

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

 <p><b>IL PROGETTISTA</b> Dott. Ing. D. Spoglianti Ordine Ingegneri Milano n° 20953 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p><b>IL CONTRAENTE GENERALE</b></p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p><b>STRETTO DI MESSINA</b> Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	---	--	--

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA</p> <p><i>Tipo di sistema</i> CANTIERI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> OPERATIVI - LOGISTICI</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> PONTILE</p> <p><i>Titolo del documento</i> CP1 - IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE DEI PONTILI SUI CETACEI</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CZ0055_F0</div>
--	--

CODICE	C G 0 7 0 0	P	R G	D	P	C Z	C H	P O	3 0	0 0	0 0	0 1	F 0
--------	-------------	---	-----	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	A.CALEGARI	M.SALOMONE	D.SPOGLIANTI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
Premessa .....	5
1 I cetacei nello Stretto di Messina.....	7
1.1 Sintesi informazioni bibliografiche e sperimentali .....	7
1.2 Caratteristiche uditive .....	15
1.3 Vocalizzazione.....	16
1.4 Effetti del rumore sui cetacei.....	21
2 Descrizione delle attività di costruzione dei pontili.....	25
2.1 Generalità .....	25
2.2 Modalità di realizzazione e geometria dei pali.....	26
2.3 Conclusioni operative.....	28
3 Impatto sui cetacei .....	29
3.1 Generalità .....	29
3.2 Indicatori di riferimento.....	29
3.3 Metodo di stima delle emissioni .....	32
3.4 Dati sperimentali tratti da casi studio.....	33
3.4.1 New Benicia Martinez Bridge Project .....	38
3.4.2 San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span Replacement Project .....	40
3.5 Previsioni di impatto.....	41
4 Interazioni delle opere con i cetacei .....	43
4.1 Verifiche preliminari di impatto .....	43
4.2 Conclusioni operative.....	45
5 Nota introduttiva al piano di monitoraggio ambientale .....	47
6 Bibliografia essenziale .....	49

Il presente studio è stato redatto da:

Dott. Arch. Anita Calegari

Tecnico Competente in Acustica Ambientale

Legge 447/95 Regione Emilia – Romagna

Provincia di Piacenza D.D. n. 466 del 09/03/2007



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Premessa

Il presente documento contiene una sintesi delle informazioni ad oggi disponibili in merito alla presenza dei cetacei nelle acque dello Stretto di Messina e, a valle di una descrizione delle loro caratteristiche uditive e di vocalizzazione, esamina le problematiche di impatto correlate alla costruzione dei pontili lato Sicilia e lato Calabria, rispettivamente riferiti ai cantieri SI1 e CI1.

Il principale riferimento utilizzato per la descrizione della presenza di cetofauna è il rapporto finale dell'Istituto Thetys "Studio di settore e del connesso monitoraggio ante operam relativo ai flussi migratori dei cetacei attraverso lo Stretto di Messina", commissionato da Stretto di Messina S.p.A. e consegnato nel Luglio 2006

In assenza di dati sperimentali locali sui fenomeni di propagazione del rumore nell'ambiente marino dello Stretto di Messina, le stime di impatto considerano i più recenti riferimenti bibliografici e informazioni tratte dalla letteratura scientifica, interpretando e inserendo i risultati nel contesto locale.

Nel corso degli approfondimenti che accompagneranno il progetto esecutivo potranno essere meglio precisati i fattori caratterizzanti l'emissione e la propagazione degli impulsi sonori in fase di infissione dei pali, quali la geolitologia dei fondali, le attrezzature di cantiere, il rumore di fondo dovuto alle condizioni meteomarine (intensità delle correnti, altezza d'onda, ecc.).





		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 I cetacei nello Stretto di Messina

### 1.1 Sintesi informazioni bibliografiche e sperimentali

Tutte le specie di cetacei che si trovano nel Mediterraneo sono protette dalle leggi nazionali ed europee, oltre che da numerosi strumenti giuridici internazionali ratificati dall'Italia. La Normativa più rilevante riguarda la Direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatica, nota con il nome di "Direttiva Habitat".

L'area dello Stretto di Messina è già stata oggetto di approfondite valutazioni in relazione alla frequentazione di cetacei. In particolare nel 2005 Stretto di Messina SpA ha commissionato all'Istituto Tethys lo "Studio di settore e del connesso monitoraggio ante operam relativo ai flussi migratori dei cetacei attraverso lo Stretto di Messina", aggiornato nel corso del 2010 con tre campagne (luglio-ottobre). La Tabella 1.1 contiene una sintesi delle specie di mammiferi marini che frequentano regolarmente le acque dello Stretto e gli habitat riconosciuti come abituali. Sono evidenziate le specie avvistate con maggiore frequenza nel corso della campagna di ricerca della Tethys. A queste comparse regolari vanno ad aggiungersi avvistamenti o spiaggiamenti di specie occasionali o accidentali in Mediterraneo riferite dalla bibliografia di settore che comprendono la balenottera minore, la megattera, l'orca, la pseudorca, lo steno e il cogia di Owen.

Nel corso delle campagne svolte nel periodo giugno 2005 – maggio 2006 in 125 giorni di mare e 8795 km di osservazioni in una superficie di mare di 2300 km<sup>2</sup> (Figura 1.1 – area di studio e relativa profondità dei fondali) sono stati effettuati 80 avvistamenti di cetacei appartenenti a 6 specie: stenella striata, tursiope, capodoglio, grampo, zifio e delfino comune. Il 70% degli avvistamenti sono avvenuti nell'area sud (Ionio) mentre nell'area nord (Tirreno) sono state avvistate soltanto stenelle striate.

Nelle tre campagne 2010 sono stati avvistati 16 cetacei, di cui 9 tursiopi, 6 stenelle e 1 grampo. Sono stati confermati i risultati 2005-2006 per quanto riguarda la stenella striata e il tursiope, mentre non sono stati avvistati capodogli. Non sono stati fatti avvistamenti nell'area direttamente interessata dai lavori dei pontili. La Figura 1.2 localizza gli avvistamenti di cetacei di tutte le specie relativi alla campagna 2005-2006 (cerchietti piccoli) e 2010 (quadratini grossi).

In relazione agli habitat caratteristici, la balenottera è una specie prevalentemente pelagica che predilige zone con profondità maggiore 2000 m, mentre il Capodoglio predilige le acque sovrastanti la scarpata continentale ricche di cefalopodi. Stenella, grampo e zifio preferiscono le acque pelagiche e della piattaforma continentale a differenza del delfino comune il cui habitat si

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

estende dalla batimetrica dei 100-200 m fino al mare aperto e del tursiope, caratterizzato da una alta flessibilità alimentare, che preferisce l'habitat costiero.

I risultati dell'analisi spaziale con modelli predittivi forniscono la probabilità di avvistamento della specie nell'area di studio in base alla profondità, alla concentrazione di clorofilla dell'acqua.

Per la stenella striata (Figura 1.3) la distribuzione è piuttosto uniforme nelle acque dell'area di studio, con una marcata preferenza per le acque più profonde nella posizione sud orientale dello Stretto e nord occidentale al largo delle Isole Eolie.

Per il tursiope (Figura 1.4) il modello predittivo sottolinea la preferenza di questa specie per le acque costiere del settore meridionale dello Stretto di Messina e per i fondali caratterizzati da elevata pendenza.

Il modello utilizzato per la distribuzione del capodoglio (Figura 1.5) ha selezionato come variabili di maggiore importanza nella caratterizzazione dell'habitat di questa specie la profondità, la pendenza dei fondali e la minore temperatura superficiale media. La maggiore concentrazione di animali è prevista nella zona di scarpata continentale nella porzione meridionale dello Stretto, prevalentemente tra la batimetrica 200 m e 1000 m. Per quanto riguarda la porzione tirrenica dell'area di studio i modelli predittivi suggeriscono che i cetacei sono assenti o sono presenti a densità molto minori.

#### **CONCLUSIONI OPERATIVE**

Una specie di odontoceti, il tursiope, specie elencata nell'Allegato II della "Direttiva Habitat" 92/43/CEE, si trova regolarmente nelle acque costiere dello Stretto e sembra essere quella potenzialmente più direttamente interessata dai lavori di costruzione dei pontili mentre altre due, la stenella striata e il capodoglio, note rispettivamente per frequentare acque pelagiche e acque sovrastanti la scarpata continentale, sono regolarmente osservate nello Stretto o nelle sue prossimità ed è pertanto lecito presupporre che utilizzino lo Stretto come corridoio di spostamento tra lo Ionio e il Tirreno. Lo stesso si può affermare per altre quattro specie note per essere presenti nella zona, la balenottera comune, il grampo, lo zifio e il delfino comune.

Su queste cetacei andranno focalizzate le attenzioni e gli approfondimenti in termini di risposta uditiva e di caratteristiche di vocalizzazione.

Da considerare che il maggiore impatto potenziale e rischio riguarda i mammiferi marini che prediligono fondali profondi. Tra gli esperti è ricorrente l'uso della frase "The shallower the safer": i frequentatori di acque costiere con fondali relativamente bassi, a causa della riflessione sulla superficie dell'acqua degli impulsi sonori, sono meno esposti a effetti di disturbo o danno uditivo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In termini di stagionalità, le informazioni tratte dalle osservazioni evidenziano per la balenottera comune concentrazione estiva in località produttive alimentari (modello stagionale di migrazione verso i siti di alimentazione) e diminuzione della presenza all'inizio dell'autunno. Ciò determina una tendenza all'attraversamento dello Stretto di Messina in direzione nord da giugno a agosto e in direzione sud da settembre a ottobre (migrazione invernale).

Per il tursiopo e la stenella le campagne di avvistamento non hanno notato una stagionalità: è la specie maggiormente avvistata specialmente in acque poco profonde. La sua presenza è fortemente condizionata dalla presenza di barche da pesca. Alla stenella i ricercatori attribuiscono inoltre una certa stanzialità.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

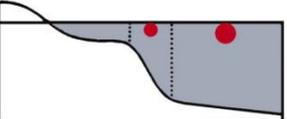
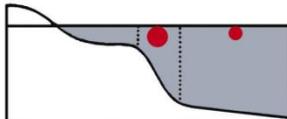
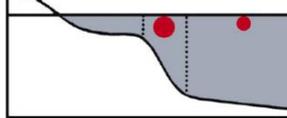
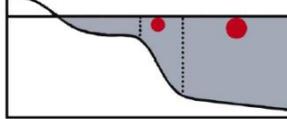
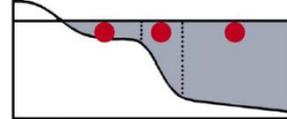
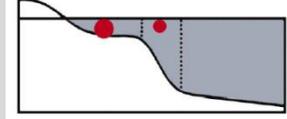
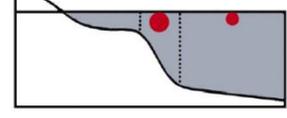
	NOME	HABITAT	FIGURA
<b>MISTICETI</b>	Balenottera comune - Balaenoptera physalus Avvistamenti recenti e passati, spiaggiamenti		
<b>ODONTOCETI</b>	<b>Capodoglio</b> - Phiseter macrocephalus Linnaeus Campagne di ricerca Tethys e segnalazione spiaggiamenti		
	<b>Zifio</b> - Ziphius cavirostris Avvistamenti Thetys discontinui, spiaggiamenti		
	<b>Stenella striata</b> - Stenella coeruleoalba. Avvistamenti Thetys regolari e segnalazione spiaggiamenti		
	<b>Delfino comune</b> - Delphinus delphis Avvistamenti Tethys regolari		
	<b>Tursiope</b> - Tursiops truncatus Avvistamenti Tethys regolari e segnalazione spiaggiamenti		
	<b>Grampo</b> - Grampus griseus Avvistamenti Tethys sporadici		

Tabella 1.1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

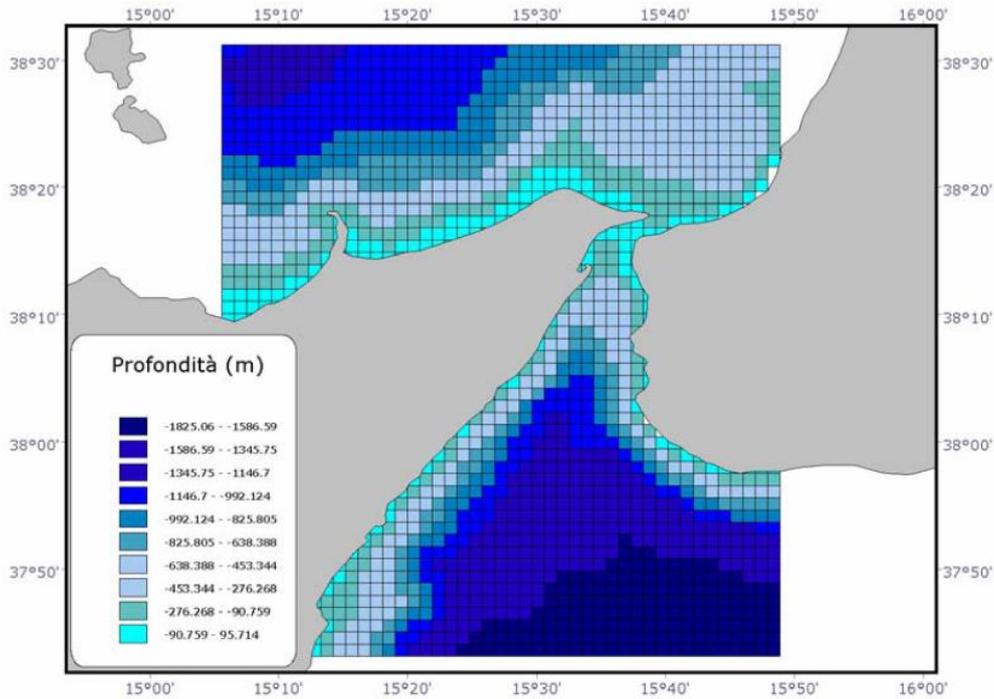


Figura 1.1 Area di studio e profondità dei fondali

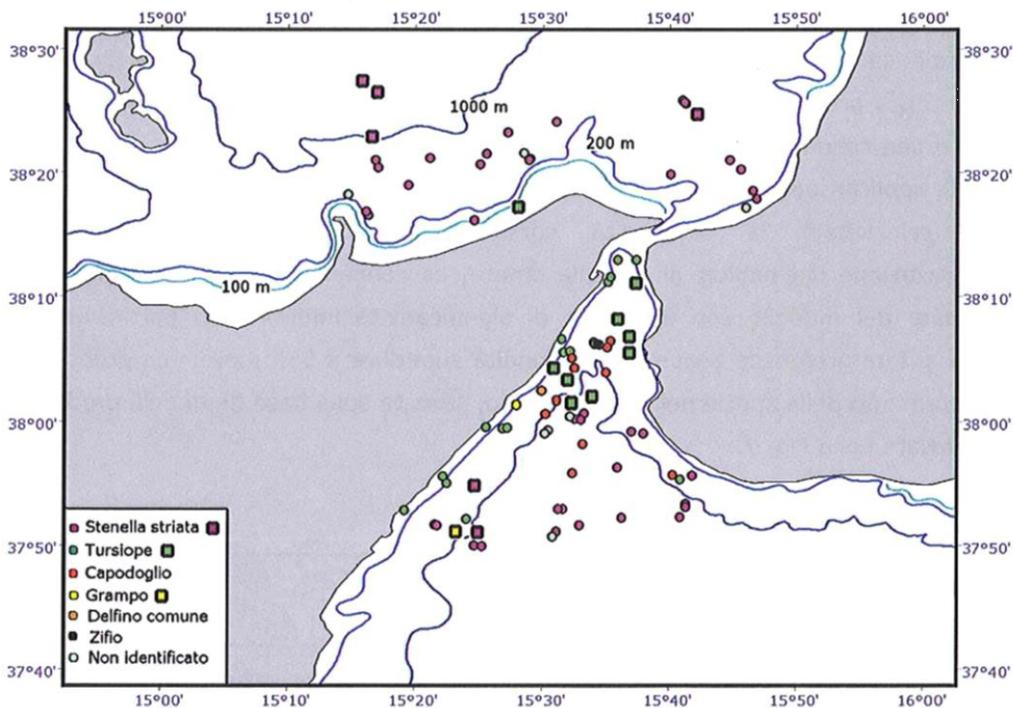


Figura 1.2 Localizzazione avvistamenti (dati aggiornati al 2010)

 <b>Stretto di Messina</b>		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

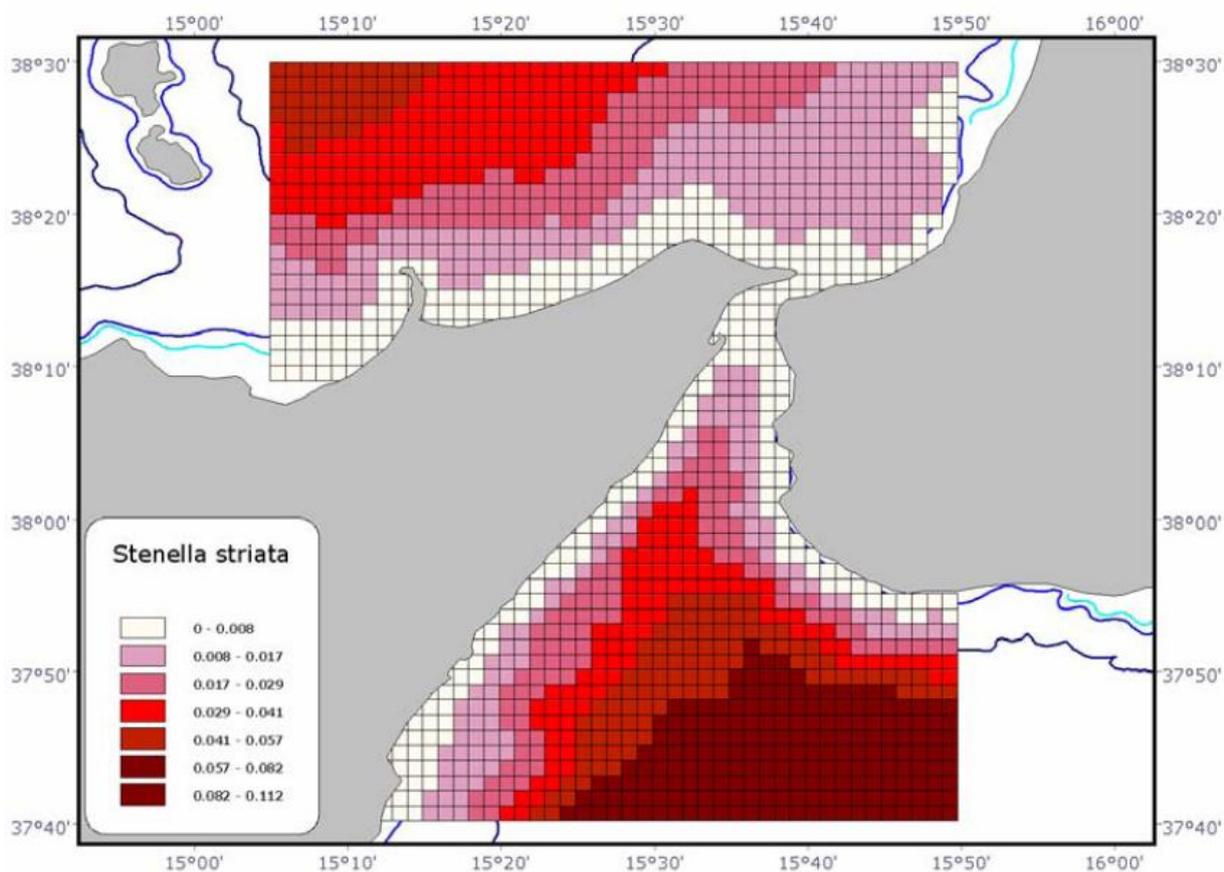
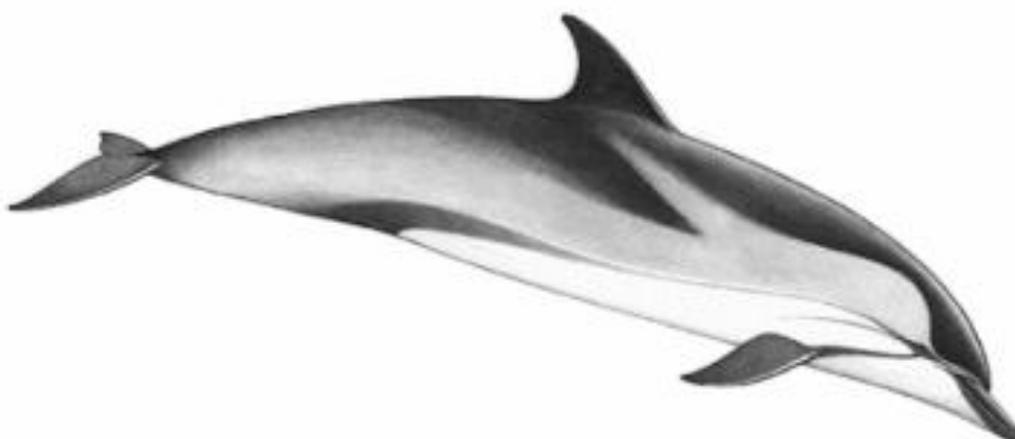


Figura 1.3 Probabilità di avvistamento della Stenella

 <b>Stretto di Messina</b>		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

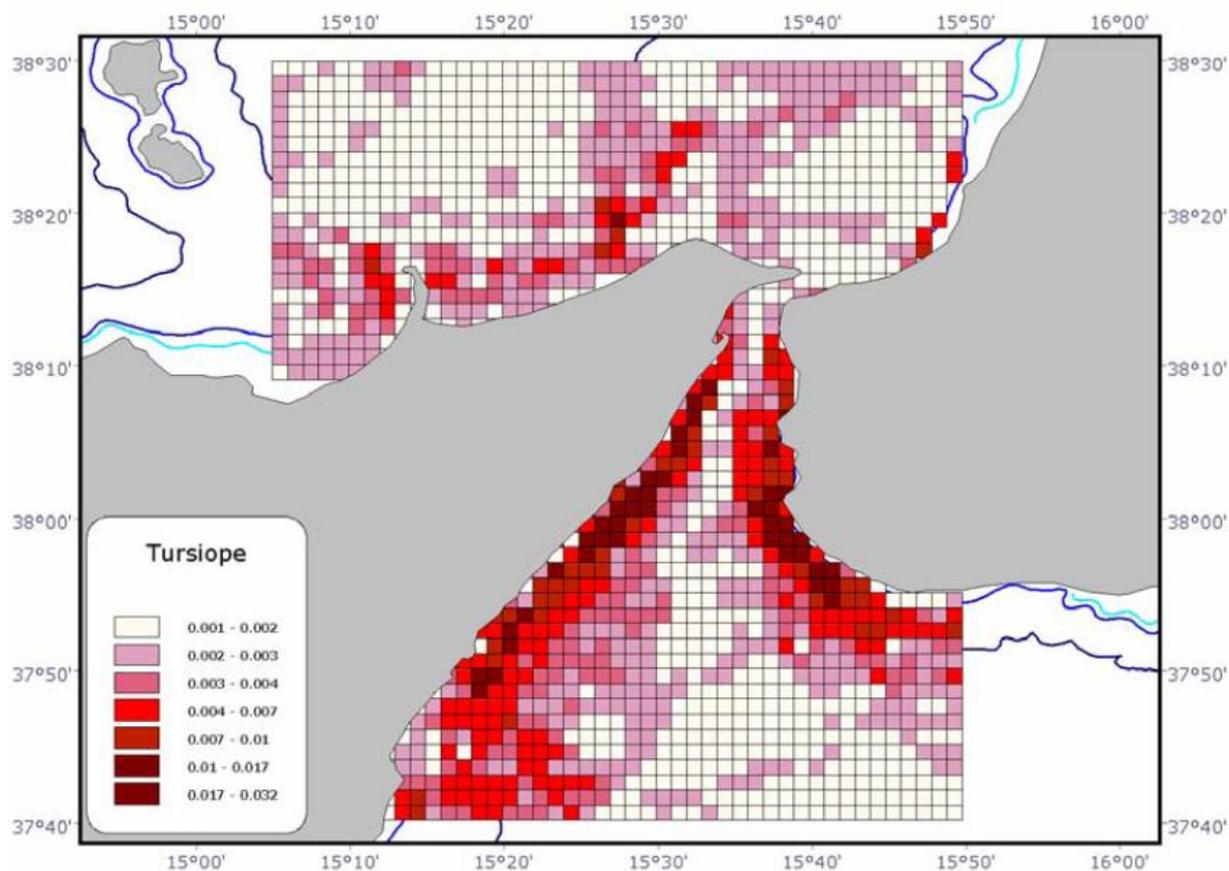


Figura 1.4 Probabilità di avvistamento del Tursiops

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

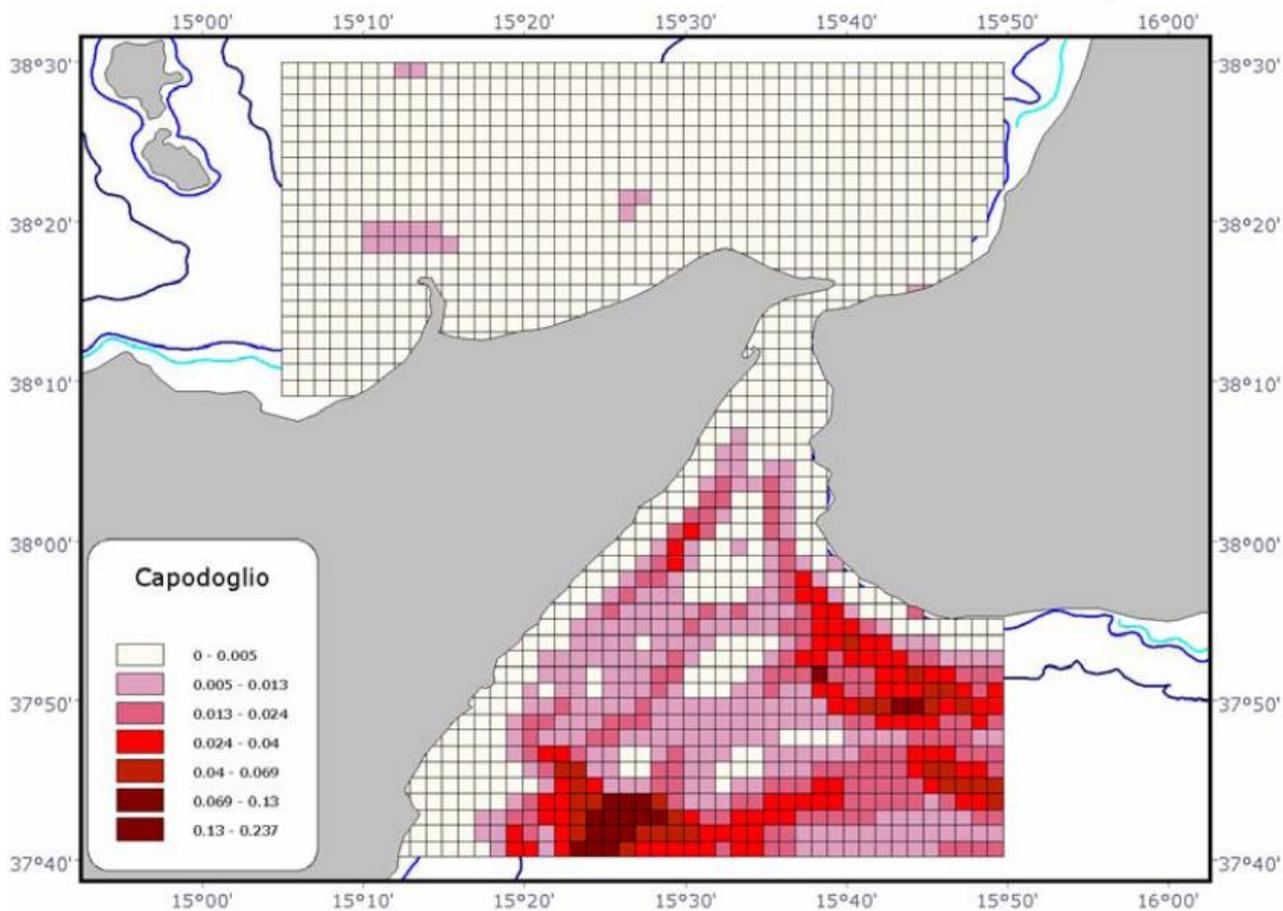


Figura 1.5 Probabilità di avvistamento del Capodoglio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

## 1.2 Caratteristiche uditive

E' in primo luogo necessario capire se i suoni immessi nel mare dello Stretto di Messina nel corso delle attività di costruzione dei pontili possono interagire (essere ascoltati) dai cetacei, determinando potenziale disturbo o danno all'apparato uditivo. La Figura 1.6 fornisce la comparazione tra la soglia uditiva dei pesci, dei mammiferi acquatici e dei subacquei ottenuta da fonti bibliografiche che esaminano differenti specie o individui.

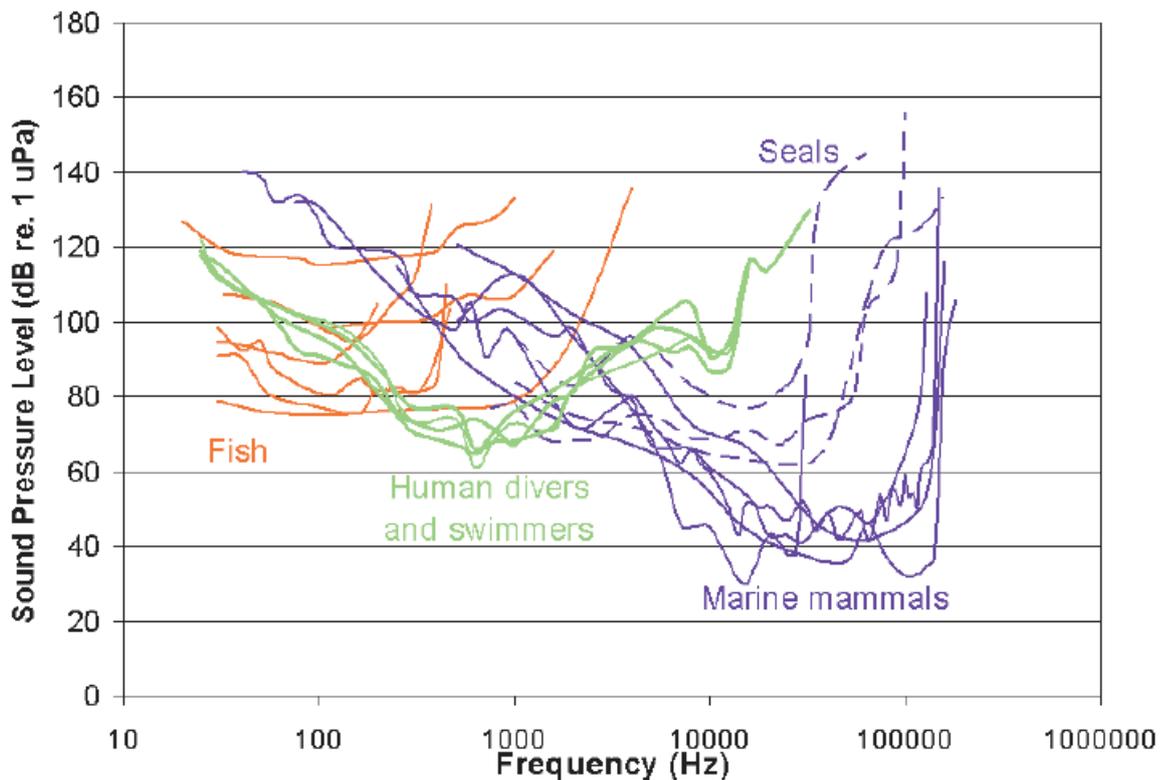


Figura 1.6

Si può constatare che la soglia uditiva dei subacquei tra 500 Hz e 2000 Hz è dell'ordine di 70 dB re 1  $\mu$ Pa e appare minore rispetto a quella dimostrata dai mammiferi acquatici nello stesso campo di frequenze. Per frequenze minori di 100 Hz o maggiori di 10 kHz la soglia uditiva si porta a circa 100 dB re 1  $\mu$ Pa. Per frequenze maggiori di 9-10 kHz i mammiferi acquatici mostrano una soglia uditiva di 30-40 dB re 1  $\mu$ Pa, e quindi una sensibilità molto più accentuata rispetto a quella dei subacquei, con una ampiezza di banda estremamente ampia che si estende fino a 100 kHz. Il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

pericolo per i cetacei è quindi principalmente determinato dalle alte frequenze. I pesci, in ultimo, dimostrano una soglia uditiva prossima agli 80 dB re 1  $\mu$ Pa e con una ampiezza di banda che difficilmente supera 1 kHz, e una maggiore sensibilità rispetto ai cetacei nel campo di frequenza 10-1000 Hz.

Quando si vuole valutare il pericolo di spostamento temporaneo della soglia uditiva (TTS), particolare attenzione deve essere posta al contenuto in frequenza del suono e all'intensità (e durata) dell'evento.

### 1.3 Vocalizzazione

La letteratura scientifica riporta molti risultati relativi a misure di vocalizzazione in ambiente subacqueo ad opera di Mysticeti e Odontoceti. La Tabella 1.2, Tabella 1.3 e Tabella 1.4 riassumo per queste famiglie di mammiferi acquatici e per le varie specie, il campo di variabilità rilevato in termini di livelli in dB re 1 $\mu$ Pa alla distanza di 1 m, la forma d'onda emessa e la fonte bibliografica.

Le vocalizzazioni dei mysticeti, rappresentate da click, toni, impulsi, gemiti, sono riconducibili ad un campo di variabilità posizionato tra 150-190 dB re 1 $\mu$ Pa, con valori maggiori per le specie più grandi. Per la famiglia degli odontoceti click e fischi possono arrivare a valori massimi di 230-240 dB re 1 $\mu$ Pa, con valori minimi documentati di 120-130 dB re 1 $\mu$ Pa.

La frequenza usuale dei fischi dei delfini, caratterizzati da componenti armoniche, è collocata tra 80-90 kHz

I segnali sonar emessi dai più piccoli odontoceti (*phocoena phocoena*) per scopi di ecolocalizzazione sono dell'ordine di 120-150 kHz ed hanno una forma d'onda multi ciclica. La Figura 1.7 mostra la forma d'onda di un click caratterizzato da una frequenza centrale di 150 kHz [5] e la simulazione al computer della emissione dell'impulso da parte del sistema di proiezione del suono. L'analisi del segnale svolto sulle registrazioni di vocalizzazioni [04] mostrano per alcune specie di odontoceti (capodoglio) e mysticeti (delfini, tursiopi, pontoporia,..) una evidente capacità di controllo della modulazione di frequenza nei click emessi, che può ragionevolmente rappresentare una caratteristica distintiva o "firma" acustica del singolo individuo. La frequenza media di ripetizione dell'impulso PRF per il capodoglio è di 84 click/minuto, che corrisponde ad una frequenza di 1.44 Hz. Altre frequenze riscontrate sperimentalmente sono di 1,62 Hz e 1,97 Hz. Per i delfini rilievi sperimentali evidenziano una modulazione longitudinale dei click emessi dell'ordine di 3 Hz.

Le balene hanno tipiche vocalizzazioni di durata 1s comprese tra 50 Hz e 200 Hz. Quando i richiami vengono emessi in fondali bassi si verificano fenomeni di distorsione e dispersione del

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

segnale per effetto delle riflessioni multiple tra la superficie del mare ed il fondale di importanza variabile con l'altezza dell'acqua e il tipo di fondale (Figura 1.8). La propagazione del segnale, quando l'acqua è bassa, è intrappolata in uno strato d'acqua che determina una sorta di guida d'onda (Figura 1.9), i cui parametri caratteristici sono la densità e velocità del suono in acqua ( $1026 \text{ kg/m}^3$  e  $1463 \text{ m/s}$ ) e la densità e velocità del suono nei sedimenti del fondale (valori tipici per fondali sabbiosi sono  $1373 \text{ kg/m}^3$  e  $1620 \text{ m/s}$ , per fondali ghiaiosi  $2289 \text{ kg/m}^3$  e  $1875 \text{ m/s}$ ).

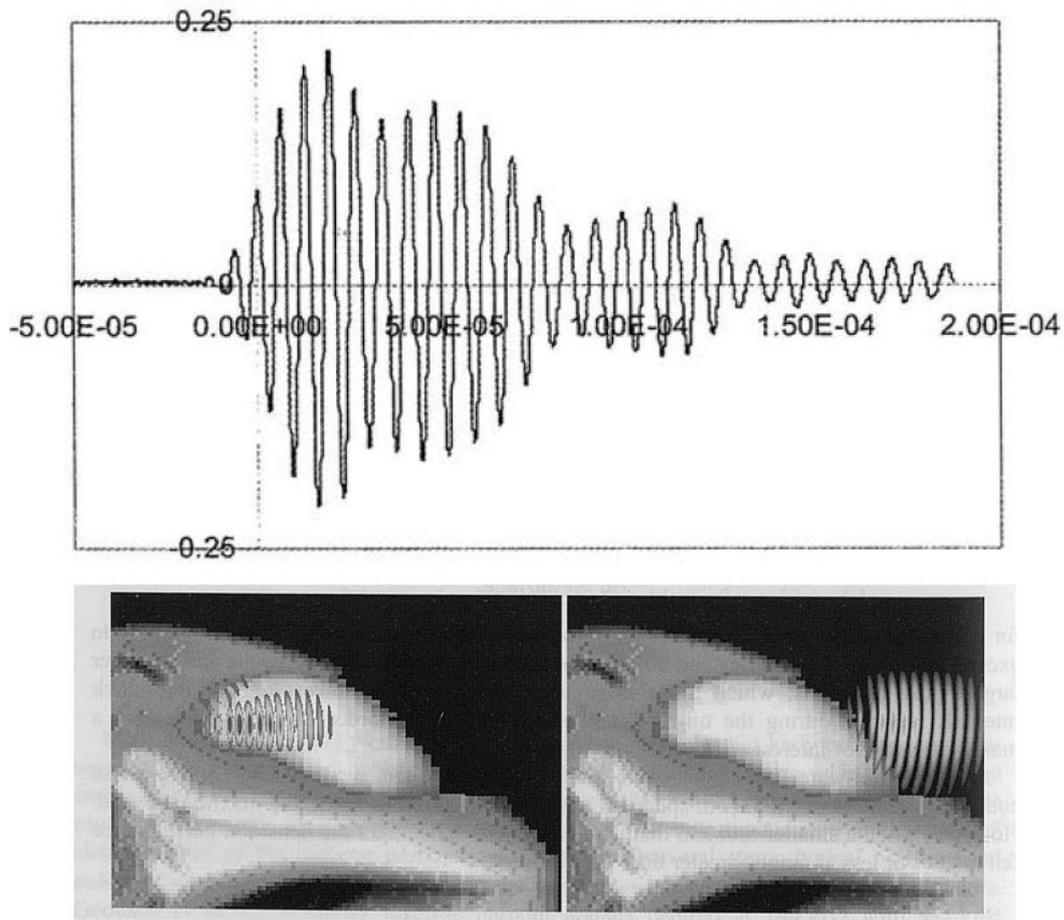


Figura 1.7 Forma d'onda "click"

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Species	Source Level (dB re. 1 $\mu$ Pa @ 1m)	Waveform	Source
Blue whale ( <i>Balaenoptera musculus</i> )	186 180-190	Moan Moan	McDonald, 2001 Aroyan, 2000
Bowhead whale ( <i>Balaena mysticetus</i> )	152-189	Complex moan	Cummings, 1987
Bryde's whale ( <i>Balaenoptera borealis</i> )	152-174 -	Moan Moan	Frankel, 2002 Oleson, 2003
Fin whale ( <i>Balaenoptera physalus</i> )	159-184 -	Downsweep Downsweep	Charif, 2002 McDonald 1995
Grey whale ( <i>Eschrichtius robustus</i> )	167-188	Tones and clicks	Frankel, 2002
Humpback whale ( <i>Megaptera novaeangliae</i> )	171-189 162-192	Tones and pulses Tones	Au, 2001 Thompson, 1986
Minke whale ( <i>Balaenoptera acutorostrata</i> )	>155 150-165 -	Pulses and tones Pulsive Pulsive	Gedamke, 1997 Gedamke, 2001 Rankin, 2005
Right whale ( <i>Eubalaena</i> spp.)	- 174-192 137-162	Moan Gunshot Moan	Vaanderlaan, 2003 Parks, 2005 Parks, 2005
Sei whale ( <i>Balaenoptera borealis</i> )	-	HF sweeps	Knowlton, 1991

Tabella 1.2 Livelli sonori di vocalizzazione per varie specie di misticeti

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Species	Source Level (dB re. 1µPa @ 1m)	Waveform	Source
Beluga ( <i>Delphinapterus leucas</i> )	206-225 -	Click Whistle	Au, 1985, 1993 -
Bottlenose dolphin ( <i>Tursiops truncatus</i> )	218 (p-p) 223 (p-p) 125-140 168 (p-p) 201 (p-p) 153	Click Click Whistle Tail slap Jaw pop Breach	Au, 1978 Au, 1974 Croll, 1999 Finneran, 2000 Finneran, 2000 Finneran, 2000
False killer whale ( <i>Pseudorca crassidens</i> )	- 201-225	Click Click	Au, 1995 Madsen, 2004a
Killer whale ( <i>Orcinus orca</i> )	- - 145-164 193	Whistle Click Pulsed call Tail slap	- - Erbe, 2002 Simon, 2005
Pilot whale ( <i>Globicephala</i> sp.)	>180 -	Click Whistle	Fish, 1976 -
Pygmy Killer whale ( <i>Feresa attenuate</i> )	197-223 228 -	Click Click Whistle	Madsen, 2004b Thomas, 1990 -
Risso's dolphin ( <i>Grampus griseus</i> )	202-222 216 -	Click Click Whistle	Madsen, 2004a Philips, 2003 -
Sperm whale ( <i>Physeter macrocephalus</i> )	226-236 220-236	Click Click	Mohl, 2003 Madsen, 2002
White-beaked dolphin ( <i>Lagenorhynchus albirostris</i> )	219 -	Click Whistle	Rasmussen, 1999 -
White-sided dolphin ( <i>Lagenorhynchus obliquidens</i> )	164 -	Click Whistle	Croll, 1999 -

Tabella 1.3 Livelli sonori di vocalizzazione per varie specie di grandi odontoceti

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

Species	Source Level (dB re. 1µPa @ 1m)	Waveform	Source
Common dolphin ( <i>Delphinus delphis</i> )	180 (p-p) -	Click Whistle	Croll, 1999 -
Dall's porpoise ( <i>Phocoenoides dalli</i> )	120-148 165-170	Click Click	Evans, 1984 Hatakeyama, 1990
Dusky dolphin ( <i>Lagenorhynchus obscurus</i> )	210	Click	Au, 2004
Finless porpoise ( <i>Neophocaena phocaenoides</i> )	167	Click	Akamatsu, 2000
Harbour porpoise ( <i>Phocoena phocoena</i> )	157-169 (p-p) 133-166	Click Click	Teilmann, 2002 Goodson, 1996
Spotted dolphin ( <i>Stenella attenuate</i> )	210	Click	Au, 2003
Striped dolphin ( <i>Stenella coeruleoalba</i> )	-	-	-

Tabella 1.4 Livelli sonori di vocalizzazione per varie specie di piccoli odontoceti

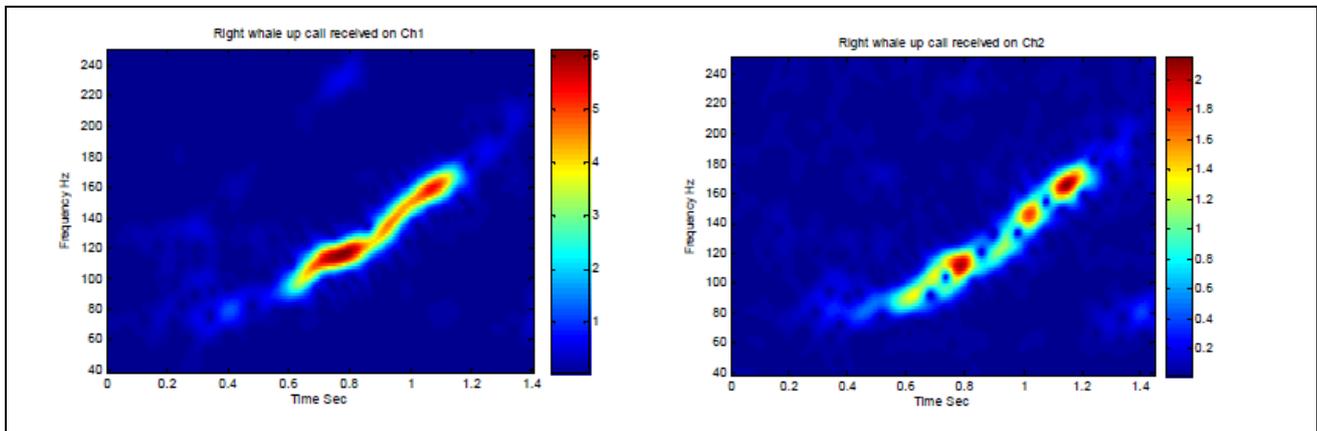


Figura 1.8 Distorsione del segnale in relazione alla profondità del fondale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

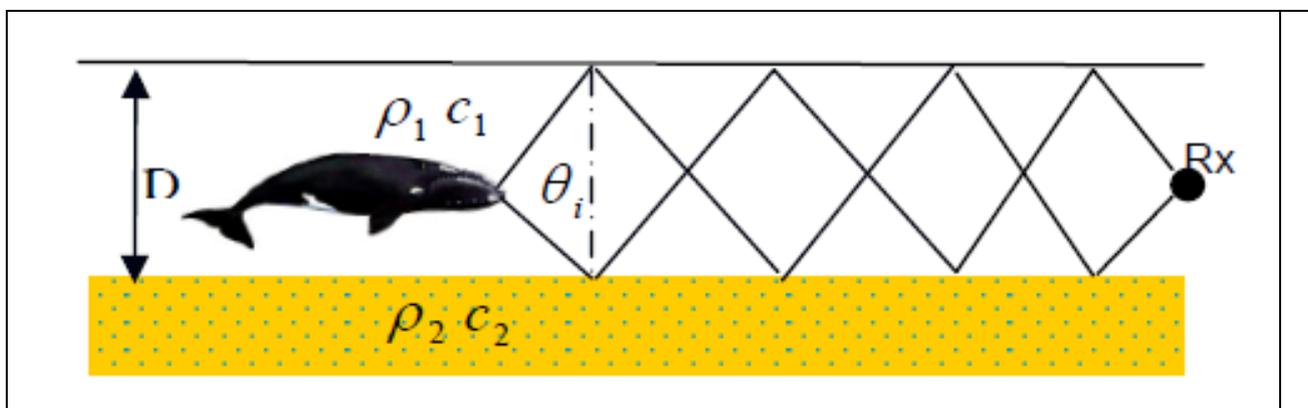


Figura 1.9

## 1.4 Effetti del rumore sui cetacei

La valutazione degli effetti sui cetacei e, in generale, sugli animali marini esposti al rumore causato dalla infissione di pali richiede una ponderazione in frequenza del suono ricevuto al fine di tenere in conto le caratteristiche uditive degli animali. Verboom&Kastelein e Nedwell hanno proposto le funzioni di pesatura in base agli audiogrammi disponibili. Un più prudente set di funzioni di pesatura è proposto da Southall et al. in "Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations". Queste funzioni hanno condotto alla curva di pesatura  $M(f)$  applicabile a varie specie di cetacei e di pennipedi:

$$M(f) = 20 \log_{10} \left[ \frac{f_{high}^2 f^2}{(f^2 + f_{low}^2)(f^2 + f_{high}^2)} \right]$$

La Figura 1.10 mostra i risultati molto differenti che si ottengono applicando le due diverse curve di pesatura (curva  $M$  per i cetacei ad alta frequenza e curva di pesatura basata sugli audiogrammi), allo spettro del SEL misurato. E' quindi di fondamentale importanza poter associare le corrette curve di pesatura in relazione alla fruizione marina e di associare conseguentemente le appropriate soglie di disturbo o di danno.

Elevati livelli di pressione di picco possono causare danni uditivi permanenti ai cetacei e, come evento limite, la morte. La letteratura è concorde nel ritenere che ogni esposizione ad impulsi eccedenti il livello di picco di pressione sonora di 230 dB re 1μPa ( $p_{peak} = 316$  kPa) è potenzialmente dannoso.

Verboom in "Some examples of marine mammal discomfort threshold in relation to man made

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

noise” propone soglie di discomfort in termini di SPL compresi tra 97 e 111 dB re 1 µPa per differenti segnali di comunicazione a banda stretta nel campo di frequenza compreso tra 10 Hz e 14 kHz. In questo campo di frequenze il filtro pesatura è all’incirca - 10 dB, Conseguentemente la soglia di discomfort è compresa tra 87 e 101 dB re 1 µPa pesati (SPL w).

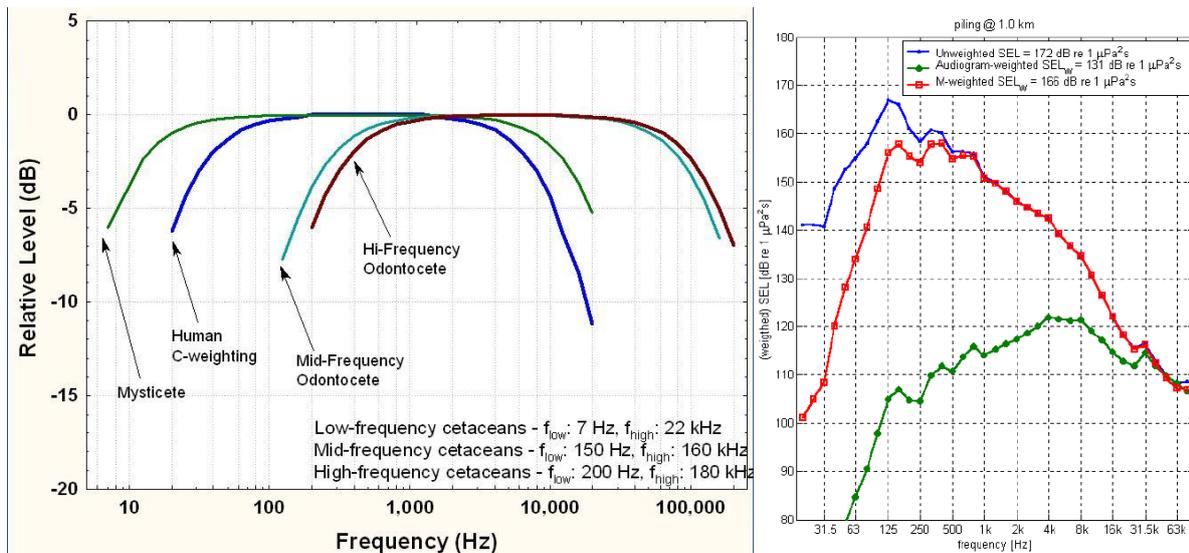


Figura 1.10 Effetto delle curve di pesatura sui SEL misurati (dx) e curva di pesatura M per i cetacei (sx)

Estrapolando le relazioni di dose-risposta applicata all’udito umano si ottiene:

- soglia a 125 dB re 1 µPa per il discomfort severo;
- soglia a 137 dB per lo spostamento momentaneo della soglia uditiva (TTS);
- soglia a 180 dB re 1 µPa per lo spostamento permanente della soglia uditiva (PTS).

La Tabella 1.5 propone la sintesi dei valori utilizzabili per le verifiche degli effetti sui cetacei.

EFFETTO	Livello di pressione sonora di picco dB re 1µPa
Danni permanenti PTS	230
Spostamento permanente della soglia uditiva PTS (effetti di danno)	180
Spostamento momentaneo della soglia uditiva TTS (effetti comportamentali)	137
Discomfort severo	125
Soglia di discomfort SPL	87-101

Tabella 1.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le raccomandazioni scientifiche propongono quali indicatori di controllo delle situazioni di danno o di discomfort per i cetacei il valore pesato M di SELw e il valore di picco di pressione sonora non pesato.

Il tempo di recupero della soglia uditiva dei cetacei sollecitati da rumore impulsivo non è noto: per motivi prudenziali la verifica dell'indicatore PTS viene svolta in relazione all'esposizione totale nelle 24 ore agli impulsi sonori "n". L'esposizione totale viene calcolata per un punto ricevente fisso ad una distanza per la quale è noto SELw determinato dal singolo colpo di infissione, ignorando che l'animale non rimane mai nella stessa posizione a lungo.

$$SEWL_{tot} = SELw + 10\log_{10}(n) \leq PTS$$

N = n. impulsi sonori nelle 24 ore

La Figura 1.11 riporta i valori medi dei SEL di ciascuna misura ottenuti al Q7 parco eolico offshore "SELw" pesati in relazione della risposta uditiva dei cetacei SPLw, per una frequenza di infissione di 32 colpi/minuto con una energia di battitura costante di 800 KJ. Questi dati sono quindi plottati in funzione della distanza dal palo battuto. Si evince un campo di esistenza piuttosto stretto a causa del fatto che i valori pesati di SPL enfatizzano le componenti di rumore ad alta frequenza.

Si può notare che SPLw è molto al di sopra della soglia di discomfort anche oltre i 5 km di distanza dal palo battuto. A distanze inferiori a 1.5 km viene superata la soglia di discomfort severo e a distanze minore di 500 m i livelli eccedono il TTS (spostamento temporaneo della soglia uditiva).



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Descrizione delle attività di costruzione dei pontili

### 2.1 Generalità

I pontili di Ganzirri e Cannitello verranno realizzati adottando la configurazione di banchina a giorno su pali che permette l'attracco delle chiatte per lo sbarco dei conci prefabbricati delle torri. Ciascun concio prefabbricato pesa 1200 t e viene movimentato tramite un sistema di dodici carrelloni. Ogni gruppo di carrelloni compone un impronta di circa 13x18 metri. La chiatta che trasporta e movimentata i conci, a gruppi di quattro conci, è lunga 91,5 m e larga 21,5 m. Il pontile, caratterizzato da un ingombro di 66 m x 24 m in pianta, è costituito da un impalcato in calcestruzzo gettato in opera poggiante su una maglia di pali trivellati.

L'impalcato è costituito da un graticcio di travi ribassate di altezza 130 cm e di larghezza 120 cm gettate in opera in casseri a perdere sagomati a "U". Le travi poste ad un interasse uguale a quello dei pali, sono connesse a queste ultime tramite baggioli a sezione quadrata di lato 60 cm che spiccano dalla sommità dei pali di fondazione. La soletta che costituisce l'impalcato è anch'essa gettata in opera in casseri a perdere ed è una soletta armata bidirezionalmente, di spessore 80 cm.

La realizzazione dell'impalcato prevede la posa dei casseri a perdere, posa dell'armatura delle travi e getto parziale delle travi fino all'intradosso della soletta, posa dei casseri a perdere per la soletta appoggiati ai casseri delle travi, posa dell'armatura della soletta e getto di completamento dell'impalcato.

L'opera di attracco destinata allo sbarco dei conci prefabbricati ha carattere provvisorio, in quanto verrà demolita dopo circa 5 anni di utilizzo una volta finita la costruzione delle pile del ponte.

Sono previste due possibili modalità di demolizione:

1. Demolizione "tradizionale": ossia taglio dell'impalcato in più sezioni e smantellamento a terra previa predisposizione delle reti anticaduta a maglia fine, in modo da proteggere l'ambiente marino.
2. Sollevamento dell'impalcato intero mediante l'impiego di martinetti idraulici, trasporto a terra mediante dispositivi di guida e demolizione a terra l'impalcato.

La realizzazione dei pontili richiede 60 giornate lavorative per i pali e tre mesi per il getto degli impalcati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2.2 Modalità di realizzazione e geometria dei pali

I pali di sostegno dei pontili, in numero di 40 (4 file x 10 colonne), presentano un diametro 120 cm e lunghezza variabile in funzione della profondità del fondale; si prevede un immorsamento nel terreno pari a 27 m. L'interasse tra i pali parallelamente alla costa varia da un minimo di 7 m ad un massimo di 8 m in corrispondenza della campata centrale, mentre perpendicolarmente è costante e pari a 7 m.

Per quanto riguarda la tipologia dei pali di fondazione, si è scelto di fondare l'impalcato su pali trivellati di diametro 1200 mm, che garantiscono migliori prestazioni tecniche e ambientali (si limitano rumore e vibrazioni).

I pali verranno realizzati da un pontone galleggiante con la seguente sequenza: infissione di una camicia metallica di diametro 120 cm e spessore 8-10 mm mediante battipalo idraulico o diesel o vibratore, fino a circa 2 m al di sotto del fondale marino (Figura 2.1). La camicia, che non ha funzione strutturale, serve ad evitare il collasso del foro durante i primi metri di perforazione attraverso gli strati meno addensati. Svuotamento della camicia e trivellazione con fango bentonitico fino alla quota di progetto. Dissabbiatura del fango, posa in opera della gabbia di armatura e getto del calcestruzzo da fondo foro mediante tubo convogliatore.

Relativamente allo smantellamento dei pali si prevede, una volta demolito l'impalcato, di tagliare i pali a livello del fondale, rimuovere la parte fuori terra tramite gru e procedere in cantiere alla demolizione.

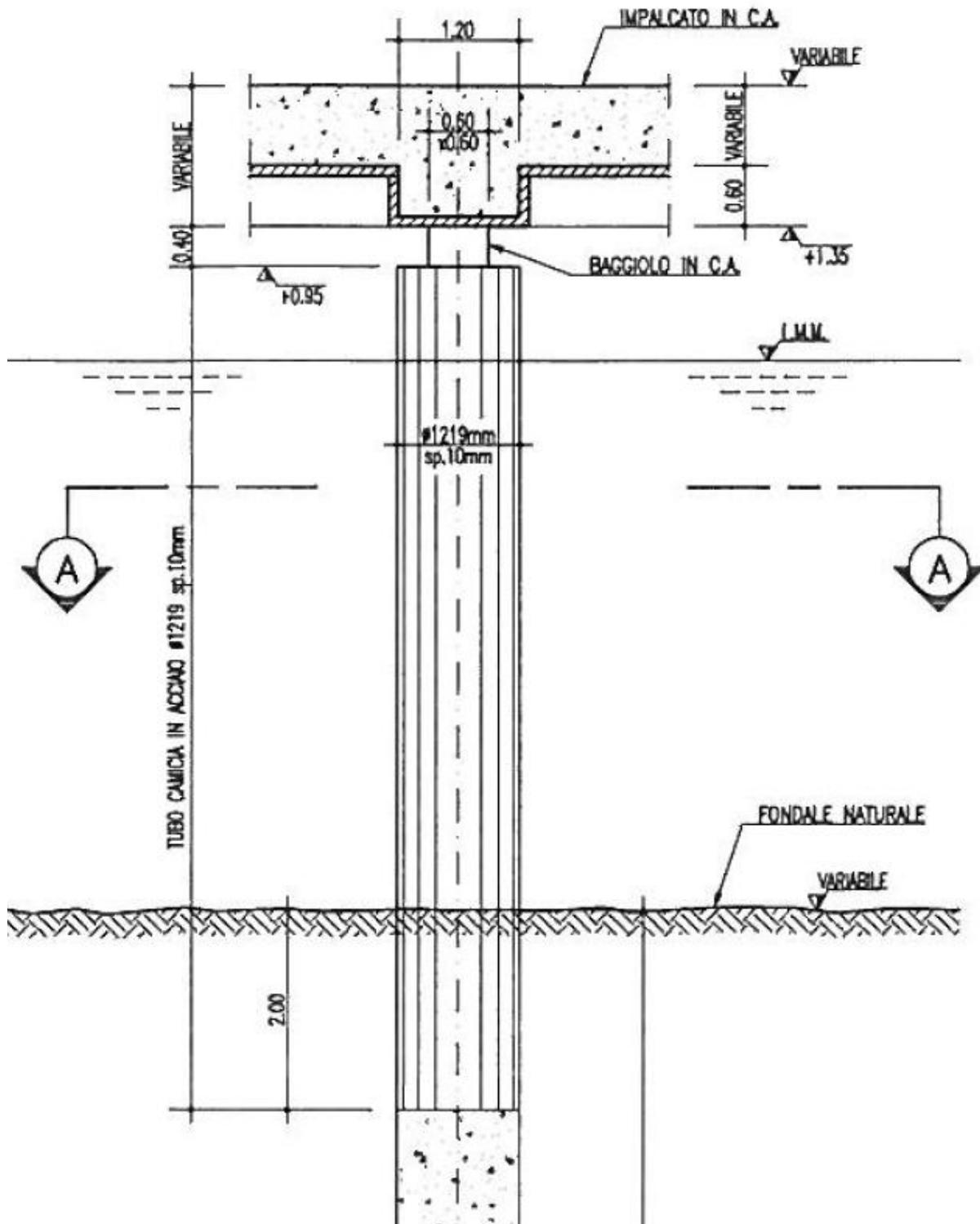


Figura 2.1 Dettaglio tipologico della camicia dei pali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2.3 Conclusioni operative

La costruzione del pontile di servizio ai cantieri di Cannitello e Ganzirri prevede delle fasi di attività in grado di immettere rumore nell'ambiente marino e di creare situazioni di potenziale disturbo o danno per i cetacei. Tali attività sono principalmente rappresentate dalla infissione della camicia metallica di diametro 120 cm per circa 2 m di fondale necessari per superare i primi strati detensionati e per costruire il cassero a perdere. Tra i possibili metodi di infissione quello che determina il maggiore impatto consiste nell'uso di battipalo: per la scelta finale del sistema di infissione, della massa battente e del numero di colpi al minuto si rimanda agli approfondimenti previsti per il progetto esecutivo.

Le successive attività di costruzione dei pontili, incluse le demolizioni, non sono rilevanti in termini di propagazione di rumore nell'ambiente marino.

In sintesi, i dati di progetto cautelativamente considerati per la stima delle emissioni di rumore in fase di costruzione dei pontili sono:

- Profondità massima dei fondali interessati dai pali 5 m.
  - Palo a sezione circolare di diametro 120 cm.
  - Spessore del tubo a perdere 10 mm.
  - Produzione di 1-2 (media di 1,25) pali al giorno lato Cannitello e lato Ganzirri.
  - Tempo di infissione della singola camicia metallica circa 30'.
  - Costruzione con battipalo diesel tipo Delmag D12
  - Massa battente circa 12 kNw (\*)
  - Energia massima circa 30 kJ (\*)
  - 40-50 colpi al metro nella prima fase di infissione (\*)
- (\*) Tale stima può cambiare notevolmente in relazione alla configurazione del battipalo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **3 Impatto sui cetacei**

#### **3.1 Generalità**

L'infissione di pali in ambiente marino rappresenta insieme a esplosioni, sondaggi sismici e operazioni sonar una delle principali fonti di impatto sull'ambiente marino. Gli studi di settore evidenziano che gli intensi impulsi sonori determinati dalla battitura dei pali sono in grado di interferire con il comportamento dei cetacei in un campo di diversi chilometri determinando disturbo, affaticamento uditivo o danno uditivo nel caso in cui l'animale transita in prossimità delle lavorazioni. I suoni antropogenici possono inoltre determinare effetti di mascheramento sui segnali, richiami e vocalizzazioni emesse dai mammiferi marini, inclusi quelli usati per le funzioni sociali. Studi sperimentali evidenziano una correlazione tra aumento di livello di rumore di fondo ambientale e aumento del livello del segnale, come se si manifestasse anche nel mondo animale marino l'Effetto Lombard.

L'attività di infissione a percussione produce un suono che è caratterizzato da impulsi multipli la cui intensità dipende dalle dimensioni del palo e dal sistema di battitura, oltre che dalle caratteristiche geotecniche del mezzo in cui il palo viene infisso. Ciascuna battitura del palo determina un evento acustico, un impulso che causa nel generico punto ricevente un livello di pressione sonora caratterizzato da una intensità e da una durata.

L'attività di infissione generalmente inizia con una serie di colpi caratterizzati da un crescendo di energia. Quando il processo di infissione si è stabilizzato, la maggior parte dell'infissione procede ad energia costante. L'infissione di un palo di grande diametro può richiedere fino a 3000-4000 colpi, con frequenza 30-50 colpi al minuto e 2-3 ore di lavoro.

#### **3.2 Indicatori di riferimento**

I suoni in ambiente subacqueo si propagano in modo molto differente rispetto a quanto avviene nei bassi strati dell'atmosfera. La Tabella 3.1 fornisce un confronto tra i due mezzi di propagazione considerando la velocità del suono, l'impedenza acustica, l'assorbimento a 1 kHz, la pressione di riferimento in dB e il campo in frequenza di interesse.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PARAMETER	AIR	SEA WATER
Sound velocity	<b>~340 m/s</b> <small>(temperature &amp; humidity)</small>	<b>~1500 m/s</b> <small>(temperature, pressure &amp; salinity)</small>
Acoustic impedance	<b>~420 Pas/m</b>	<b>~1.5 10<sup>6</sup> Pas/m</b>
Absorption @ 1 kHz	<b>~5 dB/km</b>	<b>~0.06 dB/km</b>
dB reference pressure	<b>20 μPa</b>	<b>1 μPa</b>
Frequency range	<b>~20 Hz to ~20 kHz</b> <small>(human hearing)</small>	<b>~1 Hz to ~500 kHz</b> <small>(hearing of various species, sonar)</small>

Tabella 3.1

Gli indicatori di riferimento per la caratterizzazione delle emissioni di rumore subacqueo sono:

- Livello di pressione sonora di picco ppeak (il massimo livello istantaneo di pressione sonora non pesato in dB nel periodo T).
- Sound Exposure Level SEL: caratterizza l'intensità del singolo impulso ed è rappresentato dall'integrale della pressione sul tempo T90.
- Sound Pressure Level SPL: rappresenta la media energetica di pressione sonora su un periodo di battitura.
- T90: è il periodo che contiene il 90% dell'energia del segnale.

La Figura 3.1 fornisce un esempio dell'andamento della pressione sonora (larghezza di banda 3 Hz 100 kHz) nel tempo per una singola battuta del palo e visualizza la durata T90. La Figura 3.2, a titolo esemplificativo, riporta il decorso temporale dei tre indicatori di controllo del fenomeno, ppeak, SEL e T90, ad una distanza di 3,2 km dalla posizione di infissione di un palo in acciaio di grande diametro in un periodo di lavorazione di circa 2 ore con fondali a 19-24 metri.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

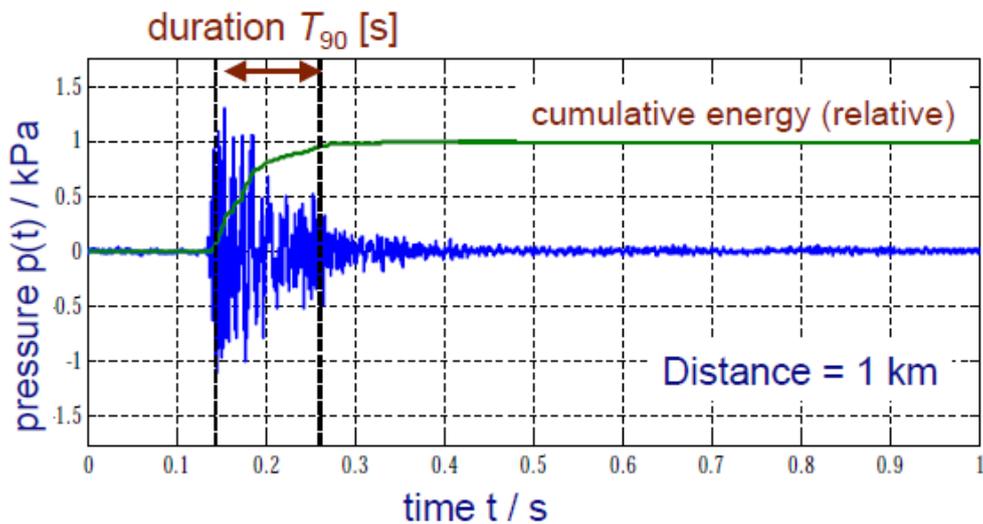


Figura 3.1 Esempio decorso temporale pressione sonora per la battitura di un palo

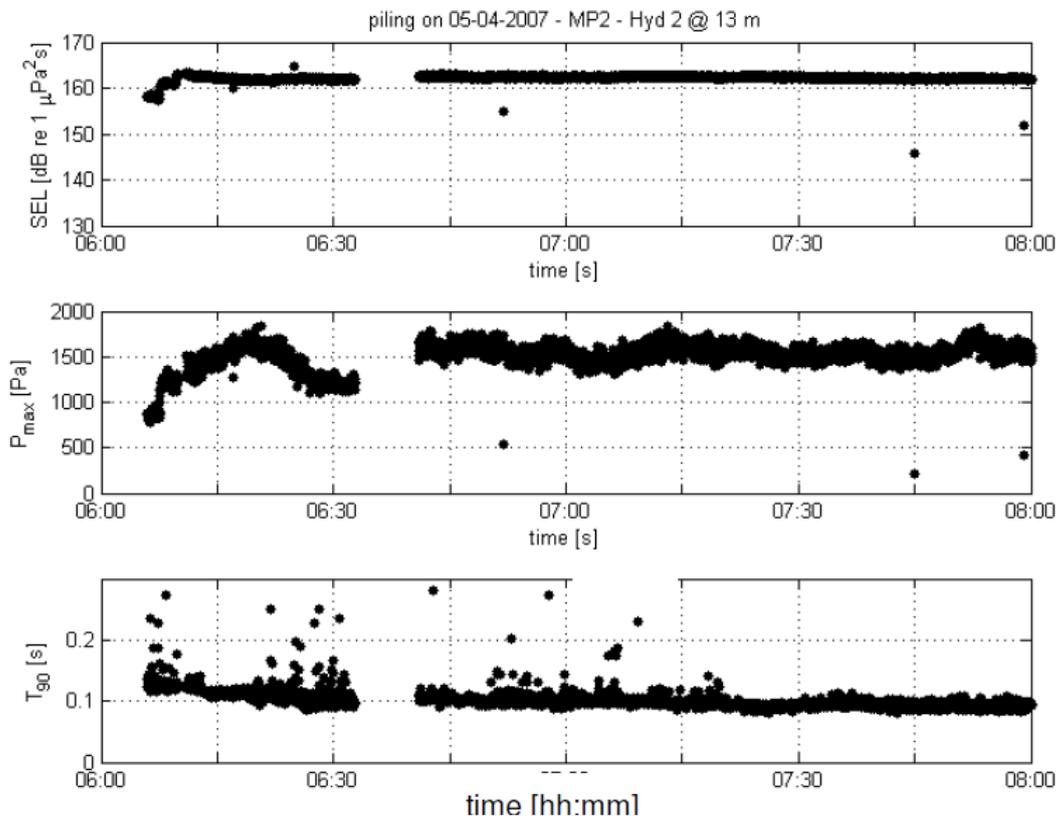


Figura 3.2 Esempio distribuzione SEL, ppeak, T90

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.3 Metodo di stima delle emissioni

La stima del livello energetico alla sorgente noto il livello rilevato ad una distanza nota dal punto di battitura del palo in termine di SEL, può essere svolta considerando il modello semi-empirico di Marsh e Schulkin, nel campo di frequenze 100 Hz - 10 kHz la perdita di propagazione PL può variare indicativamente da 28 a dB re m<sup>2</sup> a per un fondale di sabbia a 100 Hz a 34 a dB re m<sup>2</sup> per mare a forza 3 a 10 kHz. Si assume che alla distanza di misura siano applicabili le leggi del campo lontano e che l'accuratezza introdotta dall'incertezza del modello sia di 2-4 dB nel campo vicino, portando l'incertezza totale a circa 4,5 dB. Il livello di energia della sorgente è dato da:

$$SLe = PL + SEL = 209 \text{ re } 1 \mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s} \pm 4,5 \text{ dB}$$

dove:

PL: perdita di propagazione in dB tra punto di misura e punto di infissione

La corrispondente energia della sorgente può essere scritta come:

$$H = \frac{4\pi}{\rho_0 c_0} 10^{(SLe-120)/10} \approx 7 \text{ kJ}$$

dove:

$\rho_0 c_0$  [Ns/m<sup>3</sup>]: impedenza caratteristica dell'acqua del mare (circa 1% dell'energia di infissione)

Il limite superiore teorico di SLe, nel caso in cui tutta l'energia di infissione fosse convertita in rumore, è 230 dB re  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$  e se tutta l'energia fosse compressa ad esempio in 10 ms, il livello della sorgente basato su valori rms sarebbe di 250 re  $\mu\text{Pa}^2\text{m}^2\text{s}$ . Considerando che tutta l'energia non è convertita in rumore si può concludere che il valore reale deve essere ragionevolmente molto minore.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.4 Dati sperimentali tratti da casi studio

Le informazioni bibliografiche sull'argomento e i casi studio contenuti negli archivi ECUA (European Conference on Underwater Acoustics) sono molto numerosi ma il compendio di informazioni di riferimento sui livelli di pressione sonora determinati dalla infissione di pali in acqua, con vari sistemi di infissione, interventi mitigativi e tipologie di pali, è contenuto dal report "Compendium of Pile Driving Sound Data" preparato dal Dipartimento dei trasporti della California nel 2007. In questo recente manuale vengono riportate informazioni tecniche raccolte in circa 6 anni di attività. La Tabella 3.2 fornisce il riepilogo dei rilievi a 10 m svolti con sistemi di infissione a impatto per altezze d'acqua tra 5-15 m e diametri compresi tra 0,30 m e 2.4 m. La Tabella 3.3 riporta analoghe informazioni per sistemi di infissione a vibrazione per altezze d'acqua sempre di 5-15 m e diametri compresi tra 0.30 m e 1.80 m. La campitura in blu evidenzia i dati riferiti a pali di diametro simile a quelli previsti per i pontili di Ganzirri e Cannitello.

L'analisi dei casi studio riportati nel "Compendium of Pile Driving Sound Data" ha permesso di identificare i casi studio che presentano maggiori analogie rispetto ai lavori di realizzazione delle palificate necessarie per i pontili di Ganzirri e Cannitello. Sono stati individuati i seguenti casi studio:

- Trestle Piles, Russian River: infissione pali 120 cm a vibro-percussione con attrezzatura DelMag D-100-13 diesel in alveo fluviale ghiaioso. Il martello è caratterizzato da una energia massima da 336 kJ. Profondità dell'acqua 2 m e larghezza del fiume 15 m. La Figura 3.3, Figura 3.4 e Figura 3.5 riportano l'analisi del segnale a 20 m di distanza in tre momenti della fase di infissione del palo in assenza di acqua all'interno della camicia.
- Bay Ship and Yacht Dock, Alameda. infissione pali 100 cm a percussione con attrezzatura Del Mag D-80, energia di infissione massima 300 kJ, in presenza e in assenza di cortina di bolle. L'installazione riguarda un'area portuale dell'estuario della baia di San Francisco. La Figura 3.6 riporta l'analisi del segnale a 10 m di distanza dal palo.

Interessantissime informazioni, sebbene relative a pali di diametro doppio rispetto a quelli previsti per i pontili, riguardano:

- New Benicia Martinez Bridge Project, pali da 2. 4 m infissi a percussione con martello da 570 KJ. Profondità fondali 12-15 m
- San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span Replacement Project, pali da 2.7 m infissi a percussione con martello da da 550-1780 KJ.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Pile Type and Approximate Size	Relative Water Depth	Average Sound Pressure Measured in dB		
		Peak	RMS	SEL
0.30 meter (12-inch) Steel H-type - Thin	<5 meters	190	175	160
0.30 meter (12-inch) Steel H-type - Thick	~5 meters	195	183	170
0.6 meter (24-inch) AZ Steel Sheet	~15 meters	205	190	180
0.61 meter (24 inch) Concrete Pile	~5 meters	185	170	160
0.61 meter (24 inch) Concrete Pile	~15 meters	188	176	166
0.30 meter (12-inch) Steel Pipe Pile	<5 meters	192	177	--
0.36 meter (14 inch) Steel Pipe Pile	~15 meters	200	184	174
0.61 meter (24 inch) Steel Pipe Pile	~15 meters	207	194	178
0.61 meter (24 inch) Steel Pipe Pile	~5 meters	203	190	177
1 meter (36-inch) Steel Pipe Pile	<5 meters	208	190	180
1 meter (36-inch) Steel Pipe Pile	~10 meters	210	193	183
1.5 meter (60 inch) Steel CISS	<5 meters	210	195	185
2.4 meter (96 inch) Steel CISS	~10 meters	220	205	195

Tabella 3.2 Livelli di emissione per pali infissi a percussione

Pile Type and Approximate Size	Relative Water Depth	Average Sound Pressure Measured in dB		
		Peak	RMS*	SEL**
0.30 meter (12-inch) Steel H-type	<5 meters	165	150	150
0.30 meter (12-inch) Steel Pipe Pile	<5 meters	171	155	155
1 meter (36-inch) Steel Pipe Pile - Typical	~5 meters	180	170	170
0.6 meter (24-inch) AZ Steel Sheet - Typical	~15 meters	175	160	160
0.6 meter (24-inch) AZ Steel Sheet - Loudest	~15 meters	182	165	165
1 meter (36-inch) Steel Pipe Pile - Loudest	~5 meters	185	175	175
1.8 meter (72-inch) Steel Pipe Pile - typical	~5 meters	183	170	170
1.8 meter (72-inch) Steel Pipe Pile - Loudest	~5 meters	195	180	180

\* Impulse level (35 millisecond average)

\*\*SEL for 1 second of continuous driving

Tabella 3.3 Livelli di emissione per pali infissi a vibrazione

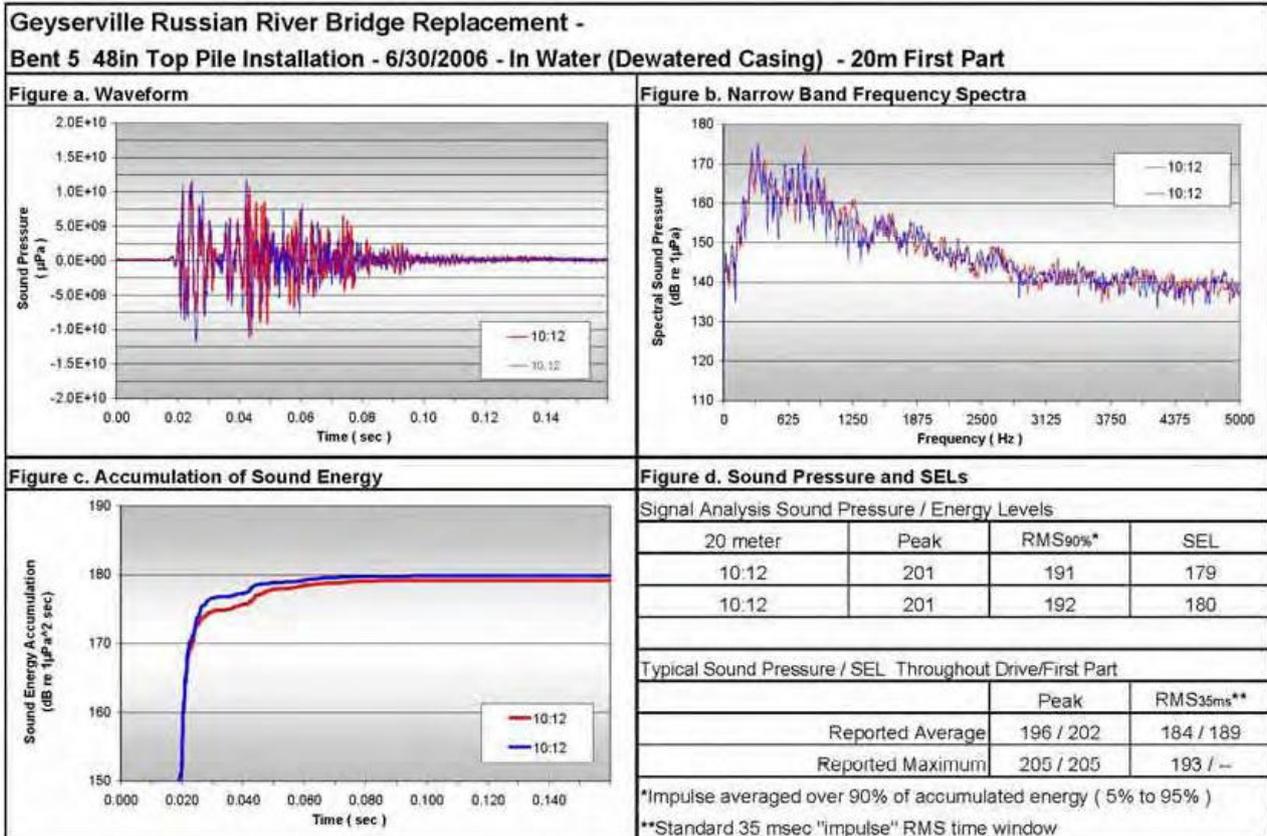


Figura 3.3 Analisi del segnale a 20 m dal palo nelle prime fasi di battitura, in assenza di acqua all'interno della camicia

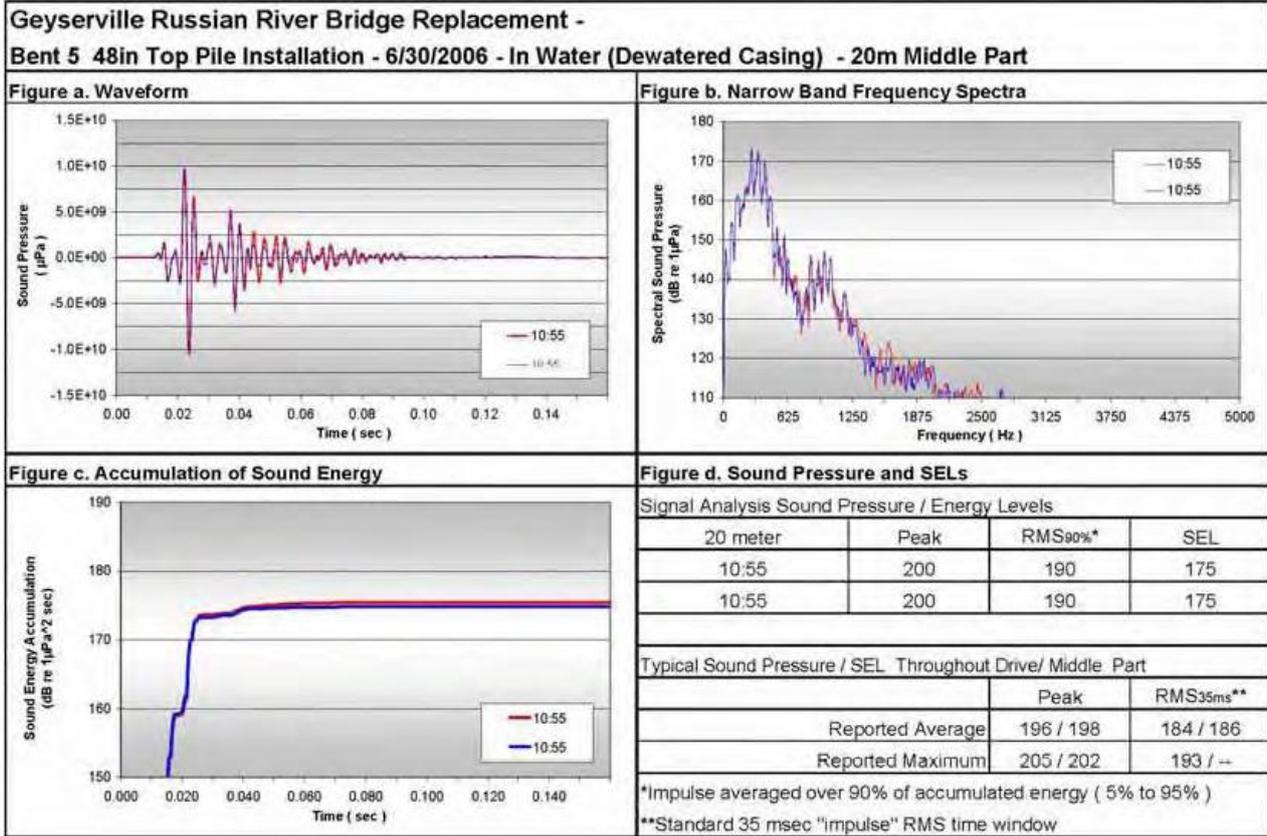


Figura 3.4 Analisi del segnale a 20 m dal palo a metà battitura, in assenza di acqua all'interno della camicia

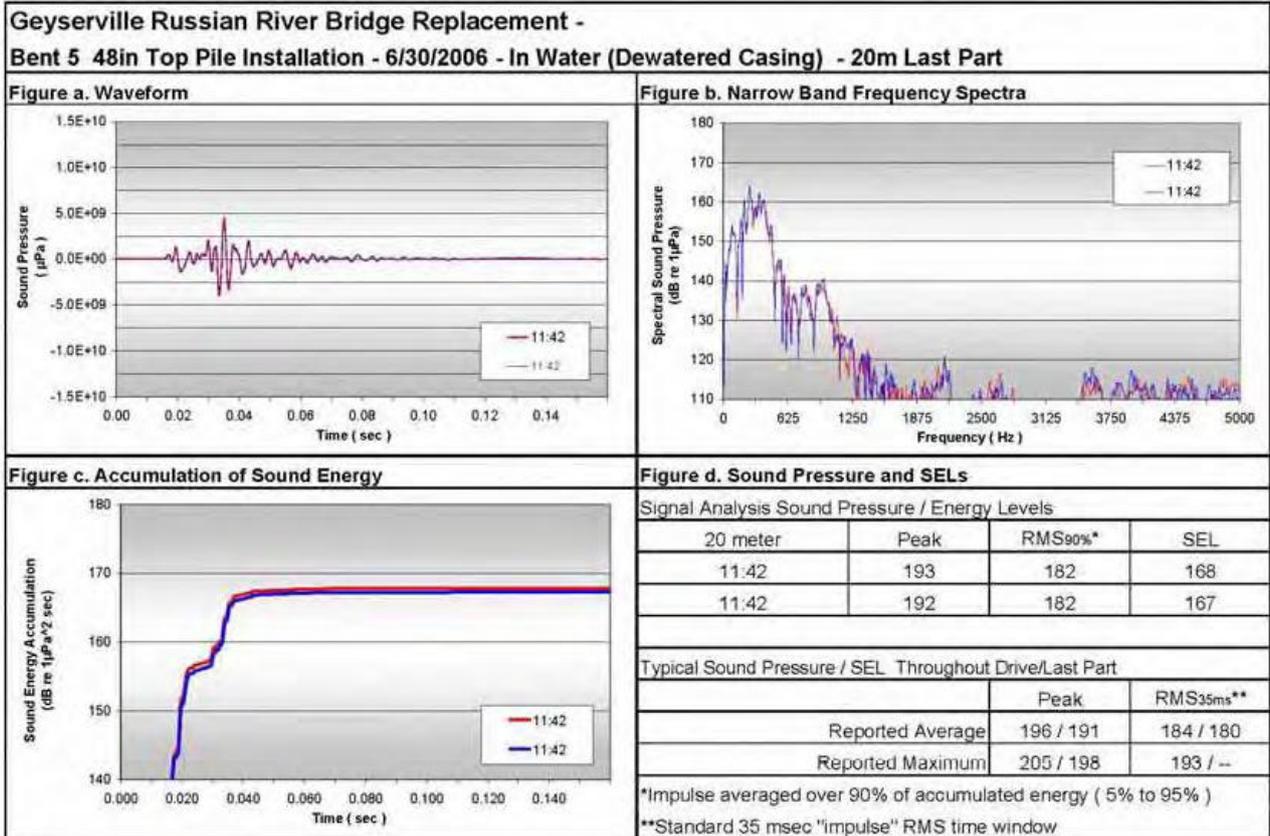


Figura 3.5 Analisi del segnale a 20 m dal palo a fine battitura, in assenza di acqua all'interno della camicia

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

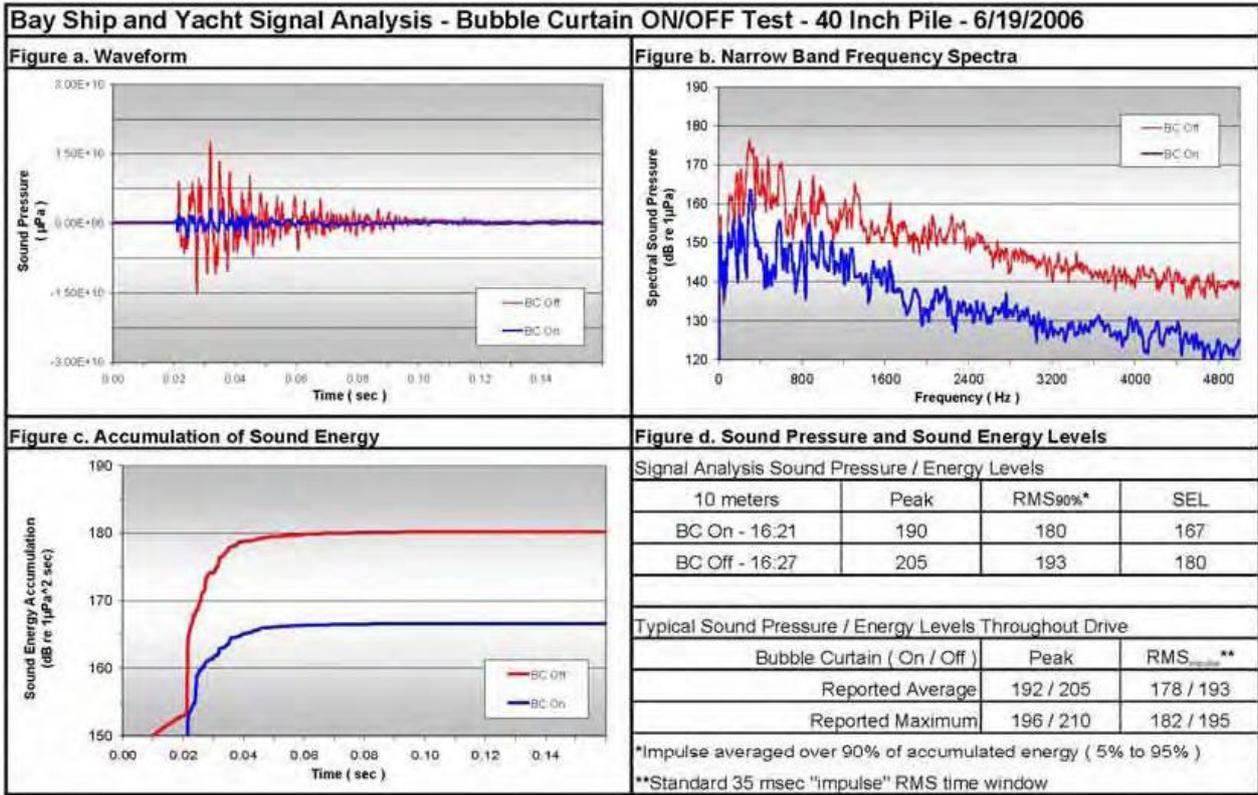


Figura 3.6 Analisi del segnale a 10 m dal palo, in presenza/assenza di cortina di bolle all'interno della camicia

### 3.4.1 New Benicia Martinez Bridge Project

Le attività di monitoraggio hanno permesso di definire le leggi di correlazione (Figura 3.7) tra livelli di picco  $L_{peak}$ , RMS e SEL e la distanza, nel campo compreso tra 10 e 500 m:

$$\begin{aligned}
 RL_{peak} &= 218 - 15 \log (R/10) \\
 RL_{RMS} &= 206 - 16 \log (R/10) \\
 RL_{SEL} &= 195 - 17 \log (R/10)
 \end{aligned}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

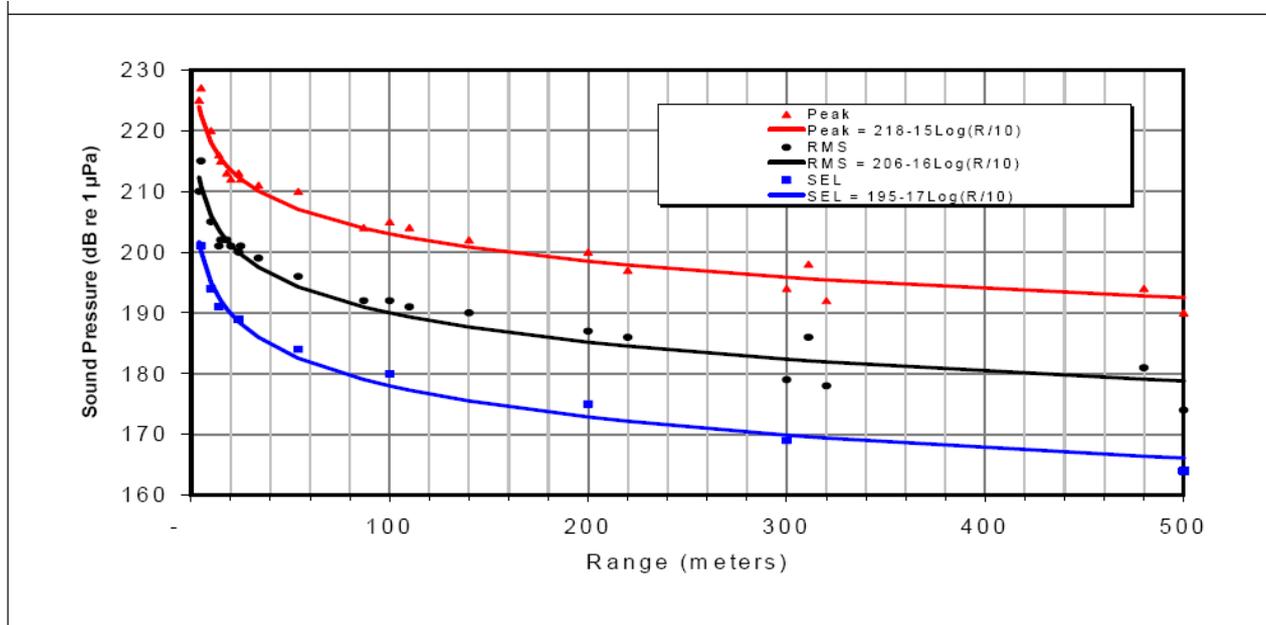


Figura 3.7

Sono stati inoltre svolti dei test finalizzati ad appurare l'efficacia di sistemi alternativi di controllo del rumore basati sulla realizzazione di una camicia coassiale al palo in presenza di:

- acqua
- bolle
- vuoto

La Figura 3.8 evidenzia che le soluzioni più efficaci, dell'ordine di 15-20 dB, consistono nell'immissione di bolle o nell'eliminazione dell'acqua all'interno della camicia.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

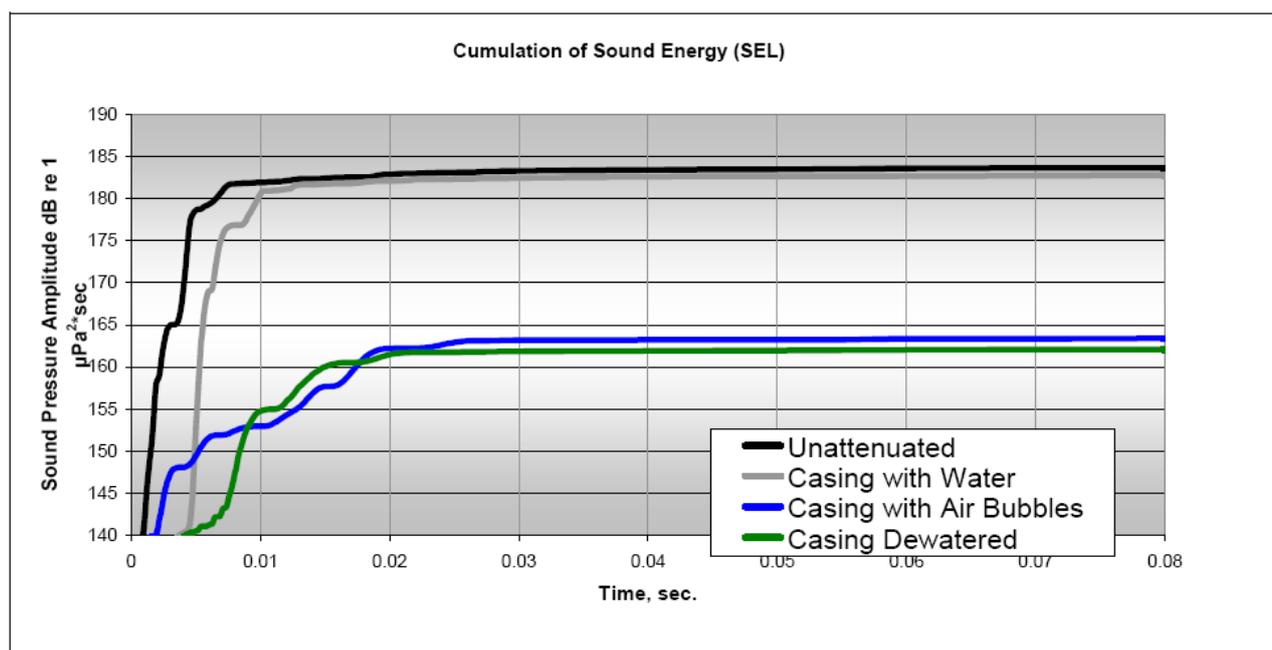
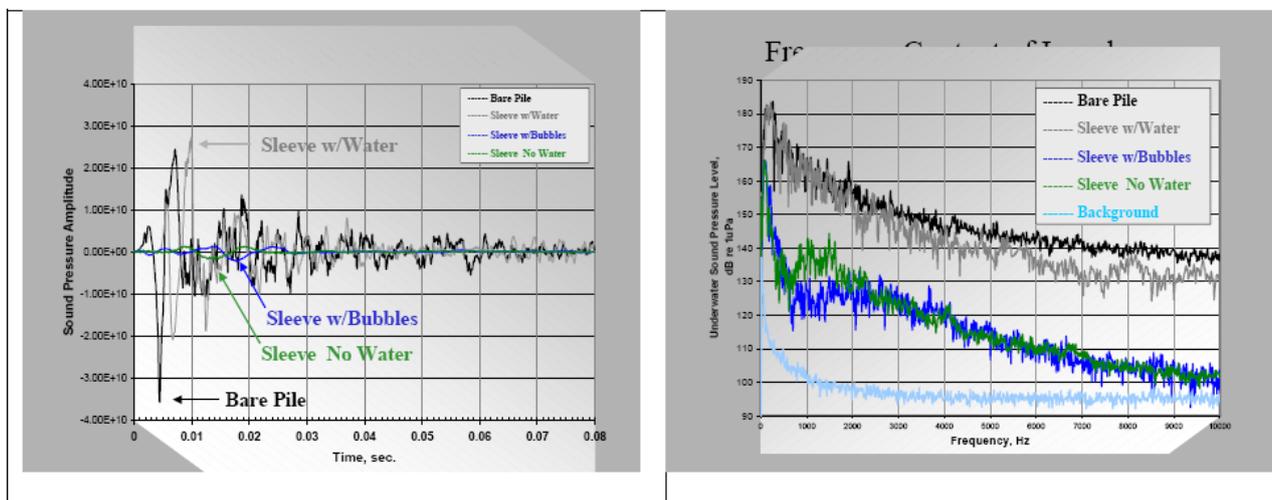


Figura 3.8

### 3.4.2 San Francisco-Oakland Bay Bridge East Span Repacement Project

Le attività di monitoraggio idroacustico (Figura 3.9), specificatamente progettate per poter fornire dati utili alla definizione della MMSZ “Marine Mammal Safety Zone”, ha permesso di verificare un decadimento di 18-19 dB dei livelli di picco e rms al variare della distanza a seguito della predisposizione di camicia coassiale e introduzione di bolle d’aria.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

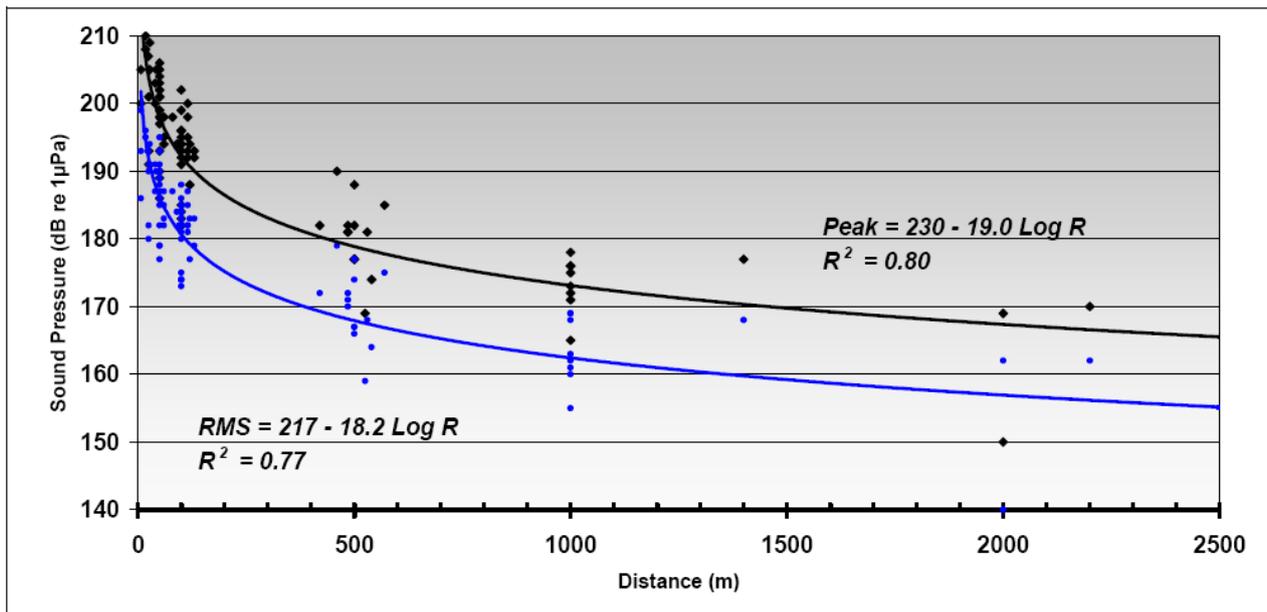


Figura 3.9

### 3.5 Previsioni di impatto

Le emissioni di riferimento per i pontili di Cannitello e Ganzirri, considerando la situazione più sfavorevole in cui l'infissione della camicia dei pali avvenga con battipalo, sono tratte per similitudine di dimensioni del palo e di condizioni di infissione dai dati disponibili per Bay Ship and Yacht Dock, Alameda.

I livelli di picco  $L_{peak}$ , RMS e SEL alla distanza di riferimento di 10 m, riassunti in Tabella 3.4,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

possono essere utilizzati come termini sorgente nelle leggi di regressione individuate negli studi svolti per il New Benicia Martinez Bridge Project. La Figura 3.10 fornisce il decadimento dei livelli di pressione di picco  $L_{peak}$  al variare della distanza tra 0-500 m dal punto di infissione, in assenza (magenta) e in presenza (blu) di intervento di mitigazione (cortina di bolle).

MODALITÀ INFISSIONE	$L_{peak}$	$L_{RMS}$	$L_{SEL}$
Infissione camicia	(196-210) 205	193	180
Infissione camicia con cortina di bolle	195	180	167

Tabella 3.4

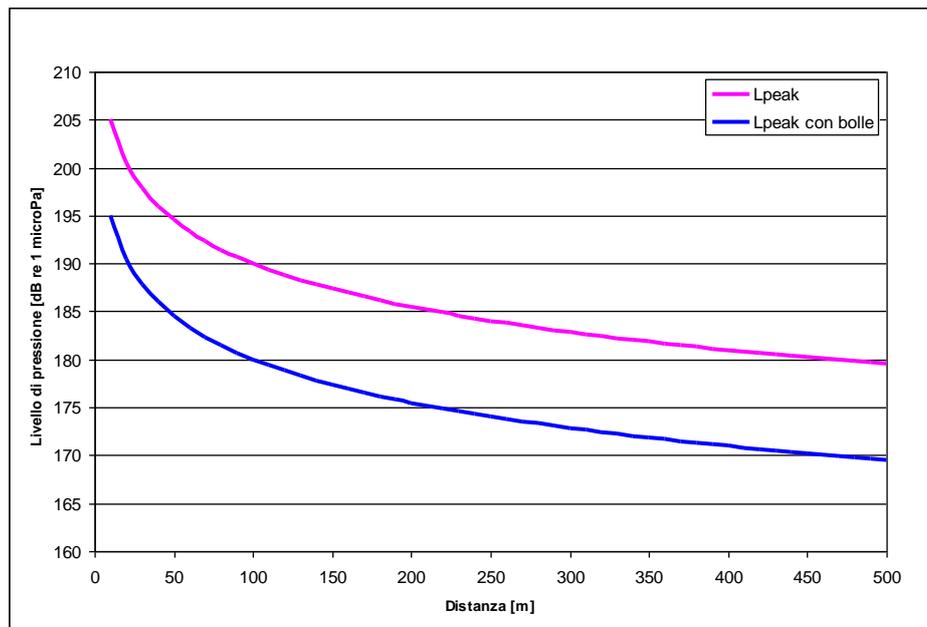


Figura 3.10 Correlazione livello di pressione sonora-distanza

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 Interazioni delle opere con i cetacei

### 4.1 Verifiche preliminari di impatto

L'attività di infissione a percussione della camicia dei pali di sostegno dei pontili produce un suono che è caratterizzato da impulsi multipli con ampia estensione spettrale (Figura 4.1). Ciascuna battitura della camicia determina un evento acustico, un impulso che causa nel generico punto ricevente un livello di pressione sonora caratterizzato da una intensità e da una durata.

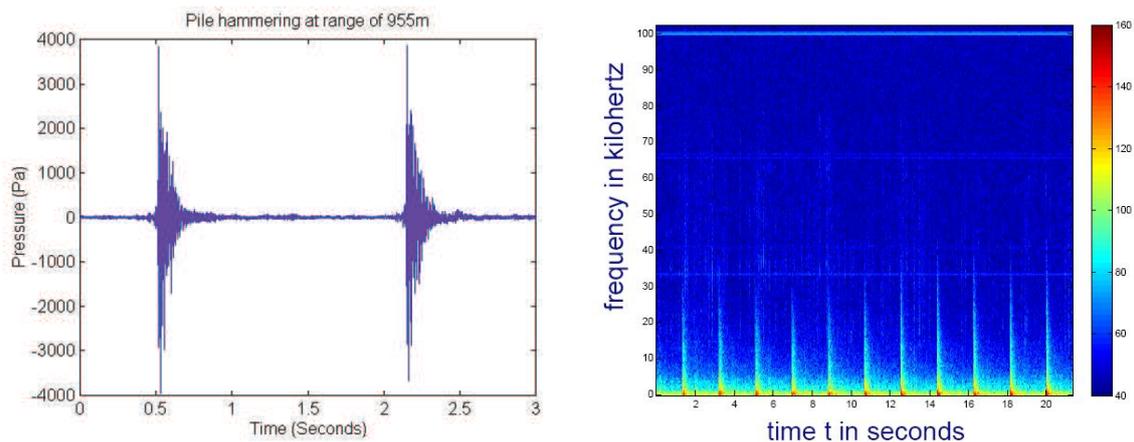


Figura 4.1 Time history esemplificativa

Considerando 50 colpi per l'avanzamento di 1 m della camicia, per ogni camicia infissa nei fondali verranno immessi nelle acque dello Stretto 100 impulsi la cui intensità di picco a 10 m può essere stimata in 205 dB. Nell'ipotesi di realizzare 2 pali in un giorno gli impulsi introdotti nell'ambiente marino diventano 200 e, in caso di contemporanea realizzazione dei pontili lato Sicilia e lato Calabria, si arriva ad un totale di 400 impulsi. Questo scenario di "sollecitazione" dell'ambiente marino potrà durare 14-20 giorni lavorativi.

L'intensità degli impulsi introdotti nella fascia costiera decade lentamente in funzione della distanza con funzione binomiale logaritmica.

Applicando al caso studio il decadimento del livello di picco in funzione della distanza derivato da misure sperimentali si evince che entro un raggio di circa 460 m dal palo, qualora dovesse transitare un cetaceo nelle acque dello Stretto di Messina, questi potrà subire uno spostamento permanente di soglia uditiva (Tabella 4.1). Per distanze maggiori di 460 m gli effetti sulla cetofauna

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

possono essere di discomfort, anche severo, ma non lesivo in termini di funzionalità dell'apparato uditivo.

<b>EFFETTI SUI CETACEI</b>	<b>L<sub>peak</sub></b> dB re 1µPa	<b>Raggio di interazione [m]</b>	
		Impatto	Impatto mitigato
Danni permanenti PTS	230	Impossibili	Impossibili
Spostamento permanente della soglia uditiva PTS	180	463	100
Effetti di discomfort (comunicazione, localizzazione)	< 180	> 463	> 100

Tabella 4.1

Il ricorso a sistemi di controllo delle emissioni sonore in fase di battitura dei pali, e in particolare di una cortina di bolle all'interno di una camicia provvisoria coassiale, nell'ipotesi cautelativa di considerare una perdita di inserzione di 10 dB, riduce sostanzialmente l'ampiezza dell'area critica che viene ad assumere un raggio di 100 m dal palo. A queste distanze dalle attività di costruzione il rischio di avvicinamento di un cetaceo, a causa della presenza stessa del cantiere e della bassa profondità dei fondali, è verosimilmente trascurabile.

Gli effetti di discomfort, di disturbo all'ambiente di vita dei cetacei, sono in ogni caso estesi ad ambiti spaziali molto ampi, dell'ordine di chilometri, e riguardano il mascheramento uditivo delle vocalizzazioni emesse per scopi sociali di comunicazione e di orientamento. Infatti gli impulsi sonori emessi in fase di battitura delle camicie dei pali hanno valori energetici che mantengono livelli alti nel campo delle medie e alte frequenze e, in particolare, nel campo della massima sensibilità uditiva dei cetacei ( $f > 9$  kHz) – Figura 4.2. Questi segnali estranei, caratterizzati da un elevato rapporto S/N (segnale/rumore), possono coprire le vocalizzazioni dei delfini con conseguenti modifiche comportamentali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

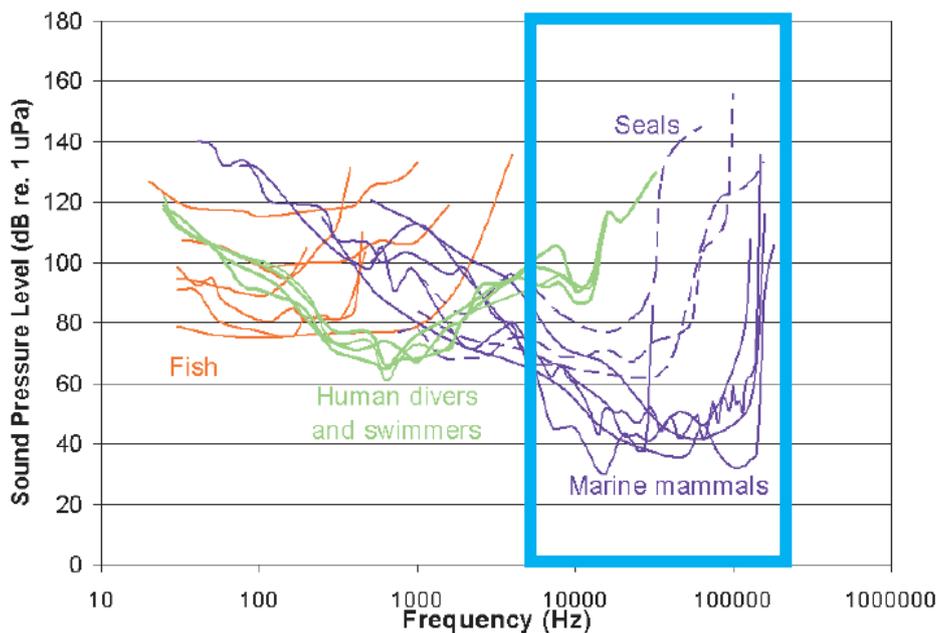


Figura 4.2 Area del discomfort uditivo

## 4.2 Conclusioni operative

Il sistema di infissione a percussione della camicia metallica previsto per la fase iniziale di costruzione dei pali dei pontili può potenzialmente determinare effetti significativi sui cetacei in transito entro un'area critica di raggio 460 m dal palo. Le specie che privilegiano l'habitat costiero,

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

quali il tursiope e il delfino comune, sono potenzialmente a rischio, anche in relazione alla loro stanzialità. Nel caso in cui le attività di costruzione dei pali, di durata complessiva 14-20 giorni lavorativi, potessero essere svolte prima di giugno e dopo ottobre, si verificherebbero condizioni favorevoli al contenimento della probabilità di interazione con le balenottere comuni.

L'applicazione di tecniche di contenimento del livello di pressione degli impulsi sonori con cortine di bolle o l'uso, qualora praticabile, di sistemi di infissione alternativi alla percussione, può consentire di controllare o azzerare gli effetti di danno sulla cetofauna, riducendo nel contempo gli effetti di discomfort, riguardanti il mascheramento uditivo temporaneo delle vocalizzazioni.

Gli approfondimenti del progetto esecutivo e delle condizioni operative in cui verranno condotte le attività di realizzazione dei pontili, unitamente ai riscontri acquisibili da attività di monitoraggio del rumore su pali pilota, con e senza sistemi di attenuazione degli impulsi sonori, permetteranno di prevedere i più efficaci sistemi di contenimento degli effetti diretti ed indiretti sulla cetofauna dello Stretto di Messina.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Nota introduttiva al piano di monitoraggio ambientale

Il PMA ha lo scopo di verificare, prima della realizzazione dei pontili, gli effetti sull'ambiente marino conseguenti alla realizzazione dei pali, con particolare riferimento alla fase di infissione della camicia metallica mediante battipalo idraulico o diesel o vibratore, fino a circa 2 m al di sotto del fondale marino.

Dovrà essere allestito un campo prove strumentato in cui rilevare, una volta stabilito il tipo di camicia in acciaio e il sistema di infissione prescelto:

- i livelli di emissione a 10 m;
- i livelli di emissione a 10 m ottenuti dal sistema di controllo del rumore basato sulla dispersione di bolle d'aria nell'intorno del palo in fase di infissione;
- la propagazione del rumore entro i primi 500 m dal palo (50-100-250-500 m).

I rilievi delle emissioni a 10 m di distanza dal palo pilota hanno innanzitutto lo scopo di ottimizzare, in prima fase, la massa battente e l'energia massima in fase di infissione in base allo spessore dei sedimenti, alla geolitologia dei fondali e alla resistenza all'avanzamento. In seconda fase può essere rilevata e ottimizzata l'efficacia del sistema di controllo della propagazione del rumore.

A valle delle due precedenti attività di monitoraggio è richiesta la verifica della propagazione del rumore al fine di poter dimostrare l'assenza di situazioni di rischio per i cetacei.

Gli indicatori da considerare sono due:

SEL<sub>w</sub>: Livello di singolo evento (Single Event Level) pesato M [dB]

P<sub>peak</sub>: valore di picco di pressione sonora non pesato [dB re 1μPa]

I rilievi possono essere svolti con idrofoni sferici omnidirezionali preamplificati dotati di sistemi riceventi portatili e installati per mezzo di cime ancorate ai fondali, segnalate da boe, o direttamente calate da imbarcazioni.

I rilievi devono essere correlati ai seguenti parametri:

- temperatura dell'acqua;
- profondità;
- salinità;
- tipo di sedimenti dei fondali;
- corrente marina;
- velocità del vento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



I rilievi andranno ripetuti in corso d'opera ogni settimana limitatamente alla fase di realizzazione dei pali dei pontili al fine di poter documentare il mantenimento degli standard di emissione raggiunti nel campo prove.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>IMPATTO ACUSTICO DELLA FASE DI COSTRUZIONE SUI CETACEI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0055_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Bibliografia essenziale

1. C.A.F. De Jong, M.A. Ainslie, "Underwater radiated noise due to the piling for the Q7 Offshore Wind Park", Acoustics 2008, Paris
2. B. Mohammad, R. McHugh, J.Bell, "The effect of shallow water acoustic channel on right whale vocalizations", Acoustics 2008, Paris
3. S.J.Parvin, J.R.Nedwell, E.Harland, "Lethal and physical injury of marine mammals, and requirements for Passive Acoustic Monitoring", Subacoustech Report n. 565R0212, 1997
4. M.Andre, C.Kamminga, "Do odontocete sonar click trains contain rhythmic Informations?", Proceedings of the fifth European Conference on Underwater Acoustics ECUA 2000
5. A.D.Goodson, J.A. Flint, S.C. Pomeroy, T.W.Cranford, "Bio-sonar characteristics of the harbor porpoise", Proceedings of the fifth European Conference on Underwater Acoustics ECUA 2000
6. J. Reyff. P. Donovan, C.R. Greene, "Underwater sound Levels Associated with Construction of the Benicia-Martinez Bridge", Produced by Illingworth&Rodkin, Inc. and Greeneridge Sciences under contract to the California Department of Transportation, Task Order n. 18, Contract n. 43A0063. Agosto 2002.
7. Istituto Thetys, "Studio di settore e del connesso monitoraggio ante operam relativo ai flussi migratori dei cetacei attraverso lo Stretto di Messina", Rapporto Finale, Luglio 2006