

AGGIORNAMENTO MODELLO DI ESCLUSIONE

AGGIORNAMENTO MODELLO PER DEFINIZIONE ZONA DI ESCLUSIONE				
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	APPROVATO
Rev.1	10-11-23	Aggiornamento modello di esclusione	M. Manghi C. Fossati	F. Maggiani

In data 28.04.2023 è stato prodotto il modello di propagazione alla base delle operazioni di mitigazione inerenti alla demolizione con esplosivo della vecchia diga foranea, secondo le modalità indicate nel PMA e approvate dagli organi competenti. Il modello evidenzia come, per i cetacei normalmente presenti nell'area dei lavori, il raggio di pericolosità da monitorare è di alcune centinaia di metri. Quest'estensione rientra nella normalità delle operazioni di mitigazione condotte regolarmente in casi simili.

Dal mese di Febbraio 2023 sono stati eseguiti, e sono tutt'ora in corso, nell'area di cantiere e nell'area vasta continui rilievi acustici tramite registratori subacquei autonomi per la caratterizzazione della baseline di rumore durante le seguenti fasi: Ante Operam, febbraio – giugno 2023, Campo Prove giugno – luglio 2023 Cantiere (agosto 2023 ad oggi).

Nel seguito si riassumono i valori di alcune delle operazioni connesse alle attività di cantiere registrati e dettagliati nelle relazioni mensili. Tali operazioni si sono in genere dimostrate omogenee nelle loro caratteristiche acustiche e pertanto quanto riportato può essere considerato rappresentativo.

Sono evidenziati i livelli acustici RMS Root Mean Square in dB deciBel ricevuti. Dal mese di luglio è stata introdotta la misura di SEL (Sound Exposure Level). Questa misura è considerata descrittiva di operazioni di lunga durata e ha come riferimento temporale le 24 ore. Su di essa sono basate le soglie (Tab.1), attualmente condivise dalla comunità scientifica, sul grado di disturbo nei confronti dei mammiferi marini. Esse vanno comunque prese come riferimento generale. La discussione su molti aspetti alla base del calcolo di queste soglie è infatti ancora in corso.

I valori riportati in Tabella 2, relativi alle misure fatte sia nei campi prove che nell'attuale area di cantiere, sono calcolati con il software DbWav, con pesatura Mid Frequency Cetaceans proposte dal NOAA americano (National Oceans and Atmosphere Administration), categoria alla quale appartengono i Tursiopi, i cetacei più frequenti nell'area. I valori riportati in Tabella 2 sono riferiti sia a giornate che a singole operazioni, confrontando le registrazioni con le descrizioni presenti nel Giornale lavori. Queste misure in particolare dimostrano come i valori ricevuti siano al di sotto di quelli ritenuti dannosi ed eventualmente soggetti a mitigazione.

Come più volte sottolineato nei report mensili, la principale fonte di rumore sia in cantiere che nell'area vasta è attribuibile in principale misura al traffico navale.

Tabella 1 Valori soglia secondo Southall et al.2019

Data	Luogo	Operazione	RMS mean	RMS max	RMS min
20 giugno	Genova campo prove	Bianco	123.0	130.0	108.1
20 giugno	Genova campo prove	Sversamento ghiaia	123.4	128.9	110.0
26 giugno	Genova campo prove	Sversamento ghiaia	127.6	133.1	121.5
15 luglio	Genova campo prove	Vibroflottazione	136.2	150.0	112.6
18 luglio	Genova campo prove	Vibroflottazione	140.3	149.6	132.8
10 agosto	Genova cantiere	Multibeam e vibroflottazione	133.1	148.9	108.3
13 agosto	Genova cantiere	Bonifica bellica	132.8	157.1	107.0
15 agosto	Genova cantiere	Scarico ghiaia	116.6	138.6	106.4
07 settembre	Genova cantiere	Vibroflottazione	137.9	148.5	125.7
07 settembre	Genova cantiere	Scarico ghiaia	137.2	148.4	127.4
05 ottobre	Settore T1	Scarico ghiaia (M/N M. Vittoria)	109.7	116.6	104
05 ottobre	Genova cantiere	Vibroflottazione	128.8	145.2	108.5

Tabella 2 Valori misurati in cantiere

Hearing group	PTS Permanent Treshold Shift (dB SEL)	TTS Temporary Treshold Shift (dB SEL)
Very high frequency	173	153
High frequency	198	178
Low frequency	199	179

I valori registrati hanno confermato che fino ad oggi non sono stati prodotti rumori puntuali e continui, imputabili al cantiere che rendono necessario un lavoro di revisione del modello di propagazione,



inserendo attività diverse dalla fase di demolizione con esplosivi sulla quale è basato. Un eventuale superamento delle soglie indicate nel PMA, grazie al monitoraggio continuo del rumore, metterebbe in atto una revisione del modello al fine di verificare la necessità di intraprendere le misure di mitigazione appropriate.

Di seguito si trovano la relazione preliminare e la sintesi non tecnica del modello di propagazione basato sui dati teorici delle esplosioni che saranno necessarie per la demolizione della diga. In ogni caso sarà ricalibrato il modello in occasione della disponibilità di dati reali ad inizio operazioni di demolizione.

STIMA DEL RUMORE SUBACQUEO IRRADIATO DURANTE LE OPERAZIONI DI DEMOLIZIONE
CON ESPLOSIVO DI PORZIONI DI DIGA FORANEA
DEL PORTO DI GENOVA



RELAZIONE PRELIMINARE				
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	APPROVATO
00	31-03-2023	REPORT MODELLO	G. Pavan C. Fossati M. Manghi	F. Maggiani

Premessa

Questo documento riporta le prime stime del modello di rumore subacqueo irradiato in acqua durante le operazioni di demolizione con esplosivo previste durante la costruzione della nuova diga foranea del porto di Genova.

Le operazioni, dettagliate in documenti tecnici di progetto, prevederanno una sequenza di “volate” (le batterie di singole esplosioni in sequenza della durata complessiva di pochi secondi) intervallate da giornate durante le quali avverrà lo sgombero dei materiali demoliti.

Le demolizioni avverranno con una parte della nuova diga già in opera, e questo acusticamente rappresenterà un vantaggio attenuando significativamente la propagazione del rumore verso il mare aperto.

La resistenza della struttura che verrà smantellata, la coerenza e la grana del calcestruzzo, l'effettiva capacità del substrato di trasferire e/o assorbire l'onda di pressione, sono oggetto di indagine e saggio e in questo documento preliminare sono stati assunti dati bibliografici come riferimento.

La modellizzazione del rumore prodotto ha seguito, già in questa prima versione del documento, tre ipotesi: **worst-case scenario**, **scenario intermedio con la sola barriera** della nuova diga, **scenario reale** che include l'attenuazione provocata dalla struttura in demolizione (e che assorbirà una parte consistente dell'energia), la presenza della nuova diga e l'uso di smorzatori in acqua come la cortina di bolle.

Il modello di propagazione scelto per i suoni in acqua è intermedio con una attenuazione fra quella sferica $20 \log r$ e quella cilindrica $10 \log r$.

Il modello è interamente impostato e calcolato dalla società di ingegneria **SAS Sinay** - 14 rue Alfred KASTLER 14000 CAEN - Francia (<https://sinay.ai/>). Sinay Maritime Data Solution è una società di consulenza ingegneristica in campo marittimo. Fondata nel 2008 è una società di diritto francese. Sinay ha sviluppato metodi originali di analisi modellistica basati su AI e API software per l'analisi ambientale in mare, l'ottimizzazione del traffico navale, del percorso dei container da trasporto navale e della gestione dei porti. Fra i moduli software messi a disposizione dei clienti si trova NOISE API, per la stima del rumore prodotto dalle navi in funzione del percorso da coprire.

Il project manager per questo progetto è Alessio Maglio. SINAY ha una certificazione ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001 per il proprio database e servizi digitali.



Fra le referenze online troviamo:

https://emodnet.ec.europa.eu/sites/emodnet.ec.europa.eu/files/public/10Y_EMODnet_webinar/Alessio_Maglio-EMODnet_SINAY.pdf

https://accobams.org/wp-content/uploads/2021/07/NETCCOBAMS_A.Maglio.pdf

<https://univ-cotedazur.eu/msc/marres/immersion-projects/immersion-project-catalogue/data-driven-management-of-the-marine-environment-sinay-france>

Il modello è in corso di aggiornamento sia con misure di propagazione sul campo utilizzando una sorgente acustica subacquea, sia attraverso ulteriori dati che risulteranno dai sondaggi della struttura esistente.

A questo proposito risulta evidente che se si potesse **programmare una esplosione di test**, anche con singola carica, direttamente in un carotaggio di saggio, si otterrebbe una preziosa fonte di informazioni che potrebbe alimentare i calcoli del modello con rilievi presi dal mondo reale.

Alternativo a un test in situ, potrebbe essere previsto un saggio presso il campo prove di Vado Ligure, sempre con gli strumenti di misura approntati e in acqua.

Anche in mancanza della opportunità di un saggio preliminare, **in occasione della prima volata sono comunque previste misure puntuali calibrate destinate al ricalcolo e all'aggiornamento** delle distanze di sicurezza e della *exclusion-zone* per gli animali target.

I valori soglia considerati tollerabili sono quelli indicati in B.Southall et al. in **Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects** (Aquatic Mammals 2019, 45(2), 125-232, DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125).

Per i rumori impulsivi, come quelli che stiamo considerando, per la specie target (Tursiope) la pubblicazione prevede una soglia istantanea (Peak SPL) di 224 dB re 1 μ Pa come limite massimo prima di avere un TTS (Temporary Threshold Shift) cioè un temporaneo spostamento della soglia uditiva, cioè un danno reversibile alle capacità uditive. Il danno permanente è attestato a 230 dB.

Il secondo valore che viene normalmente considerato è il SEL (Sound Exposure Level) che permette di aggiungere un parametro di accumulo del rumore dovuto alla esposizione cronica ad ambienti rumorosi. Per il nostro gruppo denominato HF (high frequency) il valore di SEL, espresso in dB re 1 μ Pa²s, è fissato a 170 dB prima di avere un danno reversibile e a 185 dB prima di avere un danno permanente. Al contrario del Peak level il SEL viene espresso pesandolo secondo le sensibilità uditive dei diversi gruppi (*weighted*).

Per questa prima valutazione, oggetto del presente documento, è stato scelto di adottare il valore di picco come valore di riferimento, in quanto le esplosioni saranno in volate di circa 10" complessivi ripetute approssimativamente una volta la settimana.

Sembra dunque ragionevole non valutare un effetto specifico di accumulo legato a esplosioni che sono molto brevi e rade, quanto invece piuttosto confrontare in corso d'opera l'esposizione complessiva al rumore di tutto il cantiere, del quale le demolizioni saranno solo una parte.

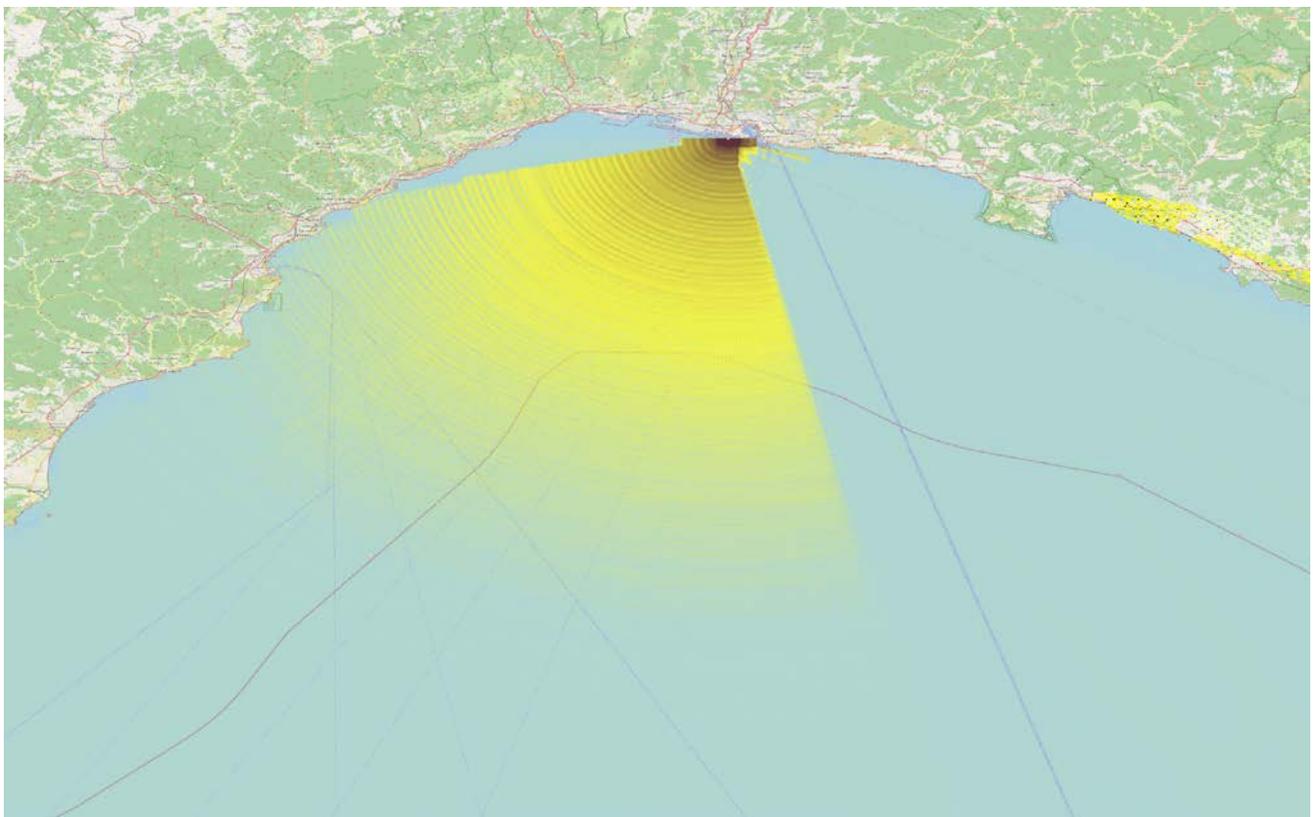
Worst-case scenario

Lo scenario peggiore, in termini di disturbo ambientale, è quello nel quale le cariche vengono fatte brillare in acqua libera, senza alcun impedimento od ostacolo.

Si tratta di uno **scenario non reale e non attuabile**, impostato per verificare i percorsi di propagazione e comparare i livelli ottenuti durante gli affinamenti successivi.

Le distanze di sicurezza raggiungono i 50 km e, come si può osservare, si spingono principalmente a Ovest a causa della conformazione dei fondali.

Il campo colorato in giallo è quello nel quale si raggiungono o superano i 224 dB di picco.



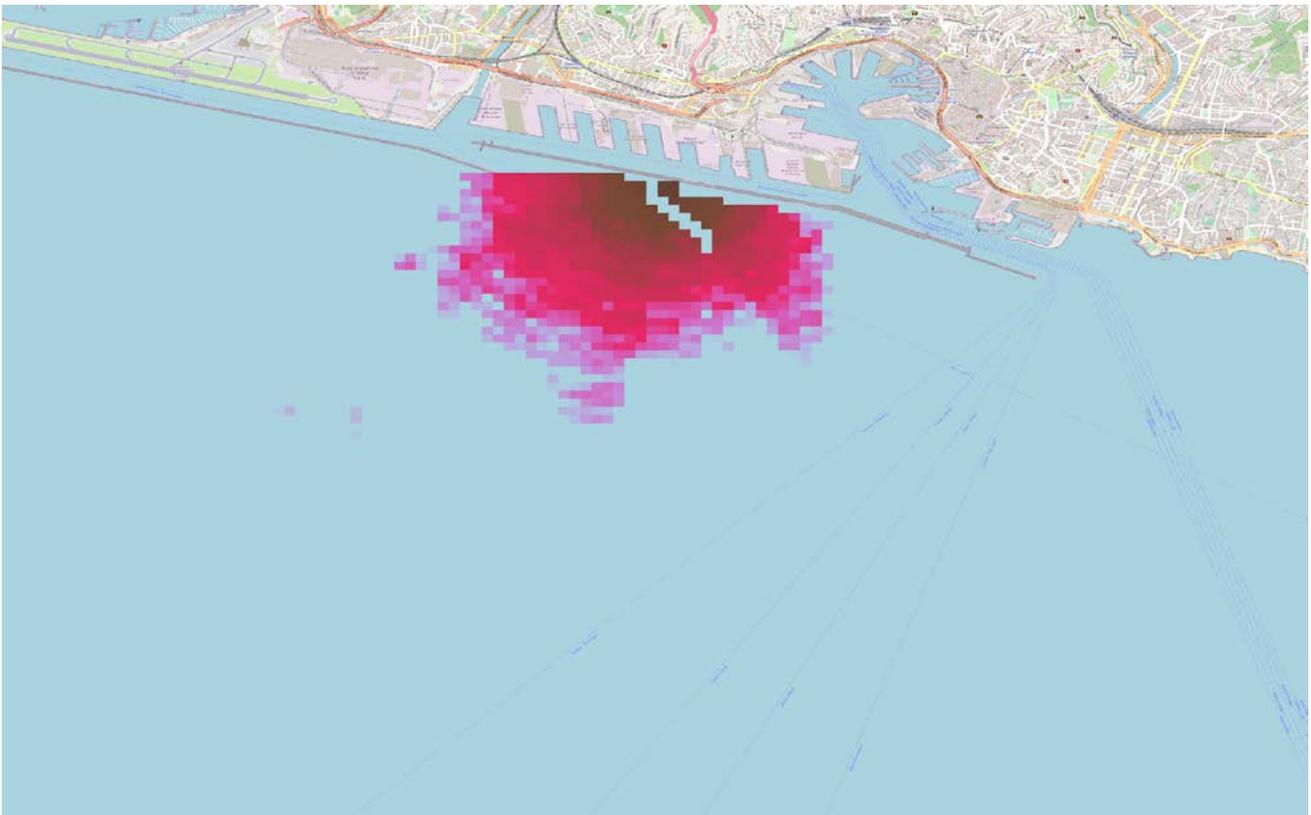
Scenario intermedio

Lo scenario intermedio prevede la sola attenuazione da parte della struttura della nuova diga.

Essa rappresenterà una discontinuità fisica nella massa d'acqua, riducendo la possibilità di trasferire oltre la barriera l'energia rilasciata nel bacino (sempre nel caso di esplosione in acqua libera).

Considerando anche per questo scenario il valore soglia di 224 dB la zona di esclusione all'interno della quale andrà verificata l'assenza di animali della specie target è di circa 3000 metri dal punto di origine delle esplosioni.

La presenza della nuova diga è simulata, nel grafico, dove si osservano i pixel centrali azzurri.



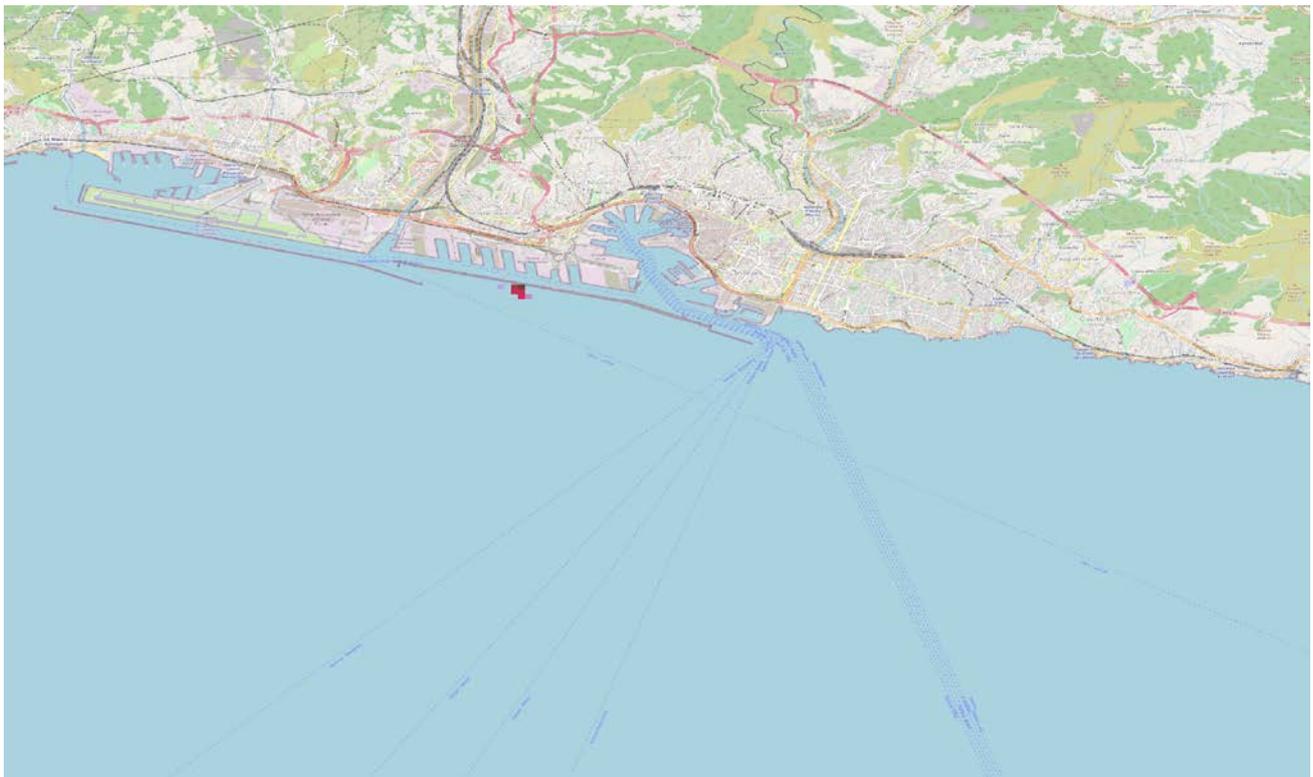
Scenario reale

Lo **scenario reale** rappresenta quello che meglio si approssima alla situazione che si verificherà sul sito.

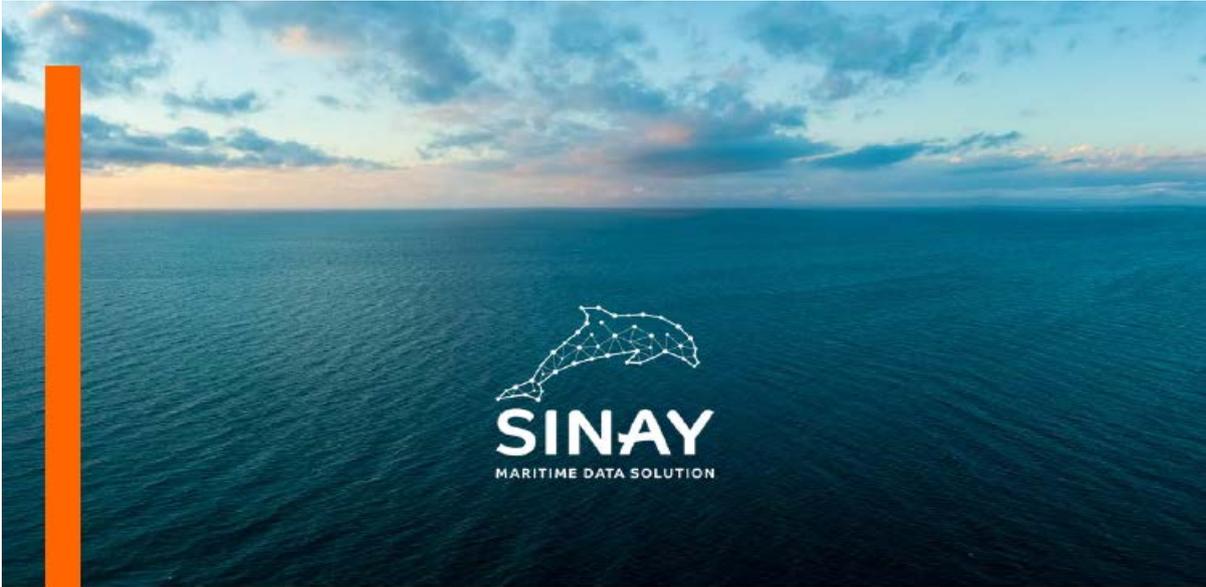
Sono presenti sia la barriera della nuova diga, sia la cortina di bolle come smorzatore, sia l'assorbimento diretto di energia da parte della struttura della diga in demolizione. L'assorbimento della cortina di bolle è stimabile, secondo dati in letteratura, in 15/20 dB, mentre la struttura in calcestruzzo assorbirà probabilmente intorno ai 12/13 dB sempre secondo dati in letteratura.

Questo ci porta a una stima di circa 30 dB di abbattimento complessivi. La zona di esclusione risultante, all'interno della quale si troveranno valori superiori ai 224 dB, risulta in questo caso ridotta a meno di 500 metri dal punto dell'esplosione.

Se questo scenario venisse confermato dalle successive valutazioni e dai test in campo ci troveremmo in una condizione nella quale il bacino interno, fra la vecchia diga e la nuova, esaurirebbe gran parte dell'energia potenzialmente nociva, permettendo una efficace attività di mitigazione.



A questa relazione preliminare seguiranno uno o più aggiornamenti con i dati progressivamente integrati nel modello e derivati dalle misure su campo e dalle integrazioni delle informazioni disponibili.



**Demolizione della vecchia diga del
porto di Genova**
Stima dei livelli di rumore e zone
d'impatto sui cetacei

SINTESI NON TECNICA

Sinay SINTESE_NAUTA-RCS_Underwater Noise

Versione	Data	Modifiche
1.0	2023/04/28	N/A
Copyright Sinay® 2023		
Stesura		Approvazione
Alessio Maglio, Marine Biologist Project & Business Manager		Michele Manghi, Claudio Fossati NAUTA scientific Federica Maggiani (GE.CO. srl)



Since 2018, SINAY is certified since 2018 ISO 9001, ISO 14001 and ISO 45001 for its bigdata platform, offering digital maritime solutions, along with related data collection, analysis & reporting tools. Among others :

- Offshore and cables
- Ports and maritime activities
- Fishing
- Renewable marine energy
- Oil & Gas
- Shipping

Integration of the Security Information Management System (ISMS) and the related ISO/IEC 27001:2013 standard under certification.

1 MOTIVAZIONI DELLO STUDIO

Nell'ambito dei lavori di costruzione della nuova diga del porto di Genova, è prevista la demolizione della vecchia diga tramite detonazione di cariche esplosive. La procedura prevede l'utilizzo di serie di circa 90 cariche, ognuna di 9,3 kg di esplosivo (TNT equivalente), ognuna applicata a una porzione di 25 m di diga. Ogni serie (volata) prevede quindi la detonazione di più di 800 kg di esplosivo per ogni porzione di 25 m della vecchia diga che sarà demolita.

L'uso di esplosivi è una tecnica comune in ambiente portuale, che presenta però pericoli per la fauna marina e in particolare per i cetacei, che sono sensibili al rumore subacqueo e che godono di uno stato di protezione secondo la legge italiana ed europea nonché secondo diversi trattati internazionali di cui l'Italia è membro.

Il lavoro commissionato da NAUTA-RCS per conto di GE.CO. srl a SINAY ha come obiettivo finale la stima delle distanze di impatto del rumore causato dalle esplosioni sui cetacei, il che servirà come base per la definizione di misure di mitigazione dell'impatto e di un programma di monitoraggio.

2 METODI E SCENARI ANALIZZATI

La stima delle distanze di impatto si effettua tramite l'uso di modelli matematici di propagazione delle onde sonore. Per l'implementazione di un modello di propagazione, è necessario definire le caratteristiche della sorgente. Le informazioni in entrata riguardanti la sorgente di rumore sono state messe a disposizione dal Consorzio Pergenova Breakwater:

- Carica singola = 9,3 kg TNT_{eq}
- Volata = 90 cariche
- Intervallo tra 2 detonazioni successive = 100 ms

Per il livello dell'acqua al quale si troveranno le cariche, in mancanza di informazioni certe si è scelto di posizionarle a un livello medio rispetto alla batimetria della zona (5 m).

Nell'ambito di uno studio degli effetti sui cetacei, è opportuno considerare la grande estensione degli habitat utilizzati da queste specie e le caratteristiche della propagazione del suono in acqua in funzione delle frequenze. Ai due estremi abbiamo infatti i suoni a bassa frequenza (< 1 kHz) che possono viaggiare per decine o centinaia di chilometri e i suoni ad alta frequenza (> 10 kHz) che si propagano invece per poche decine o centinaia di metri, mentre i suoni a media frequenza hanno caratteristiche di propagazione intermedie.

Per quanto riguarda i cetacei, la problematica principale è posta dalle componenti a bassa frequenza di un segnale sonoro poiché queste possono indurre un'irraggiamento su vaste porzioni del loro habitat. Per il presente lavoro, è stato dunque utilizzato il modello RAM (Collins, 1993) particolarmente adatto alla stima della propagazione dei rumori a bassa frequenza sia in acque basse che in mare aperto (Farcas et al, 2017).

È stato definito uno scenario principale sulla base della posizione della porzione di diga che sarà demolita per prima e delle conoscenze a disposizione oggi riguardanti la lunghezza della nuova diga che sarà già costruita al momento della prima volata di detonazioni (Fig 1). Quest'ultimo dato è importante poiché la nuova diga potrà agire efficacemente da barriera contro la propagazione del rumore in mare aperto. La presenza del nuovo manufatto risulta cruciale nel mantenimento dell'impatto acustico delle attività di demolizione entro limiti gestibili con le strategie e attività di mitigazione che sono state previste.

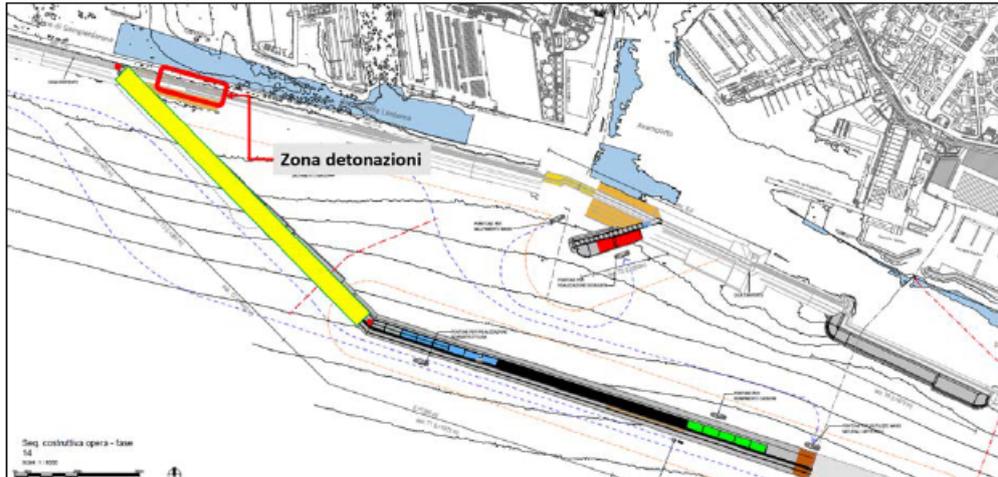


Figura 1. Rappresentazione della zona di prima detonazione usata nel modello (in rosso) e della porzione di diga già costruita al momento della prima volata di detonazioni (1 200 m, in giallo), secondo le informazioni disponibili.

Su questa base, diversi scenari specifici sono stati definiti facendo variare alcuni fattori aventi un'influenza sulla propagazione del suono, in particolare:

- **Il profilo di velocità del suono lungo la colonna d'acqua.** La velocità del suono in acqua non è costante e varia al variare della temperatura e della salinità, le quali hanno valori diversi secondo il livello di profondità. Sono stati usati due profili di velocità del suono, il primo corrispondente a una situazione estiva con presenza marcata del fenomeno chiamato termoclino, e cioè una zona tra i 15 e i 50 m di profondità ca. in cui la temperatura dell'acqua scende molto rapidamente, e un profilo corrispondente al periodo primaverile o autunnale, con un termoclino medio. Il termoclino è importante poiché agisce come uno strato riflettente nella colonna d'acqua che, in particolare nel periodo estivo quando è molto marcato, concentra il suono negli strati superficiali favorendone la propagazione.
- **La presenza o l'assenza di una barriera di assorbimento formata da una cortina di bolle d'aria.** L'utilizzo di un tubo forato posizionato sul fondo intorno all'area dei lavori permette, tramite l'uso di compressori adeguati che soffiano aria nel tubo, di formare una cortina di bolle risalenti verso la superficie, le quali, grazie alla loro elasticità, agiscono come un elemento fonoassorbente capace di ridurre la trasmissione del suono. Nel presente lavoro abbiamo applicato una riduzione 0, cioè senza cortina di bolle, e una riduzione media (considerando la bibliografia esistente) di 13 dB re $1\mu\text{Pa}$ alla sorgente.
- **L'inserimento delle cariche nel calcestruzzo e la relativa attenuazione sonora.** Sono stati utilizzati due scenari estremi, uno corrispondente al posizionamento delle cariche sulla superficie verticale della vecchia diga (zero attenuazione), e uno corrispondente all'inserimento dentro al calcestruzzo, determinante un'attenuazione x10 della pressione sonora in uscita sulla base di riferimenti bibliografici disponibili (Wan et al, 2022, e un documento relativo alla valutazione di impatto di uno sbancamento sottomarino, messo a disposizione da NAUTA-RCS). Questa riduzione di un fattore 10 della pressione sonora in uscita risulta in una attenuazione di 20 dB re $1\mu\text{Pa}$ del livello sorgente.

La tabella seguente riassume i diversi scenari considerati (Tabella 1).

Tabella 1. Scenari definiti per l'applicazione del modello di propagazione secondo i diversi fattori descritti nel testo.

Scenario	Inserimento esplosivo	Cortina di bolle	Nuova diga	Profilo di velocità del suono
A	Appoggiato sulla superficie verticale della diga	No	No	Termoclino medio
B	Appoggiato sulla superficie verticale della diga	No	Si (1 200 m)	Termoclino medio
C	Inserito nel calcestruzzo	Si	Si (1 200 m)	Termoclino medio
D	Inserito nel calcestruzzo	Si	Si (1 200 m)	Termoclino marcato

I primi due scenari in tabella 1 (A e B) sono considerati “casi peggiori” (del tutto inverosimili) poiché presentano combinazioni di fattori che determinano livelli di rumore estremamente alti a grande distanza dalla sorgente. Il terzo e quarto scenario (C e D) sono invece considerati due varianti di uno “scenario plausibile” poiché prevedono un’impostazione che determina comunque l’attenuazione rapida del segnale acustico. La differenza tra gli scenari C e D riguarda le caratteristiche del termoclino che servono per valutare quale periodo dell’anno presenta le condizioni più favorevoli all’attenuazione del segnale, e quindi di minore impatto sull’ambiente

Infine, è stata considerata la diversa sensibilità uditiva delle diverse specie dei cetacei, che vengono infatti generalmente classificati in 3 gruppi secondo la loro sensibilità alle basse, alte e altissime frequenze (Southall et al. 2019). La presente sintesi considera i cetacei sensibili a basse e alte frequenze (balenottere e delfinidi, rispettivamente), data l’assenza nel Mediterraneo di specie sensibili alle altissime frequenze.

3 MAPPATURA DEL RUMORE SUBACQUEO CAUSATO DALLE ESPLOSIONI

Il modello matematico fornisce una stima dei livelli di rumore in ogni punto dello spazio con risoluzione spaziale sull'asse orizzontale 100 m. Per quanto riguarda l'asse verticale (profondità), si è scelto di mostrare i livelli raggiunti nei primi 10 m di profondità. Due diverse unità di misura sono utilizzate: il livello del picco di pressione sonora di una detonazione in dB re 1 μ Pa ($L_{p,0-pk}$ secondo la norma ISO:18405) e il livello di esposizione sonora dell'intera volata (L_E secondo la norma ISO:18405), calcolato su 90 detonazioni, in dB re 1 μ Pa²s. Il risultati grezzi sono poi formattati e visualizzati in ambiente GIS¹.

Un esempio di mappatura acustica è fornito in Figura 1, illustrante il livello di picco di pressione di una singola esplosione in dB re 1 μ Pa ($L_{p,0-pk}$) corrispondente allo Scenario C (si veda Tabella 1).

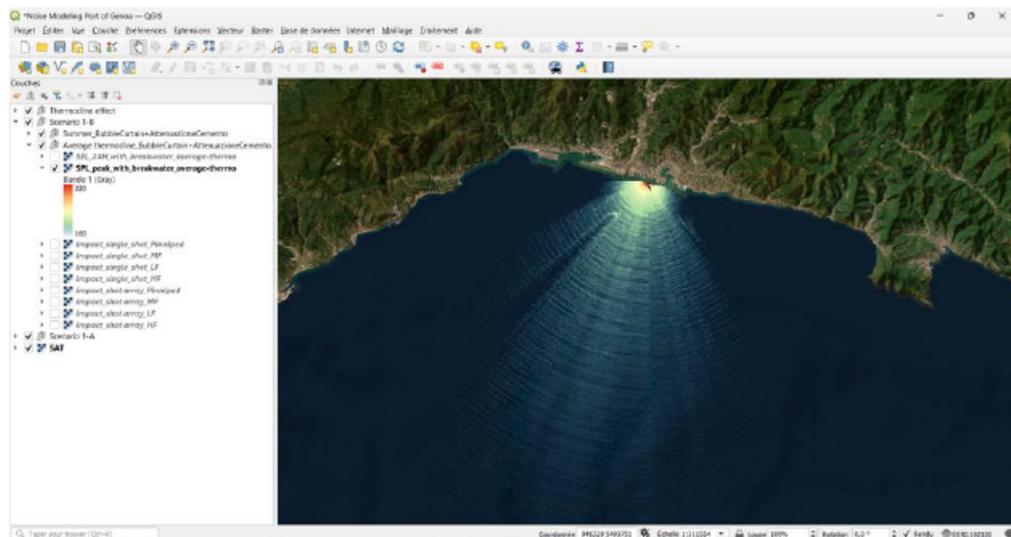


Figura 2. Mappa di rumore relativa a una singola esplosione corrispondente allo Scenario C (Tabella 1 per la descrizione). Valori in legenda: Bande 1 (Gray) sono i livelli ricevuti espressi in dB re 1 μ Pa ($L_{p,0-pk}$).

→ L'insieme delle mappe è a disposizione in formato GIS e Power Point

¹ Con l'acronimo GIS, da Geographic Information System, si indicano i software per la gestione e l'analisi di dati georeferenziati.

4 ESTENSIONE DELLE ZONE DI IMPATTO

4.1 Mappe

A partire dai livelli sonori stimati dal modello e dalla bibliografia esistente, sono stati applicati diversi valori soglia per mappare le zone di insorgenza di disturbi fisiologici e comportamentali nel golfo di Genova:

- Per quanto riguarda i livelli di picco di pressione sonora, $L_{p,0-pk}$, corrispondenti al rumore generato da una singola detonazione, abbiamo considerato principalmente due disturbi fisiologici: la perdita permanente (PTS) e quella temporanea (TTS) di capacità uditive nei cetacei esposti a rumore impulsivo (appunto indicati come PTS e TTS dall'acronimo inglese²). Le soglie di insorgenza di questi disturbi sono ricavate dal lavoro di Southall e colleghi (2019) e sono globalmente considerate valide. Per quanto riguarda gli effetti sul comportamento nelle diverse specie invece, esistono numerosi riferimenti bibliografici e altrettanti valori indicati come soglie di insorgenza. Si è preferito non effettuare una selezione di soglie per questi effetti poiché la conversione dai livelli di pressione sonora ($L_{p,0-pk}$) a zone di impatto si fa applicando le soglie direttamente senza ricorso a ponderazioni o ulteriori calcoli. Pertanto, ulteriori mappe di impatto possono essere facilmente ottenute in software GIS dai file con i livelli di picco di pressione sonora ($L_{p,0-pk}$).
- Per ottenere le zone di impatto dai livelli di esposizione sonora, L_E , corrispondenti al rumore generato da una volata di detonazioni, è necessario invece ponderare i livelli sonori con le capacità uditive delle specie considerate, secondo i metodi descritti in letteratura scientifica (Southall et al., 2019). Perciò, sono stati utilizzati i valori soglia corrispondenti all'insorgenza dei due disturbi fisiologici, PTS e TTS, sempre dal lavoro di Southall et colleghi (2019)³; ma anche tre categorie di disturbo comportamentale: debole, medio e forte, definiti da SINAY sulla base della bibliografia esistente.

² PTS da Permanent Threshold Shift e TTS da Temporary Threshold Shift.

³ Questo lavoro scientifico (Southall et al, 2019) indica la soglia di insorgenza per gli effetti PTS e TTS con un doppio valore, il primo come valore non ponderato $L_{p,0-pk}$ per le singole impulsioni, e il secondo come valore L_E ponderato per le capacità uditive dei cetacei, per le impulsioni multiple. Nel nostro caso appare appropriato l'uso delle due formulazioni al fine di considerare sia il picco di pressione dovuto alla detonazione della singola carica, sia l'esposizione sonora causata dalla detonazione di tutte le cariche di una volata.

Un esempio di mappatura delle zone di insorgenza di disturbi fisiologici e comportamentali per i cetacei sensibili alle alte frequenze (delfinidi) è fornito in Figura 3, corrispondente allo Scenario D (si veda Tabella 1 per la descrizione).

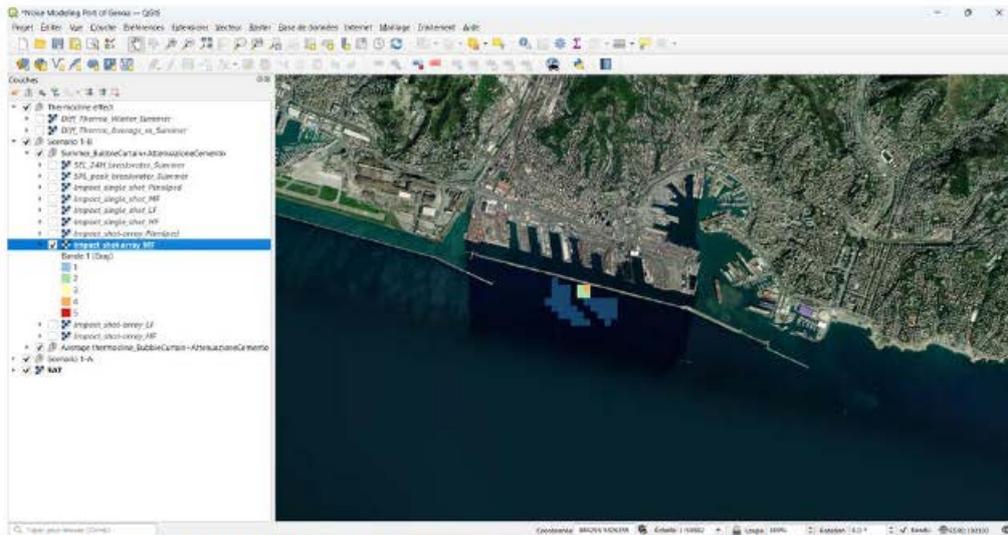


Figura 3. Mappa delle zone d'insorgenza di impatti per i cetacei sensibili alle alte frequenze (delfinidi), corrispondente allo Scenario D (Tabella 1 per la descrizione). Valori in legenda Bande 1 (Gray): 5 = PTS; 4 = TTS; 3 = disturbo forte; 3 = disturbo medio; 3 = disturbo debole.

Un ulteriore esempio di mappatura delle zone di insorgenza di disturbi fisiologici e comportamentali per i cetacei sensibili alle basse frequenze (balenottere) è fornito in Figura 4, corrispondente allo Scenario D (si veda Tabella 1 per la descrizione).

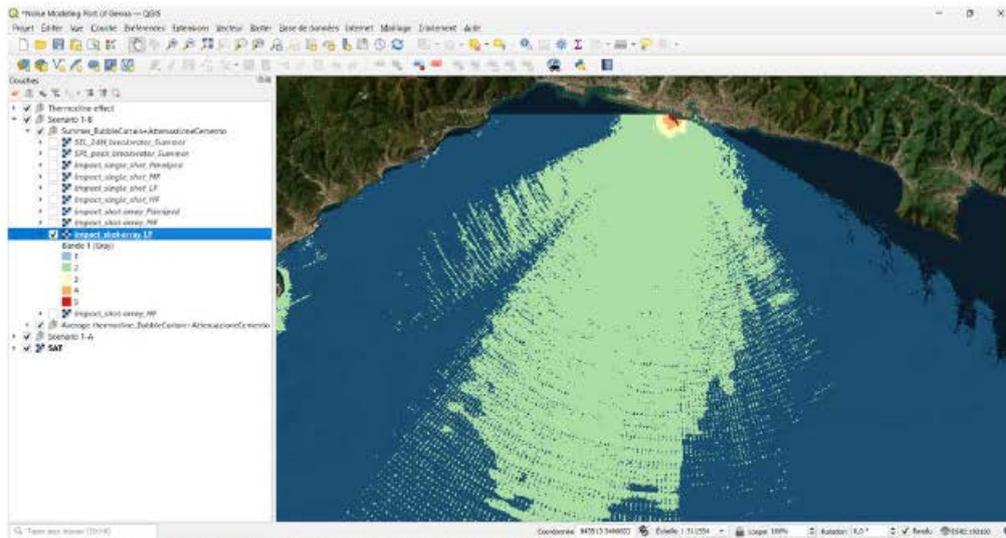


Figura 4. Mappa delle zone d'insorgenza di impatti per i cetacei sensibili basse frequenze (balenottere), corrispondente allo Scenario D (Tabella 1 per la descrizione). Valori in legenda Bande 1 (Gray): 5 = PTS; 4 = TTS; 3 = disturbo forte; 2 = disturbo medio; 1 = disturbo debole.

4.2 Distanze

Infine, in ambiente GIS sono state calcolate le distanze di impatto, cioè le distanze, rispetto alla sorgente del rumore, alle quali si raggiungono i valori d'insorgenza dei diversi tipi di disturbi descritti precedentemente (paragrafo 4.1). Date le caratteristiche asimmetriche della propagazione, evidenti dalle mappe presentate al paragrafo 4.1, è pertinente ai fini dello studio il calcolo delle distanze massime (R_{max}), mostrate nelle tabelle seguenti (Tabella 2 e 3).

Tabella 2. Distanze di impatto causate dal picco di pressione di una singola esplosione, secondo i quattro scenari descritti (si veda Tabella 1). Le distanze sono approssimate all'unità per valori > 10 km, al primo decimale tra 1 e 10 km, al secondo decimale per valori < 1 km. Gli scenari A e B sono da considerare inverosimili prevedendo le esplosioni in acqua libera.

Gruppo uditivo	Impatto atteso	$L_{p,0-px}$ (dB re $1\mu Pa$) - non ponderato	Distanze R_{max} (km) per scenario			
			A	B	C	D
Sensibili alle basse frequenze (balenottere)	PTS	219	70	4,6	0,280	0,280
	TTS	204	+200	57	0,550	0,580
Sensibili alle alte frequenze (tutti i delfinidi presenti nel Mediterraneo)	PTS	230	6,5	1,4	0,130	0,130
	TTS	215	175	9,8	0,320	0,320

Tabella 3. Distanze di impatto causate dall'esposizione complessiva a una volata (90 esplosioni di 9,3 kg di TNTeq), secondo i quattro scenari descritti in Tabella 1. I valori sono approssimati all'unità per valori > 10 km, al primo decimale tra 1 e 10 km, al secondo decimale per valori < 1 km. Gli scenari A e B sono da considerare inverosimili prevedendo le esplosioni in acqua libera.

Gruppo uditivo	Impatto atteso	L_E ponderato (dB re $1\mu Pa^2s$)	Distanze R_{max} (km) per scenario			
			A	B	C	D
Cetacei sensibili alle basse frequenze (balenottere)	PTS	183	+200	60	0,550	0,580
	TTS	168	+200	+200	1,3	1,4
	Disturbo forte	160	+200	+200	2,1	2,3
	Disturbo medio	140	+200	+200	34	48
	Disturbo debole	120	+200	+200	+200	+200
Cetacei sensibili alle alte frequenze (tutti i delfinidi presenti nel Mediterraneo)	PTS	185	0,130	0,100	-	-
	TTS	170	0,350	0,320	0,130	0,130
	Disturbo forte	160	1,500	0,730	-	-
	Disturbo medio	140	70	4,4	0,280	0,280
Disturbo debole	120	+200	130	0,730	0,730	

5 CONCLUSIONI

Sulla base degli scenari considerati plausibili (C e D, tabella 1), e guardando alle distanze d'impatto relative al **picco di pressione**, le balenottere sono a rischio di impatto fisiologico (TTS) fino a una distanza compresa tra 500 e 600 m, mentre i delfinidi fino a 300-350 m. Inoltre, per quanto riguarda le distanze d'impatto relative **all'esposizione sonora a una volata**, includendo quindi le capacità percettive, le balenottere risultano a rischio di impatto fisiologico (TTS) fino a una distanza di 1,3-1,4 km, mentre i delfinidi soltanto per un raggio di 130 m. Includendo anche il disturbo comportamentale forte (il che può significare una reazione di fuga, un'emersione rapida da grandi profondità, e altre brusche alterazioni del comportamento), le distanze di impatto sono di 2,1-2,3 km per le balenottere, e fra i 150 m e i 280 m per i delfinidi⁴.

Per la definizione di una zona di esclusione (cioè quella zona in cui ci si premunisce tramite osservazione visiva e/o con tecniche di rilevamento acustico che non ci siano cetacei presenti prima e durante le detonazioni) si presentano diverse opzioni:

- Considerando come obiettivo la riduzione del rischio fisiologico (TTS) sui due gruppi uditivi (basse e alte frequenze), appare pertinente utilizzare un raggio di 1,5 km, comprendente tutti i risultati dei calcoli di distanza di insorgenza di TTS sulla base del principio di precauzione.
- Includendo negli obiettivi anche la riduzione del rischio comportamentale (reazione forte) sui due gruppi uditivi, è necessario estendere il raggio a 2,5 km, comprendente tutti i risultati dei calcoli di distanza di insorgenza di impatto comportamentale forte sulla base del principio di precauzione.
- Ulteriori strategie di mitigazione possono essere elaborate concentrandosi su uno solo dei gruppi uditivi, alta o bassa frequenza, alla volta.