione acustica (modello BELLHOP) che necessita come dato di input anche dello stato del mezzo in cui il rumore si propaga, ovvero i dati misurati dalla sonda CTD. Infine, con lo stesso procedimento e lo stesso strumento modellistico, a partire da ogni $\text{SL}(f)$ ottenuta, è possibile ricavare per ogni frequenza analizzata la distanza dalla fonte di rumore a cui l' $\text{SPL}(f)$ risulta inferiore alle soglie ISPRA scelte.

Nella presente Appendice, si entra nei dettagli matematici dell'approccio appena proposto. L' Appendice è dunque così organizzata:

- nel Capitolo 1 viene descritta l'analisi locale del rumore, ossia l'analisi dei dati così come sono collezionati direttamente dall'idrofono: a carico di questo tipo di analisi non vi è alcuna ipotesi fisica restrittiva sulla natura del mezzo acustico "mare", sebbene si facciano delle assunzioni statistiche di ergodicità che permettono di valutare la stocasticità delle fluttuazioni del rumore dalle variazioni temporali di questo.
- gli studi presentati nel capitolo 2 invece, occupandosi della diagnosi del livello di sorgente (*source level*, SL) cioè di fatto l'SPL in prossimità della sorgente del rumore, dove esso *non* viene direttamente misurato, si fondano su come la propagazione del rumore avvenga nel mare attorno al Terminale "FSRU Toscana". Queste ipotesi sono fondanti dell'uso del modello acustico adottato, richiamato nel capitolo 2.1, che permette di arrivare al calcolo della quantità che maggiormente interessa, ossia la perdita in trasmissione (*transmission loss*, TL) richiamata nel capitolo 2.2.

Capitolo 1. Analisi locale del rumore

Per ogni intervallo temporalmente continuo di misura (lungo al più un minuto), l'idrofono raccoglie due serie temporali $d_1(t)$ e $d_2(t)$, che corrispondono rispettivamente alle letture dei voltaggi (espressi in V) nel canale Ch1 (con sensibilità dichiarata dal costruttore di -186 dB re $V/1\mu\text{Pa}$), e nel canale Ch2 (del quale il costruttore dichiara una sensibilità di -148 dB re $V/1\mu\text{Pa}$). Queste serie temporali di voltaggio vengono facilmente tradotte in serie temporali di fluttuazioni di pressione $p_1(t)$ e $p_2(t)$, la pressione sonora espressa in μPa , misurata su ciascuno dei due canali (questi valori $p_i(t)$ sono numeri reali sia positivi che negativi, poiché rappresentano la fluttuazione

di pressione rispetto all'equilibrio idrostatico del mezzo, associata all'onda sonora). Le serie temporali sono tutte equispaziate, con una frequenza di campionamento F_s pari a 192 kHz e tempo di campionamento di $\tau_s = 5.2083 \cdot 10^{-6}$ s (relativamente molto piccolo: questo comporterà in effetti l'accesso a delle frequenze così elevate che non debbono essere considerate di grande interesse per la bioacustica dei Cetacei).

La trattazione locale dei dati si fa direttamente a partire dalle serie temporali $d_1(t)$ e $d_2(t)$ per ogni minuto di misura, disponendo delle sensibilità per Ch1 e Ch2, od anche sulle serie "più fisicamente leggibili" $p_1(t)$ e $p_2(t)$. a lettura delle serie di voltaggi produce le due "evoluzioni temporali" mostrate in Figura 1 la differenza fra le due serie è dovuta alla diversa amplificazione a cui sono soggetti i due canali dell'idrofono. Il confezionamento delle serie temporali $p_1(t)$ e $p_2(t)$ produce le evoluzioni di cui in Figura 2

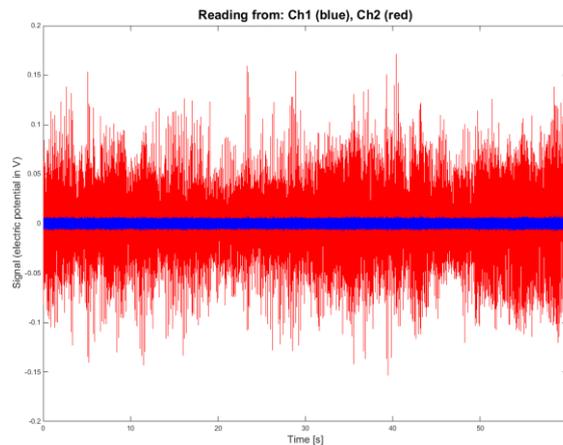


Figura 1- Letture dei voltaggi riportati dall'idrofono relativamente al dato "2020-09-09_15-17-38ch0.wav": si noti la differenza di amplificazione fra i due canali.

Capitolo 1.1. Analisi statistica dei dati

Dalle serie temporali dell'idrofono vogliamo ottenere delle indicazioni sulla pressione sonora, e sui suoi effetti biologici sui Cetacei; tradizionalmente si fa riferimento al *sound pressure level* (SPL), definito come il rapporto in dB fra lo scarto quadratico medio rispetto alla pressione idrostatica dell'ambiente, e una pressione di riferimento p_0 , che in acqua prendiamo pari a $1 \mu\text{Pa}$. Qui diamo, inoltre, una definizione di $SPL(t)$ considerando *in ogni istante* il rapporto fra il valore assoluto della *fluttuazione istantanea* $p(t)$ ricavata dall'idrofono e la stessa p_0 : tale quantità è poi espressa in dB. Le serie temporali $SPL(t)$ per i due canali sono riportate nella Figura 3 nell'insero bianco, sovrapposto al tracciato delle serie temporali, la formula della definizione di SPL istantaneo al tempo t . Fra l'altro, in Figura 3 si vede come i valori più importanti dell'SPL istantaneo vengano assunti dal suono come registrato nel Ch1. Il fatto che l'equalizzazione dei canali in termini di SPL istantaneo non sia *esatta*, manifesta la naturale problematicità dell'uso delle calibrazioni nominali dello strumento: conforta però nei grafici in Figura 3 lo scarto di pochi dB fra i due $SPL(t)$.

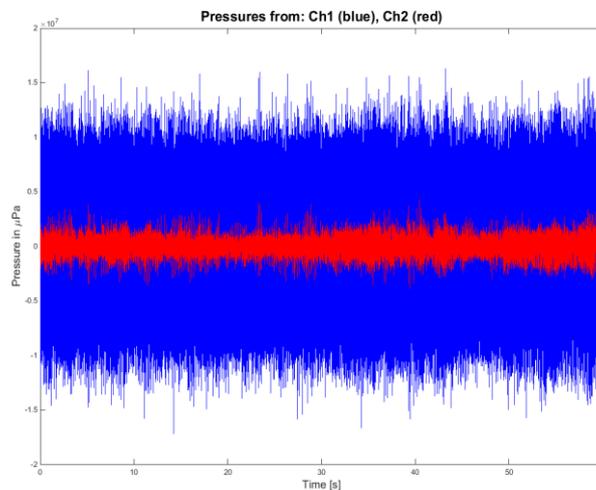


Figura 2 - Serie temporali della pressione sonora registrata dai due canali dell'idrofono, riportato a titolo di esempio. Si noti la parziale equalizzazione in ampiezza delle due serie, rispetto a ciò che succedeva per i voltaggi.

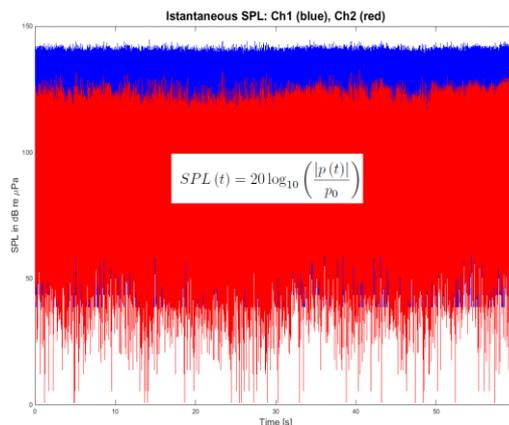


Figura 3 - Esempio di "SPL istantaneo" per i due canali dell'idrofono: in dB l'equalizzazione fra i canali è quasi completa.

Il significato di ciascun valore di $SPL(t)$ è quello del *livello di pressione sonora ad ogni istante*: se costruiamo la *distribuzione statistica* di quei valori avremo la distribuzione del livello di pressione sonora nel tempo (un minuto) delle osservazioni fatte. Tali distribuzioni, ottenute semplicemente come istogrammi normalizzati a 1 degli insiemi di numeri $\{SPL_1(t)\}$ ed $\{SPL_2(t)\}$, esprimono, per ogni valore dell'SPL considerato, la porzione di tempo in cui c'è stata quella pressione sonora istantanea. Nel caso della registrazione '2020-09-09_15-17-38ch0.wav' le due distribuzioni sono quelle riportate in Figura 4 il senso fisico di queste curve è richiamato nel riquadro dello stesso grafico, dove la frazione del tempo di misura in cui la pressione sonora istantanea supera una certa soglia θ , $P(SPL(t) \geq \theta)$, è data semplicemente dalla somma dei valori della distribuzione con $SPL(t)$ da θ in poi. Per ottenere la percentuale del tempo di misura in cui avviene lo stesso sfioramento, ci si limita a moltiplicare codesta $P(SPL(t) \geq \theta)$ per un fattore 100. L'uso di questa informazione è semplicemente quello di mettere le soglie bioacustiche (ISPRa) al posto del valore di θ per valutare, nel dato intervallo di tempo in cui si è fatta la misura, quanta percentuale di quel tempo ha visto l'SPL istantaneo superare tali soglie.

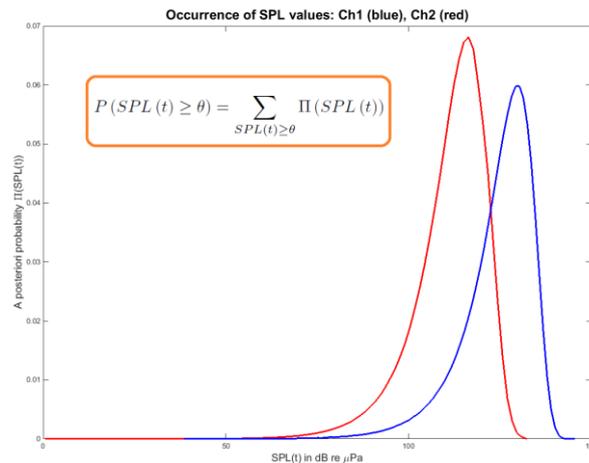


Figura 4 - La probabilità a posteriori di avere un dato valore di pressione sonora istantanea. Nel riquadro la relazione fra questa e la probabilità che la pressione sonora istantanea ecceda una data soglia θ .

Naturalmente, dalle serie delle pressioni $p_1(t)$ e $p_2(t)$ si ricavano anche indicatori più tradizionali, già riportati nella referenza [2] (*Valutazione del rumore sottomarino durante le fasi di allibo di una metaniera al terminale FSRU Toscana – Registrazione e analisi del rumore prodotto*, Maggio 2020), come i valori di SPL di picco e l'SPL “medio” (ossia il valore quadratico medio della $p(t)$ in esame sull'intervallo di tempo di misura).

A partire dalle distribuzioni dei livelli di pressione del suono istantanei si è in grado di calcolare la percentuale del tempo della misura in cui $SPL(t)$ supera le soglie riportate nelle Linee guida ISPRA [6] riportate nel corpo del documento principale, ciascuna soglia essendo relativa alla fisiologia di uno specifico gruppo di Cetacei: in particolare, si sono considerati i valori per emissioni sonore non impulsive (perforazione, passaggio di navi, ...), giudicandola la classe di rumori più simili a quello che è il campo acustico del caso in esame. Di seguito si propone un esempio di confronto in cui abbiamo scelto il valore di SPL soglia θ , invocato nel riquadro della Figura 5, pari a $\theta_{LFC} = 105$ dB re $1\mu Pa$, $\theta_{MFC} = 115$ dB re $1\mu Pa$ e $\theta_{HFC} = 145$ dB re $1\mu Pa$ per i *Cetacei di bassa, media ed alta frequenza* rispettivamente.

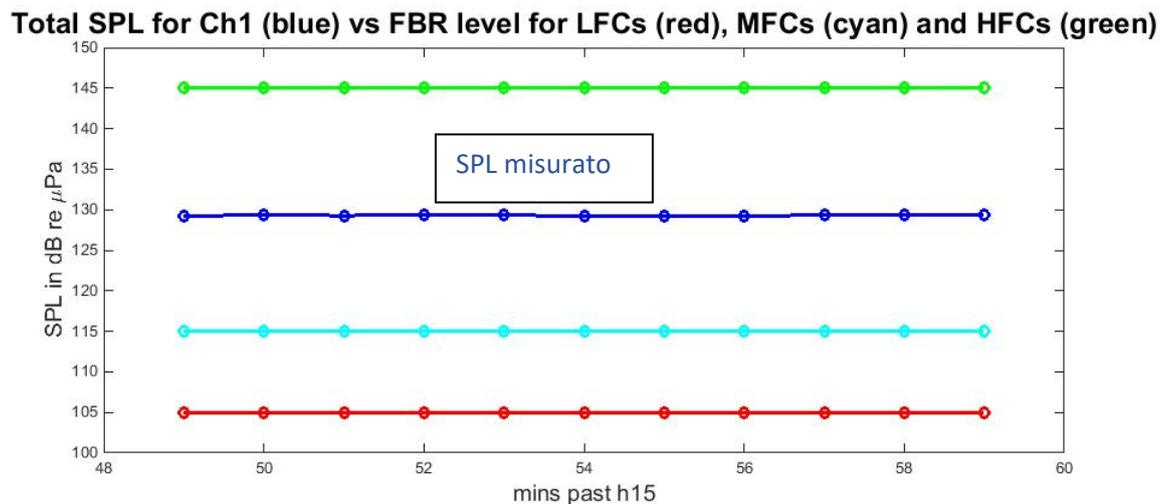


Figura 5 - Valore del SPL su ogni minuto di dato dei 10 misurati consecutivamente (in blu), paragonato alle soglie di prima risposta comportamentale (First Behaviour Response, FBR) per i cetacei di bassa (rosso), media (ciano) ed alta (verde) frequenza.

È importante precisare che il valore di SPL al minuto è calcolato includendo l'energia sonora di tutta la banda di frequenze, da 0 Hz a 40 kHz: così facendo confrontiamo, con i livelli di FBR, TTS e PTS, l'intera energia sonora che raggiunge l'apparato uditivo dei cetacei. Si tratta di una valutazione cautelativa: le bande uditive dei tre gruppi funzionali di cetacei hanno finestre di frequenze udibili molto vaste e sovrapposte (per i LFC da 7 Hz a 22 kHz, per i MFC da 150 Hz a 160 kHz, per gli HFC da 200 Hz a 180 kHz), che coprono quasi tutta la banda emessa. Perciò non appare esagerato, sebbene *molto cautelativo*, considerare l'SPL cumulativo in frequenza per questi confronti.

Capitolo 1.2. Analisi spettrale

Fino a questo momento il suono registrato è stato trattato senza distinguere le *componenti in frequenza*. È però notevole la natura "a banda larga" dei segnali: basta calcolare lo spettro di ampiezza $A(f)$ (periodogramma) di uno dei due segnali fisici, per esempio $p_1(t)$, come riportato in Figura 6 per dimostrare che una larghissima banda di frequenze contribuisce significativamente al dato. Il calcolo di questi spettri, fatto con la più tradizionale trasformata di Fourier delle pressioni, è importante perché può essere usato per calcolare il valore dell'SPL pertinente ad una certa banda fra una frequenza f_{min} ed una frequenza f_{max} , secondo l'integrale riportato nel riquadro di cui in Figura 6.

L'uso che si fa della grandezza indicata come $SPL(f_{min}, f_{max})$ sarà quello di restringere il livello di pressione sonora "totale" relativo alle sole bande di frequenza udibili da questo o quell'altro gruppo funzionale acustico di Cetacei, così come presentati in [2]. Per i cetacei di "bassa frequenza" si intende un intervallo $(f_{min}, f_{max}) = (7 \text{ Hz}, 22 \text{ kHz})$, per quelli di "media frequenza" l'intervallo è $(f_{min}, f_{max}) = (150 \text{ Hz}, 160 \text{ kHz})$, mentre per quelli di "alta frequenza" vale $(f_{min}, f_{max}) = (200 \text{ Hz}, 180 \text{ kHz})$.

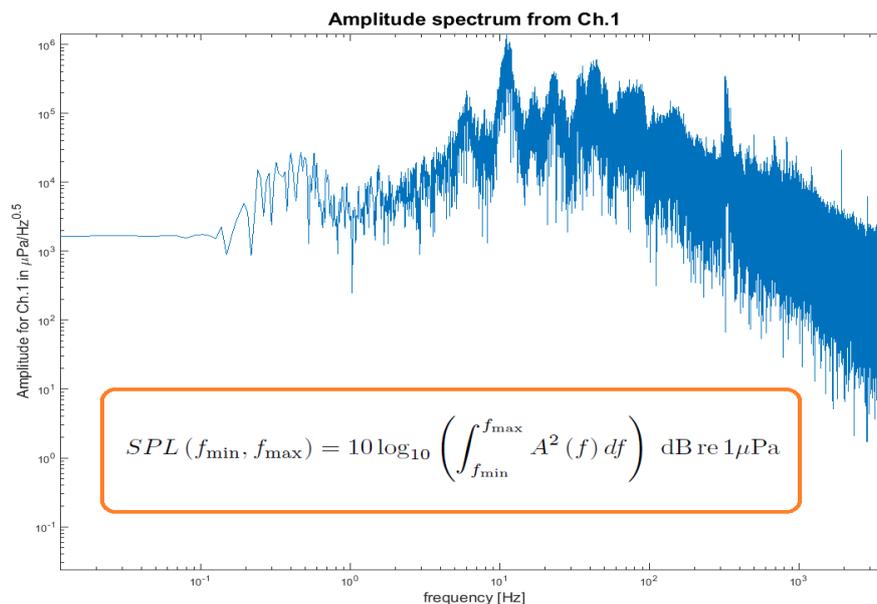


Figura 6 - Spettro di ampiezza per il Ch.1, riportato a titolo di esempio. Nel riquadro, la formula per il valore totale dell'SPL nella banda di frequenze da f_{min} ad f_{max} .

Per una maggiore leggibilità, gli spettri possono essere rappresentati anche in terze d'ottava, ossia considerando un insieme di frequenze "sottocampionato" rispetto a tutti i valori di f ammessi dalla trasformata di Fourier della serie temporale: si parla di "terze d'ottava" perché l'assortimento delle frequenze viene scelto in modo che ogni "ottava" (cioè ogni passo unitario su una scala logaritmica in base 2 dell'asse delle frequenze) sia popolata da tre frequenze. Nello spettro di frequenze che va da 20 Hz a 40 kHz le frequenze scelte f_{III} possono essere, per esempio: $f_{III} = 20\text{Hz}, 25\text{Hz}, 31\text{Hz}, 39\text{Hz}, 50\text{Hz}, 63\text{Hz}, 79\text{Hz}, 99\text{Hz}, 125\text{Hz}, 157\text{Hz}, 198\text{Hz}, 250\text{Hz}, 315\text{Hz}, 397\text{Hz}, 500\text{Hz}, 630\text{Hz}, 794\text{Hz}, 1000\text{Hz}, 1260\text{Hz}, 1587\text{Hz}, 2000\text{Hz}, 2520\text{Hz}, 3175\text{Hz}, 4000\text{Hz}, 5040\text{Hz}, 6350\text{Hz}, 8000\text{Hz}, 10079\text{Hz}, 12699\text{Hz}, 16000\text{Hz}, 20159\text{Hz}, 25398\text{Hz}, 32000\text{Hz}$ e 40317Hz : il grafico della densità spettrale di potenza del solito intervallo di dati seguito sin qui è rappresentato in Figura 7, non su tutte le frequenze ammesse dalla trasformata di Fourier, come in Figura 6, ma solo per i valori di f_{III} .

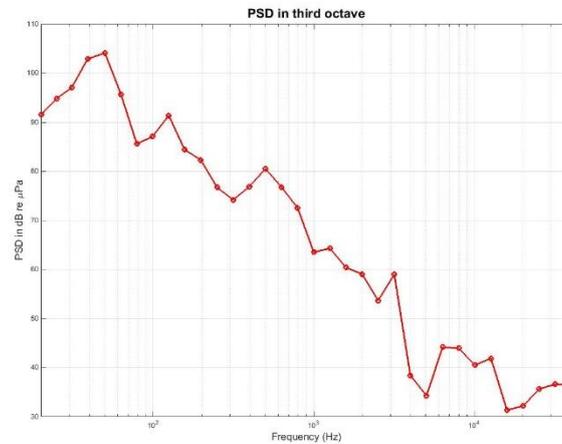


Figura 7 - spettro in terze d'ottava per i dati dal Ch1, a titolo di esempio'.

Capitolo 2. Ricostruzione del livello di sorgente

Con le analisi sopra descritte si caratterizza completamente il rumore registrato nella posizione dell'idrofono. L'obiettivo dei monitoraggi è però quello di caratterizzare il rumore così com'è emesso alla sua sorgente, virtualmente a un metro di distanza dal "punto" in cui la sorgente è concepita. Supponendo che la sorgente sia localizzata nella posizione x_s , e il ricevitore (idrofono) nella posizione x , viene definita la funzione transmission loss TL la quantità per cui la relazione fra l'SPL in x e quello in x_s , detto *Source Level* (SL), vale:

$$SL = SPL(x) + TL(x - x_s)$$

Per conoscere SL a partire dalle misure di SPL occorre quindi metterci in grado di calcolare la quantità TL opportuna: vediamo più nel dettaglio come si arriva ad essa procedendo per step all'interno del prossimo Capitolo.

Capitolo 2.1. Misure locali, Equazione d'onda e livello di sorgente

Nella posizione x_s della sorgente viene prodotta una fluttuazione di pressione $p(x_s)$: questo dà in maniera deterministica la fluttuazione di pressione $p(x)$ che si registra in qualsiasi altro punto x dello spazio, mediante l'*Equazione dell'onda sonora* (EOS). Il campo acustico $p(x)$ è determinato univocamente dal valore $p(x_s)$, dall'*indice di rifrazione acustico* del mezzo n , dalle *condizioni al contorno* ($cond.\partial$) che le fluttuazioni di pressione hanno ai confini del mezzo stesso, dalla *geometria relativa* delle posizioni x_s ed x . L'implicazione logica

$$p(x_s) \xrightarrow{EOS, n, cond.\partial} p(x),$$

utile a determinare il rumore in x a partire dalla emissione in x_s , può essere invertita, per ottenere univocamente, a partire dalla conoscenza di $p(x)$ e delle condizioni al contorno e di n , il valore di $p(x_s)$. Nel nostro monitoraggio dell'inquinamento acustico faremo proprio l'operazione di ricavare il campo in x_s , posizione della sorgente, che *non* misuriamo, a partire dalle misure nelle stazioni dell'imbarcazione, cioè il campo nelle posizioni x

$$p(x) \xrightarrow{EOS, n, cond.\partial} p(x_s).$$

frutto delle nostre misure. Più che le fluttuazioni di pressione verranno messe in relazione i livelli di pressione sonora in \mathbf{x} ed in \mathbf{x}_s , cioè il *sound pressure level* presso \mathbf{x} , definito come

$$SPL(\mathbf{x}) = 20 \log_{10} \left(\frac{|p(\mathbf{x})|}{p_0} \right),$$

con p_0 pressione di riferimento di solito uguale a 1 μPa , ed il *source level* (SL), cioè l'SPL nella posizione \mathbf{x}_s della sorgente,

$$SL = 20 \log_{10} \left(\frac{|p(\mathbf{x}_s)|}{p_0} \right) = SPL(\mathbf{x}_s).$$

Convenzionalmente, si definisce la *transmission loss* (TL) come differenza fra il SL e il SPL:

$$TL(\mathbf{x}) = SL - SPL(\mathbf{x}) :$$

mettendo insieme le due definizioni, otterremo facilmente la TL espressa come

$$TL(\mathbf{x}) = 20 \log_{10} \left(\frac{|p(\mathbf{x}_s)|}{|p(\mathbf{x})|} \right).$$

Per un mezzo acusticamente passivo, come l'acqua del mare, la pressione sonora alla sorgente $|p(\mathbf{x}_s)|$ è necessariamente maggiore di quella nei punti lontano da essa $|p(\mathbf{x})|$, cosicché il logaritmo che rappresenta TL è sempre maggiore di zero. Coerentemente, la quantità SL è sempre maggiore della quantità SPL in punti diversi dalla posizione della sorgente. A partire dal valore di $SPL(\mathbf{x})$ ottenuto mediante le misure acquisite dall'idrofono, sarà sufficiente applicare la relazione

$$SL = SPL(\mathbf{x}) + TL(\mathbf{x} - \mathbf{x}_s)$$

per poter ottenere il livello sonoro di sorgente SL.

Come premesso, il calcolo di TL necessita di un metodo che costruisca $p(\mathbf{x})$ a partire da $p(\mathbf{x}_s)$, in modo che le fluttuazioni di pressione siano espresse l'una in funzione dell'altra; *rigorosamente* questo "metodo" sarebbe la scrittura della EOS, un'equazione differenziale alle derivate parziali molto difficile da gestire per uno scenario realistico marino: perciò, si fa ricorso a una *teoria semplificata* equivalente alla EOS in opportune condizioni, ossia un *modello di propagazione acustica* (MPA). Il MPA adottato nello studio è il modello BELLHOP, descritto nel Capitolo 2.3. Nel Capitolo 2.2 riportiamo la metodologia per un metodo semplificato e conservativo allo stesso tempo, che permette di calcolare il valore di SL cumulato su tutto lo spettro di frequenze.

Capitolo 2.2 – Metodo semplificato per SL Cumulato

La sorgente durante gli allibi è una multisorgente derivante dal rumore generato da Terminale, rimorchiatori e nave metaniera, che emettono rumore a frequenze predominanti diverse. Per tale motivo si parla di "sorgente equivalente". Per questo, ha senso riferirsi sia alla SL "cumulativa", cioè complessiva, distribuita su tutte le molte frequenze d'emissione; sia alla $SL(f)$ "per banda di frequenza", che misura l'energia acustica emessa attorno ad una specifica frequenza f . Le due grandezze non sono fisicamente indipendenti, visto il segnale "totale" contiene tutte le sue componenti in frequenza, ma rappresentano informazioni complementari nella nostra strategia di monitoraggio e trattamento dei dati.

Il calcolo della SL cumulativa fornisce una misura cautelativa di tutta la potenza acustica emessa dalla sorgente: verificheremo che questo valore sia ben al di sotto dei livelli di barotruma TTS e PTS (soglie come da tabelle delle linee guida ISPRA [6], così da essere certi che le emissioni acustiche che stiamo sorvegliando siano, già alla loro sorgente, incapaci di nuocere alle specie di interesse.

Il calcolo della TL, in ogni caso, è fatto mediante un modello di propagazione acustica nel mare, inteso come una guida d'onda meccanica: così come consentono di simulare il campo acustico nei vari punti dello spazio a partire dalla conoscenza delle caratteristiche della sorgente e del mezzo, i modelli acustici consentono di conoscere "a ritroso" la SL a partire dalle misure di rumore effettuate in un certo punto noto, e le condizioni del mezzo.

Quando si vuol calcolare la TL cumulativa, si usa una formula molto approssimativa, ma anche efficace, in cui il suono è una sovrapposizione di onde cilindriche e sferiche. Si ha [7]:

$$TL(r, z) = 15 \log_{10} \left(\frac{d}{1\text{m}} \right);$$

la distanza d fra la sorgente ed il ricevitore è costruita come:

$$d = \sqrt{r^2 + (z_R - z_S)^2},$$

detta r la distanza fra l'idrofono e la verticale della sorgente, z_R la profondità dell'idrofono e z_S quella della sorgente. In questo studio si assume $z_S = -15$ m. Possiamo in questa maniera ricavare la SL cumulativa mediante la conoscenza delle TL e degli SPL.

A proposito della formula semicilindrica, appare anche chiaro che, in essa comparando soltanto la distanza fra sorgente e ricevitore, non vi è traccia della dipendenza della velocità del suono nel mezzo dal punto, visto che in effetti è rigorosamente valida solo per un mezzo perfettamente omogeneo, in cui il suono non subisca gradienti di rifrazione: ciò preclude, fra l'altro, la possibilità di evidenziare l'effetto della presenza/assenza del termoclino superficiale utilizzando questa formula, che va presa solo come dispensatrice di un ordine di grandezza della SL dato l'SPL.

Capitolo 2.3. Il modello BELLHOP e il calcolo di TL

L'analisi del Source level ad una data frequenza $SL(f)$ presentata in questo capitolo verrà utilizzata per effettuare un opportuno confronto con i valori limiti di disturbo comportamentale FBR (limiti soglia delle prime risposte comportamentali delle linee guida ISPRA [6]).

Il calcolo, della $SL(f)$ verrà fatto specificamente per una serie di frequenze dello spettro in terze d'ottava (Figura 7), in modo da perseguire due risultati: da una parte, tentare una possibile identificazione della sorgente della specifica componente di Fourier, o della sua maggior parte, avvalendosi delle informazioni di letteratura delle frequenze di emissione delle singole sorgenti (Terminale, Rimorchiatori e nave di appoggio) dall'altra, considerando lo specifico gruppo funzionale di cetacei (LFC, MFC, HFC), nel cui spettro uditivo cade la frequenza in esame, confrontare la $SL(f)$ con le soglie FBR, ed eventualmente verificare a quale distanza dalla sorgente stessa il risultante SPL(f) scende sotto la soglia di prima risposta comportamentale in esame.

Consequentemente alla definizione di SL cumulativa e frequenza-specifica, la TL viene calcolata in modo diverso a seconda che serva per mettere in relazione SL ed SPL "cumulativi", oppure pertinente ad una particolare componente monofrequenza (per cui useremo il simbolo $TL(f)$, con riferimento alla particolare banda di frequenza f). La versione monofrequenza della precedente relazione fra SL, TL ed SPL è:

$$SL(f) = PSD(f) + TL(f).$$

Il calcolo della TL è fatto mediante un modello di propagazione acustica nel mare, così come spiegato nel Capitolo 2.1, inteso come una guida d'onda meccanica: la cosa matematicamente interessante della trattazione dei segnali monofrequenza è che essi sono facilmente trattabili, se questa frequenza è opportunamente elevata (se cioè la lunghezza d'onda associata è molto minore delle scale di variabilità del mezzo stesso), come propagazioni *radiali*, perciò trattabili con codici che nominalmente integrano equazioni differenziali ordinarie anziché le equazioni alle derivate parziali che descriverebbero esattamente il fenomeno ondulatorio.

Il modello di propagazione radiale che qui si utilizza è il *modello BELLHOP*, realizzato da M. Porter, e reso disponibile dalla "Heat, Light, and Sound Research, Inc." alla comunità scientifica. Il modello è introdotto in letteratura, per esempio, in [3]; un manuale di BELLHOP è scaricabile da [4]. Il modello BELLHOP fa parte di una più ampia famiglia di modelli idroacustici, dovuti sempre al gruppo di ricerca di Porter, e riuniti nell'"Acoustic Toolbox" scaricabile alla pagina web [5].

Nel modello adottato il mare è una guida d'onda confinante superiormente con l'aria ed inferiormente con il fondale. Questi due "confini" (su cui saranno date le $cond.\partial$) potrebbero essere tutt'altro che piani e paralleli, tant'è che il BELLHOP ammette una altimetria ed una batimetria non banale da includere nelle $cond.\partial$; nelle operazioni pratiche, causa anche le semplificazioni imposte dalla strumentazione di supporto utilizzata, *la superficie del mare deve essere piatta, mentre il fondo del mare ha una batimetria semplificata, ma ispirata a quella reale*. Come detto nel Capitolo 2.1, oltre alle $cond.\partial$ occorre, per legare $p(\mathbf{x})$ a $p(\mathbf{x}_s)$ determinando $TL(\mathbf{x})$, la conoscenza dell'indice di rifrazione acustico n nel mezzo: questa sarà data dalla conoscenza della *velocità del suono nel mare*, indicata come c_s , misurata mediante la sonda CTD nelle stazioni in cui si acquisiscono le misure di rumore.

I raggi acustici con cui nel modello BELLHOP si descrivono le onde sonore sono punto per punto perpendicolari al fronte d'onda; essi si dipartono dalla sorgente e, incurvandosi come dettato dal gradiente spaziale di c_s , fino a rimbalzare nei punti di discontinuità spaziale di tale velocità (ai confini della guida d'onda, cioè, al passaggio fra acqua ed aria, o fra acqua e fondo marino),

raggiungono le posizioni \mathbf{x} , dove determinano il campo acustico $p(\mathbf{x})$. I raggi acustici sono caratterizzati, oltre che dalla direzione iniziale che si diparte dalla sorgente, anche dalla frequenza: infatti, si arriva alla rappresentazione radiale risolvendo l'equazione d'onda sonora mediante scomposizione in onde piane di Fourier del campo p stesso, e a ogni fronte d'onda di frequenza assegnata si fa corrispondere un raggio la cui dinamica nel mezzo *dipende* dalla frequenza della componente che quel raggio approssima. Così, dalla sorgente il modello BELLHOP fa partire molti raggi sonori di geometria e frequenza diversa, che finiscono per interferire nel punto \mathbf{x} a cui si è interessati determinando $p(\mathbf{x})$.

Nella schematizzazione adottata per l'utilizzo del modello BELLHOP si calcola la propagazione dell'onda in uno spazio "cilindrico", fatto di piani verticali passanti per la verticale di x_s , ogni punto dei quali è rappresentato da una coppia di coordinate z , la profondità, ed r , la distanza dalla verticale della sorgente stessa. Il campo acustico può essere calcolato su ciascun piano verticale. Le stazioni di misura durante il monitoraggio "stand alone" sono orientate sulle direttrici Sud-Nord ed Est-Ovest, per cui si individuano quattro semipiani su cui calcolare $p(r,z)$: verso Sud, verso Nord, verso Est e verso Ovest, con l'asse delle z sulla verticale della sorgente. Inoltre, lungo ciascuna delle quattro direttrici giacciono diverse stazioni, tipicamente a 100 m, 1 km, e 10 km dalla sorgente, raggio per cui la sonda che misura la velocità del suono $c_s(r,z)$ riporterà, per esempio, queste misure con $r = 100$ m, 1 km, , 10 km.

Anche se, in linea di principio, la velocità del suono dipende sia da r che da z , come $c_s(r,z)$, nell'uso del modello BELLHOP ci si accontenta di usare una c_s , e quindi un indice di rifrazione sonoro, dipendente dalla sola profondità, come $c_s(z)$: per ciascuna stazione di misurazione, si considererà che il "semipiano cardinale" che la contiene sia caratterizzato da un unico profilo $c_s(z)$ risultante dalle misure effettuate in quella stazione stessa.

Tale profilo viene utilizzato dal modello BELLHOP come la velocità del suono sul semipiano cardinale contenente la stazione in esame; con esso, il BELLHOP traccia i raggi acustici che collegano la posizione della sorgente $(r, z) = (0, z_s)$ a un certo numero di "ricevitori" immaginari, che costituiscono una vera griglia, più o meno fitta a seconda delle impostazioni regolabili dall'utilizzatore, di posizioni (r, z) sul semipiano stesso.

Quando si conducono le campagne di monitoraggio del rumore durante l'allibio di metaniera, grandi o *small scale*, l'imbarcazione si manterrà invece a 4 n.m. dal Terminale in una posizione sola, scelta in modo da ottimizzare l'ascolto del rumore della nave in arrivo o in partenza, e questa posizione non necessariamente giacerà su un semipiano cardinale.

Tracciati i raggi acustici, il modello "si ricorda" che quelle traiettorie sono semplicemente un modo di rappresentare il suono, e quindi "mette in campo" la *natura ondulatoria* di quest'ultimo per calcolare il campo $p(r,z)$ in tutte le posizioni del piano: il BELLHOP è capace di calcolare $p(r,z)$ sotto diverse ipotesi, selezionabili dall'utilizzatore, che rappresentano *diversi gradi di approssimazione della natura ondulatoria del suono* mediante i raggi.

Anzitutto, i raggi *interferiscono*, visto che rappresentano fronti d'onda; si possono scegliere diversi tipi di interferenza, ed in particolare si sceglie un'ipotesi di *interferenza incoerente*: questo serve a tener conto della rifrazione molto complicata che la superficie del mare, fittamente ondosu, produce sui raggi che riflette verso il basso, dando un effetto diffrattivo locale. Si potrebbe obiettare che quando la rugosità della superficie dovuta al moto ondoso è sufficientemente importante, su scale spaziali confrontabili con la lunghezza d'onda del suono, la stessa rappresentazione radiale entra in crisi a livello teorico; ciò è vero, ma tale condizione fisica corrisponderebbe a una condizione di mare impraticabile per le misure con l'idrofono in uso.

Un'ulteriore ipotesi che avvicina la descrizione radiale a quello che avremmo con onde sonore "vere" è l'uso di *fasci* anziché di raggi: cioè, l'energia sonora viene immaginata distribuita attorno al raggio, invece che concentrata tutta sulla traiettoria unidimensionale del raggio; attorno al raggio calcolato dal BELLHOP, si immagina un profilo Gaussiano di distribuzione dell'energia sonora (*Gaussian beam approximation*), e questo evita che i calcoli producano artificiose quantità "infinite" nelle regioni cosiddette caustiche.

Per ogni semipiano su cui interessa calcolare $p(r,z)$, il modello BELLHOP può restituire direttamente $TL(r,z)$, una volta che siano assegnati:

- la profondità z_s a cui giace la sorgente (di solito, 10 m o 15 m);
- la batimetria lungo il semipiano verticale contenente sorgente e ricevitore;
- la frequenza a cui riferiamo i raggi calcolati dal BELLHOP: nel caso del monitoraggio "stand alone" si sceglie $f = 12$ kHz come frequenza a cui l'emissione del Terminale massimamente si discosta dal rumore di fondo; nel caso del monitoraggio degli allibi, si ripete il calcolo per una collezione di frequenze presumibilmente rappresentative delle varie sorgenti che costituiscono il sistema (metaniera, Terminale e rimorchiatori);

- Il tipo di somma (interferenza) delle onde acustiche (raggi) che si opera per calcolare il campo acustico locale, che nella presente applicazione si fa in maniera *incoerente*: questo tiene di conto della rugosità della superficie marina data dal moto ondoso, come prima accennato.

Dopo che il modello BELLHOP ha calcolato $TL(f)$, per ogni osservazione SL sarà possibile determinare il source level come $SL(f) = SPL(f) + TL(f)$; avendosi diverse osservazioni, avremo in principio un SL per ciascuna osservazione, e potremo restituire il dato calcolando SL come “media” su queste osservazioni e attribuendo alla standard deviation dell’insieme di osservazioni il ruolo di incertezza sull’ SL calcolato. Si estende questa media, e il calcolo di questa incertezza, a osservazioni entro le quali la SL si presume mantenersi costante: quindi, entro i minuti di osservazione di una stessa stazione, nel caso del monitoraggio “stand alone”; entro i circa 10 minuti di osservazione di una stessa “fase”, nel caso del monitoraggio dell’allibo.

Come esempio concreto dell’uso del modello BELLHOP possiamo considerare l’osservazione da idrofono citata nei Capitoli 1.1 ed 1.2: utilizzando la batimetria del semipiano meridionale, possiamo calcolare il campo $TL(r, z)$ come in Figura 8; restringendosi, poi, alla profondità di 10 m, otteniamo la $TL(r, 10\text{ m})$ di cui in Figura 9.

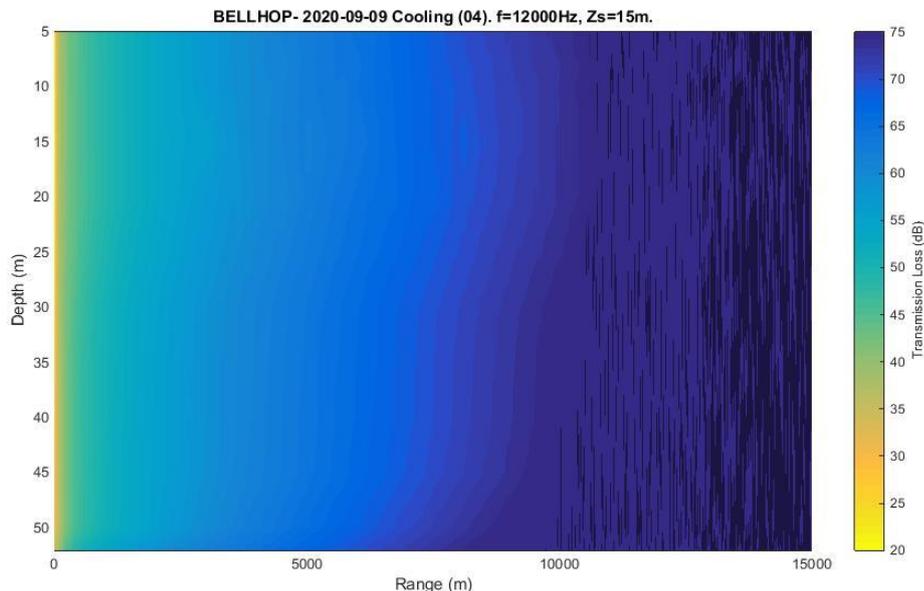


Figura 8 - il campo di transmission loss $TL(r,z)$ per ricavare il SL dalle misure dell'idrofono citate, come esempio, in § 0.

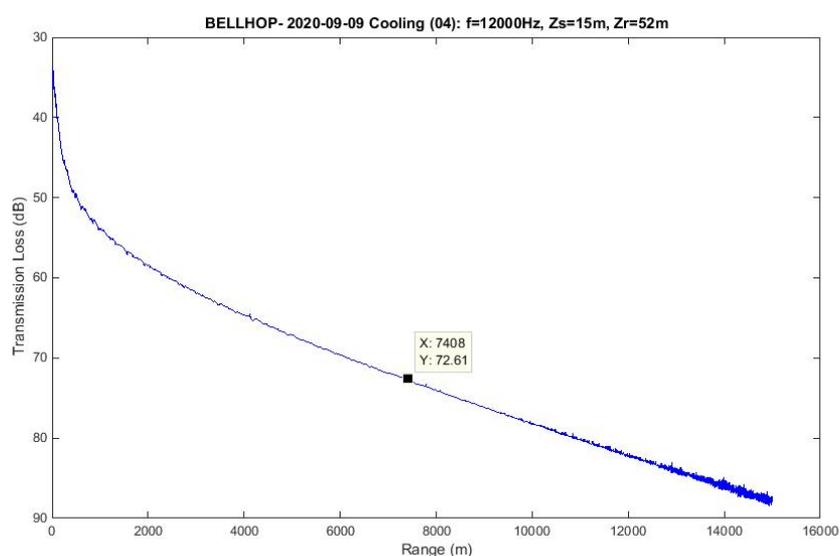


Figura 9 - La TL di cui in a 10 m di profondità.

Capitolo 2.3.1 Condizioni Oceanografiche

All'utilizzo del modello BELLHOP è necessaria la conoscenza delle *condizioni oceanografiche* del mezzo, che vengono descritte mediante la dipendenza della velocità del suono nell'acqua c_s dalla profondità z , così come misurata dalla sonda CTD durante l'acquisizione dei dati di idrofono. Tali misure della sonda sono riportate a titolo di esempio nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, definite rispetto al moto della metaniera e alle attività correlate di Allibo. Le fasi sono "Avvicinamento", Affiancamento (manovra ed attracco), "Allibo" (Raffreddamento-Discarica-Maximum Rate di scarica) ed "Allontanamento", nella stessa campagna in cui sono state prese le misure descritte nei Capitoli 1.1 ed 1.2.

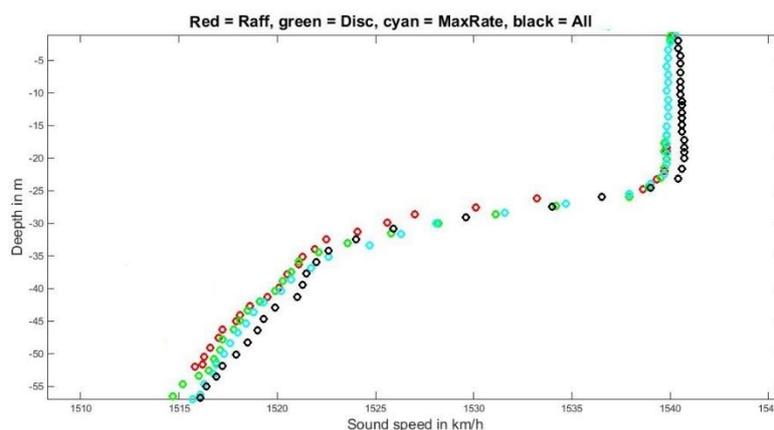


Figura 10 - Dipendenza della velocità del suono nell'acqua nelle di Raffreddamento (traccia in rosso), di Discarica (traccia in verde), di Maximum Rate (traccia ciano) e di Allontanamento (traccia nera).



OLT OFFSHORE LNG TOSCANA

PROJECT: Piano di monitoraggio del Rumore



Riferimenti

1. Documento Principale: *Piano di monitoraggio generale per il terminale FSRU-Toscana*.
2. *Valutazione del rumore sottomarino durante le fasi di allibo di una metaniera al terminale FSRU Toscana – Registrazione e analisi del rumore prodotto* (Maggio 2020).
3. Michael B. Porter, *Beam tracing for two- and three-dimensional problems in ocean acoustics*, The Journal of the Acoustical Society of America 146, 2016 (2019); doi: 10.1121/1.5125262.
4. Michael B. Porter, *The BELLHOP Manual and User's Guide: PRELIMINARY DRAFT*, scaricabile presso il sito web: <http://oalib.hlsresearch.com/Rays/>.
5. "Acoustic Toolbox", pagina web: <http://oalib.hlsresearch.com/AcousticsToolbox/>.
6. Borsani J.F., Farchi C. (2011) "Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne", ISPRA, Parte seconda, pp. 9-10.
7. "Venis Cruise 2.0 - Nuovo Terminal Crociere di Venezia, Bocca di Lido - Approfondimenti sulla Componente Rumore". Doc. No. 14-1316-H16, Rev. 0 - Febbraio 2016, Duferco Italia Holding S.p.A., Brescia, Italia, DP Consulting S.r.l. Treviso, Italia