



Eni SpA **DISTRETTO
MERIDIONALE**




Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato 04 bis

VALUTAZIONE DI INCIDENZA

Permesso di ricerca di idrocarburi
liquidi e gassosi denominato “d33
G.R.-AG” - Canale di Sicilia – Zona G

**Integrazioni richieste con nota prot.
739/CTVA del 20/02/2018**

Maggio 2018

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato “d33 G.R.-AG” Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>
--	------------------------	---

**Modellazione acustica subacquea per rilievo sismico
3D, Offshore Italia**


Traduzione del documento No. JAT10348-REPT-01-R0

Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato 04 bis

**Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi
denominato “d33 G.R.-AG”**


Canale di Sicilia - Zona G

Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato “d33 G.R.-AG” Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag i</p>
--	------------------------	---	--------------

Sommario

1	Introduzione	3
2	Concetti e terminologia	4
3	Criteri di Valutazione Acustica	7
	Introduzione.....	7
	Lesioni (Danno fisiologico) ai Mammiferi.....	7
	Disturbo ai mammiferi	10
	Riepilogo dei Criteri dei Mammiferi Marini.....	13
4	Metodologia di Valutazione	15
	Determinazione della sorgente per array di sorgenti sismiche	15
	Modello di propagazione.....	23
	Calcoli di esposizione	29
5	Risultati della Modellazione Sonora	34
	Lesioni dei Mammiferi Marini.....	34
	Valutazione degli intervalli per potenziali cambiamenti comportamentali dei mammiferi marini	36
	Mammiferi Marini – Riepilogo delle zone in cui sono attese lesioni e dei cambiamenti comportamentali.....	39
6	Mitigazione	41
7	Conclusioni	42

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag ii</p>
--	------------------------	--	---------------

Tabelle

- Tabella 3.1 Sintesi delle soglie acustiche di inizio PTS (spostamento permanente della soglia uditiva) (NOAA 2016)
- Tabella 3.2 Criteri proposti per i mammiferi marini
- Tabella 3.3 Criteri per lesioni a tartarughe causati da onde airgun (Popper et al., 2014)
- Tabella 3.4 Criteri ASA per insorgenza di effetti collaterali nelle tartarughe (Popper et al., 2014)
- Tabella 5.1 Riepilogo delle zone di potenziali lesioni e disturbo per i mammiferi marini
- Tabella 5.2 Riepilogo delle potenziali aree di lesioni e disturbo per pesci e tartarughe marine

Figure

- Figura 1.1 Area di indagine
- Figura 2.1 Rappresentazione grafica dei descrittori dell'onda acustica
- Figura 2.2 Confronto tra le soglie uditive dei diversi animali
- Figura 3.1 Funzioni di ponderazione dell'udito per pinnipedi e cetacei (NOAA, 2015)
- Figura 4.1 Variazione di pressione in funzione del tempo
- Figura 4.2 Frequenza caratteristica della sorgente (filtro al di sotto di 250 Hz)
- Figura 4.3 Grafici di direttività per array sorgente
- Figura 4.4 Esempio di SPL in line che mostra la direttività dell'array
- Figura 4.5 Esempio di distribuzione dell'area di influenza nel caso di distanza del recettore inferiore alla profondità dell'acqua
- Figura 4.6 Esempio di distribuzione dell'area di influenza nel caso di distanza del recettore leggermente più grande della profondità dell'acqua
- Figura 4.7 Esempio di distribuzione dell'area di influenza nel caso di distanza del recettore molto più grande della profondità dell'acqua
- Figura 4.8 Batimetria nell'area di indagine
- Figura 4.9 Modello di esposizione del suono
- Figura 4.10 Impulso discreto SEL e SEL cumulativo
- Figura 4.11 volume dell'airgun vs riduzione del livello di pressione sonora
- Figura 5.1 distanza alla quale sono attese lesioni per un animale esposto (valori di pressione di picco valutati con e senza mitigazione)
- Figura 5.2 SEL cumulativi per animali in movimento, con o senza mitigazione
- Figura 5.3 Livello di pressione sonora RMST90 in funzione della distanza per i cambiamenti comportamentali
- Figura 5.4 Mappa del livello di pressione sonora RMST90, dB a 1 μ Pa (rms)



1 Introduzione

- 1.1 Eni S.p.A. intende intraprendere un'attività di acquisizione sismica 3D in mare aperto nel Canale di Sicilia, nelle acque territoriali italiane. Le linee sismiche più vicine alla costa si trovano a circa 26 km a sud della costa italiana. L'area del rilievo sismico progetto si trova in acque con una profondità che varia da 600 a 800 m. La posizione dell'area in oggetto è illustrata nella Figura 1.1.
- 1.2 I suoni si propagano facilmente sott'acqua e le emissioni sonore provenienti dal rilievo possono influenzare le specie di mammiferi e tartarughe marine. A lungo raggio, l'introduzione di rumore addizionale potrebbe potenzialmente causare cambiamenti comportamentali a breve termine, perché i cetacei sfruttano l'emissione e la ricezione di onde sonore a particolari frequenze per comunicare e scambiarsi informazioni vitali, come la localizzazione del cibo, la presenza di predatori, la cura dei piccoli. A distanze ravvicinate e con livelli elevati di sorgenti di rumore, possono verificarsi danni permanenti o temporanei all'udito dei mammiferi, mentre a distanza molto ravvicinata, è possibile che il rumore possa causare anche un trauma fisico. La presente relazione fornisce una panoramica dei potenziali effetti dovuti al rumore sottomarino proveniente dall'indagine sull'ambiente marino circostante.
- 1.3 Lo scopo principale dello studio del rumore subacqueo è identificare il probabile intervallo di insorgenza di potenziali lesioni (cioè variazioni permanenti della soglia nell'udito) e cambiamenti comportamentali.

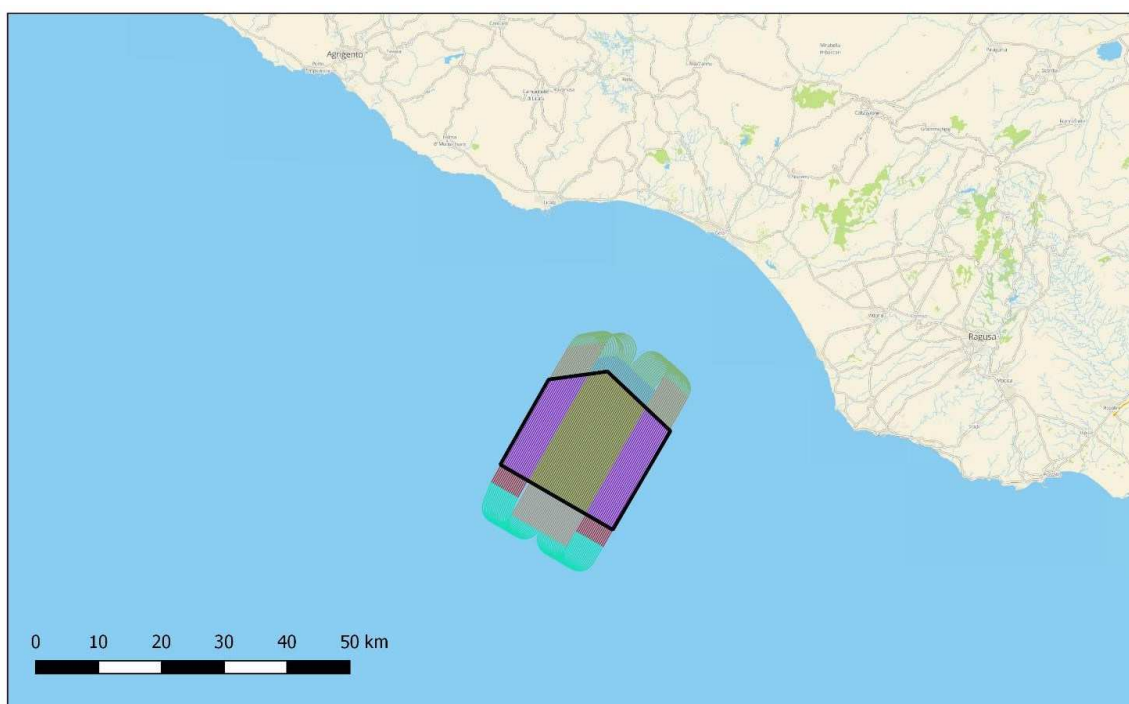



Figura 1-1 - Area di indagine

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 4 di 46</p>
--	------------------------	--	------------------------

2 Concetti e terminologia

- 2.1 Il suono si propaga attraverso l'acqua come vibrazioni delle particelle fluide in una serie di onde a pressione. Le onde comprendono una serie di compressioni alternate (variazioni di pressione positiva) e rarefazioni (fluttuazioni di pressione negativa). Poiché il suono è costituito da variazioni di pressione, l'unità per la misurazione del suono si riferisce a un'unità di pressione, il Pascal (Pa). Solitamente, l'unità utilizzata per descrivere il suono è il decibel (dB) e, nel caso del suono subacqueo, l'unità di riferimento è 1 μPa , mentre il suono nell'aria si riferisce a una pressione di 20 μPa . Per poter convertire un livello di pressione sonora pari a 20 μPa a uno pari a 1 μPa , deve essere aggiunto alla precedente quantità un fattore di $20 \log(20/1)$, ovvero 26 dB. Quindi 60 dB riferiti a 20 μPa equivalgono a 86 dB riferiti a 1 μPa , anche se differenze di velocità del suono e densità del mezzo suggeriscono che la differenza di intensità del suono tra l'aria e l'acqua è maggiore rispetto a quanto detto. Tutti i livelli di pressione acustica descritti nel presente documento sono descritti in dB riferiti a 1 μPa . In acqua, la forza di una sorgente sonora è solitamente descritta in base al suo livello di pressione sonora in dB riferiti a 1 μPa , che fa riferimento a una distanza rappresentativa di 1 m da una presunta sorgente puntiforme (infinitesimamente piccola). Ciò consente il calcolo dei livelli sonori in un campo lontano. Per le sorgenti distribuite, il livello effettivo di pressione sonora nel campo vicino sarà inferiore a quello previsto.
- 2.2 Un'onda sonora può essere descritta in vari modi. La differenza tra la variazione di pressione più bassa (rarefazione) e la variazione di pressione più alta (compressione) è chiamata livello di pressione sonora da picco a picco (o peak-peak). La differenza tra la variazione più alta (sia positiva che negativa) e la pressione media è chiamata livello di pressione di picco. Infine, il livello quadratico medio della pressione sonora (rms) viene utilizzato per descrivere l'ampiezza media delle variazioni di pressione in una specifica finestra temporale. Tali dati sono illustrati nel grafico della Figura 2.1.
- 2.3 Il livello quadratico medio della pressione sonora (SPL) è definito come segue:

$$SPL_{rms} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p^2}{p_{ref}^2} \right) dt \right)$$

- 2.4 La grandezza del livello di pressione sonora rms per un suono impulsivo (come quello originato da una sorgente sismica) dipenderà dal tempo di integrazione T utilizzato per il calcolo (Madsen 2005). È consuetudine utilizzare il periodo di tempo T90 per calcolare e riportare i livelli di pressione sonora rms. Questo è l'intervallo su cui la curva di energia cumulativa sale dal 5% al 95% dell'energia totale e quindi contiene il 90% dell'energia sonora.

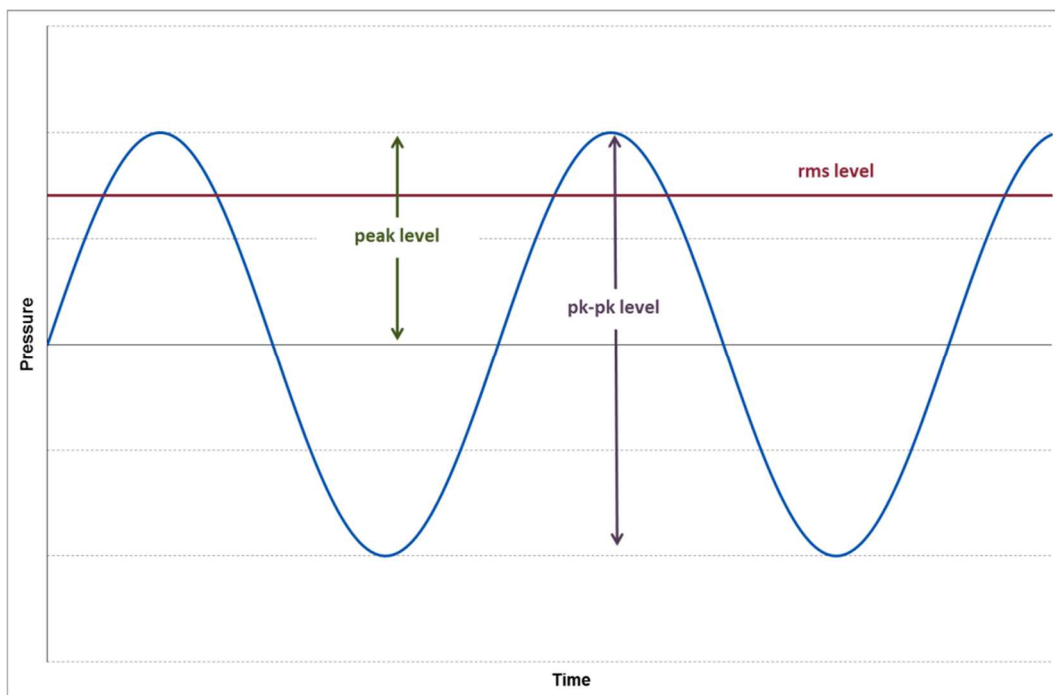


Figura 2.1 - Rappresentazione grafica dei descrittori dell'onda acustica

- 2.5 Un altro modo di misurazione del suono utilizzato nell'acustica subacquea è il livello di esposizione sonora (Sound Exposure Level), o SEL. Questo descrittore viene utilizzato come misura dell'energia sonora totale di un evento o di una serie di eventi (che si verifica, ad esempio, nel corso di un giorno) ed è normalizzato a un secondo. Ciò consente di confrontare l'energia acustica totale contenuta in eventi che hanno durata diversa a parità di condizioni¹. Il SEL viene definito come segue:

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\int_0^T \left(\frac{p^2(t)}{p_{ref}^2 t_{ref}} \right) dt \right)$$

- 2.6 La frequenza, o tono, del suono è la velocità tale per cui si verificano queste oscillazioni e viene misurata in cicli al secondo o Hertz (Hz). Per misurare il suono in maniera analoga al modo in cui un essere umano lo percepirebbe si utilizza un filtro di ponderazione A su un fonometro, il livello risultante è allora descritto in valori di dBA. Tuttavia, la capacità uditiva dei mammiferi marini non è la stessa degli umani, dato che i mammiferi marini hanno un intervallo di frequenze più ampio e una sensibilità diversa. È quindi importante capire come l'udito di un animale varia al variare degli intervalli di frequenze, al fine di valutare gli effetti dei rumori sui mammiferi marini. Di conseguenza, è possibile

¹ Storicamente, per valutare i potenziali effetti del suono sulla vita marina venivano principalmente utilizzate misure del livello di pressione sonora rms e di picco. Tuttavia, il SEL viene sempre più utilizzato in quanto consente di prendere in considerazione la durata dell'esposizioni e l'effetto dell'esposizione a più eventi.



utilizzare le scale di ponderazione della frequenza per determinare il livello del suono rispetto alla risposta uditiva dell'animale in questione. Un confronto tra le tipiche curve di risposta dell'udito per pesci, umani e mammiferi marini è mostrato nella Figura 2.2 (a volte le soglie uditive vengono visualizzate come audiogrammi con livello sonoro sull'asse y piuttosto che sull'asse della sensibilità, con il risultato che la forma del grafico è l'opposto del grafico mostrato).

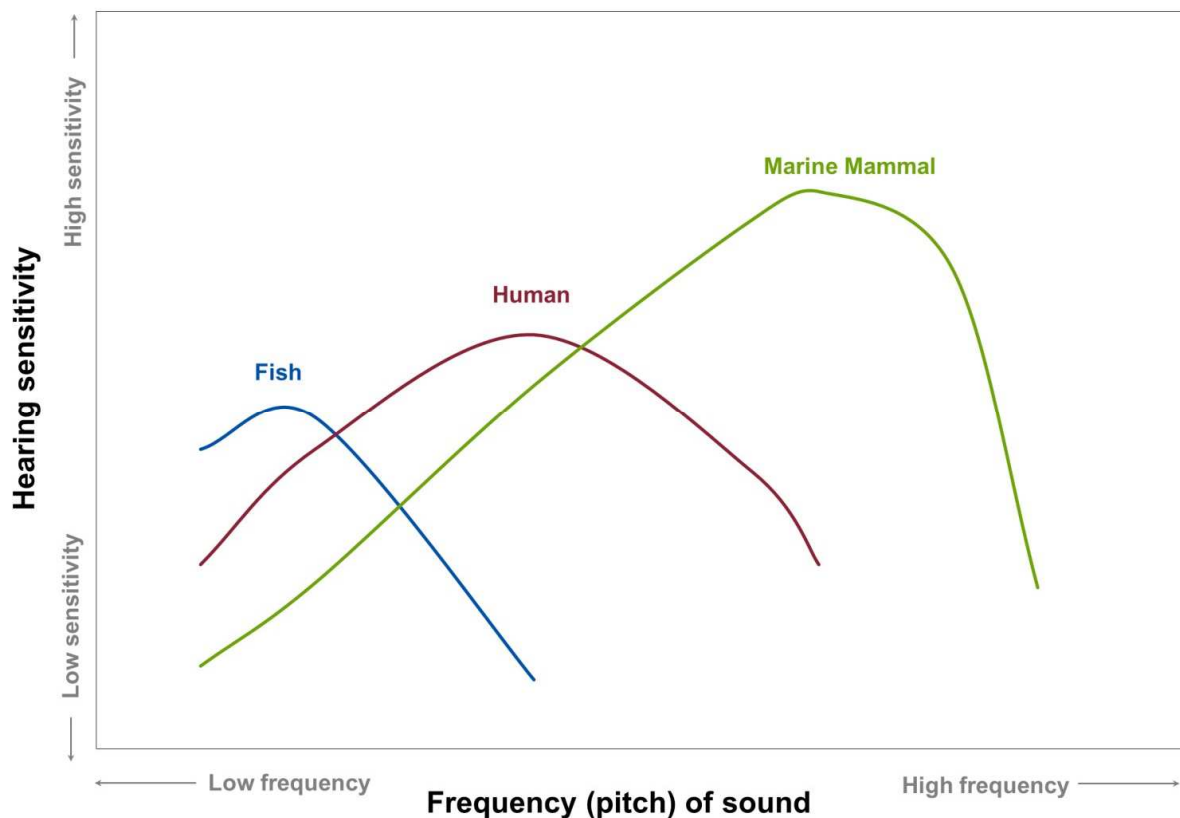



Figura 2.2 - Confronto tra le soglie uditive dei diversi animali

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 7 di 46</p>
--	------------------------	---	------------------------

3 Criteri di Valutazione Acustica

Introduzione

3.1 Il rumore subacqueo ha il potenziale di influenzare la vita marina in modi diversi a seconda del livello e delle caratteristiche del rumore. Richardson et al. (1995) definiscono quattro zone di influenza del rumore che variano con la distanza dalla sorgente e dal livello sonoro, e sono:

- **La zona di udibilità:** questa è l'area entro la quale l'animale è in grado di rilevare il suono. L'udibilità stessa non implica che il suono abbia un effetto sul mammifero marino.
- **La zona di mascheramento:** Questa è definita come l'area entro cui il rumore può interferire con il rilevamento di altri suoni, come i clic di comunicazione o di ecolocalizzazione. Questa zona è molto difficile da stimare a causa di una scarsità di dati relativi al modo in cui mammiferi marini rilevano il suono in relazione ai livelli di mascheramento (ad esempio, gli umani sono in grado di udire suoni ben al di sotto del valore numerico del livello di rumore generale).
- **La zona di reattività:** questa è definita come l'area entro la quale l'animale risponde sia a livello comportamentale che fisiologico. La zona di reattività è solitamente più piccola della zona di udibilità perché, come affermato in precedenza, l'udibilità non evoca necessariamente una reazione.
- **La zona della lesione/Perdita dell'udito:** questa è l'area in cui il livello sonoro è abbastanza alto da causare lesioni ai tessuti dell'orecchio. Questo può essere classificato come spostamento temporaneo della soglia uditiva (TTS) o spostamento permanente della soglia uditiva (PTS). A distanze ancora più ravvicinate, e per sorgenti sonore ad altissima intensità (ad esempio esplosioni subacquee), sono possibili traumi fisici o addirittura la morte.

3.2 Per il presente studio saranno valutate le zone di lesione e disturbo (cioè la reattività) (infatti non ci sono prove scientifiche sufficienti per valutare correttamente il mascheramento). Al fine di determinare quali possono essere i potenziali intervalli spaziali in cui potrebbero verificarsi lesioni o disturbi per le specie marine, nel seguito è stata effettuata una disamina dei dati scientifici disponibili, che ha compreso anche l'esame delle linee guida internazionali e della letteratura scientifica. Nei successivi paragrafi sono individuate le soglie di insorgenza di eventuali effetti sulle specie, oltre ad essere descritti i criteri utilizzati per la loro determinazione.

Lesioni (Danno fisiologico) ai Mammiferi

3.3 I modelli di propagazione del suono possono essere costruiti per consentire di calcolare il livello di rumore percepito a diverse distanze dalla sorgente. Per determinare le conseguenze di questi livelli di emissioni acustiche, che potrebbero essere avvertite da tutti i mammiferi marini, è necessario



correlare i livelli sonori a soglie di impatto note o stimate. I criteri di danno, proposti da NOAA (2016), si basano su una combinazione di livelli di pressione di picco lineare (cioè non ponderati) e livelli di esposizione sonora ponderati per l'udito del mammifero (SEL). La funzione di ponderazione dell'udito è progettata per rappresentare l'intervallo di frequenze, per ciascuna categoria, all'interno del quale le esposizioni acustiche possono avere effetti uditivi. Le categorie includono:

- **Cetacei a bassa frequenza (LF)** (ad esempio specie di mammiferi marini come i misticeti, sensibili ai suoni in un intervallo stimato di frequenze compreso tra 7 Hz e 35 kHz);
- **Cetacei a media-frequenza (MF)** (ad esempio specie di mammiferi marini come i delfini, le balene dentate, le balene dal becco e gli iperodonti boreali, sensibili ai suoni in un intervallo stimato di frequenze compreso tra 150 Hz e 160 kHz);
- **Cetacei ad alta frequenza (HF)** (ad esempio specie di mammiferi marini come le focene, la kogia, i delfini di fiume e cephalorhynchus (cetacei della famiglia dei delfinidi), sensibili ai suoni in un intervallo stimato di frequenze compreso tra 275 Hz e 160 kHz);
- **Pinnipedi focidi (PW)** (ovvero foche, sensibili ai suoni in un intervallo stimato di frequenze compreso tra 50 Hz e 86 kHz); e
- **Pinnipedi otaridi (OW)** (cioè leoni marini e otarie, sensibili ai suoni in un intervallo stimato di frequenze compreso tra 60 Hz e 39 kHz).

3.4 Le metodologie di ponderazione utilizzate nel presente studio sono mostrate nella Figura 3.1

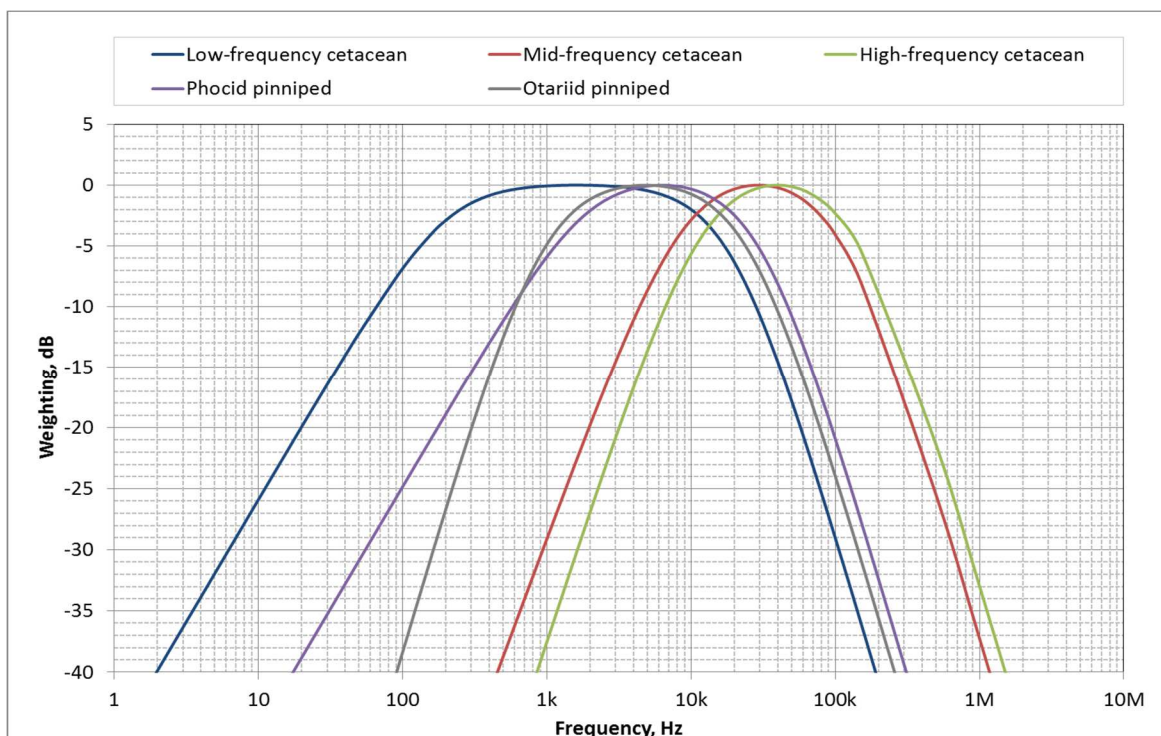



Figura 3.1 - Funzioni di ponderazione dell'udito per pinnipedi e cetacei (NOAA, 2015)

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 9 di 46</p>
--	------------------------	--	------------------------

- 3.5 I criteri per valutare la potenziale insorgenza di lesioni proposti dal NOAA (2016) riguardano due diversi tipi di suono, ovvero:
- **Suoni impulsivi**, tipicamente transitori, brevi (meno di 1 secondo), a banda larga e costituiti da picchi di alta pressione sonora, con tempo di salita rapido e decadimento rapido (ANSI 1986, NIOSH 1998, ANSI 2005). Questa categoria comprende fonti sonore come indagini sismiche, battitura di pali e esplosioni subacquee;
 - **Suoni non impulsivi** che possono essere a banda larga, a banda stretta o tonale, brevi o prolungati, continui o intermittenti e in genere non hanno picchi di elevata pressione sonora, con rapido aumento / decadimento tipico dei suoni impulsivi (ANSI 1995; NIOSH 1998). Questa categoria comprende sorgenti sonore come macchinari a funzionamento continuo, sonar e navi.
- 3.6 Nel presente studio sono stati adottati i criteri riferiti alla tipologia di suono impulsivo, data la natura della sorgente sonora utilizzata durante i rilievi sismici, dove la sorgente viene attivata a intervalli regolari, mentre la nave percorre una predeterminata rotta lineare di navigazione per l'acquisizione dei dati. Poiché il rumore proveniente dalla nave è di entità notevolmente inferiore rispetto al rumore emesso dagli airgun, e poiché la somma energetica delle due sorgenti non comporta un aumento delle emissioni sonore rispetto alla sola sorgente costituito airgun, le emissioni acustiche della nave non sono considerate nella modellazione.
- 3.7 I criteri significativi proposti dal NOAA (2016) sono riassunti in Tabella 3.1.



 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 10 di 46</p>
--	------------------------	---	-------------------------

Tabella 3.1 - Sintesi delle soglie acustiche di inizio PTS (spostamento permanente della soglia uditiva) (NOAA 2016)

Gruppo uditivo	Parametri	Impulsivo	Non impulsivo
Cetacei a bassa frequenza (LF)	Picco, non ponderato	219	-
	SEL, LF ponderato	183	199
Cetacei a media frequenza (MF)	Picco, non ponderato	230	-
	SEL, MF ponderato	185	198
Cetacei ad alta frequenza (HF)	Picco, non ponderato	202	-
	SEL, HF ponderato	155	173
Pinnipedi focidi (PW)	Picco, non ponderato	218	-
	SEL, PW ponderato	185	201
Pinnipedi otaridi (OW)	Picco, non ponderato	232	-
	SEL, OW ponderato	203	219

Disturbo ai mammiferi


- 3.8 Oltre all'area in cui possono verificarsi lesioni dirette, è estremamente importante capire in che misura viene condizionato il comportamento dei mammiferi marini. Disturbi significativi possono verificarsi quando vi è il rischio che un copioso branco di animali incorra in variazioni prolungate o croniche del proprio comportamento o quando un gruppo significativo di animali migra in un'altra area, con conseguente ridistribuzione spaziale significativamente diversa da quella che si verificherebbe in seguito ai normali processi di migrazione naturale.
- 3.9 Nella valutazione del potenziale disturbo risultante dalle operazioni sismiche proposte, è necessario considerare sia la probabilità che il suono possa causare disturbi, sia la probabilità che i ricettori sensibili (mammiferi marini) siano esposti a quel suono. Southall et al. (2007) indicano che l'unico modo per verificare e se un suono specifico possa causare disturbi è quello di confrontare le situazioni reali con studi empirici. Maggiore è la potenza sonora, minore è il tempo di tolleranza degli animali prima che possano manifestarsi significativi effetti negativi sulle loro funzioni vitali.
- 3.10 Southall *et al.* (2007) presentano uno schema riassuntivo delle risposte comportamentali osservate durante vari survey sismici. Tuttavia, sebbene i dati raccolti forniscono informazioni significative

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 11 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

per quanto riguarda i cetacei a bassa frequenza, non ci sono dati rilevanti per i cetacei a media frequenza o ad alta frequenza. In genere sono stati osservati cetacei a bassa frequenza, ad eccezione delle balene artiche, per verificare la risposta ad un'esposizione di livello sonoro nel range di 140-160 dB a 1 μ Pa (rms). I cambiamenti comportamentali registrati in seguito a impulsi multipli della sorgente comprendono una reazione immediata quale lo spavento, un'interruzione prolungata o una modifica del modo di vocalizzare, una breve interruzione delle abitudini riproduttive o una breve separazione/allontanamento dalle femmine e dai piccoli.


- 3.11 I dati disponibili per i cetacei a media frequenza indicano che è stata osservata una risposta significativa ad un livello di pressione sonora di 120 - 130 dB a 1 μ Pa (rms); tuttavia la maggior parte dei cetacei in questa categoria non ha mostrato modifiche comportamentali significative fino all'esposizione ad un livello compreso tra 170 e 180 dB a 1 μ Pa (rms). Inoltre, all'interno dello stesso studio, è stato osservato che altri cetacei a media frequenza non hanno presentato una risposta comportamentale anche se esposti ad un livello di 170 - 180 dB a 1 μ Pa (rms).
- 3.12 Secondo Southall et al. (2007) esiste una scarsità generale di dati relativi agli effetti del suono sui pinnipedi. Uno studio che ha riguardato le foche anellate, barbute e macchiate (Harris et al., 2001) ha rilevato l'insorgenza di una risposta significativa ad un livello di pressione sonora da 160 a 170 dB a 1 μ Pa (rms), sebbene un numero maggiore di animali non abbia mostrato risposta ai livelli di rumore fino a 180 dB a 1 μ Pa (rms). A livelli di pressione del suono molto più alti, nell'intervallo tra 190 e 200 dB a 1 μ Pa (rms), è stato rilevato che un numero rilevante di foche mostra una risposta significativa. Non vi sono dati disponibili per livelli di rumore più elevati, e il basso numero di individui osservati nei vari studi implica che è difficile trarre conclusioni definitive.
- 3.13 Southall et al. (2007) osservano anche che, a causa dell'incertezza sul fatto che i cetacei ad alta frequenza possano percepire certi suoni e a causa della scarsità di dati, non è stato possibile presentare alcun dato sulle risposte dei cetacei ad alta frequenza. Tuttavia, Lucke et al. (2008) hanno mostrato che una singola focena dei porti mostrava reazioni aversive comportamentali a livelli di pressione acustica ricevuti superiori a 174 dB a 1 μ Pa (picco-picco) o SEL di 145 dB a 1 μ Pa² s, equivalenti a un livello rms di pressione sonora stimato² di 166 dB a 1 μ Pa.
- 3.14 Il seminario High Energy Seismic Survey (HESS 1997) ha trattato gli effetti del suono sismico sui mammiferi marini e ha concluso che un lieve disturbo comportamentale si potrebbe verificare molto probabilmente a livelli sonori superiori a 140 dB a 1 μ Pa (rms). Questo seminario ha attinto da diversi studi, ma ha riconosciuto che vi era un certo grado di variabilità nelle reazioni tra diversi studi e gruppi di mammiferi. Questo valore è simile alla soglia più bassa per il disturbo dei cetacei

² Sulla base di un'analisi del grafico della storia temporale in Lucke et al. (2007) il periodo T90 è di circa 8 ms, con conseguente correzione di 21 dB applicata al SEL per derivare il livello di pressione sonora rms T90. Tuttavia, il T90 non è stato riportato direttamente nel documento.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 12 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

a bassa frequenza annotati in Southall et al. (2007). Tuttavia, è improbabile che l'insorgenza di lievi effetti di disturbo possa essere definita come disturbo significativo.

- 3.15 Chiaramente, esiste una certa variabilità intra-categoria e forse intra-specie nella risposta comportamentale. Pertanto, il presente Studio adotta un approccio conservativo e utilizza la soglia di disturbi di livello B del servizio US National Marine Fisheries Service (NMFS 2005) di 160 dB a 1 μ Pa (rms) per il suono impulsivo. I disturbi di livello B sono definiti come potenzialmente in grado di disturbare un mammifero marino o un branco di mammiferi marini provocando variazione comportamentali, tra cui, per esempio, migrazione, respirazione, allattamento, allevamento, alimentazione o ricerca di riparo, ma non hanno il potenziale per ferire un mammifero marino o un branco di mammiferi marini. Tale assunzione, simile alla descrizione del disturbo non irrilevante del JNCC (2010), in questo Studio è stata utilizzata come punto di partenza per valutare il punto di inizio di cambiamento comportamentale.
- 3.16 È importante capire che l'esposizione a livelli sonori superiori alla soglia di cambiamento comportamentale sopra indicata non implica necessariamente che il suono possa causare disturbi significativi. Come notato in precedenza, è anche necessario valutare la probabilità tale per cui i recettori sensibili siano esposti a quel suono e se il numero di individui esposti può avere incidenze significative sulla popolazione.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 13 di 46</p>
--	------------------------	---	-------------------------

Riepilogo dei Criteri dei Mammiferi Marini

3.17 I criteri utilizzati in questa valutazione sono riassunti nella Tabella 3.2.


Tabella 3.2 - Criteri proposti per i mammiferi marini

Effect	Criteria		
Cambiamenti comportamentali	Superamento dei criteri in NMFS (2005) per il suono impulsivo: livello di pressione sonora rms superiore a 160 dB a 1 μ Pa		
Danni Fisiologici (Ferite)	Superamento dei criteri NOAA (2016) per PTS a causa del suono impulsivo:		
	Cetacei a bassa frequenza (LF)	Livello di pressione di picco	219 dB a 1 μ Pa
		SEL	183 dB a 1 μ Pa ² s
	Cetacei a media-frequenza (MF)	Livello di pressione di picco	230 dB a 1 μ Pa
		SEL	185 dB a 1 μ Pa ² s
	Cetacei ad alta frequenza (HF)	Livello di pressione di picco	202 dB a 1 μ Pa
		SEL	155 dB a 1 μ Pa ² s
	Pinnipedi focidi (PW)	Livello di pressione di picco	218 dB a 1 μ Pa
		SEL	185 dB a 1 μ Pa ² s
	Pinnipedi otaridi (OW)	Livello di pressione di picco	232 dB a 1 μ Pa
		SEL	203 dB a 1 μ Pa ² s

Lesioni e disturbi alle tartarughe marine

3.18 I criteri più significativi per valutare il danno sono quelli contenuti nelle recenti Linee guida sull'esposizione del suono per pesci e tartarughe marine (Popper et al., 2014). Le linee guida individuano dei criteri per le lesioni dovute a diverse fonti di rumore. In merito all'attività in progetto, le lesioni causate dall'attività di acquisizione sismica possono essere considerate rilevanti³. Tra questi criteri bisogna considerare svariati indici tra cui SEL, rms e livelli di pressione acustica di picco. Dove non esistono dati sufficienti per determinare un valore limite quantitativo, il rischio è classificato in termini relativi come "alto", "moderato" o "basso" in base a tre distanze dalla sorgente: "vicino" (cioè nelle decine di metri), "intermedio" (cioè nelle centinaia di metri) o "lontano" (cioè nelle migliaia

³ Vengono anche presentati i criteri di esposizione delle linee guida per esplosioni, battitura di pali, suono continuo e sonar navali a bassa e media frequenza sebbene non siano applicabili a questo Progetto.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 14 di 46</p>
---	------------------------	--	-------------------------

di metri). Va notato che questi criteri non possono fare distinzione tra esposizioni a diversi livelli di rumore e tra diverse fonti di rumore (non importa quanto rumorose esse siano) ma, teoricamente, potrebbero portare allo stesso risultato. Tuttavia, poiché i rischi qualitativi sono generalmente classificati come "bassi", fatta eccezione di un rischio moderato in un intervallo "vicino" (ovvero entro decine di metri) per alcuni tipi di animali e per alcuni tipi di lesioni, tale problema non risulta rilevante per la determinazione del potenziale effetto del rumore su pesci e tartarughe.

3.19 I criteri utilizzati in questo Studio sono riportati nella Tabella 3.3.

Tabella 3.3 - Criteri per lesioni a Tartarughe causati da airgun (Popper et al., 2014)


Tipo di animale	Parametro	Mortalità e potenziali lesioni mortali	Menomazione	
			Lesione recuperabile	TTS
Tartaruga marina	SEL, dB a 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	210	(vicino) Alto (Intermedio) Basso (Lontano) Basso	(vicino) Alto (Intermedio) Basso (Lontano) Basso
	Picco, dB a 1 μPa	>207		

3.20 I criteri di valutazione più recenti per tale disturbo sono quelli contenuti nello studio di Popper et al. (2014) che stabilisce i criteri per disturbi causati da diverse fonti di rumore. Anche in questo caso, il rischio di effetti comportamentali è classificato in termini relativi come "alto", "moderato" o "basso" a tre distanze dalla sorgente: "vicino" (cioè nelle decine di metri), "intermedio" (cioè in centinaia di metri) o "lontano" (cioè in migliaia di metri), come mostrato nella Tabella 3.4.

Tabella 3.4 - Criteri ASA per insorgenza di effetti collaterali nelle tartarughe (Popper et al., 2014)

Tipo di animale	Rischio relativo degli effetti comportamentali
Tartarughe marine	(vicino) Alto (Intermedio) Moderato (Lontano) Basso

3.21 È importante notare che nello Studio di Popper et al. (2014) i criteri per i disturbi causati dai rumori sono qualitativi piuttosto che quantitativi. Di conseguenza, una particolare fonte sonora potrebbe determinare lo stesso impatto, indipendentemente dal livello sonoro prodotto o dalle caratteristiche di propagazione.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 15 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

4 Metodologia di Valutazione

Determinazione della sorgente per array di sorgenti sismiche

4.1 I livelli sonori sorgente sono solitamente descritte in dB a 1 μ Pa ad 1 m (come se fossero misurati a 1 m dalla sorgente). In pratica, solitamente non è possibile misurare a 1 m da una sorgente sismica attiva che è fisicamente distribuita su un'area di decine di metri quadrati, ma questo metodo consente di confrontare diversi livelli di sorgente e di riportarli su basi omogenee. La modellizzazione delle sorgenti in un campo lontano si basa in genere sui seguenti presupposti:

- ad una certa distanza dalla sorgente (tipicamente verticale e verso il basso) l'energia dagli elementi sorgente si aggiunge in modo costruttivo;
- il livello sorgente è derivato da un calcolo del campo lontano a 1 m.

4.2 La configurazione degli array di airgun in progetto costituisce un dato di output per il modello di simulazione. Un presupposto chiave è che i dati di origine riflettono in modo accurato il livello sorgente, come riscontrato nel campo lontano della sorgente. La configurazione degli array di airgun in progetto è descritta nella successiva tabella:

Configurazione	Taglia dell'Array	N° di airgun	Pressione di picco, bar m
Configurazione minima	2965 cu in (48.6 litri)	20	44.3
Configurazione massima	4100 cu in (67.2 litri)	30	64.1

4.3 La successiva Figura 4.1 mostra la variazione di pressione in funzione del tempo determinata dell'array di airgun di progetto.

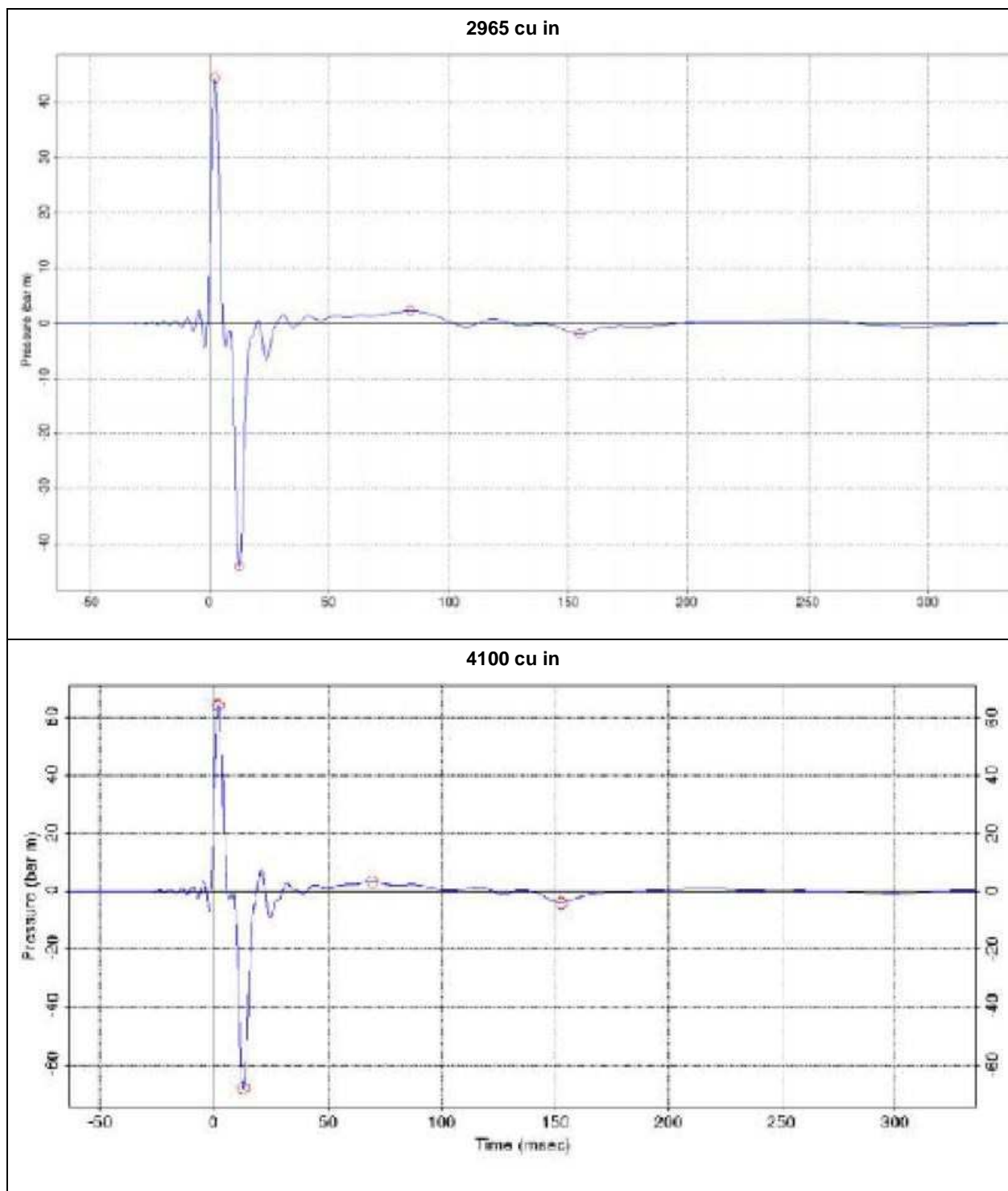


Figura 4.1 - Variazione di pressione in funzione del tempo

- 4.4 I dati di progetto forniti includono anche informazioni sulle caratteristiche della frequenza della sorgente (Figura 4.2), anche se solo per un intervallo di frequenza limitato fino a 200 Hz. Sebbene i livelli più alti della pressione sonora (in termini di livelli non ponderati) siano generati in questa



fascia di frequenze, gli arrey utilizzati per i rilievi sismici possono generare grande energia a frequenze molto più elevate che possono interferire con la sensibilità uditiva dei mammiferi marini.

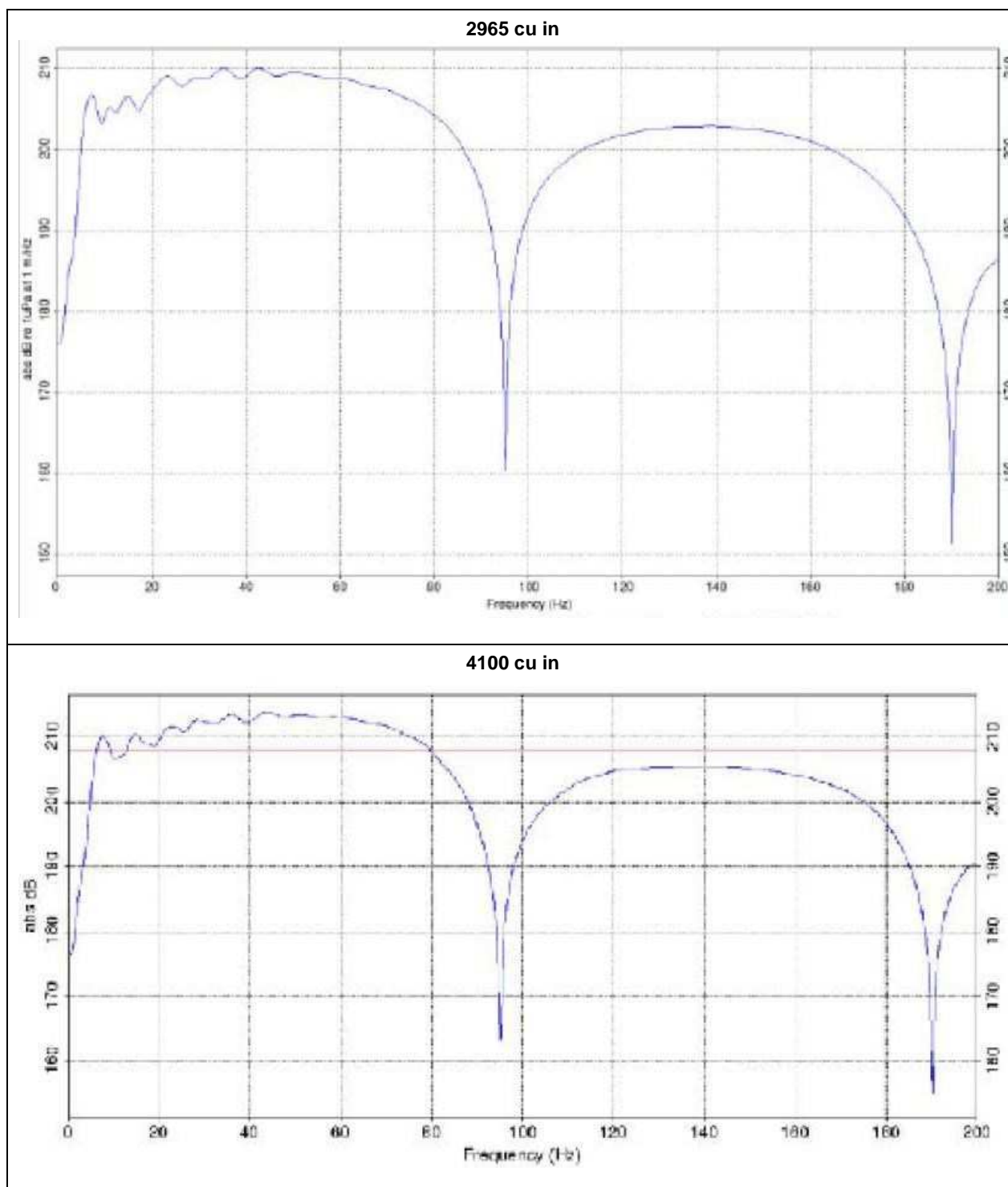




Figura 4.2 - Frequenza caratteristica della sorgente (filtro al di sotto di 250 Hz)

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 18 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

- 4.5 È un errore comune affermare che il suono sismico non contiene energia ad alta frequenza, ovvero al di sopra delle poche centinaia di Hz. Gli array di sorgenti sismiche contengono infatti energia significativa (indesiderata) ad alta frequenza, anche se questo aspetto spesso non viene mostrato nei report di modellazione degli array a causa della frequenza di campionamento del software e del filtro applicato alla sorgente. Ciò accade poiché il contenuto energetico a bassa frequenza è quello di maggior interesse per l'analisi geofisica. L'errore non è neanche visibile nella modalità di realizzazione dei grafici dello spettro di frequenza, poiché sono spesso rappresentati utilizzando la densità dello spettro di potenza. Quindi poiché questi diagrammi descrivono efficacemente la potenza presente nel segnale in funzione della frequenza, per unità di frequenza, la pendenza della curva può essere interpretata erroneamente mostrando meno contenuto ad alta frequenza.
- 4.6 L'analisi delle curve di ponderazione dell'udito NOAA riportate in Figura 3.1 mostra che la maggior parte dell'energia che contribuisce ai SEL è ben al di sopra della frequenza di modulazione della sorgente di 200 Hz, per la maggior parte dei gruppi di ricettori sensibili. In effetti, la gamma di frequenza di modellazione della sorgente non copre nessuna energia sonora all'interno delle curve di ponderazione dei cetacei delle alte e medie frequenze.
- 4.7 Per il presente studio, i livelli sonori sorgente si basano su una combinazione di quelli forniti dal modello dell'array sorgente, integrati da dati sonori misurati da altri studi su una larghezza di banda molto più ampia (Breitzke et al., 2008; Tolstoy et al., 2009 ; Richardson et al., 1995) per produrre dati a bassa e media frequenza. I dati di bassa e media frequenza sono stati estrapolati per ricavare spettri di frequenza in terzi di ottava a frequenze più alte (> 200 Hz) in base al gradiente della densità spettrale di potenza⁴ e dei grafici a banda di frequenze di terzi di ottava.
- 4.8 Il SEL rappresenta l'energia totale di un evento o di una serie di eventi normalizzati a intervalli standardizzati di un secondo. Ciò consente di confrontare l'energia totale di suoni diversi che durano per diversi periodi di tempo. Quando un impulso di pressione proveniente da un array sorgente si propaga verso il ricevitore, la durata dell'impulso aumenta. In questo modo la relazione tra il picco del livello di pressione sonora e il SEL cambia con la distanza. Il livello di picco del modello software dell'array sorgente è stato convertito in un SEL basato sul grafico cronologico temporale dell'oscillazione dell'airgun e confrontato con i dati misurati di Patterson et al. (2007). I valori SEL di impulso singolo sono stati combinati per ciascun impulso come parte dei vari scenari di modellazione SEL cumulativi.
- 4.9 È importante notare che il livello di pressione sonora rms dipenderà dalla finestra di integrazione utilizzata o, in altre parole, dal tempo di misurazione per l'rms. L'utilizzo di una misurazione della durata più lunga comporterebbe un livello di pressione sonora rms più basso rispetto all'uso di uno

⁴ La densità spettrale di Potenza (PSD) è la Potenza dell'onda, per unità di frequenza del segnale.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 19 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

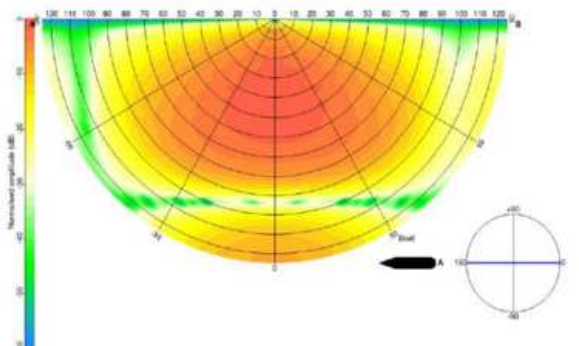
più corto. Pertanto, il livello della sorgente di pressione sonora rms è stato calcolato analizzando il grafico della cronologia temporale del modello dell'array sorgente per ricalcolare il livello di pressione sonora rms utilizzando il relativo periodo di tempo T90 (ovvero l'intervallo che contiene il 90% dell'energia sonora). Questa procedura di integrazione fornisce un valore più rilevante e coerente per il confronto tra vari studi ed è la metrica suggerita in Southall et al. (2007).

- 4.10 Un ulteriore fenomeno si verifica quando la forma d'onda sismica si allunga con la distanza dalla sorgente a causa di una combinazione di dispersione e riflessioni multiple. Le misure presentate da Breitzke et al. (2008) indicano l'allungamento della finestra T90 fino a circa 800 ms a 1.000 m. Questa "discrepanza" temporale riduce l'ampiezza rms con la distanza (poiché la finestra rms è più lunga) ed è stata inclusa negli scenari di modellazione del disturbo. Poiché l'orecchio della maggior parte dei mammiferi marini integra il suono a bassa frequenza su una finestra di circa 200 ms (Peter Teglbjerg Madsen e altri 2006), questa durata è stata utilizzata come tempo massimo di integrazione per il livello di pressione sonora rms ricevuto.
- 4.11 È probabile che i livelli sonori siano sovrastimati nel campo vicino poiché la ricostruzione modellistica della sorgente a 1 m non considera l'interazione tra gli elementi di origine. Questo a sua volta sovrastima i livelli ricevuti sul campo vicino, che sono poi confrontati con le soglie di udito degli animali. In realtà, i livelli del suono in campo vicino alla sorgente saranno inferiori a quelli previsti da questo calcolo del campo verticale lontano.
- 4.12 Un altro fattore importante che influenza il livello di pressione sonora ricevuto dagli array di sorgenti sismiche è la caratteristica di direttività della sorgente. Gli array di sorgenti sono progettati in modo tale che la maggior parte dell'energia acustica sia diretta verso il basso, ovvero verso il fondale. Pertanto, la quantità di energia emessa orizzontalmente sarà significativamente inferiore a quella diretta verso il basso. I grafici di direttività sono mostrati nella Figura 4.3.

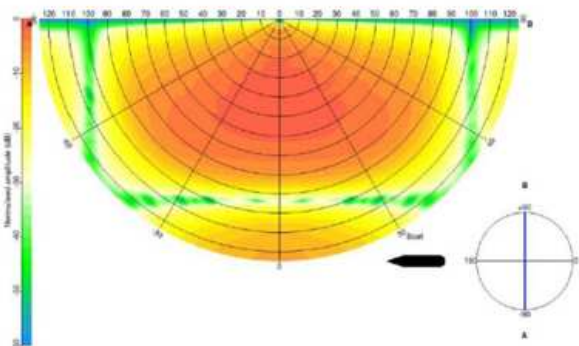


2965 cu in

Azimuth: 0 deg

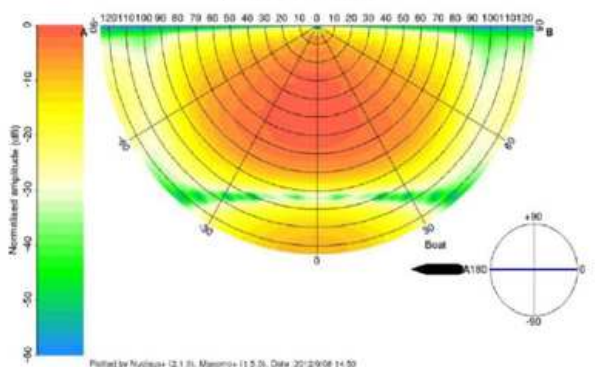


Azimuth: 90 deg



4100 cu in

Azimuth: 0 deg



Azimuth: 90 deg

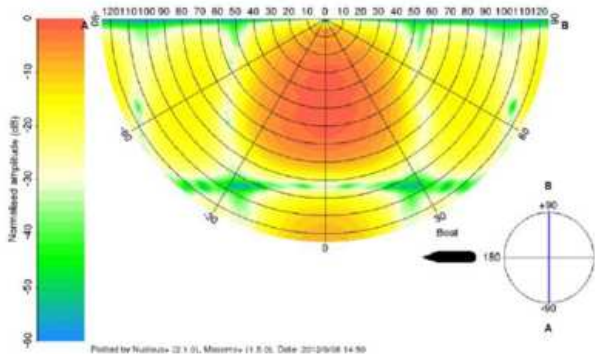


Figura 4.3 - Grafici di direttività per array sorgente



- 4.13 Un esempio di grafico SPL che mostra l'effetto di direttività al di sotto di un array sorgente è mostrato in Figura 4.4 (le misure di direttività sono solo a scopo illustrativo e non specifiche per l'array sorgente proposto per questo Studio). Dalla figura, si può chiaramente vedere che un animale che nuota in acque più profonde sarebbe soggetto a livelli di esposizione sonora più elevati rispetto all'animale che nuota in acque poco profonde alla stessa distanza aerea dall'array sorgente.

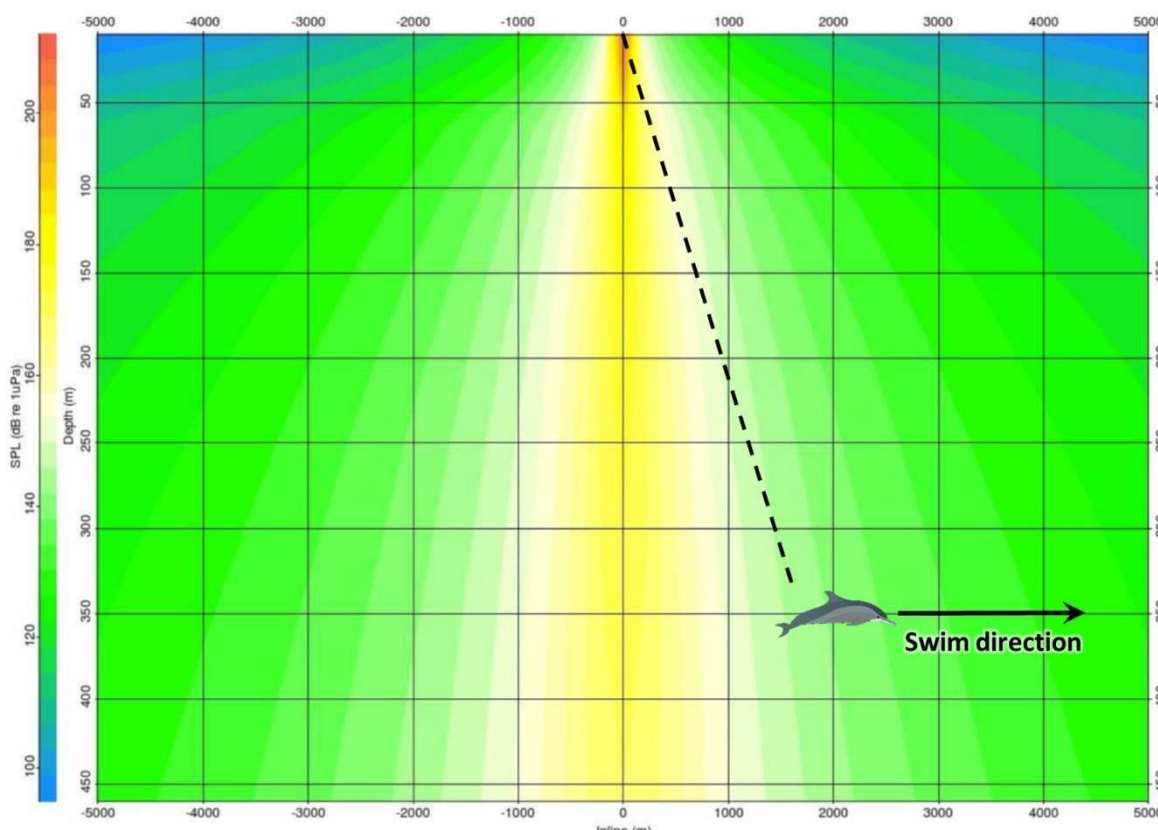


Figura 4.4- Esempio di SPL in line che mostra la direttività dell'array

- 4.14 La direttività è un effetto dipendente dalla frequenza ed è più evidente a frequenze più alte che a frequenze più basse. Le correzioni di direttività sono state applicate ai dati del livello sonoro sorgente in base alle caratteristiche di direttività fornite per l'array proposto. I fattori di direttività sono stati ricavati in base all'angolo di incidenza della sorgente rispetto ad un animale sul fondo dell'oceano, assumendo che il ricevitore si trovi sul lato dell'array (anziché davanti o dietro l'array). Ciò si traduce in una maggiore correzione (riduzione del livello sonoro), dovuta alla direttività, a distanze più lontane dalla sorgente rispetto ai ricettori vicini alla sorgente.
- 4.15 A distanze più vicine alla sorgente (cioè inferiori alla profondità dell'acqua), non viene eseguita alcuna correzione di direttività perché l'animale potrebbe essere direttamente al di sotto dell'array.



Questo scenario viene rappresentato nella Figura 4.5. Va notato che queste figure e gli esempi sono scenari illustrativi e semplificati per dimostrare il principio degli angoli di incidenza.

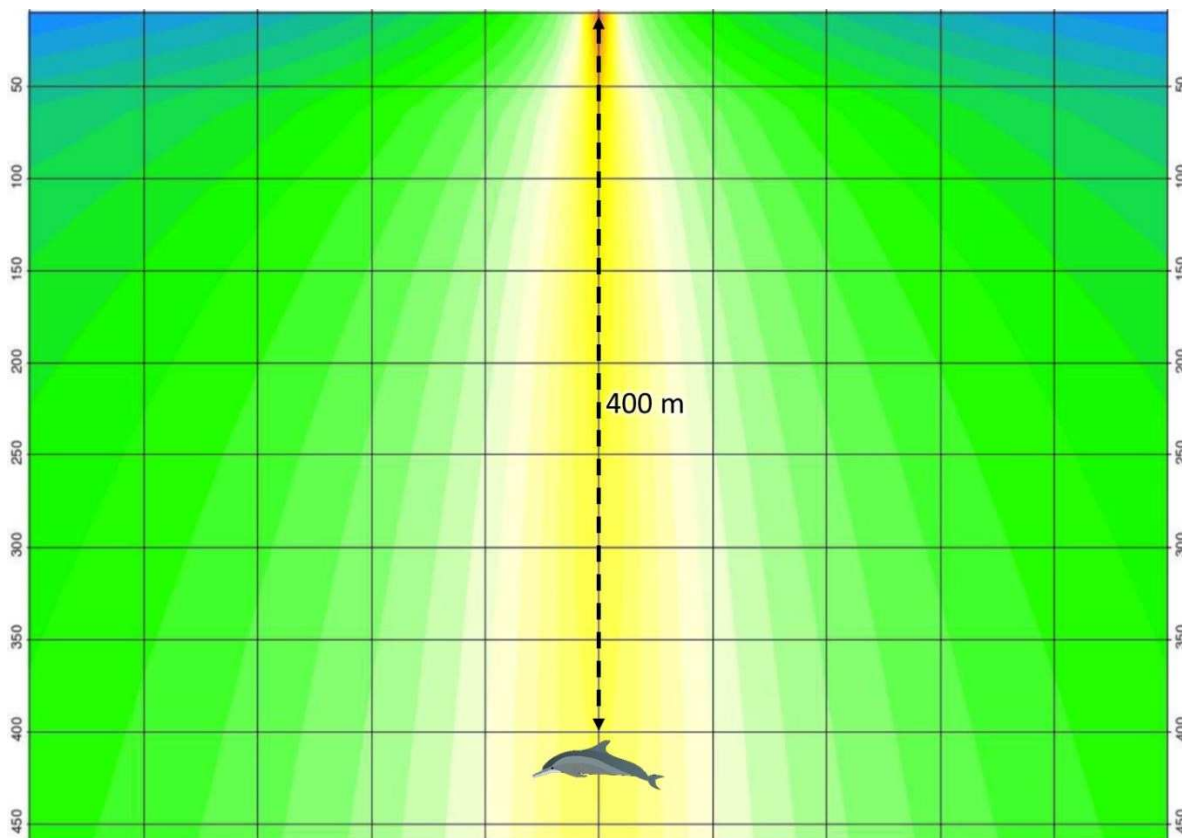


Figura 4.5 - Esempio di distribuzione dell'area di influenza nel caso di distanza del recettore inferiore alla profondità dell'acqua

- 4.16 Con l'aumentare della distanza del recettore, l'angolo di incidenza tra la sorgente array e l'animale diventa più grande. Quindi, quando la distanza è maggiore rispetto alla profondità dell'acqua, gli effetti della direttività della sorgente avranno una maggiore influenza sul livello del suono percepito. Ovvero quando la distanza del recettore diventa più grande della profondità della colonna d'acqua, gli effetti di direttività dell'array sono sempre più importanti. La figura 4.6 mostra un esempio in cui la distanza del recettore è leggermente maggiore della profondità della colonna d'acqua.

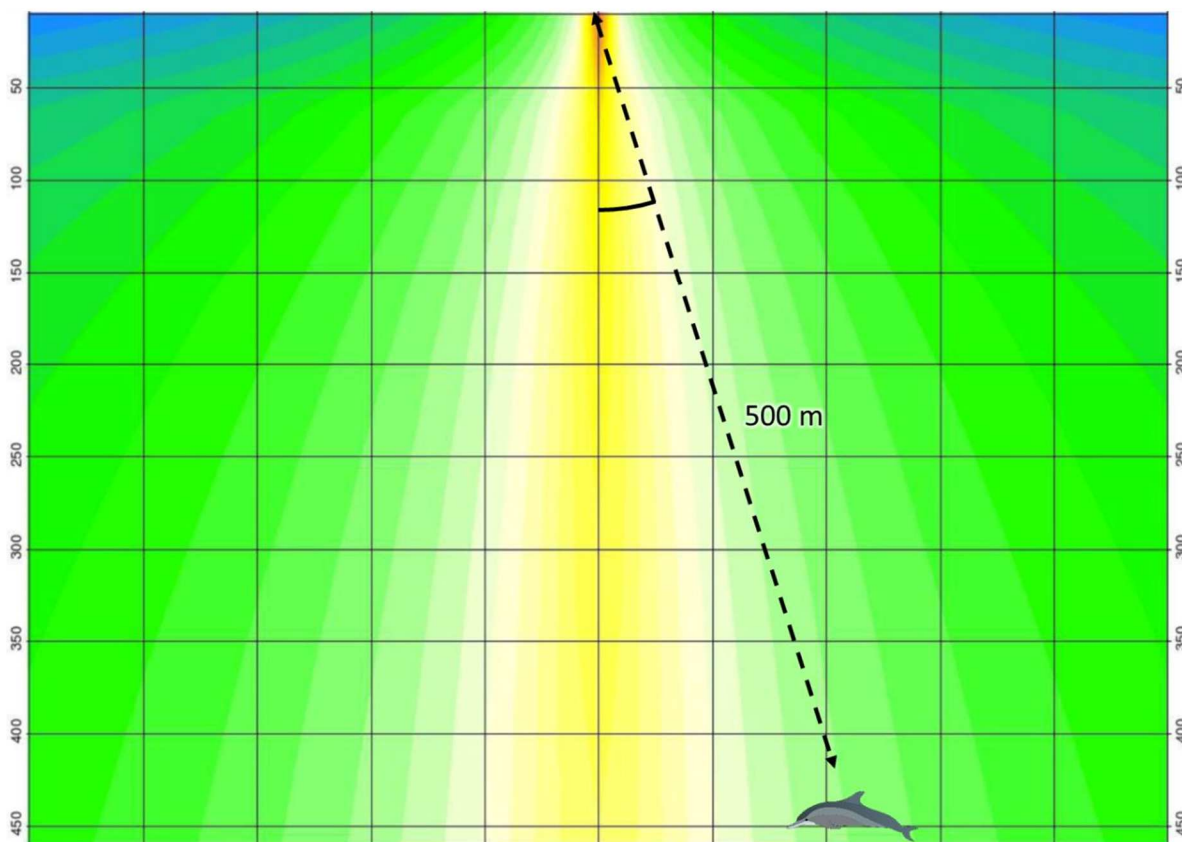


Figura 4.6 - Esempio di distribuzione dell'area di influenza nel caso di distanza del recettore leggermente più grande della profondità dell'acqua

- 4.17 Quando la distanza del ricettore è molto più grande della profondità della colonna d'acqua, gli effetti della direttività sono molto più significativi. Ciò è rappresentato in Figura 4.7.

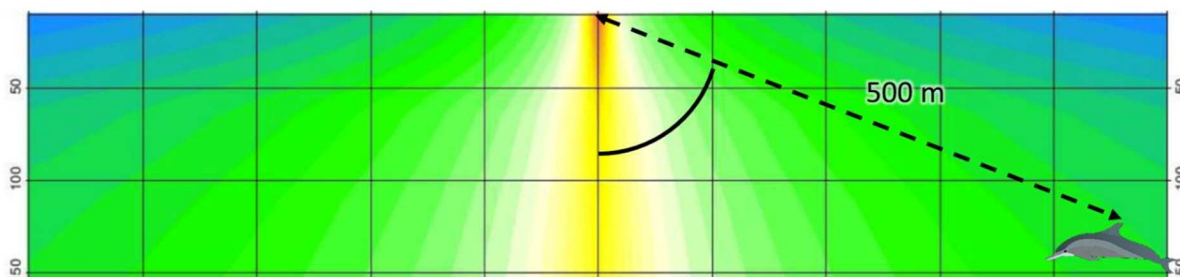



Figura 4.7 - Esempio di distribuzione dell'area di influenza nel caso di distanza del recettore molto più grande della profondità dell'acqua

Modello di propagazione


- 4.18 Aumentando la distanza dalla sorgente, di solito il livello del suono si abbassa, principalmente a causa della diffusione dell'energia sonora con la distanza, nello stesso modo in cui le increspature

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 24 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

di uno stagno si diffondono dopo che è stata gettata una pietra, in combinazione con l'attenuazione dovuta all'assorbimento di energia sonora da parte delle molecole nell'acqua. Quest'ultimo meccanismo è maggiormente apprezzabile per il suono a frequenze più alte che per le frequenze più basse.


- 4.19 Il modo in cui il suono si propaga (divergenza geometrica) dipenderà da diversi fattori come la profondità della colonna d'acqua, la pressione, i gradienti di temperatura, la salinità e le condizioni della superficie dell'acqua e del fondo (cioè il fondo marino). Quindi, anche per una determinata località, ci sono variazioni temporali nel modo in cui il suono si propaga. Tuttavia, l'energia sonora può essere schematizzata come diffusione sferica (vicino alla sorgente) o come diffusione cilindrica (molto più lontano dalla sorgente), anche se altri fattori mostrano che il fenomeno di decadimento nell'energia sonora ha un comportamento interposto tra questi due casi semplicistici.
- 4.20 In particolare, nelle acque considerate come acusticamente poco profonde⁵, il meccanismo di propagazione è caratterizzato da più interazioni con il fondo marino e la superficie dell'acqua (Lurton 2002; Etter 2013; Urick 1983; Brekhovskikh e Lysanov n.d.); Kinsler et al. 1999). Infatti, mentre nelle acque profonde il suono si propaga senza incontrare la superficie o il fondo del mare, nelle acque più basse il suono può essere riflesso da uno o entrambi i confini (potenzialmente più di una volta) rappresentati dal fondo e dalla superficie del mare.
- 4.21 Sulla superficie del mare, la maggior parte del suono viene riflessa nell'acqua a causa della differenza di impedenza acustica (ovvero velocità e densità del suono) tra l'aria e l'acqua. Tuttavia, la dispersione del suono sulla superficie del mare può essere un fattore importante in termini di propagazione del suono. In un caso ideale (vale a dire per una superficie del mare perfettamente liscia), la maggior parte dell'energia delle onde sonore sarà riflessa nel mare. Tuttavia, in caso di mare agitato, gran parte dell'energia sonora è dispersa (e.g. Eckart 1953; Fortuin 1970; Marsh, Schulkin, and Kneale 1961; Urick and Hoover 1956). La dispersione può verificarsi anche a causa di bolle vicino alla superficie, come quelle generate dal vento o dai pesci o a causa di solidi sospesi nell'acqua come particolato o animali marini. La dispersione è più evidente per le frequenze più alte rispetto a quelle più basse e dipende dallo stato del mare (ovvero dall'altezza delle onde). Tuttavia, i vari fattori che influenzano questo meccanismo sono complessi.
- 4.22 Poiché la dispersione della superficie causa differenze nel suono riflesso, il suo effetto sarà più significativo a distanze maggiori dalla sorgente e in acqua bassa (ovvero dove vi sono riflessioni multiple tra la sorgente e il ricevitore). Il grado di diffusione dipenderà dallo stato del mare, velocità del vento, profondità dell'acqua, frequenza del suono, gradiente di temperatura, angolo incidente

⁵ In termini acustici, le condizioni di acque poco profonde esistono quando la propagazione è caratterizzata da riflessioni multiple sia con la superficie del mare che con il fondo (Etter 2013). Di conseguenza, la profondità alla quale l'acqua può essere classificata come acusticamente profonda o superficiale dipende da numerosi fattori tra cui il gradiente di velocità del suono, la profondità dell'acqua, la frequenza del suono e la distanza tra la sorgente e il ricevitore.


 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 25 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

e distanza dalla sorgente. Va notato che le variazioni di propagazione dovute alla dispersione variano nel tempo all'interno di un'area principalmente a causa di diverse condizioni del mare e della velocità del vento in momenti diversi. Tuttavia, per distanze minori (ad esempio diverse centinaia di metri o meno), il suono subisce meno riflessi e quindi l'effetto della dispersione non risulta essere significativo.

- 4.23 Quando le onde sonore incontrano il fondo, la quantità di suono riflesso dipende dalle proprietà geoaustiche del fondo (ad esempio granulometria, porosità, densità, velocità del suono, coefficiente di assorbimento e rugosità) nonché dall'angolo di incidenza e dalla frequenza del suono. (Cole 1965; Hamilton 1970; Mackenzie 1960; McKinney and Anderson 1964; Etter 2013; Lurton 2002; Urick 1983). Pertanto i fondi costituiti principalmente da fango o altri sedimenti acusticamente morbidi rifletteranno meno i suoni rispetto agli elementi acusticamente più duri come la roccia o la sabbia. Ciò dipenderà anche dal profilo del fondo (ad esempio la profondità dello strato di sedimento e il modo in cui le proprietà geoaustiche variano al variare della profondità del fondale). L'effetto è meno evidente alle basse frequenze (pochi kHz e sotto). Un effetto di dispersione (simile a quello che si verifica in superficie) si verifica anche sul fondale (Essen 1994, Greaves and Stephen 2003, McKinney and Anderson 1964, Kuo 1992), in particolare su substrati irregolari (ad esempio ciottoli).
- 4.24 Un altro fenomeno è l'effetto guida d'onda, il che significa che acque poco profonde non consentono la propagazione del suono a bassa frequenza (Urick 1983; Etter 2013). La minima frequenza alla quale il suono può propagarsi in acque poco profonde può essere calcolata in base alla profondità dell'acqua e alla conoscenza delle proprietà geoaustiche del sedimento. Qualsiasi suono al di sotto di questa frequenza non si propagherà molto a causa di perdite di energia attraverso riflessioni multiple.
- 4.25 Un altro fattore importante è il gradiente della velocità del suono. Le variazioni di temperatura e pressione con la profondità comportano che la velocità del suono varia per tutta la colonna d'acqua. Questo può portare a variazioni significative nella propagazione del suono e può anche portare a canali sonori, in particolare per il suono ad alta frequenza. Il suono può propagarsi in modo simile a un condotto all'interno di questi canali, diffondendo efficacemente il suono o, al contrario, si possono anche formare zone d'ombra. La frequenza alla quale ciò si verifica dipende dalle caratteristiche del canale audio ma, ad esempio, uno strato spesso 25 m non agisce come un condotto per le frequenze inferiori a 1,5 kHz. Il gradiente di temperatura può variare durante l'anno e quindi ci sarà una potenziale variazione nella propagazione del suono a seconda della stagione.
- 4.26 L'energia sonora viene assorbita anche a causa delle interazioni a livello molecolare che convertono l'energia acustica in calore. Questo è un altro effetto dipendente dalla frequenza, ovvero con frequenze più alte si verificano perdite molto più alte rispetto alle frequenze più basse.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 26 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

- 4.27 Esistono diversi metodi per modellare la propagazione del suono tra una sorgente e un ricevitore che vanno da modelli molto semplici che si basano semplicemente sulla diffusione secondo una relazione $10 \log(r)$ o $20 \log(r)$ (come discusso sopra) a modelli acustici completi (ad es. ray tracing, modalità normale, equazione parabolica, integrazione con il numero d'onda e modelli di flusso di energia). Inoltre, sono disponibili modelli semi-empirici che, in termini di complessità, sono intermedi tra queste tipologie.
- 4.28 Nello scegliere il modello di propagazione da impiegare, è importante assicurarsi che sia adatto allo scopo e produca risultati con un grado adeguato di accuratezza per l'applicazione in questione, tenendo conto del contesto (come descritto nel seguente documento *Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas Part III, NPL Guidance and Farcas et al., 2016*). Pertanto, in alcune situazioni (ad esempio nei casi di basso rischio dovuto al rumore subacqueo, di distanze indipendenti dalla batimetria, suono non impulsivo) sarà sufficiente un modello semplice ($N \log R$), in particolare laddove le variabili superano le incertezze dovute alla modellazione. Al contrario, alcune situazioni (ad esempio livelli sonori molto elevati, suono impulsivo, caratteristiche di percorsi di propagazione e sorgente complessi, ricettori altamente sensibili e incertezze nei criteri di valutazione) giustificano una metodologia di modellazione più complessa.
- 4.29 Il primo passo nella scelta di un modello di propagazione è quindi quello di esaminare questi fattori, come di seguito esposti:
- Bilanciamento tra errori/incertezze;
 - Batimetria dell'area di interesse;
 - Frequenza del suono;
 - Caratteristiche della sorgente.
- 4.30 Per il suono impulsivo, come quello prodotto da un rilievo sismico, la propagazione del suono è più complessa di quella che può essere modellata usando una semplice relazione $N \log R$.
- 4.31 Ad esempio, il livello di pressione sonora rms di un'onda sonora impulsiva dipenderà dalla finestra di integrazione utilizzata o, in altre parole, dal tempo di misurazione per l'rms. L'utilizzo di una misurazione della durata più lunga comporterebbe un livello di pressione sonora rms più basso rispetto all'uso di una durata minore. Si verifica quindi un fenomeno aggiuntivo in cui la forma d'onda sismica si allunga con la distanza dalla sorgente a causa di una combinazione di dispersione e riflessioni multiple. Questa "discrepanza" temporale può influire significativamente sul livello di pressione di picco e riduce l'ampiezza rms con la distanza (poiché la finestra rms è più lunga). Inoltre, i livelli sonori dichiarati nei report di modellazione dell'array sorgente sono probabilmente sovrastimati nel campo vicino, in quanto il calcolo del livello sonoro effettuato a 1 m non considera l'interazione tra le sorgenti. Questo a sua volta sovrastima i livelli sonori percepiti

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 27 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

sul campo vicino, che vengono poi confrontati con le soglie di sensibilità degli animali. In realtà, i livelli sonori della sorgente nel campo vicino saranno inferiori a quelli previsti da questo calcolo del campo lontano verticale. Un altro fattore importante che influenza il livello di pressione sonora originato da sorgenti sismiche è la caratteristica di direttività della sorgente. Gli array sorgente sono progettati in modo tale che la maggior parte dell'energia acustica sia diretta verso il basso, verso il fondo dell'oceano. Pertanto, la quantità di energia emessa orizzontalmente sarà significativamente inferiore a quella diretta verso il basso. Questo effetto dipende dalla frequenza ed è più evidente a frequenze alte piuttosto che a frequenze basse.

4.32 La modellazione della propagazione del suono per il presente progetto è stata quindi effettuata su un modello di propagazione dipendente dalla distanza, utilizzando il modello semi-empirico sviluppato da Rogers (1981). Il modello fornisce un solido equilibrio tra complessità e rigore tecnico su un'ampia gamma di frequenze, è stato convalidato da numerosi studi in campo ed è stato confrontato con una serie di altri modelli. L'implementazione di tale modello richiede i seguenti dati di input:

- Livello sonoro della sorgente per banda in terza di ottava;
- Campo di azione (distanza sorgente - ricevitore);
- Profondità della colonna d'acqua (input come griglia di dati di batimetria);
- Tipo di sedimento;
- Profilo di velocità del suono e densità dell'acqua e del sedimento;
- Coefficiente di attenuazione del sedimento;
- Caratteristiche di direttività della sorgente.


4.33 La perdita di propagazione è calcolata utilizzando la formula:

$$TL = 15 \log_{10} R + 5 \log_{10} (H\beta) + \frac{\beta R \theta_L^2}{4H} - 7.18 + \alpha_w R$$

dove R è il campo d'azione, H la profondità dell'acqua, β il coefficiente di perdita sul fondale, θ_L l'angolo limite e α_w il coefficiente di assorbimento dell'acqua di mare (α_w è un termine dipendente dalla frequenza, calcolato sulla base di Ainslie e McColm, 1998).

4.34 L'angolo limite, θ_L è il più grande tra θ_g e θ_c , dove θ_g è l'angolo di incidenza massimo e θ_c è l'angolo piano effettivo formato dall'onda che corrisponde alla modalità di propagazione più bassa.

$$\theta_g = \sqrt{\frac{2Hg}{c_w}} \quad \theta_c = \frac{c_w}{2fH}$$

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 28 di 46</p>
---	------------------------	--	-------------------------

Dove g è il gradiente della velocità del suono e f è la frequenza.

4.35 Il coefficiente di perdita sul fondo β è approssimata come:

$$\beta \approx \frac{0.477(\rho_s/\rho_w)(c_w/c_s)K_s}{[1 - (c_w/c_s)^2]^{3/2}}$$

Dove ρ_s è la densità del sedimento, ρ_w la densità dell'acqua, c_s la velocità del suono nel sedimento, c_w la velocità del suono nell'acqua e K_s è il coefficiente di attenuazione del sedimento.

4.36 Il modello di propagazione tiene conto anche della frequenza di cut-off dipendente dalla profondità (ovvero la frequenza al di sotto della quale il suono non si propaga):

$$f_{cut-off} = \frac{c_w}{4h \sqrt{1 - \frac{c_w^2}{c_s^2}}}$$

Dove c_s e c_w sono le velocità di propagazione del suono nel substrato e nell'acqua.

4.37 I calcoli di propagazione e di esposizione sonora sono stati condotti su un intervallo di profondità della colonna d'acqua al fine di determinare l'intervallo probabile di insorgenza di lesioni e disturbi. Va notato che l'effetto della direttività incide fortemente sulla determinazione delle zone nelle quali sono previsti lesioni e disturbi in quanto un mammifero marino ha maggiore probabilità di trovarsi al di sotto della sorgente nel caso di acque profonde piuttosto che nel caso di acque poco profonde.

4.38 Va tenuto presente che i livelli di rumore (e gli effetti associati) varieranno a seconda delle condizioni effettive al momento dell'indagine (giorno per giorno e stagione per stagione) e che il modello ipotizza il peggior caso possibile. Nella valutazione del comportamento e delle abitudini degli animali, qualsiasi intervallo di rumore per cui sono attese lesioni e disturbi dovrebbe essere considerato come un intervallo indicativo e probabilistico finalizzato alla comprensione dei potenziali impatti sulla vita marina, piuttosto che come valore limite oltre cui certamente si verificherà un impatto. (Si tratta di un approccio simile a quello adottato per il rumore aereo nel caso in cui si valuta il caso peggiore, anche se è noto che i livelli giornalieri possono variare da quelli calcolati da 5 a 10 dB a seconda della direzione del vento, etc.).

4.39 Nel modello sono stati utilizzati i seguenti parametri geoacustici riferiti al fondale (Hamilton 1970, 1980; Jensen 1994):

- Velocità del suono del sedimento $c_s = 1,657$ m/s
- Densità del sedimento $\rho_s = 2$ kg/m³
- Coefficiente di attenuazione del sedimento $K_s = 0,459$ dB / m / kHz



- 4.40 La batimetria dell'area di rilevamento e dell'area circostante è illustrata nella Figura 4.8. Le profondità dell'acqua nella zona sono generalmente comprese tra i 600 e gli 800 m.

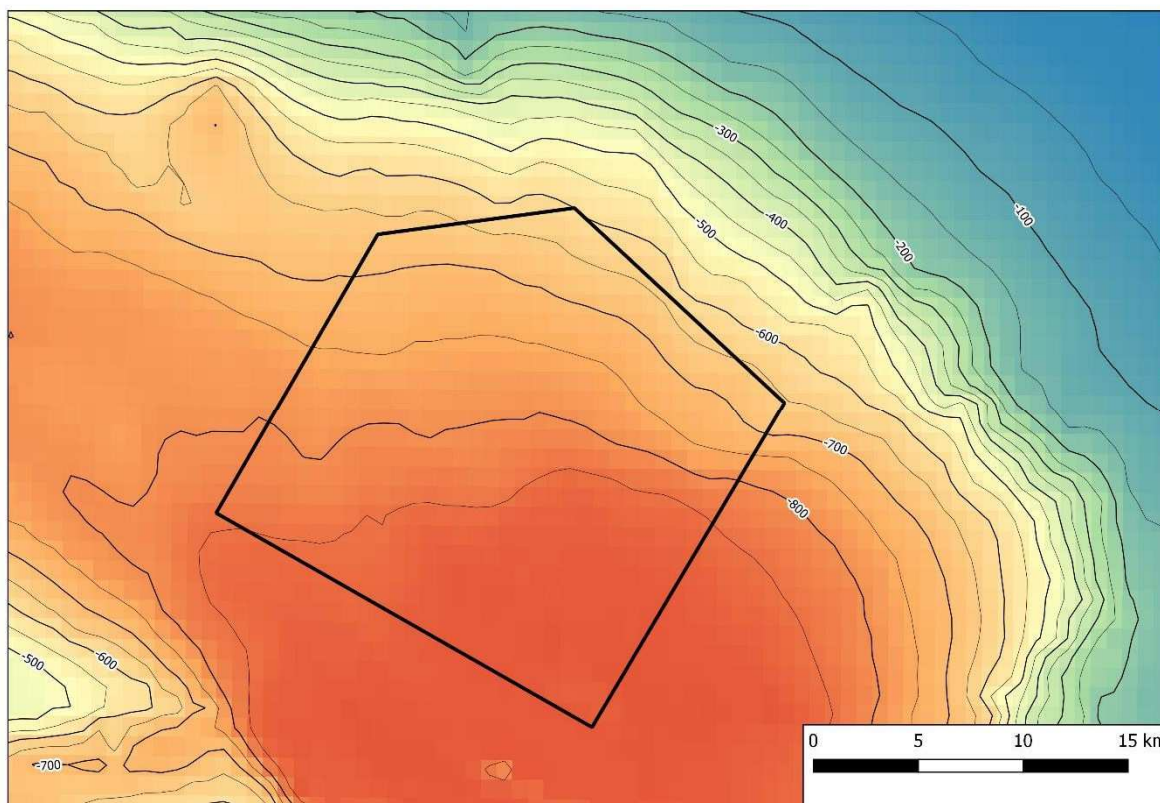


Figura 4.8 - Batimetria nell'area di indagine

Calcoli di esposizione

- 4.41 Oltre a calcolare i livelli rms non ponderati e i livelli di pressione acustica di picco a varie distanze dalla sorgente, è anche necessario calcolare il SEL per un mammifero, usando i livelli ponderati sopra descritti, tenendo conto dei numerosi impulsi cui sono esposti. Per valutare gli effetti del rumore generato dal rilievo sismico in progetto e al fine di calcolare l'esposizione cumulativa sono stati utilizzati i dati relativi al SEL per un singolo impulso, insieme al massimo numero di impulsi che si prevede siano ricevuti dai mammiferi marini.
- 4.42 Il modello è stato implementato assumendo che un mammifero si muova allontanandosi a velocità costante e in direzione perpendicolare rispetto a una nave in movimento (vedere Figura 4.9):

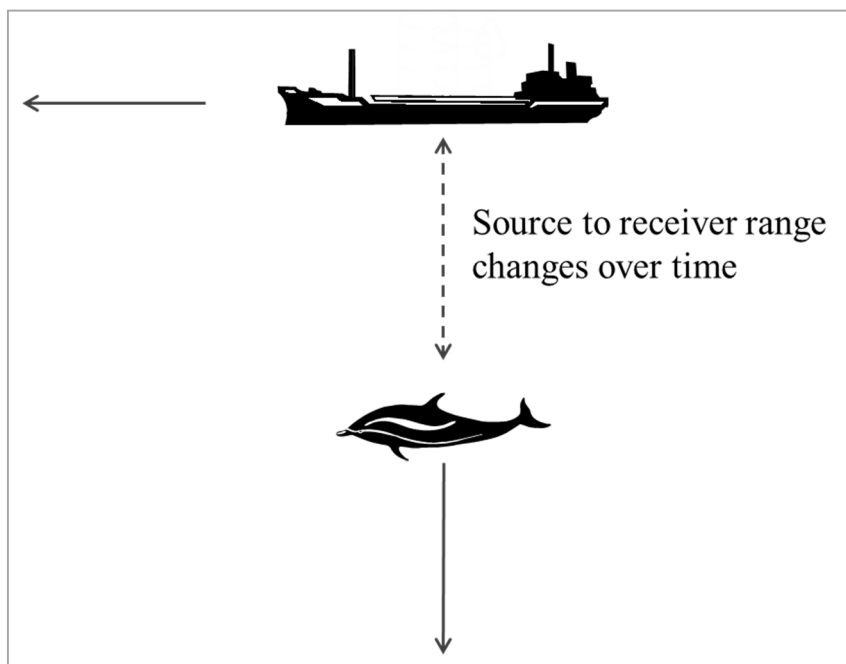


Figura 4.9 Modello di esposizione del suono

- 4.43 Il caso di cui sopra è stato modellato per un intervallo di distanze iniziali (distanza iniziale o minima tra l'animale e la nave) al fine di calcolare l'esposizione cumulativa per una serie di scenari. In ciascun caso, gli impulsi a cui il mammifero è esposto quando si trova più vicino all'imbarcazione prevalgono sull'esposizione sonora. Ciò è dovuto alla natura logaritmica della sommatoria dell'energia sonora.
- 4.44 Per eseguire il calcolo considerando il movimento del mammifero, si è ipotizzato che esso nuoti allontanandosi dalla fonte di rumore a una velocità media di 1,5 ms⁻¹. Il calcolo considera ciascun impulso separatamente, determinando una serie di valori SEL discreti, la cui grandezza è decrescente (vedi Figura 4.10).

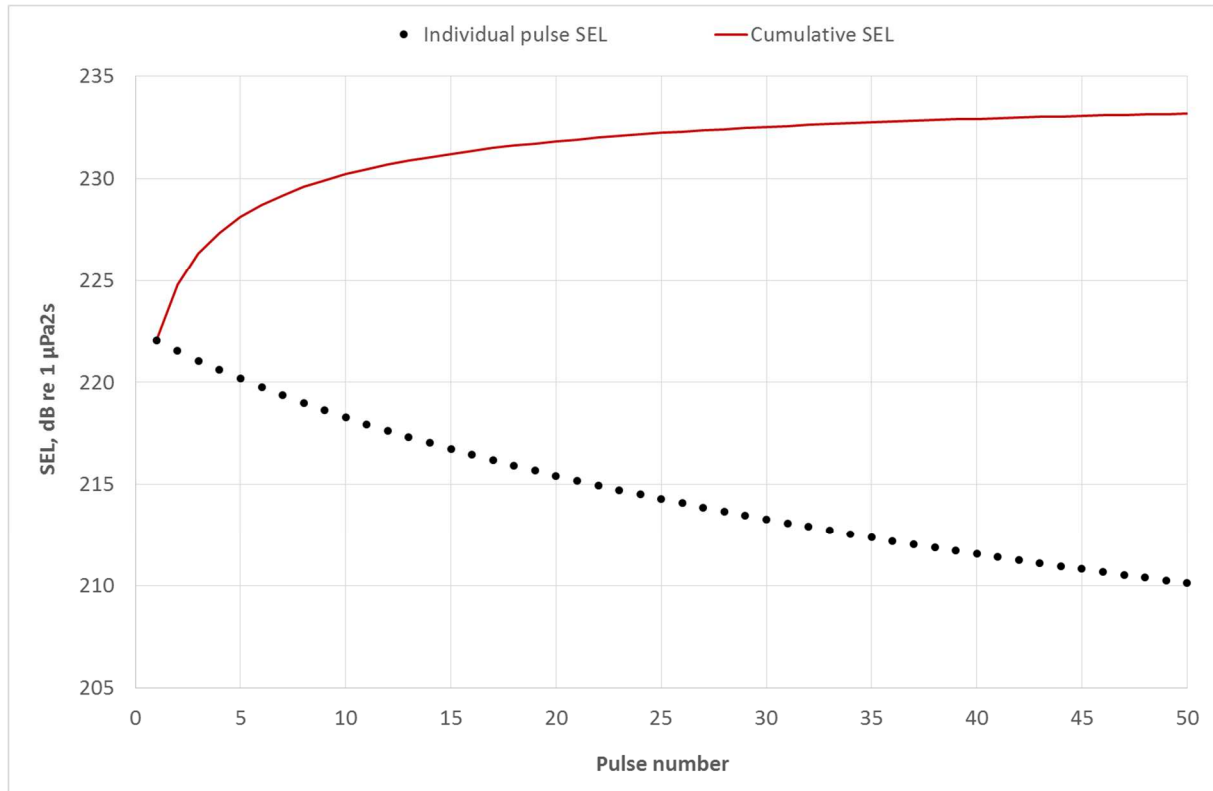



Figura 4.10 - Impulso discreto SEL e SEL cumulativo

- 4.45 Quando un mammifero nuota allontanandosi dalla sorgente, il rumore si attenuerà progressivamente; il SEL cumulativo viene calcolato con somma logaritmica aggiungendo il SEL al quale il mammifero è esposto mentre si muove allontanandosi dalla sorgente. Questo calcolo è stato utilizzato per stimare la distanza minima approssimativa alla quale un mammifero marino è esposto a una quantità di energia sonora sufficiente a provocare l'insorgenza di potenziali lesioni. Si noti che i calcoli dell'esposizione sonora si basano sull'assunzione semplificativa secondo cui l'animale continuerà a nuotare a una velocità relativa abbastanza costante. La situazione reale è differente in quanto è probabile che l'animale possa muoversi in modo più complesso. È stato dimostrato che le velocità di nuoto dei mammiferi marini può arrivare fino a 5 m/s (ad esempio le balenottere nuotano fino a 3.25 m/s (Cooper et al., 2008), mentre per la focena nuota fino a 4.3 m/s (Otani et al. 2000)). Ipotizzando che la velocità di nuoto dei mammiferi sia pari a 1,5 m/s, consente in questo studio di tenere in debita considerazione il fatto che il mammifero marino potrebbe non nuotare allontanandosi dalla sorgente, potrebbe cambiare direzione o potrebbe non mantenere un'alta velocità di nuoto per un periodo prolungato
- 4.46 Si noti che i calcoli dell'esposizione sonora si basano sull'ipotesi semplificativa che la sorgente sismica sia attivata in modo continuo per un periodo di 24 ore. La situazione reale è più complessa. Infatti, normalmente una nave percorre una rotta alla volta, e utilizza per il cambio di rotta percorsi

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 32 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

di manovra durante i quali la sorgente sismica non è attiva. Invece, in maniera cautelativa, i calcoli del SEL presentati in questo studio non tengono conto di eventuali interruzioni dell'attività.

- 4.47 Inoltre, i criteri descritti nelle linee guida NOAA per suono a impulsi multipli presumono che l'animale non recuperi l'udito tra un impulso e l'altro o una serie di impulsi. È probabile, invece, che sia gli intervalli tra gli impulsi, sia le interruzioni dovute alle operazioni di cambio rotta, potrebbero consentire un certo recupero temporaneo dell'udito per gli animali esposti al suono e, pertanto, la valutazione del livello di esposizione sonora effettuata in questo Studio può essere considerata conservativa. Questa sovrastima, tuttavia, risulta di modesta entità poiché, come affermato in precedenza, la maggior parte dell'energia sonora a cui è esposto un animale è percepita quando quest'ultimo si trova vicino alla sorgente, il che implica che l'esposizione a distanze maggiori sia poco significativa rispetto all'esposizione complessiva.
- 4.48 I calcoli SEL descritti in precedenza sono stati condotti anche per considerare il beneficio delle operazioni di soft-start. In questo caso, i singoli impulsi vengono ridotti di intensità per un periodo di tempo prima di ritornare ai valori nominali previsti dal progetto. Per questo Studio si è ipotizzato che durante le procedure di soft-start ciascun impulso sarà attenuato di 10 dB per un periodo di 20 minuti. Il modello implementato, inoltre, considera che un mammifero non si avvicini di nuovo alla sorgente nello stesso giorno. Poiché si ipotizza di effettuare una procedura di soft-start ad ogni cambio di rotta di navigazione, qualsiasi mammifero che si avvicini nuovamente alla sorgente avrà il tempo di allontanarsi prima che l'attività sismica inizi a pieno regime.
- 4.49 In realtà, grazie all'adozione della procedura di soft start il livello del suono aumenterà in maniera progressiva nel tempo (ad esempio, quando vengono aggiunte sorgenti). In uno scenario tipico, nel caso di avvio attività con singolo airgun la pressione sonora iniziale sarà inferiore di 20÷30 dB rispetto al livello sonoro nominale, e aumenterà approssimativamente in modo logaritmico fino al raggiungimento dell'energia massima. Di conseguenza, il livello del suono a cui l'animale è esposto si ridurrà (in quanto l'animale nuoterà allontanandosi dalla sorgente) mentre l'energia della sorgente aumenterà lentamente. Si ritiene che l'ipotesi di una riduzione del suono durante il periodo di soft-start fornisca una stima sufficientemente cautelativa dell'esposizione di un animale poiché il maggiore impatto acustico cumulativo si verifica nelle prime decine di impulsi iniziali.

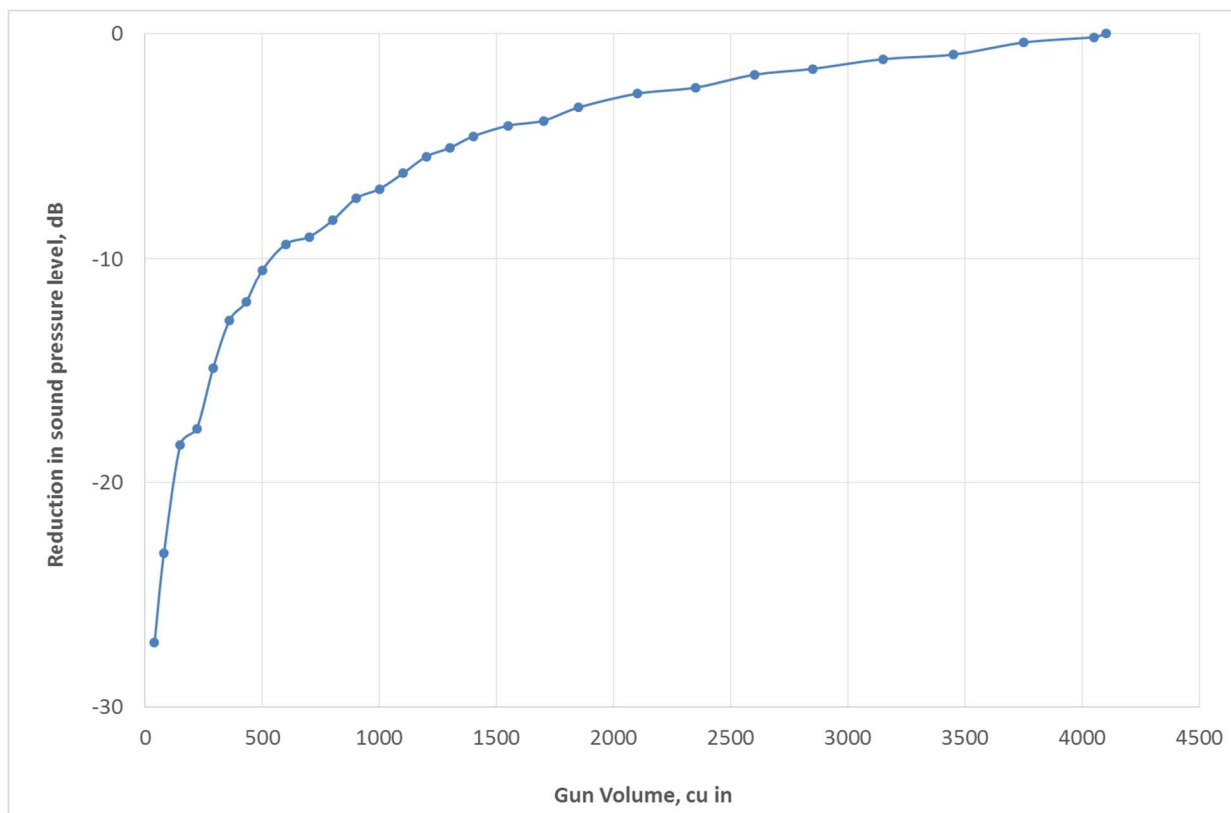


Figura 4.11 – volume dell'airgun vs riduzione del livello di pressione sonora

4.50 Le emissioni sonore dovute alla nave che esegue il rilievo sono considerate trascurabili rispetto alla sorgente sismica, pertanto non sono state incluse ai fini del calcolo dell'esposizione sonora.



5 Risultati della Modellazione Sonora

Lesioni dei Mammiferi Marini

5.1 La successiva Figura 5.1 mostra i risultati del modello di propagazione ed esposizione implementato considerando i valori della pressione di picco, con e senza l'azione delle misure di mitigazione (procedura soft start). In particolare, la figura evidenzia la distanza sorgete – mammifero alla quale sono attese lesioni per un animale esposto. Si ricorda che il livello di pressione sonora calcolato nel campo vicino è stato sovrastimato, come chiarito nella precedente Sezione 4. (N / E = Criteri di valutazione non disponibili).

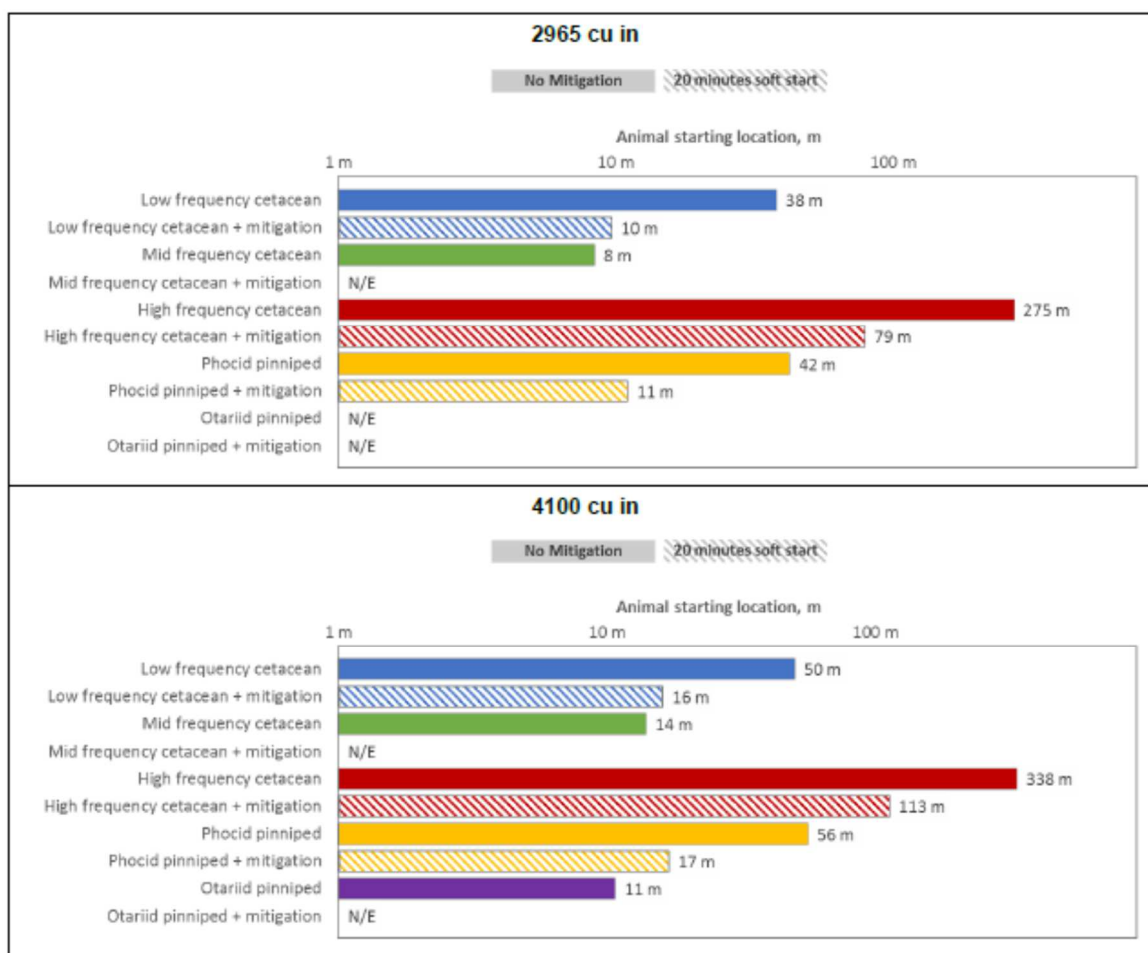


Figura 5.1 – distanza alla quale sono attese lesioni per un animale esposto (valori di pressione di picco valutati con e senza mitigazione)

5.2 La successiva Figura 5.2, analogamente a quanto sopra descritto, mostra i risultati del modello di propagazione ed esposizione implementato considerando i valori per SEL cumulativo.

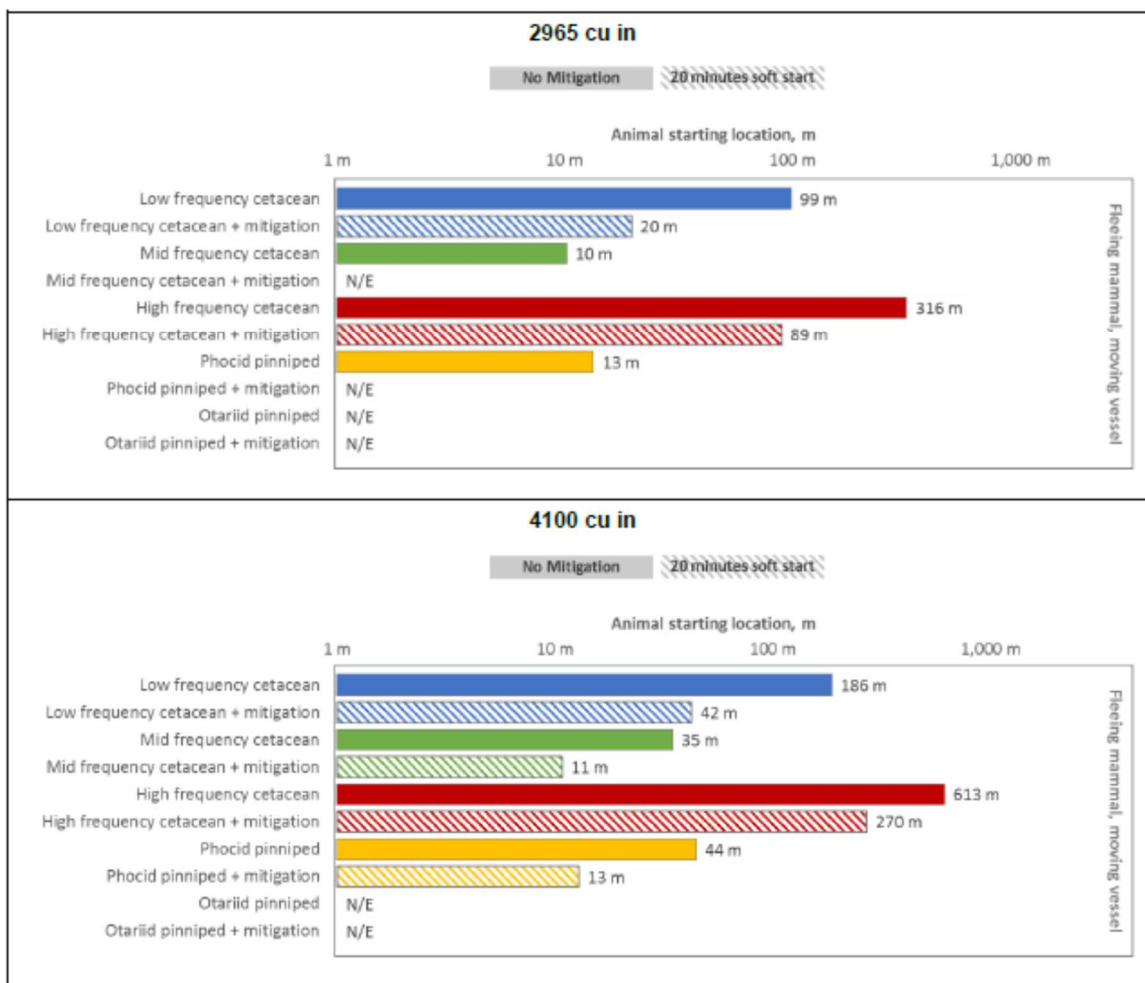



Figura 5.2 - SEL cumulativi per animali in movimento, con o senza mitigazione

- 5.3 Gli stessi dati sono riassunti nella Tabella 5.1 presente alla fine di questa sezione. Le distanze riportate nella tabella e le Figure considerano il punto di partenza del mammifero rispetto alla sorgente quando la sorgente si avvia per la prima volta. Il mammifero si allontanerebbe quindi dalla sorgente, e di conseguenza la distanza tra il mammifero e la sorgente aumenterebbe nel tempo.
- 5.4 I potenziali intervalli di insorgenza di lesioni e disturbi non sono da intendere come una "linea di demarcazione" netta tra la possibilità che un impatto si verifichi o meno. Il potenziale impatto è notevolmente più probabilistico di quello indicato nelle figure; la soglia di insorgenza dello spostamento permanente della soglia uditiva (PTS), le variazioni individuali e le incertezze riguardanti la risposta comportamentale, nonché la velocità/direzione del movimento, stanno a indicare una notevole maggiore complessità nei casi reali. Le distanze calcolate sono ricavate al fine di permettere ad un pubblico più ampio di comprendere la potenziale estensione spaziale dell'impatto.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 36 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

- 5.5 I calcoli inoltre si basano su un singolo mammifero esposto al suono derivante dall'attivazione continua della sorgente che, come detto in precedenza, rappresenta una semplificazione.
- 5.6 I vantaggi delle operazioni di soft-start sono maggiori a distanze più vicine dalla sorgente rispetto a quando il mammifero comincia ad allontanarsi dalla sorgente. Questo perché a brevi distanze il livello del suono è più alto e diminuisce a un ritmo più veloce, quindi un animale che nuota a una velocità costante vedrà una maggiore riduzione relativa del suono se si trova più vicino alla sorgente quando essa si attiva. Bisogna inoltre ricordare che l'interpretazione di qualsiasi risultato, entro le decine di metri dalla sorgente, rientra nella casistica di effetti di campo vicino, a cui consegue una sovrastima dell'esposizione.

Valutazione degli intervalli per potenziali cambiamenti comportamentali dei mammiferi marini

- 5.7 La successiva Figura 5.5 mostra la relazione tra il livello di pressione sonora rms e la distanza con la sorgente, ed evidenzia la linea di 160 dB a 1 μ Pa (rmsT90) corrispondente alla sogli di cambiamento comportamentale di un mammifero esposto. Il grafico mostra che il raggio d' azione affinché si verifichi un potenziale cambiamento comportamentale per i mammiferi marini è fino a 730 m dalla sorgente. Si noti che i valori rms tracciati nel grafico utilizzano la finestra temporale T90 stimata a varie distanze dalla sorgente, fino a un valore massimo di 200 ms.

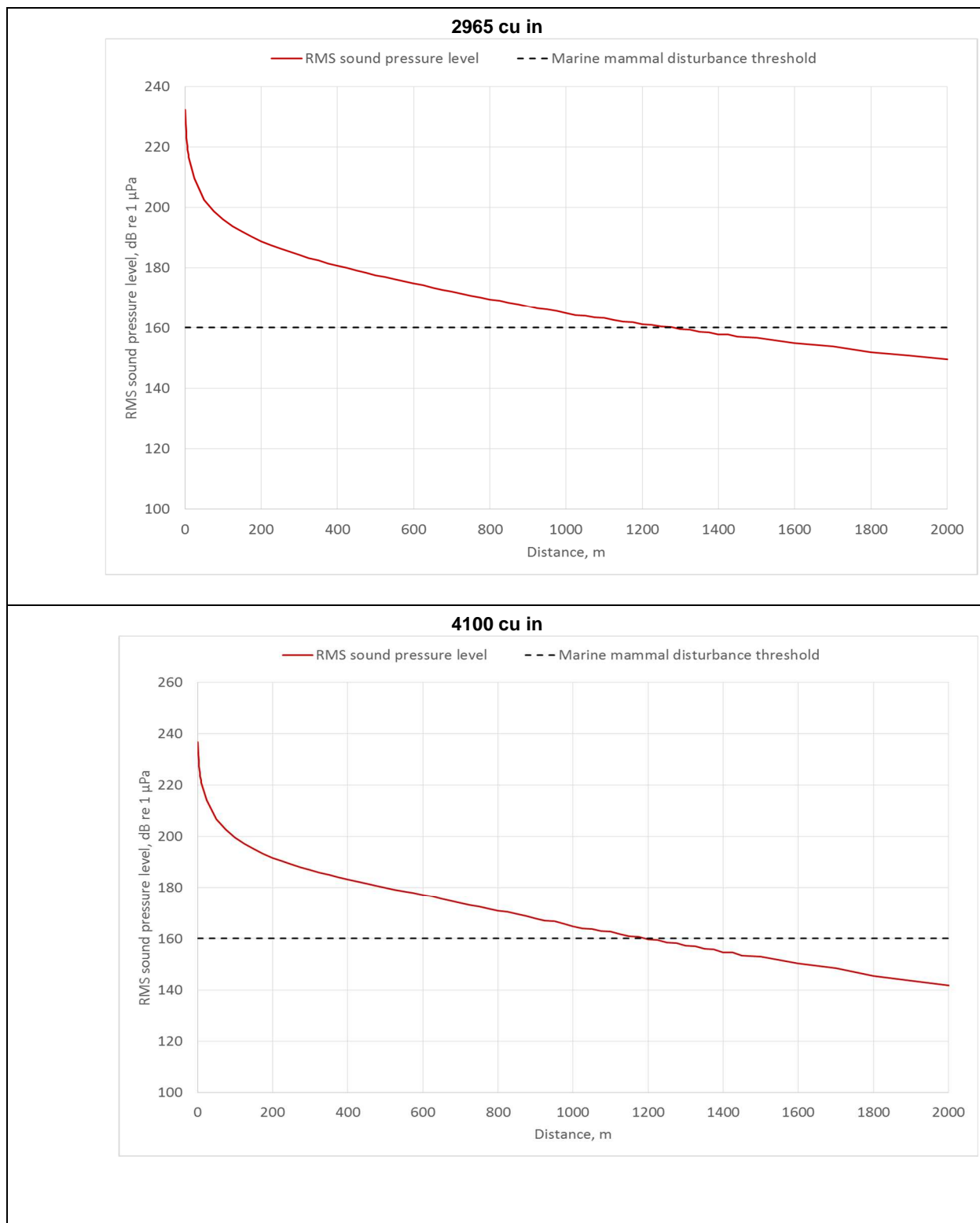


Figura 5.3 - Livello di pressione sonora RMST90 in funzione della distanza per i cambiamenti comportamentali



- 5.8 La Figura 5.4 mostra i contorni del livello di pressione sonora rms T90 tracciati per una sorgente sismica posizionata approssimativamente al centro dell'area in cui sarà eseguito il rilievo sismico.

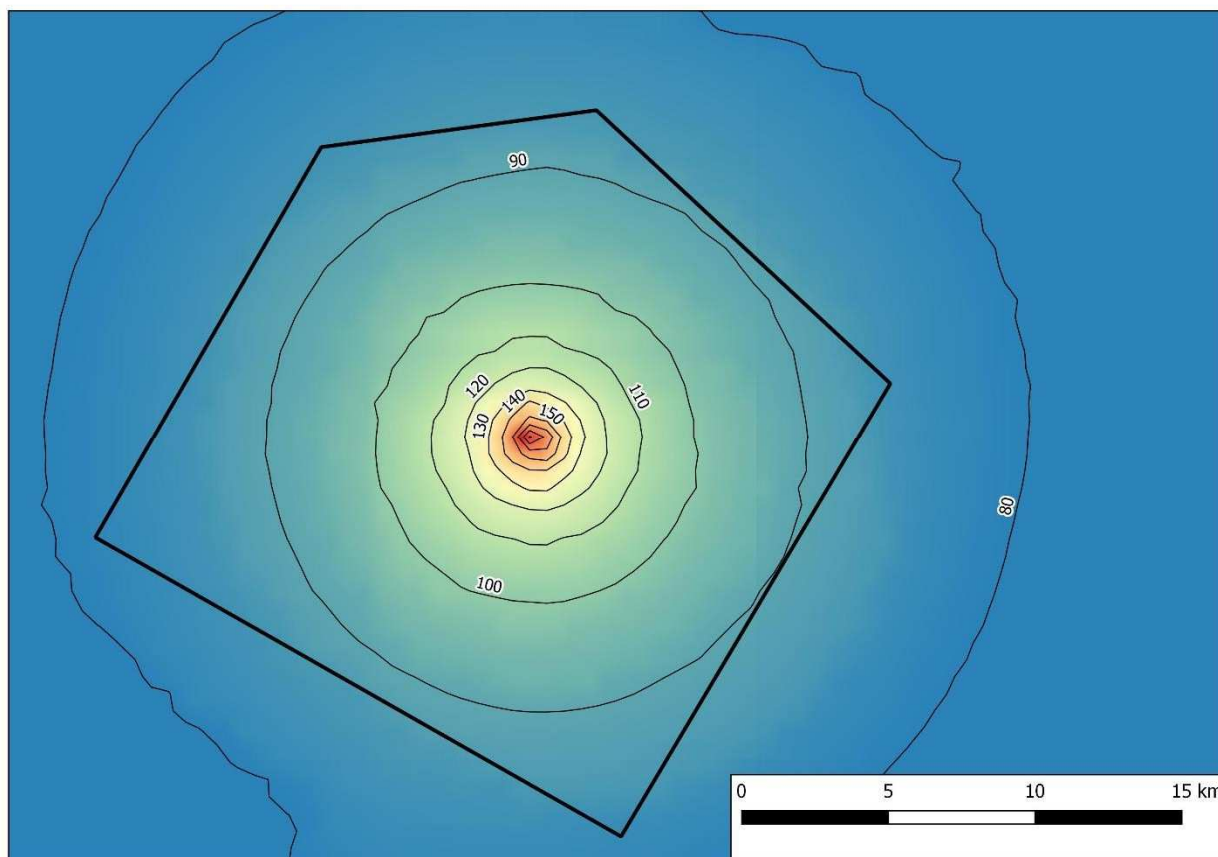



Figura 5.4 - Mappa del livello di pressione sonora RMS_{T90}, dB a 1 µPa (rms)

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 39 di 46</p>
--	------------------------	---	-------------------------


Mammiferi Marini – Riepilogo delle zone in cui sono attese lesioni e dei cambiamenti comportamentali

5.9 La successiva Tabella 5.1 riepiloga per le varie classi di mammiferi, in funzione dei diversi modelli implementati, le zone in cui sono attese potenziali lesioni e le zone di potenziale disturbo.

Tabella 5.1 - Riepilogo delle zone di potenziali lesioni e disturbo per i mammiferi marini

Scenario	Raggio di effetto			
	2965 cu in		4100 cu in	
Lesione (PTS)	SEL Mammiferi in allontanamento:	Picco Mammiferi:	SEL Mammiferi in allontanamento	Picco Mammiferi
Cetaceo a bassa frequenza	99 m	38 m	186 m	50 m
<i>Cetaceo a bassa frequenza con mitigazione</i>	<i>20 m</i>	<i>10 m</i>	<i>42 m</i>	<i>16 m</i>
Cetaceo a media frequenza	10 m	8 m	35 m	14 m
<i>Cetaceo a media frequenza con mitigazione</i>	<i>N/E</i>	<i>N/E</i>	<i>11 m</i>	<i>N/E</i>
Cetaceo ad alta frequenza	316 m	275 m	613 m	338 m
<i>Cetaceo ad alta frequenza con mitigazione</i>	<i>89 m</i>	<i>79 m</i>	<i>270 m</i>	<i>113 m</i>
Pinnipedi Focidi	13 m	42 m	44 m	56 m
<i>Pinnipedi Focidi con Mitigazione</i>	<i>N/E</i>	<i>11 m</i>	<i>13 m</i>	<i>17 m</i>
Pinnipedi Otari	N/E	N/E	N/E	11 m
<i>Pinnipedi Otari con mitigazione</i>	<i>N/E</i>	<i>N/E</i>	<i>N/E</i>	<i>N/E</i>
Cambio comportamentale	Raggio	Area	Raggio	Area
NMFS 160 dB a 1 μ Pa	1,190 m	4.4 km ²	1,140 m	4.1 km ²

5.10 Supponendo che i mammiferi marini si allontanino dalla sorgente dopo aver percepito l'impulso di avvio con procedura di soft-start in atto, le zone di lesione SEL per un animale che nuota si ridurranno a circa 270 m per i cetacei ad alta frequenza. Per i cetacei a bassa frequenza, l'area di lesione sarà di raggio pari o inferiore a 42 metri, mentre per i cetacei a media frequenza sarà di 11 metri o meno. È importante notare che le aree di lesioni sono espresse in funzione dell'angolo di incidenza tra l'animale e la sorgente, scelto in maniera più conservativa possibile. In altre parole, per un a distanza inferiore alla profondità dell'acqua, l'ipotesi è che un mammifero marino possa essere direttamente al di sotto della sorgente, il che significa che gli effetti della direttività sono minimi. In realtà, è più probabile che l'animale si trovi a una certa distanza orizzontale dalla sorgente, nel qual caso gli effetti di direttività implicherebbero che la loro esposizione sonora sarebbe significativamente inferiore a

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 40 di 46</p>
---	------------------------	--	-------------------------

quella prevista in questo scenario. Lo scenario di un mammifero marino che si trova direttamente sotto la sorgente durante l'avvio è considerato improbabile, anche se è teoricamente possibile. Si può quindi concludere che le zone di lesione e disturbi sono molto precauzionali e conservative.

5.11 Secondo le linee guida NMFS, potrebbero verificarsi gravi disturbi ai mammiferi marini a distanze fino a 1.190 m dall'array sorgente.


Tartarughe marine

5.12 L'estensione spaziale della tipologia di effetti sulle tartarughe è riassunta nella Tabella 5.2, assumendo una velocità di nuoto moderata di 0,5 m/s.

Tabella 5.2 - Riepilogo delle potenziali aree di lesioni e disturbo per pesci e tartarughe marine


Specie	Parametri	Array Sorgente	Mortalità e potenziali lesioni mortali	Tipo di effetto, m	
				Lesione recuperabile	TTS
Tartarughe marine	SEL, dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\text{s}$	2965 cu in	2	(Vicino) Alto (Intermedio) Basso (Lontano) Basso	(Vicino) Alto (Intermedio) Basso (Lontano) Basso
		4100 cu in	4		
	Peak, dB re 1 μPa	2965 cu in	39		
		4100 cu in	185		
Gamma di effetti comportamentali previsti	(Vicino) Alto (Intermedio) Moderato (Lontano) Basso				

5.13 Per le tartarughe marine, vi è un alto livello di rischio di effetti comportamentali entro decine di metri dalla fonte sismica, un livello di rischio moderato entro centinaia di metri e un basso livello di rischio entro migliaia di metri.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 41 di 46</p>
--	------------------------	---	-------------------------

6 Mitigazione

- 6.1 Senza misure di mitigazione in atto, le attività di rilievo sismico sono state identificate come potenzialmente in grado di provocare lesioni a cetacei ad alta frequenza in area di raggio fino a 613 m dall'array sorgente. Tuttavia, è improbabile che i cetacei ad alta frequenza siano presenti nell'area oggetto di indagine e il campo in cui possono avvenire lesioni è di soli 35 m per i cetacei a media frequenza, e di 186 m per i cetacei a bassa frequenza. Il disturbo per i mammiferi marini potrebbe verificarsi a distanze fino a 1.190 m dalla sorgente, ma ciò si basa sul presupposto che l'animale si trovi alla massima profondità possibile in aree con fondali profondi che, come discusso in precedenza, è uno scenario molto improbabile.
- 6.2 Valutata la possibilità dell'insorgenza di lesioni (e disturbi) sui mammiferi in seguito alla realizzazione dell'attività in progetto, si raccomanda di adottare le seguenti misure di mitigazione, tra cui:
- **Osservatori dei mammiferi marini**
 - La presenza di Osservatori di Mammiferi Marini (MMO) qualificati ed esperti, presenti per tutta la durata del sondaggio per effettuare il monitoraggio visivo dei cetacei durante tutte le ore diurne.
 - **Monitoraggio Sonoro Passivo (PAM) – nel caso di rilievo notturno**
 - Il PAM comprende una breve stazione di array di airgun, un cavo di coperta e un sistema che elabora e memorizza i dati selezionati. Il sistema PAM potrebbe essere utilizzato per le riprese notturne e in situazioni di bassa visibilità per rilevare eventuali cetacei nelle immediate vicinanze del luogo del rilievo.
 - **Ricerca preventiva**
 - L'MMO (o il PAM operativo) dovrebbe iniziare le osservazioni 60 minuti prima dell'inizio del rilievo sismico e il rilevamento dovrebbe essere ritardato se, prima dell'inizio dei lavori, qualche cetaceo venisse rilevato entro 1 km dalla nave sismica;
 - Se i cetacei vengono osservati o rilevati entro 1 km, l'inizio delle attività sismiche dovrebbe essere ritardato fino a quando i cetacei non si saranno allontanati (non avvistati per almeno 20 minuti).
 - **Airgun**
 - Per garantire che i mammiferi marini abbiano la possibilità di allontanarsi dagli airgun prima che questi vengano messi in funzione, l'energia dovrebbe essere lentamente aumentata fino al raggiungimento del livello massimo per un periodo di 20 minuti, in un processo chiamato "soft-start".


 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 42 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

6.3 Prendendo in considerazione l'effetto di soft-start, i potenziali intervalli di lesioni si riducono ulteriormente. Si conclude pertanto che le aree di lesione per tutti i mammiferi marini rientrano nella zona di osservazione MMO di 1 km di raggio. Ciò riduce efficacemente il rischio di lesioni sui mammiferi marini a livelli trascurabili.

7 Conclusioni


7.1 Sulla base dei modelli di propagazione e di esposizione del suono implementati in questo Studio, si conclude che:

- Alcune tartarughe marine potrebbero riportare danni fino a una distanza di circa 185 m dall'array sorgente.
- I mammiferi marini potrebbero subire dei disturbi comportamentali fino a 1.190 m di distanza dalla sorgente, anche se questo presuppone che l'animale debba trovarsi sulla verticale della sorgente, e ciò è considerato come scenario improbabile. La distanza di 1.190 m equivale ad un'area di circa 4,4 km².
- In assenza di misure di mitigazione, i cetacei ad alta frequenza potrebbero riportare danni qualora si trovassero a distanza inferiore a 613 m dalla sorgente. Applicando le misure di mitigazione (soft start), invece, tale distanza si riduce notevolmente fino a circa 270 m.
- Tuttavia, è improbabile la presenza di cetacei ad alta frequenza nell'area di progetto.
- In assenza di misure di mitigazione, i cetacei a bassa frequenza potrebbero riportare danni qualora si trovassero a distanza inferiore a 186 m dalla sorgente, e i cetacei a media frequenza potrebbero riportare danni qualora si trovassero a distanza inferiore a 35 m dalla sorgente.
- Queste aree di lesione possono essere effettivamente monitorate utilizzando gli MMO di giorno o il PAM di notte.
- Pertanto si conclude che è improbabile che i mammiferi marini possano subire lesioni durante il rilievo.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 43 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

Riferimenti

- Ainslie, Michael A., and James G. McColm. 1998. "A Simplified Formula for Viscous and Chemical Absorption in Sea Water." *The Journal of the Acoustical Society of America* 103 (3): 1671–72.
- Breitzke, Monika, Olaf Boebel, Saad El Naggat, Wilfried Jokat, and Berthold Werner. 2008. "Broad-Band Calibration of Marine Seismic Sources Used by R/V Polarstern for Academic Research in Polar Regions." *Geophysical Journal International* 174 (2): 505–24.
- Brekhovskikh, Leonid Maksimovich, and Ūrii Lysanov. 2014. *Fundamentals of Ocean Acoustics*.
- Cole, B. F. 1965. "Marine Sediment Attenuation and Ocean-Bottom-Reflected Sound." *The Journal of the Acoustical Society of America* 38 (2): 291–97.
- Cooper, Lisa Noelle, Nils Sedano, Stig Johansson, Bryan May, Joey D. Brown, Casey M. Holliday, Brian W. Kot, and Frank E. Fish. 2008. "Hydrodynamic Performance of the Minke Whale (*Balaenoptera Acutorostrata*) Flipper." *Journal of Experimental Biology* 211 (12): 1859–67.
- Eckart, Carl. 1953. "The Scattering of Sound from the Sea Surface." *The Journal of the Acoustical Society of America* 25 (3): 566–70.
- Essen, H.-H. 1994. "Scattering from a Rough Sedimental Seafloor Containing Shear and Layering." *The Journal of the Acoustical Society of America* 95 (3): 1299–1310.
- Etter, Paul C. 2013. *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*. CRC Press.
- Farcas, Adrian, Paul M. Thompson, and Nathan D. Merchant. 2016. "Underwater Noise Modelling for Environmental Impact Assessment." *Environmental Impact Assessment Review* 57: 114–22.
- Fortuin, Leonard. 1970. "Survey of Literature on Reflection and Scattering of Sound Waves at the Sea Surface." *The Journal of the Acoustical Society of America* 47 (5B): 1209–28.
- Greaves, Robert J., and Ralph A. Stephen. 2003. "The Influence of Large-Scale Seafloor Slope and Average Bottom Sound Speed on Low-Grazing-Angle Monostatic Acoustic Scattering." *The Journal of the Acoustical Society of America* 113 (5): 2548–61.
- Hamilton, Edwin L. 1970. "Reflection Coefficients and Bottom Losses at Normal Incidence Computed from Pacific Sediment Properties." *Geophysics* 35 (6): 995–1004.
- Hamilton, Edwin L. 1980. "Geoacoustic Modeling of the Sea Floor." *The Journal of the Acoustical Society of America* 68 (5): 1313–1340.
- Harris, Ross E., Gary W. Miller, and W. John Richardson. 2001. "Seal Responses to Airgun Sounds during Summer Seismic Surveys in the Alaskan Beaufort Sea." *Marine Mammal Science* 17 (4): 795–812.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 44 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

Hastings, M. C. 2002. "Clarification of the Meaning of Sound Pressure Levels & the Known Effects of Sound on Fish."

HESS 1997. "Summary of Recommendations Made by the Expert Panel at the HESS Workshop on the Effects of Seismic Sound on Marine Mammals." In . Pepperdine University, Malibu, California.

Jensen, Finn Bruun. 1994. Computational Ocean Acoustics. Springer.

JNCC Guidelines for Minimising the Risk of Injury and Disturbance to Marine Mammals from Seismic Surveys." 2010 in prep. JNCC.

JNCC, Natural England, and Countryside Council for Wales. 2010 in prep. "The Protection of Marine European Protected Species from Injury and Disturbance: Guidance for the Marine Area in England and Wales and the UK Offshore Marine Area."

Kastelein, Ronald A., Jessica Schop, Robin Gransier, and Lean Hoek. 2014. "Frequency of Greatest Temporary Hearing Threshold Shift in Harbor Porpoises (*Phocoena Phocoena*) Depends on the Noise Level." The Journal of the Acoustical Society of America 136 (3): 1410–18.

Kastelein, Ronald A., Robin Gransier, Lean Hoek, and Juul Olthuis. 2012. "Temporary Threshold Shifts and Recovery in a Harbor Porpoise (*Phocoena Phocoena*) after Octave-Band Noise at 4 kHz." The Journal of the Acoustical Society of America 132 (5): 3525–37.

Kinsler, Lawrence E., Austin R. Frey, Alan B. Coppers, and James V. Sanders. 1999. "Fundamentals of Acoustics." Fundamentals of Acoustics, 4th Edition, by Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B.

Coppers, James V. Sanders, Pp. 560. ISBN 0-471-84789-5. Wiley-VCH, December 1999. 1. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1999fuac.book.....K>.

Kuo, Edward YT. 1992. "Acoustic Wave Scattering from Two Solid Boundaries at the Ocean Bottom: Reflection Loss." Oceanic Engineering, IEEE Journal of 17 (1): 159–70.


Lucke, Klaus, Paul A. Lepper, Marie-Anne Blanchet, and Ursula Siebert. 2008. "Testing the Acoustic Tolerance of Harbour Porpoise Hearing for Impulsive Sounds." Bioacoustics 17 (1-3): 329–31.

Lurton, Xavier. 2002. An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. Springer Science & Business Media.

Mackenzie, K. V. 1960. "Reflection of Sound from Coastal Bottoms." The Journal of the Acoustical Society of America 32 (2): 221–31.

Madsen, P. T. 2005. "Marine Mammals and Noise: Problems with Root Mean Square Sound Pressure Levels for Transients." The Journal of the Acoustical Society of America 117: 3952.

Madsen, Peter Teglberg, M. Johnson, P. J. O. Miller, N. Aguilar Soto, J. Lynch, and P. L. Tyack. 2006.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 45 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

"Quantitative Measures of Air-Gun Pulses Recorded on Sperm Whales (*Physeter Macrocephalus*) Using

Acoustic Tags during Controlled Exposure Experiments." *The Journal of the Acoustical Society of America* 120 (4): 2366–79.

Marsh, H. Wyser, and M. Schulkin. 1962. "Shallow-Water Transmission." *The Journal of the Acoustical Society of America* 34: 863.

Marsh, H. Wyser, M. Schulkin, and S. G. Kneale. 1961. "Scattering of Underwater Sound by the Sea Surface." *The Journal of the Acoustical Society of America* 33 (3): 334–40.

McKinney, C. Mo, and C. D. Anderson. 1964. "Measurements of Backscattering of Sound from the Ocean Bottom." *The Journal of The Acoustical Society of America* 36 (1): 158–63.

Nedwell, J. R., A. W. H. Turnpenny, J. Lovell, S. J. Parvin, R. Workman, J. A. L. Spinks, and D. Howell. 2007. "A Validation of the dBht as a Measure of the Behavioural and Auditory Effects of Underwater Noise." Report Reference: 534R1231.

NMFS. 2005. "Scoping Report for NMFS EIS for the National Acoustic Guidelines on Marine Mammals." National Marine Fisheries Service.

NOAA. 2016. "Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal


Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts." National Marine Fisheries Service (NOAA).

Otani, Seiji, Yasuhiko Naito, Akiko Kato, and Akito Kawamura. 2000. "DIVING BEHAVIOR AND SWIMMING SPEED OF A FREE-RANGING HARBOR PORPOISE, *PHOCOENA PHOCOENA*." *Marine Mammal Science* 16 (4): 811–14.

Patterson, H., Susanna B. Blackwell, B. Haley, A. Hunter, M. Janowski, R. Rodrigues, D. Ireland, and D.W. Funk. 2007. "Marine Mammal Monitoring and Mitigation During Open Water Seismic Exploration by Shell Offshore Inc, in the Chuchi Beaufort Seas, July - September 2006: 90-Day Report." LGL Draft Rep. P891-1. LGL Alaska Research Associates Inc.

Popper, Arthur N., Anthony D. Hawkins, Richard R. Fay, David A. Mann, Soraya Bartol, Thomas J. Carlson, Sheryl Coombs, et al. 2014. ASA S3/SC1.4 TR-2014 Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report Prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and Registered with ANSI. Springer.

Richardson, William John, Denis H. Thomson, Charles R. Greene, Jr., and Charles I. Malme. 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press.

 <p>Eni spa Distretto Meridionale</p>	<p>Maggio 2018</p>	<p>Doc. SIME_AMB_05_102_Allegato_04 bis Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG" Integrazioni richieste con nota prot. 739/CTVA del 20/02/2018</p>	<p>pag 46 di 46</p>
--	------------------------	--	-------------------------

Rogers, P. H. 1981. "Onboard Prediction of Propagation Loss in Shallow Water." DTIC Document..

Southall, Brandon L., Ann E. Bowles, William T. Ellison, James J. Finneran, Roger L. Gentry, Charles R.

Greene Jr, David Kastak, et al. 2007. "Marine Mammal Noise-Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations." Aquatic Mammals 33 (4): 411–521.

Tolstoy, M., J. Diebold, L. Doermann, S. Nooner, S. C. Webb, D. R. Bohnenstiehl, T. J. Crone, and R. C. Holmes. 2009. "Broadband Calibration of the R/V Marcus G. Langseth Four-String Seismic Sources." Geochemistry, Geophysics, Geosystems 10 (8).

Urick, Robert J. 1983. Principles of Underwater Sound. McGraw-Hill.

Urick, Robert J., and Robert M. Hoover. 1956. "Backscattering of Sound from the Sea Surface: Its Measurement, Causes, and Application to the Prediction of Reverberation Levels." The Journal of the Acoustical Society of America 28 (6): 1038–42.

Wang, Lian, Kevin D. Heaney, Tanja Pangerc, Pete Theobald, Stephen Robinson, and Michael A. Ainslie.

2014. "Review of Underwater Acoustic Propagation Models." AIR (RES) 086. NPL.

WSDOT. 2011. "Biological Assessment Preparation for Transport Projects - Advanced Training Manual." Washington State Department of Transport.