

Progetto Definitivo

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA



TYRRHENIAN WIND ENERGY

Ministero dell'Ambiente
e della Sicurezza Energetica

Ministero della Cultura

Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti

*Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale
ex D.lgs. 152/2006*

*Domanda di Autorizzazione Unica
ex D.lgs. 387/2003*

*Domanda di Concessione Demaniale Marittima
ex R.D. 327/1942*

Relazione tecnica VALUTAZIONE IMPATTO ACUSTICO MARINO

Progetto
Dott. Ing. Luigi Severini
Ord. Ing. Prov. TA n.776

Elaborazioni
iLStudio.
Engineering & Consulting **Studio**

ACUMAR

C0123YR00ACUMAR00a



00	Luglio 2023	Emesso per approvazione		C0123YR00ACUMAR00a
Rev. Est.	Data emissione	Descrizione		Cod. Ela.

Cod.:

C	0	1	2	3	Y	R	0	0	A	C	U	M	A	R	0	0	a
Tipo	Num. Com.	Anno	Cod. Set.	Tip. Ela.	Prog. Ela.	Descrizione elaborato						Rev. Est.	Rev. Int.				

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. SCOPO DEL DOCUMENTO E SINTESI DEI RISULTATI	3
3. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO	4
4. LINEE GUIDA E INDIRIZZI NORMATIVI	5
5. CENNI TEORICI	7
5.1. Il suono	7
5.2. Suoni impulsivi e non impulsivi	8
5.3. Misura dell'intensità dell'evento sonoro.....	8
5.3.1. Livelli sonori.....	10
5.3.2. Note per il confronto tra livelli sonori in aria e livelli sonori in acqua	11
5.4. Transmission loss.....	12
5.4.1. Perdite per divergenza geometrica.....	13
5.4.2. Perdite per assorbimento.....	13
5.4.3. Rifrazione del mezzo.....	14
6. SORGENTI DI RUMORE SUBACQUEO	16
6.1. Contributi potenziali all'antropofonia al largo delle coste di Civitavecchia.....	18
6.1.1. Traffico marittimo	18
6.1.1.1. Stima del livello di fondo associato al traffico marittimo	21
6.1.2. Attività di pesca.....	25
6.1.3. Sonar militari.....	25
6.1.4. Sonar civili	27
6.1.5. Esplorazione sismica.....	27
6.1.6. Impact Piling – Infissione a impatto.....	27
7. FUNZIONE BIOLOGICA DEI SUONI PER LA FAUNA MARINA.....	28
7.1. Cetacei.....	28
7.1.1. Sottordine Mysticeti.....	28
7.1.2. Sottordine Odontoceti.....	29
7.2. Pesci ossei (Teleostei).....	30
7.3. Pesci cartilaginei (Elasmobranchi).....	30
7.4. Tartarughe di mare	31
7.5. Crostacei.....	32
7.6. Molluschi.....	33
7.7. Cnidari	33
8. EFFETTI POTENZIALI DEL RUMORE ANTROPOGENICO SULLA FAUNA MARINA	34
8.1. Effetti tipici sui pesci	34
8.1.1. Osteitti	34
8.1.2. Condriotti	34

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA		
PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica - Valutazione impatto acustico marino		
Codice documento: C0123YR00ACUMAR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina II di VII

8.2. Mammiferi marini.....	34
8.2.1. Sottordine Odontoceti.....	35
8.2.2. Sottordine Mysticeti.....	36
8.2.3. Famiglia Phocidae.....	36
8.3. Effetti sulle tartarughe marine.....	36
8.4. Effetti sugli invertebrati.....	37
8.5. Classificazione degli effetti negativi prevedibili.....	37
8.6. Soglie acustiche di danno per i mammiferi marini.....	38
8.7. Soglie acustiche di danno per pesci e rettili marini.....	46
9. ANALISI DELLA FAUNA MARINA NEL MAR TIRRENO	47
9.1. Mammiferi marini.....	47
9.2. Rettili.....	50
9.3. Pesci.....	51
10. MODELLO DI CALCOLO DEL CAMPO SONORO IN ACQUA	52
10.1. Propagazione del suono in acqua	52
10.1.1. Cenni teorici sulla propagazione acustica.....	52
10.1.2. Tool e strategia di calcolo	53
11. RISULTATI E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI	57
11.1. Dati oceanografici di input.....	57
11.1.1. Profili batimetrici e caratteristiche geotecniche del fondale.....	57
11.1.2. Caratteristiche oceanografiche – velocità del suono	60
11.1.3. Assorbimento del mezzo	62
11.2. Emissioni sonore in fase di installazione.....	62
11.2.1. Anchor pile driving.....	64
11.2.1.1. Caratterizzazione acustica della sorgente di rumore.....	65
11.2.1.2. Parametri delle operazioni di battitura.....	67
11.2.1.3. Risultati del modello di propagazione.....	67
11.2.2. Cable trenching.....	73
11.3. Emissione sonora in fase di esercizio.....	75
11.3.1. Caratterizzazione acustica dell'aerogeneratore	75
11.3.2. Ipotesi di calcolo.....	78
11.3.3. Risultati del modello di propagazione	78
11.3.4. Impatto sulla fauna marina.....	86
11.3.4.1. Soglie di danno permanente (PTS) e temporaneo (TTS)	88
11.3.4.2. Soglie di disturbo comportamentale.....	93
11.3.5. Note sull'emissione acustica degli ormeggi.....	98
11.4. Emissione sonora in fase di dismissione.....	98
12. MISURE DI MITIGAZIONE.....	99
12.1. Mitigazioni in fase di costruzione.....	99
12.2. Mitigazioni in fase di esercizio.....	101
12.3. Mitigazioni in fase di dismissione.....	102
13. PIANO DI MONITORAGGIO	103

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica - Valutazione impatto acustico marino		
Codice documento: C0123YR00ACUMAR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina III di VII

13.1. Monitoraggio ante operam	103
13.2. Monitoraggio in fase di costruzione	103
13.3. Monitoraggio in fase di esercizio	104
13.4. Monitoraggio in fase di dismissione	104
14. CONCLUSIONI.....	105

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1 – Schema concettuale dell'impianto.	12
Figura 5.1 – Rappresentazione duale di un segnale sonoro nel dominio del tempo e della frequenza.	15
Figura 5.2 – Pressione di picco, pressione picco-picco e pressione quadratica media. Significato fisico.....	17
Figura 5.3 – Dipendenza della pressione RMS dalla durata della finestra di misura.....	18
Figura 5.4 – Divergenza geometrica: propagazione sferica e cilindrica.	21
Figura 5.5 – Regimi di assorbimento.	22
Figura 5.6 – Generico profilo di velocità.....	23
Figura 6.1 – Contributi allo spettro sonoro ambientale subacqueo a diverse frequenze.	25
Figura 6.2 – Livelli sonori per le principali fonti di insonificazione subacquea.	26
Figura 9.1 – Mappa della distribuzione degli avvistamenti opportunistici (OS) di cetacei di habitat profondi.....	29
Figura 9.2 – Presunta distribuzione delle popolazioni di balenottera comune (<i>Balaenoptera physalus</i>).	30
Figura 9.3 – Avvistamenti di mammiferi marini entro 60 km dalle installazioni offshore del parco eolico.	31
Figura 9.4 – Tasso di avvistamento di <i>Caretta caretta</i> da traghetto.....	32
Figura 9.5 – Mappa di distribuzione della specie <i>Caretta caretta</i> , <i>Chelonia mydas</i> , <i>Dermochelys coriacea</i>	32
Figura 9.6 – Mappa dei siti di nidificazione di <i>Caretta caretta</i>	33

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica - Valutazione impatto acustico marino		
Codice documento: C0123YR00ACUMAR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina V di VII

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 5.1 – Livelli sonori in aria e in acqua.....	19
Tabella 9.1 – Classificazione acustica dei principali cetacei del Mar Mediterraneo.	28

INDICE DELLE VOCI

ACCOBAMS	Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and Contiguous Atlantic Area
AHTS	Anchor Handling Tug Supply vessel
ASW	Anti Submarine Warfare
AZ	Zone of Audibility (Zona di Udibilità)
BAT	Best Available Technology
CCH	Cetacean Critical Habitat
CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
CMS	Convention on the Conservation of Migratory Species
FER	Fonti Energetiche Rinnovabili
FHWG	Fisheries Hydroacoustic Working Group
FOU	Floating Offshore Unit
GES	Good Environmental Status
HF	High Frequency (Marine mammals)
IMO	International Maritime Organization
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
LF	Low Frequency (Marine mammals)
LFAS	Low Frequency Active Sonar
MMO	Marine Mammals Observer
MPSV	Multi Purpose Service Vessel
MSFD	Marine Strategy Framework Directive
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OCA	Other marine Carnivores in Air
OCW	Other marine Carnivores in Water
PCA	Phocid Carnivores in Air
PCW	Phocid Carnivores in Water
PMA	Piano di Monitoraggio Ambientale
PTS	Permanent Threshold Shift
RAM	Range-dependent Acoustic Modelling
RANDI	Research Ambient Noise Directionality
RMS	Root Mean Square
SEL	Sound Exposure Level
SI	Sirenidi

SIA	Studio di Impatto Ambientale
SNPA	Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente
SPL	Sound Pressure Level
SPUE	Sighting Per Unit Effort
SZ	Shut-down Zone
TL	Transmission Loss
TOL	Third Octave Level
TTS	Temporary Threshold Shift
VHF	Very High Frequency (Marine mammals)
VIA	Valutazione di Impatto Ambientale
WTG	Wind Turbine Generator
WWF	World Wildlife Fund
ZHI-PTS	Zone of Permanent Hearing Injury
ZHI-TTS	Zone of Temporary Hearing Injury
ZR-BTS	Zone of Behavioural Responsiveness

1. PREMESSA

Il rumore prodotto dalle attività umane si è progressivamente aggiunto a quello naturale ambientale determinando un progressivo aumento del livello di inquinamento acustico.

Molte specie animali (uomo compreso) sfruttano stimoli fisici come suoni, segnali luminosi, stimoli tattili e chimici per veicolare informazioni e svolgere importanti funzioni biologiche tra cui, ad esempio, la comunicazione e l'interazione sociale, l'orientamento, la reazione al pericolo o il procacciamento del cibo.

Lo scambio di informazioni sonore è fondamentale negli ambienti acquatici più che in aria. L'acqua infatti attenua rapidamente l'intensità dei segnali luminosi all'aumentare della profondità e in ragione diretta della torbidità; gli stimoli tattili e chimici agiscono invece a cortissimo raggio e coinvolgono solo gli individui nelle immediate vicinanze.

Il suono, al contrario, viaggia molto più velocemente e con minore attenuazione in acqua piuttosto che in aria e costituisce pertanto un eccellente mezzo di acquisizione e scambio di informazioni anche a grande distanza. Non deve dunque meravigliare che molti organismi marini utilizzino il suono come principale mezzo di comunicazione, orientamento e foraggiamento [(Hawkins & Popper, 2017) e (Janik & Sayigh, 2013)].

Le vocalizzazioni dei cetacei sono un tipico esempio della *biofonia* marina: il fischio dei delfini, il "clic" dei capodogli e i complessi canti delle megattere in grado di propagarsi per centinaia di chilometri ne sono tipici esempi. Analogamente alcuni pesci, come il merluzzo e la cernia, usano i suoni come mezzo di aggregazione e coordinamento durante la fase di deposizione delle uova.

L'immissione di rumore antropogenico in mare può causare alterazioni dell'ambiente acustico che possono influire negativamente sulla persistenza di popolazioni e specie, soprattutto quando agenti in combinazione con altri fattori di stress (Kunc, et al., 2016).

Evidenze sperimentali su diverse specie marine hanno inoltre evidenziato una crescente perdita di habitat indotta dal rumore, l'aumento dello stress fisiologico sugli individui, il mascheramento di suoni biologicamente importanti, un aumento dei casi di lesioni uditive e, in casi estremi, della mortalità diretta o indiretta (Popper et al., 2014; Southall et al., 2007).

Il recente incremento di rumore subacqueo dovuto all'intensità delle attività umane [(Ross, 1993) e (Andrew, et al., 2002)] ha dunque sollevato notevole preoccupazione in merito ai potenziali effetti nocivi sulle specie marine audio - sensibili.

Numerosi accordi internazionali, tra cui la Convenzione sulle Specie Migratrici (CMS, *Convention on the Conservation of Migratory Species*), l'Accordo sulla Conservazione dei Cetacei del Mar Nero, del Mar Mediterraneo e dell'Area Atlantica Contigua (ACCOBAMS, *Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and Contiguous Atlantic Area*), la Convenzione per la protezione dell'ambiente marino dell'Atlantico nord-orientale (convenzione OSPAR), ribadiscono la responsabilità nel ridurre al minimo l'impatto acustico indotto dalle attività umane sugli organismi marini.

Il rumore sottomarino è diventato inoltre un essenziale aspetto della Direttiva Quadro sulla Strategia per l'Ambiente Marino (MSFD, *Marine Strategy Framework Directive*), adottata dalla Commissione Europea nel Giugno del 2008, nell'obiettivo di raggiungere, entro il 2020, *un buono stato ambientale dell'ambiente marino europeo* (GES, *Good Environmental Status*).

Il livello di rumore ambientale subacqueo è il risultato della sovrapposizione di molteplici sorgenti sonore di origine fisica (vento, pioggia trasporto di sedimenti, terremoti, etc.), biologica (organismi marini) e antropogenica [(Popper & Hastings, 2009) e (Hildebrand, 2009)].

Su scala globale, una delle fonti di rumore sottomarino più intense è quella prodotta dalla navigazione la quale agisce in modo pressoché continuo contribuendo in maniera sostanziale al livello acustico di fondo. Le indagini sismiche, le operazioni di *piling* nella costruzione di talune strutture offshore, le attività militari con utilizzo di sonar o le esplosioni, determinano invece sollecitazioni di tipo impulsivo e ad alta intensità che influenzano gli

ecosistemi marini con possibili effetti negativi sia a livello locale che regionale.

In coerenza con le politiche ambientali degli ultimi anni, orientate alla decarbonizzazione del fabbisogno energetico ad una maggiore indipendenza e sicurezza negli approvvigionamenti energetici, è prevedibile un sempre più intenso sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili (FER), in particolar modo il vento, soprattutto in ambito offshore.

Le attività di realizzazione di un impianto eolico offshore prevedono diverse fasi, ognuna caratterizzata da una propria potenzialità d'impatto. Generalmente si può far riferimento a quattro fasi distinte:

- *Fase 1:* fase di studio nella quale si effettuano indagini ambientali su dati preesistenti eventualmente supportati da nuove acquisizioni mediante campagne oceanografiche *ad hoc*;
- *Fase 2:* fase di cantiere durante la quale sono prevedibili attività di trasporto e installazione delle strutture offshore;
- *Fase 3:* fase di esercizio in cui si realizzano la produzione energetica, la gestione il monitoraggio e la manutenzione degli impianti;
- *Fase 4:* fase di dismissione durante la quale avviene lo smantellamento delle strutture.

Gli impatti ambientali indotti sono diversi e con caratteristiche di breve e/o lungo periodo. Le fasi di cantiere, sia in installazione che in dismissione, sono generalmente responsabili di impatti di breve periodo, la fase di esercizio determina invece impatti di lungo periodo (confrontabile con la vita utile dell'impianto).

Uno studio (Madsen, et al., 2006) ha affermato tuttavia che i livelli di rumore generati dalle turbine eoliche offshore in esercizio sono in genere di bassa entità, soprattutto considerando gli attuali livelli di rumore causati da altre attività umane come la navigazione. Il rumore emesso in acqua da una turbina eolica è infatti di gran lunga inferiore rispetto a quello emesso da una imbarcazione, mediamente 10 – 20 dB inferiore nello stesso intervallo di frequenze e, in merito agli impatti sulla fauna marina “[...] sulla base delle conoscenze esistenti sulla soglia uditiva di quattro specie di mammiferi marini [...] l'impatto del rumore operativo delle turbine è probabilmente nullo o trascurabile [...]” (WWF, 2014). Analogamente, “[...] indagini sperimentali condotte sugli impatti del rumore emesso in esercizio dalle turbine eoliche sui pesci non ha evidenziato nei soggetti studiati alcuna reazione comportamentale o psicologica avversa [...]” (WWF, 2014).

Qualsiasi valutazione deve comunque effettuarsi con ragionevole senso di precauzione nell'ottica di armonizzare le sollecitazioni antropiche con l'ecosistema naturale in cui esse agiscono tenendo in debito conto la possibilità di effetti cumulativi.

2. SCOPO DEL DOCUMENTO E SINTESI DEI RISULTATI

Il presente studio è finalizzato alla valutazione di impatto acustico sull'habitat marino, con particolare riferimento agli effetti dell'immissione di rumore subacqueo sulla fauna marina da parte del progetto per la realizzazione di un parco eolico offshore al largo delle coste di Civitavecchia. L'analisi è estesa all'intero sviluppo temporale del progetto, dalla fase di costruzione a quella di esercizio fino alla successiva dismissione degli impianti. Sono altresì proposte e analizzate, se applicabili, le più idonee misure di mitigazione.

In generale, le intense attività ed il traffico marittimo che caratterizzano il Mediterraneo sono responsabili di una elevata insonificazione e rendono trascurabili i contributi derivanti dalla costruzione, operazione e dismissione del parco eolico.

L'impatto potenzialmente più rilevante è associato alle operazioni di installazione dei pali di ancoraggio durante la fase di costruzione, per definizione, temporanea e di breve durata. Il mammifero più sensibile ai suoni in bassa frequenza (LF), la cui presenza è stata registrata nell'area, è la Balenottera Comune. Nel caso specifico, sulla base degli studi eseguiti sul dimensionamento e l'installabilità dei pali, sono stati determinati areali attorno alla sorgente di rumore, al di là dei quali non vi sono danni né permanenti né temporanei all'udito del mammifero soggetto all'esposizione sia cumulata sia di singolo impatto.

L'assenza di individui animali all'interno di questi areali sarà garantita dalla combinazione di monitoraggio attivo ed esecuzione di convalidate procedure di battitura dei pali con procedura *soft start* (aumento molto graduale dell'energia di battitura) volte a favorire l'allontanamento in sicurezza degli animali dalle sorgenti sonore così riducendo al minimo gli impatti.

Il presente documento si compone di:

- una descrizione sintetica del progetto;
- un'analisi delle principali linee guida e indirizzi normativi nell'ambito delle valutazioni di impatto acustico subacqueo;
- una sezione relativa alle definizioni ed ai concetti base dell'acustica subacquea, al fine di una migliore comprensione del documento;
- una trattazione relativa alle principali sorgenti di rumore subacqueo, con riferimento anche all'area di indagine;
- una descrizione della funzione biologica dei suoni per le specie marine, nonché una preliminare analisi delle potenziali interazioni tra sorgenti antropiche e taxa marini;
- un'analisi delle specie marine presenti nel Mar Mediterraneo e più in dettaglio nell'area del mare antistante alle coste di Civitavecchia;
- una descrizione dei modelli matematici generali per l'analisi della propagazione del suono in acqua utilizzati per la valutazione del campo sonoro;
- una sezione riportante i risultati dei modelli di calcolo, la definizione del campo sonoro subacqueo previsto e il confronto con le soglie di danno e disturbo comportamentale proposte dalla bibliografia esistente;
- una descrizione delle possibili misure di mitigazione, ove richieste, e definizione dei piani di monitoraggio ambientali dalla fase ante-operam a quella di dismissione;
- opportune conclusioni e valutazione degli impatti sui ricettori sensibili sia in fase di costruzione che in fase di esercizio e dismissione degli impianti, anche mediante utilizzo di apposite matrici di impatto.

3. DESCRIZIONE SINTETICA DEL PROGETTO

L'impianto di produzione eolica, a realizzarsi nel Mar Tirreno nel settore geografico sud-ovest delle coste di Civitavecchia, a oltre 20 km dalle più vicine coste laziali, garantirà una potenza nominale massima pari a 504 MW attraverso l'utilizzo di 28 aerogeneratori sostenuti da innovative fondazioni galleggianti.

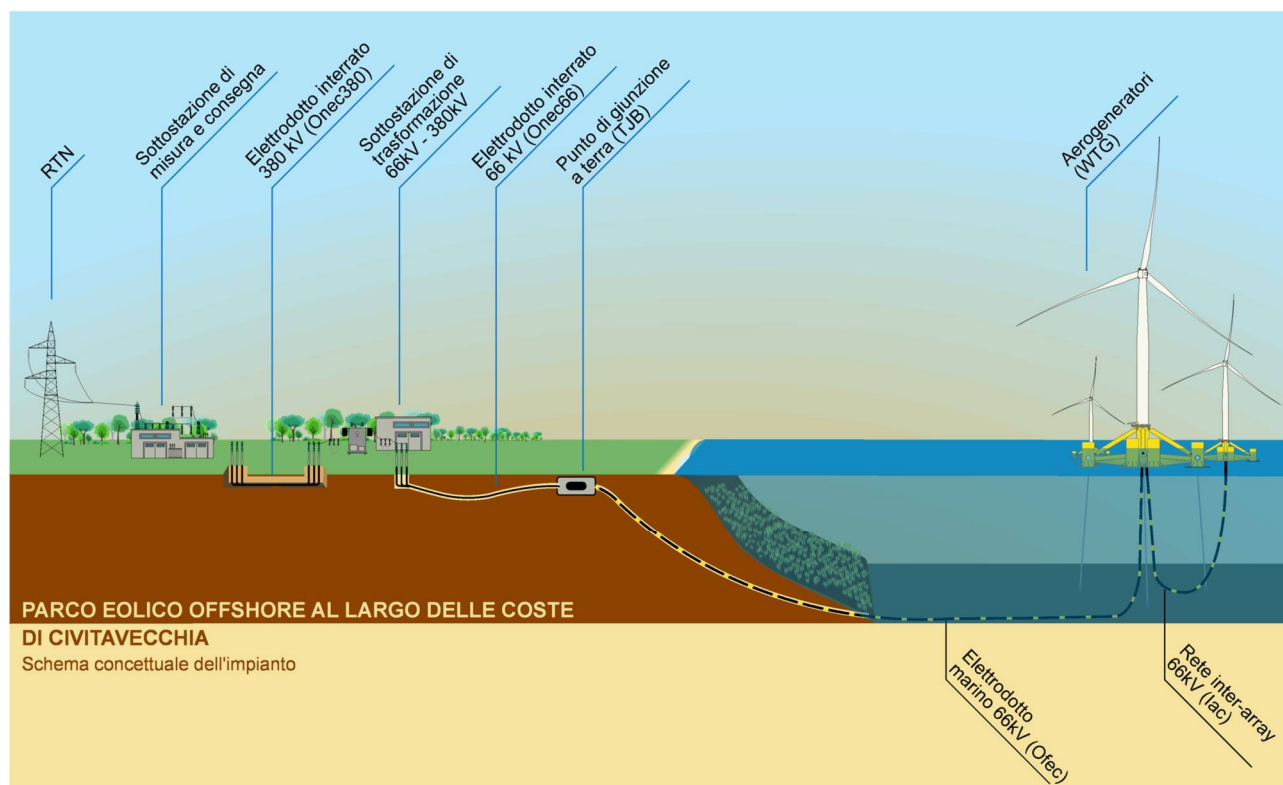


Figura 3.1 – Schema concettuale dell'impianto.

Elaborazione iLStudio.

L'impiego di questi sistemi consente l'installazione in aree marine profonde e molto distanti dalle coste, dove i venti sono più intensi e costanti e la percezione visiva dalla terraferma è estremamente ridotta, mitigando così gli impatti legati alle alterazioni del paesaggio tipici degli impianti realizzati sulla terraferma o in prossimità delle coste. La collocazione del parco, frutto di una approfondita conoscenza delle caratteristiche del sito, armonizza le risultanze di studi e consultazioni finalizzati alla migliore integrazione delle opere all'interno del contesto naturale e antropico pre-esistente.

L'opera in oggetto, nella sua completezza, si sviluppa secondo una componente a mare (sezione offshore), dedicata prevalentemente alla produzione di energia, ed una a terra (sezione onshore) destinata al suo trasporto e immissione nella rete elettrica nazionale.

Ciascun aerogeneratore (*Wind Turbine Generator – WTG*) sarà costituito da un rotore tripala con diametro fino a 255 m calettato su torre ad una quota sul livello medio mare fino a 165 m. L'energia elettrica prodotta dalle turbine alla tensione di 66 kV sarà collettata attraverso una rete di cavi marini inter-array (*Inter-array cable - Iac*) e convogliata verso la terraferma attraverso un sistema di 6 cavi marini tripolari di esportazione (*Offshore export cable - Ofec*) a 66 kV, con approdo in TOC a circa 200 m oltre la linea di costa in un punto di giunzione a terra (*Transition Junction Bay - TJB*). Da qui, previo collegamento a 66 kV (*Onshore export cable – Onec66*), l'energia sarà trasportata presso una sottostazione elettrica di trasformazione prossima al punto di giunzione, ove sarà effettuata l'elevazione della tensione nominale da 66 kV a 380 kV. Un nuovo elettrodotto interrato di esportazione a 380 kV (*Onshore export cable – Onec380*), permetterà quindi il collegamento alla nuova sottostazione di misure e consegna in prossimità della esistente stazione elettrica RTN TERNA "Aurelia" per la definitiva connessione alla Rete Nazionale.

4. LINEE GUIDA E INDIRIZZI NORMATIVI

La valutazione di impatto acustico rientra tra le attività di studio e documentazione finalizzate alla valutazione di impatto ambientale (VIA); tali attività sono previste e regolate dal Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152 recante "Norme in materia ambientale" che, in base agli aggiornamenti introdotti dal comma 4, art. 25 del Decreto legislativo n. 104 del 2017, definisce il ricorso a linee guida nazionali e norme tecniche per la definizione dei requisiti e dei contenuti minimi dello Studio di Impatto Ambientale (SIA). In particolare [...] con uno o più decreti del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con il Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo e con il Ministero della salute, sono adottate, su proposta del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente, linee guida nazionali e norme tecniche per l'elaborazione della documentazione finalizzata allo svolgimento della valutazione di impatto ambientale, anche ad integrazione dei contenuti degli studi di impatto ambientale di cui all'Allegato VII alla parte seconda del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. [...].

In accordo alle linee guida SNPA (Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente) n. 28/2020 [...] il SIA deve esaminare le tematiche ambientali, intese sia come fattori ambientali sia come pressioni, e le loro reciproche interazioni in relazione alla tipologia e alle caratteristiche specifiche dell'opera, nonché al contesto ambientale nel quale si inserisce, con particolare attenzione agli elementi di sensibilità e di criticità ambientali preesistenti. [...] È inoltre necessario caratterizzare le pressioni ambientali, tra cui quelle generate dagli Agenti fisici, al fine di individuare i valori di fondo che non vengono definiti attraverso le analisi dei suddetti fattori ambientali, per poter poi quantificare gli impatti complessivi generati dalla realizzazione dell'intervento. [...] (SNPA, 2020).

Tali obiettivi sono coerenti con le indicazioni delle direttive comunitarie per la salvaguardia dell'ambiente marino tra cui la direttiva comunitaria n. 56 del 17 giugno 2008 (MSFD, Marine Strategy Framework Directive), recepita in Italia con Decreto Legislativo n. 190 del 2010.

La Direttiva delinea un quadro normativo finalizzato ad una più efficace protezione dell'ambiente marino europeo mediante l'istituzione di un importante strumento di governance mirato alla salvaguardia dell'ecosistema marino attraverso la promozione di strategie per lo sfruttamento sostenibile delle risorse nel rispetto della diversità e della vitalità ecologica.

Il buono stato ambientale (GES, *Good Environmental Status*) è misurato attraverso *descrittori dello stato ambientale* soggetti a specifici target di qualità.

Il rumore è una forma di energia e, in quanto tale, rientra nella classe delle immissioni energetiche afferenti al descrittore 11 per il quale "[...] l'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine, è a livelli che non hanno effetti negativi sull'ambiente marino [...]". In particolare, per il buono stato ambientale:

- **(G 11.1)** i livelli dei suoni impulsivi di elevata intensità a bassa e media frequenza, introdotti in ambiente marino attraverso attività antropiche, sono tali da non comportare effetti negativi a lungo termine sugli ecosistemi marini e le attività antropiche che introducono tali suoni sono regolate e gestite affinché non vi siano impatti significativi a lungo termine sulle specie marine a livello di popolazione.
- **(G 11.2)** i livelli dei suoni continui a bassa frequenza introdotti in ambiente marino attraverso attività antropiche sono tali da non comportare effetti negativi a lungo termine sugli ecosistemi marini e sono tali da non comportare il rischio di eventuali impatti comportamentali o percettivi sulle specie marine a livello di popolazione.
- In relazione ai suddetti, la Direttiva individua i target seguenti (descritti ma non ancora implementati):
- **(T 11.1)** è implementato e reso operativo un Registro nazionale dei suoni impulsivi che tenga conto di tutte le attività antropiche che introducono suoni impulsivi nel range 10 Hz – 10 kHz in ambiente marino.
- **(T 11.2)** è definito un "baseline level" per i suoni continui a bassa frequenza ("ambient noise") nelle tre sottoregioni marine.

Ai fini del presente documento e per quanto attiene strettamente agli effetti indotti dal rumore al livello di ecosistema marino, [...] *le analisi volte alla previsione degli impatti sono effettuate attraverso: a) la descrizione degli effetti diretti, indiretti, cumulativi, a breve e lungo termine, reversibili ed irreversibili potenzialmente indotti sulle componenti [...] faunistiche e sugli equilibri naturali degli ecosistemi presenti, durante la fase di costruzione dell'opera in progetto b) la descrizione degli effetti diretti, indiretti, cumulativi, a breve e lungo termine, reversibili e irreversibili potenzialmente indotti sulle componenti [...] faunistiche e sugli equilibri naturali degli ecosistemi, durante la fase di esercizio dell'opera in progetto c) la valutazione della capacità di resilienza degli ecosistemi potenzialmente interferiti d) l'individuazione delle interazioni con le altre tematiche (sorgenti di rumore [...]) e) l'individuazione delle aree di particolare valenza ecologica direttamente interferite dall'opera in progetto, in modo temporaneo o permanente. [...]* (SNPA, 2020).

In particolare (SNPA, 2020) [...] nella documentazione dei progetti che per la loro realizzazione e/o esercizio prevedono attività in ambiente acquatico devono essere forniti gli elementi relativi alla compatibilità dei progetti stessi con i possibili recettori, le analisi volte alla caratterizzazione dello stato dell'ambiente ed alla sostenibilità dell'intervento proposto, sono effettuate attraverso:

- 1) Definizione dell'area di influenza, caratteristiche geografiche, caratteristiche acustiche delle immissioni previste e criticità [...],
- 2) *Studio dei Recettori [...]*, che comprenda l'identificazione dei ricettori sensibili e degli opportuni criteri di esposizione¹,
- 3) *Analisi delle Pressioni [...]*, scegliendo modelli e parametri che tengano conto sia delle caratteristiche delle sorgenti sia delle condizioni ambientali al contorno che possano influenzare la trasmissione sonora,
- 4) *Definizione degli Impatti [...]*, attraverso la valutazione dello stato *ante operam* e la perimetrazione di aree di rischio *post operam* compresi gli effetti delle eventuali misure di mitigazione,
- 5) Impatti cumulativi [...].

¹ Il criterio di base prevede che le immissioni programmate non debbano superare la soglia che genera disturbi comportamentali, basato su Southall, et al. (2007, 2019) e su evidenza scientifica successivamente sviluppata (vedi: Dunlop 2017, Southall 2019, Ellison 2012, Faulkner 2018).

5. CENNI TEORICI

5.1. Il suono

Da un punto di vista fisico il *suono* è una perturbazione di pressione all'interno di un mezzo elastico. La perturbazione di pressione è generalmente indicata come *onda sonora* caratterizzata da specifiche grandezze misurabili quali, ad esempio, la *frequenza* o il *periodo di oscillazione*, la *celerità* e la *lunghezza d'onda*.

La frequenza f di un suono è definita come il numero di oscillazioni o vibrazioni all'unità di tempo delle particelle che costituiscono l'onda. Essa si misura in cicli al secondo ovvero in hertz (Hz) (1 Hz = 1 ciclo/sec) ed il suo reciproco è definito *periodo dell'oscillazione* T .

La celerità c del suono, spesso detta *velocità del suono* è una caratteristica del mezzo e del suo stato termodinamico ed è una funzione diretta del livello di aggregazione molecolare e dell'elasticità del mezzo.

In linea di massima, la velocità del suono cresce in ragione della densità del mezzo, ad esempio, in acqua marina la velocità del suono è di circa 1500 m/s, mentre in aria è di circa 340 m/s.

La velocità del suono in acqua dipende dalla totalità delle caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua poiché la densità dipende, a sua volta, dalla temperatura, dalla salinità e dalla pressione idrostatica (profondità). Questi parametri variano, non solo lungo la colonna d'acqua ma anche secondo la latitudine, influenzando notevolmente la velocità di propagazione del suono che può variare in un intervallo generalmente tra 1400 a 1600 m/s.

Infine, la lunghezza d'onda λ è definita come la distanza tra due fronti d'onda in fase ovvero tra due punti omologhi di una stessa oscillazione sonora (ad esempio tra due punti di massima compressione o rarefazione). Essa è legata alla frequenza tramite la celerità dell'onda secondo la relazione:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{eq. (1)}$$

La più semplice rappresentazione di un suono, corrispondente ai cosiddetti toni puri, è l'onda sinusoidale la cui legge oraria è scrivibile nella forma:

$$p(t) = p \sin(\omega t) = p \sin(2\pi f t) \quad \text{eq. (2)}$$

in cui ω e p sono rispettivamente la *pulsazione* e l'*ampiezza* dell'onda sinusoidale. Ogni segnale sonoro complesso può essere rappresentato da sovrapposizione di infiniti toni puri o armoniche (scomposizione del segnale in serie di Fourier). Il contenuto in armoniche del segnale è sintetizzato nel suo *spettro sonoro* o *funzione di densità spettrale* $S(f)$ ovvero la trasposizione del segnale dal dominio del tempo a quello delle frequenze.

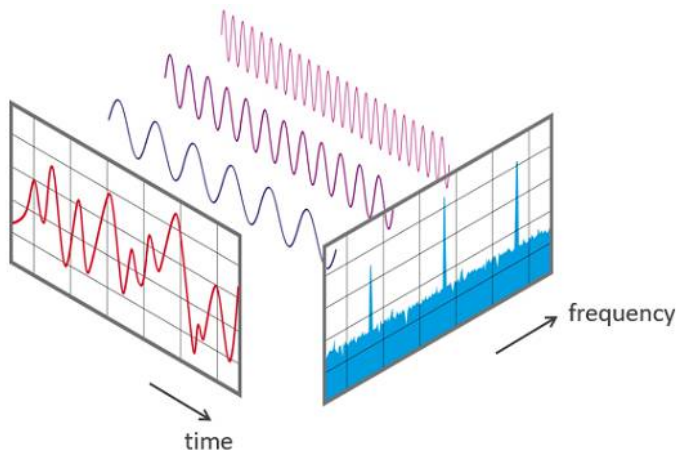


Figura 5.1 – Rappresentazione duale di un segnale sonoro nel dominio del tempo e della frequenza.

Lo spettro sonoro $S(f)$ viene solitamente discretizzato in bande di frequenza. Generalmente si fa riferimento a due discretizzazioni principali, in banda d'ottava (*octave band*) e in terzo di banda d'ottava (*1/3 octave band*). Un'ottava corrisponde ad un raddoppio di frequenza, ovvero, le frequenze estreme della banda sono una il doppio dell'altra. Detta quindi $f_c(i)$ la i -esima frequenza di centro banda, nota la funzione di densità spettrale $S(f)$ il livello sonoro di banda vale:

$$L_{p,b}^i = 10 \log_{10} \left[\int_{f_{lo}}^{f_{hi}} S(f) df \right] \quad \text{eq. (3)}$$

La somma degli n livelli in banda d'ottava è, ovviamente, pari al livello sonoro in banda larga del segnale originale ovvero:

$$L_p = 10 \log_{10} \sum_n 10^{L_{p,b}^i/10} \quad \text{eq. (4)}$$

5.2. Suoni impulsivi e non impulsivi

La misura del livello di sollecitazione indotto da uno o più eventi sonori su un ricettore dipende dalla natura e dalle caratteristiche della sorgente sonora ed in parte dalle caratteristiche dell'ambiente di propagazione fino al ricettore.

Da un punto di vista pratico, si suole generalmente distinguere tra:

- sorgenti sonore di tipo *impulsivo*, e
- sorgenti sonore di tipo *non impulsivo*.

I suoni emessi da sorgenti sonore di tipo *impulsivo* sono caratterizzati da un aumento repentino della pressione sonora fino ad un valore massimo cui segue un decadimento rapido eventualmente oscillante. Il *tempo di salita* della perturbazione sonora è la principale caratteristica di questa tipologia di sorgenti e ne determina l'elevato contenuto in frequenza (*broadband noise*, rumore a banda larga). L'estensione alle alte frequenze dipende dalla durata della finestra di salita².

I suoni emessi da sorgenti impulsive, gli *impulsi*, hanno, in generale, una maggiore capacità di indurre lesioni fisiche.

I suoni emessi da sorgenti non impulsive, siano essi intermittenti o continui, non godono invece delle proprietà essenziali degli impulsi (ad esempio, il ridotto tempo di salita) e possono essere tonali, a banda larga o misti.

È necessario infine distinguere tra suoni impulsivi alla sorgente e suoni impulsivi al ricettore. Un suono impulsivo alla sorgente può infatti perdere tale caratteristica riverberando durante la propagazione fino al ricettore.

5.3. Misura dell'intensità dell'evento sonoro

L'intensità di un suono è correlata all'ampiezza dell'onda sonora; suoni con maggiore ampiezza risulteranno più forti, nel gergo comune con un "volume più alto", onde con ampiezza inferiore risulteranno invece più deboli.

L'ampiezza di un'onda sonora può essere descritta in modi diversi dipendenti dalle caratteristiche dell'onda stessa.

Il modo più semplice per caratterizzare l'ampiezza di un'onda sonora consiste nel determinare il valore

² Sorgenti impulsive ideali di tipo *Dirac* sono caratterizzate da una finestra di salita di durata infinitesima (tendente a zero) ed eccitano l'intero spettro delle frequenze.

massimo della pressione sonora istantanea $p(t)$ generata durante l'evento sonoro; poiché l'oscillazione determina stati di compressione e rarefazione del mezzo, la pressione relativa al livello ambiente potrà assumere nel tempo valori positivi o negativi.

La *pressione sonora di picco* p_{peak} è allora definita come il valore assoluto massimo della pressione sonora istantanea durante un intervallo di tempo specificato ed è espressa in pascal (Pa).

$$p_{peak} = \max|p(t)| \quad [\text{Pa}] \quad \text{eq. (5)}$$

Un'altra semplice misura di ampiezza consiste nel determinare la massima variazione di pressione di un evento sonoro; si parla in tal caso di *pressione picco - picco* $p_{peak-peak}$ definita come differenza tra il valore massimo e il valore minimo assunti dalla pressione istantanea $p(t)$ nell'arco di un evento sonoro.

$$p_{peak-peak} = \max[p(t)] - \min[p(t)] \quad [\text{Pa}] \quad \text{eq. (6)}$$

Entrambe le metriche descritte sono indipendenti dalla durata dell'evento sonoro.

Un modo più complesso di caratterizzare un'onda sonora consiste invece nel determinare la cosiddetta *pressione quadratica media* o p_{RMS} (RMS, Root Mean Square).

La *pressione sonora quadratica media* p_{RMS} è la media quadratica della pressione sonora generata durante un evento sonoro in una finestra temporale T_f .

$$p_{RMS} = \frac{1}{T_f} \int_{T_f} p^2(t) dt \quad [\text{Pa}] \quad \text{eq. (7)}$$

L'ampiezza della finestra viene scelta con l'obiettivo di catturare la variabilità caratteristica della perturbazione sonora.

La Figura 5.2 riporta una efficace rappresentazione grafica delle tre metriche acustiche descritte, applicate al caso di un'onda sinusoidale pura.

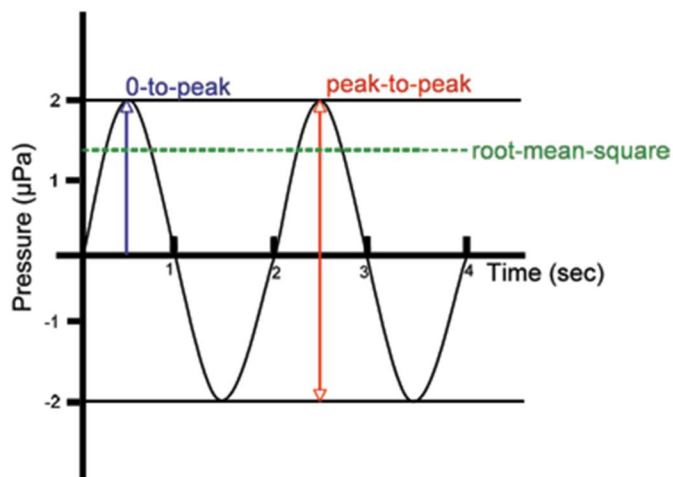


Figura 5.2 – Pressione di picco, pressione picco-picco e pressione quadratica media. Significato fisico.

Fonte: <https://dosits.org>.

La pressione RMS è spesso utilizzata nella caratterizzazione di segnali sonori "semplici" e lentamente variabili nel tempo. In presenza di segnali sonori impulsivi è generalmente più semplice stimare le pressioni di picco e/o picco - picco. Inoltre nel calcolo della pressione RMS è fondamentale scegliere una adeguata finestra temporale di analisi. Poiché infatti, nella definizione del valore RMS, interviene la durata della finestra di analisi con una dipendenza di tipo inverso, l'entità della pressione RMS, a parità di energia del segnale aumenta o diminuisce inversamente al tempo di misura. Tale caratteristica è particolarmente delicata nella misura di intensità di segnali impulsivi come mostrato in Figura 5.3.

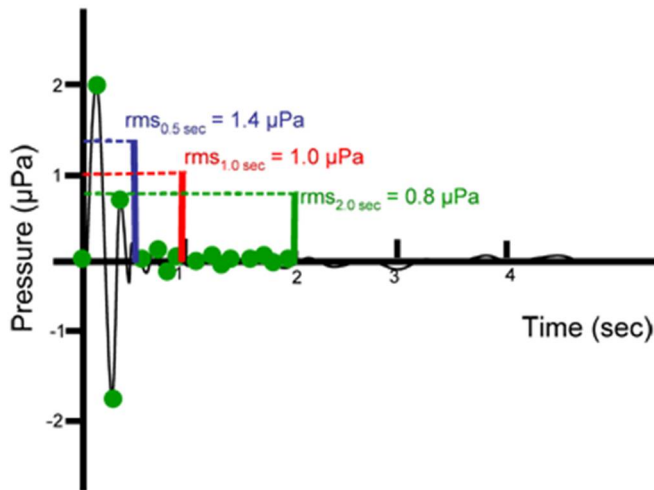


Figura 5.3 – Dipendenza della pressione RMS dalla durata della finestra di misura.

Fonte: <https://dosits.org>.

Un'altra misura di intensità di comune utilizzo è infine l'*esposizione sonora E* definita come l'integrale della pressione quadratica nel tempo di esposizione all'evento sonoro:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt \quad [\text{Pa}^2 \text{ s}] \quad \text{eq. (8)}$$

La metrica più adatta per la caratterizzazione di un'onda sonora dipende dalle caratteristiche della sorgente sonora e dall'obiettivo di analisi.

Nell'ambito delle analisi di impatto sulla fauna marina, poiché ad esempio la maggior parte degli apparati uditivi dei mammiferi marini sono sensibili all'intensità dell'onda sonora, una metrica molto utile è la pressione RMS quando si analizzano segnali sonori non impulsivi. Il rischio che un suono impulsivo possa produrre danni fisici dipende invece dal valore della pressione di picco raggiunta durante l'evento sonoro.

5.3.1. Livelli sonori

Le pressioni sonore che si riscontrano normalmente in ambiente (acqua o aria) si distribuiscono su un intervallo di valori molto grande (l'apparato uditivo umano, ad esempio, può recepire stimoli da 10 a 100.000.000 µPa).

Per semplicità si adotta generalmente una scala logaritmica nota come scala dei decibel la cui unità di misura è il decibel (dB) e i cui valori hanno significato solo se è incluso un opportuno livello di riferimento.

In acustica subacquea tale riferimento è fissato ad 1 µPa mentre nelle analisi di propagazione in aria ci si riferisce alla pressione di 20 µPa.

Si definisce allora livello di pressione sonora la quantità:

$$L = 10 \log_{10} \left[\frac{p_{met}^2}{p_0^2} \right] \text{ dB re } p_0 \quad \text{eq. (9)}$$

in cui p_{met} è una determinata metrica di misura dell'intensità sonora.

Si definiscono dunque *livello di pressione sonora di picco* L_{pk} , livello di pressione sonora picco – picco L_{px-pk} e livello di pressione sonora RMS p_{RMS} le quantità:

$$L_{pk} = 10 \log_{10} \left[\frac{p_{peak}^2}{p_0^2} \right] \text{ dB re } p_0$$

$$L_{pk-pk} = 10 \log_{10} \left[\frac{p_{peak-peak}^2}{p_0^2} \right] \text{ dB re } p_0 \quad \text{eq. (10)}$$

$$L_{p,RMS} = 10 \log_{10} \left[\frac{p_{RMS}^2}{p_0^2} \right] \text{ dB re } p_0$$

rispettivamente. Il livello di esposizione sonora SEL può scriversi invece nella forma:

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\frac{E}{E_0} \right) \text{ dB re } E_0 \quad \text{eq. (11)}$$

5.3.2. Note per il confronto tra livelli sonori in aria e livelli sonori in acqua

Quando si valuta la propagazione del suono in ambiente subacqueo è necessario considerare alcune differenze rispetto al caso della propagazione in aria. La prima sostanziale differenza è il valore di riferimento della pressione sonora. Il valore di riferimento per la pressione sonora subacquea è storicamente e convenzionalmente fissato ad $1 \mu\text{Pa}$; nelle analisi di propagazione in aria invece ci si riferisce tipicamente al valore di riferimento $20 \mu\text{Pa}$.

A parità di pressione sonora l'utilizzo di livelli di riferimento differenti determina un primo offset tra le misure in dB re $20 \mu\text{Pa}$ e dB re $1 \mu\text{Pa}$. Infatti, indicando con L_{air} ed L_{H2O} i livelli sonori in aria e in acqua relativi alla stessa pressione sonora p si può scrivere:

$$L_{air} = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{20 \mu\text{Pa}} \right)^2 \quad \text{eq. (12)}$$

$$L_{H2O} = 10 \log_{10} \left(\frac{p}{1 \mu\text{Pa}} \right)^2$$

Sottraendo membro a membro:

$$L_{air} - L_{H2O} = 10 \left[\log_{10} \left(\frac{p}{20 \mu\text{Pa}} \right)^2 - \log_{10} \left(\frac{p}{1 \mu\text{Pa}} \right)^2 \right] = 20 \log \left(\frac{1 \mu\text{Pa}}{20 \mu\text{Pa}} \right) \cong 26 \text{ dB} \quad \text{eq. (13)}$$

Due suoni caratterizzati da identica pressione sonora p non sono però ugualmente intensi in aria e in acqua. In generale, si definisce intensità sonora la quantità:

$$I = p^2 / \rho c \quad \text{eq. (14)}$$

in cui p è la pressione sonora, ρ e c la densità e la velocità del suono nel mezzo. Il prodotto ρc viene generalmente indicato come *impedenza acustica*.

L'impedenza acustica dell'acqua è molto maggiore dell'impedenza acustica dell'aria ovvero, per una stessa pressione sonora l'intensità del suono in acqua è minore dell'intensità sonora prodotta in aria. Operando quindi un confronto a parità di energia della sollecitazione acustica, ovvero a parità di intensità sonora, si può scrivere:

$$I_{air} = \frac{p_{air}^2}{\rho_{air} c_{air}} = \frac{p_{H2O}^2}{\rho_{H2O} c_{H2O}} = I_{H2O} \quad \text{eq. (15)}$$

tramite cui:

$$p_{H2O}^2 = p_{air}^2 \frac{\rho_{H2O} c_{H2O}}{\rho_{air} c_{air}} = \beta^2 p_{air}^2 \quad \text{eq. (16)}$$

Sostituendo quindi nelle relazioni di eq. (12) per ricavare la differenza di livello in aria e in acqua a parità di intensità sonora si ottiene:

$$L_{air} - L_{H2O} = 10 \left[\log_{10} \left(\frac{p}{20 \mu\text{Pa}} \right)^2 - \log_{10} \left(\frac{\beta p}{1 \mu\text{Pa}} \right)^2 \right] = 20 \log \left(\frac{1 \mu\text{Pa}}{\beta \times 20 \mu\text{Pa}} \right) \cong -62 \text{ dB} \quad \text{eq. (17)}$$

In altre parole un livello sonoro in aria di 50 dB re 20 μPa (livello tipico di una conversazione) corrisponde, a pari intensità del segnale ovvero a pari energia acustica, ad un livello sonoro in acqua di 112 dB re 1 μPa .

Tabella 5.1 – Livelli sonori in aria e in acqua.

Confronto tra i livelli di emissione riferiti a 20 μPa e gli equivalenti livelli riferiti a 1 μPa . Elaborazione iLStudio.

	Livello sonoro in aria dB re 20 μPa	Livello equivalente in acqua dB re 1 μPa
Soglia di udibilità	0	62
Locale ben isolato	10	72
Brusio in un bosco	15	77
Ticchettio orologio	20	82
Bisbiglio	25	87
Biblioteca	35 – 40	97 – 102
Conversazione	50	112
Aspirapolvere	55	117
Attività in ufficio	60	122
Transito auto	70	132
Traffico nelle ore di punta	80	142
Camion	90	152
Macchinari industriali	100	162
Discoteca	110	172
Clacson	120	182
Martello pneumatico	130	192
Motore jet	140	202

5.4. Transmission loss

L'energia sonora emessa da una sorgente giunge al ricettore propagando attraverso il mezzo acustico. Nel processo di propagazione l'energia del treno d'onde sonore subisce una riduzione di intensità ovvero una *attenuazione o perdita di trasmissione* (TL, *transmission loss*) riconducibile principalmente a:

- divergenza geometrica,
- assorbimento del mezzo di propagazione,
- rifrazione nel mezzo.

5.4.1. Perdite per divergenza geometrica

L'attenuazione per divergenza geometrica è la misura della riduzione di segnale durante la propagazione lontano dalla sorgente acustica. La Figura 5.4 mostra due condizioni notevoli di propagazione molto ricorrenti in acustica.

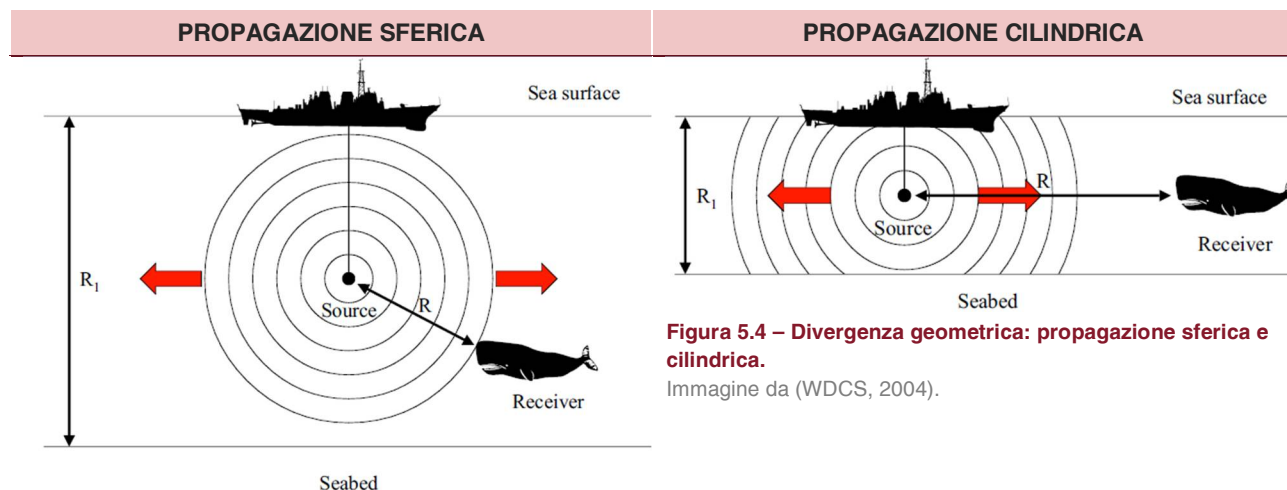


Figura 5.4 – Divergenza geometrica: propagazione sferica e cilindrica.

Immagine da (WDCS, 2004).

Per una sorgente puntiforme e omnidirezionale in un dominio infinitamente esteso e isotropo le onde sonore propagano secondo fronti d'onda sferici concentrici con la sorgente. In assenza di assorbimento del mezzo, l'energia trasportata da ciascun fronte d'onda si conserva nel tempo e propaga con densità (ovvero intensità) decrescente con il quadrato della distanza secondo la legge di attenuazione sferica seguente:

$$TL = 20 \log d \text{ dB re 1 m} \quad \text{eq. (18)}$$

ove d è la distanza dalla sorgente. A dispetto delle ipotesi apparentemente stringenti, la propagazione acustica in un intorno prossimo della sorgente e in assenza di disturbi al contorno, è generalmente ben approssimata dal modello di propagazione sferica. In acustica subacquea tale ipotesi è tuttavia limitante a lungo raggio giacché il pelo libero del liquido e il fondale determinano complessi fenomeni di riflessione e assorbimento che modificano la struttura del fronte d'onda da sferico a cilindrico con attenuazione descritta dalla legge:

$$TL = 10 \log d \text{ dB re 1 m} \quad \text{eq. (19)}$$

In generale dunque, per una sorgente puntiforme all'interno di un canale acustico, è sempre possibile distinguere due modi di propagazione, uno detto di *campo vicino* in cui prevale la presenza della sorgente e la propagazione è sferica, l'altro, detto di *campo lontano* nel quale, al contrario, sono prevalenti gli effetti delle superfici guida del canale acustico e nel quale si ha propagazione essenzialmente cilindrica.

Spesso, si fa anche riferimento a modelli di propagazione intermedi descritti da relazioni del tipo:

$$TL = F \log d \text{ dB re 1 m} \quad \text{eq. (20)}$$

in cui F è un opportuno fattore di spreading (generalmente pari a 15) regolabile in base alle effettive caratteristiche di propagazione dell'area di indagine.

5.4.2. Perdite per assorbimento

Durante la propagazione acustica le irreversibilità interne del mezzo (in primis la viscosità) determinano una parziale conversione dell'energia meccanica associata alla vibrazione in energia termica. Inoltre la presenza di disomogeneità del mezzo determina continui fenomeni di dispersione che contribuiscono ulteriormente a

degradare il segnale sonoro. Poiché è praticamente impossibile distinguere i contributi di attenuazione per assorbimento da quelli per dispersione, essi vengono generalmente cumulati e indicati come assorbimento del mezzo. La quantità di energia “persa” per assorbimento dipende dalle caratteristiche del mezzo, dunque dalla sua composizione, dalla viscosità, dal suo stato termodinamico, dall’acidità e dalla salinità, ed è variabile in funzione della frequenza del suono. Si distinguono qualitativamente 4 regimi di assorbimento, a seconda delle cause che influenzano il fenomeno fisico.

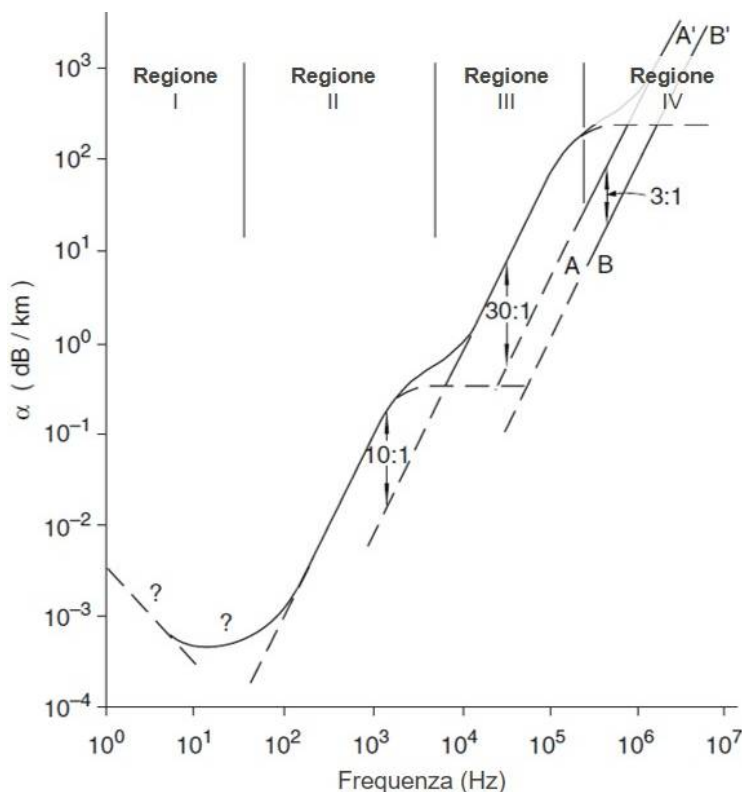


Figura 5.5 – Regimi di assorbimento.

Rielaborazione da (Jensen, et al., 2011).

In generale, dalla Figura 5.5 si evince che a parità di altre condizioni, suoni in alta frequenza subiscono maggiore assorbimento rispetto a suoni in bassa frequenza e sono dunque in grado di propagarsi a distanze inferiori prima della completa dissipazione. Il contributo dell’assorbimento alla *transmission loss* varia linearmente con la distanza secondo una relazione del tipo:

$$TL_{abs} = \alpha d \quad \text{eq. (21)}$$

in cui α è un coefficiente di assorbimento dipendente, secondo legge quadratica, dalla frequenza della forzante acustica ed espresso in dB/km. Un’espressione semplificata del fattore di assorbimento α in funzione della frequenza f è la seguente (Jensen, et al., 2011):

$$\alpha = 3.3 \times 10^{-3} + \frac{0.11f^2}{1 + f^2} + \frac{44f^2}{4100 + f^2} + 3 \times 10^{-4} f^2 \text{ dB/km} \quad \text{eq. (22)}$$

L’espressione precedente è valida a rigore per una temperatura di 4°C, una salinità di 35 ppt, un pH di 8 e una profondità di circa 1000 m ma è sufficientemente accurata per la maggior parte dei problemi nell’acustica subacquea.

5.4.3. Rifrazione del mezzo

La velocità del suono in un mezzo acustico dipende in generale dalla densità e dalla comprimibilità del mezzo.

Nel caso specifico della propagazione acustica in acqua, la densità è funzione della pressione statica, della salinità e della temperatura e le variazioni sono tipicamente più marcate nella direzione della profondità e possono modificarsi nel tempo su base giornaliera e/o stagionale. Quando un'onda acustica propaga attraverso zone a differente densità essa subisce una deviazione rispetto al cammino originario. Questa caratteristica può determinare la formazione di zone d'ombra o, al contrario, di canali di propagazione del suono che modificano fortemente l'entità del *transmission loss* rispetto ai soli effetti della divergenza geometrica e dell'assorbimento.

La seguente espressione ben approssima il comportamento della velocità del suono nel mezzo in questione:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016z \quad \text{eq. (23)}$$

con:

- T la temperatura in °C;
- S la salinità in ppt;
- z la profondità, indice del valore di pressione statica.

Di seguito si riporta il classico andamento della velocità del suono in acqua con la profondità.

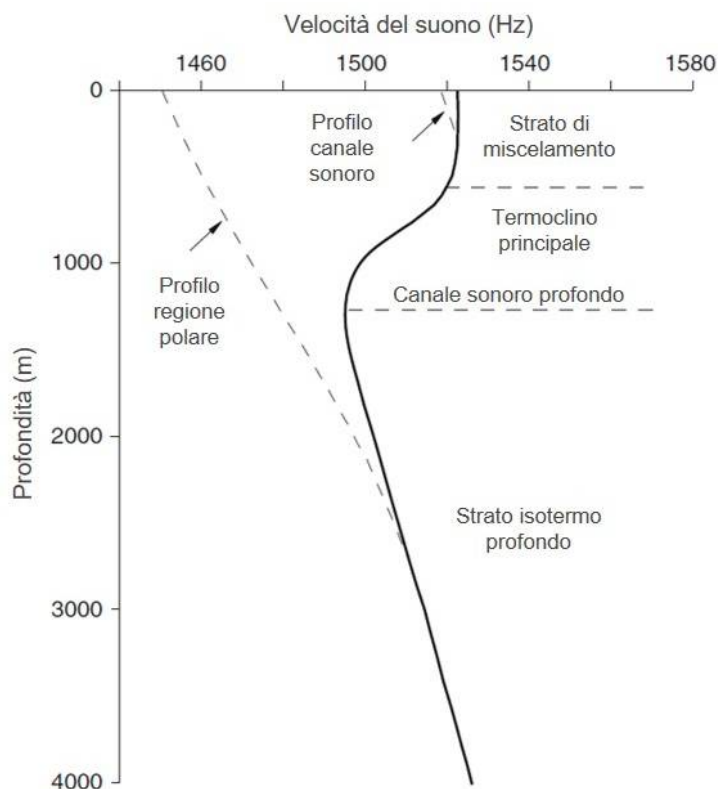


Figura 5.6 – Generico profilo di velocità.

Rielaborazione da (Jensen, et al., 2011).

Generalmente, analizzando le proprietà oceanografiche del mare, si distingue uno strato superiore di miscelazione (*mixed layer*) in cui, per via dell'attività del vento e delle onde, si determina una distribuzione di temperatura pressoché costante. In questo strato, noto anche come *surface duct* (letteralmente, condotto superficiale), il profilo di velocità è crescente con la profondità, per via del contributo della pressione statica; segue uno strato termocline al cui interno la temperatura decresce con la profondità. A profondità ancora maggiori, la temperatura si mantiene costante ed il profilo di velocità aumenta lentamente con la pressione idrostatica.

6. SORGENTI DI RUMORE SUBACQUEO

I mari sono continuamente permeati da suoni di varia natura, sia *biotica* (generati da organismi viventi) sia *abiotica*.

Il rumore abiotico è generalmente associato a processi meteo – climatici, come ad esempio vento e pioggia (Radford, et al., 2008), o a processi fisici come il trasporto di sedimenti, e/o le attività sismiche. Tra questi, il contributo dominante è quello meteo – climatico associato al vento che interessa un intervallo di frequenze compreso generalmente tra 500 Hz e 50 kHz (Richardson, 1995). Le precipitazioni sulla superficie del mare possono aumentare i livelli di rumore naturali anche fino a 35 dB su un ampio spettro di frequenze da diverse centinaia di hertz a più di 20 kHz.

Le sorgenti biotiche, la cui sovrapposizione determina la *biofonia* dei mari, includono invece la fauna marina (mammiferi marini, pesci e alcuni invertebrati) che, come già ampiamente detto, utilizza il suono come veicolo informativo durante, ad esempio, le attività di foraggiamento, comunicazione e navigazione (ecolocalizzazione).

Il rumore antropico, o *antropofonia*, è una particolare forma di rumore abiotico imputabile alla moltitudine delle attività umane per lo sfruttamento del mare tra cui, ad esempio la navigazione, la ricerca e l'estrazione di idrocarburi, l'esplorazione e le indagini oceanografiche.

I rumori emessi dalle attività antropiche agiscono in sovrapposizione alla normale biofonia marina e sono potenzialmente udibili dalle diverse specie animali considerate.

Essi spaziano da sorgenti puntuali ad alta potenza come ad esempio i sonar navali, i rumori emessi durante le esercitazioni militari (ad esempio brillamento di ordigni bellici), gli *airgun* usati nelle prospezioni geosismiche (potenzialmente letali a breve distanza), a sorgenti discontinue come la costruzione di opere offshore e costiere, fino a emissioni costanti e diffuse, come con il traffico navale (Licitra, et al., 2015).

Uno studio (Weilgart, 2007) ha mostrato che il contributo dell'antropofonia all'insonificazione dei mari è in forte e continua crescita e che, in alcune parti del mondo, l'aumento del livello di rumore immesso a bassa frequenza si attesta attorno ai 20 dB rispetto alle condizioni pre-industriali (Hildebrand, 2009).

Il rumore diffuso, come quello indotto dal traffico navale, può agire in modo subdolo interferendo con i processi di comunicazione fra gli animali mascherandone i segnali (*masking*), producendo stress e alterazioni del comportamento con potenziali effetti anche a livello di popolazione.

La Figura 6.1 e la successiva Figura 6.2 riportano una sintesi dei rumori biologici, fisici naturali e antropici in ambiente marino e le bande uditive caratteristiche delle principali specie animali marine. Nello specifico della Figura 6.2, per le sorgenti le barre orizzontali denotano le frequenze associate ai suoni più intensi mentre, per i ricettori esse corrispondono all'intera gamma delle frequenze udibili dai diversi gruppi animali.

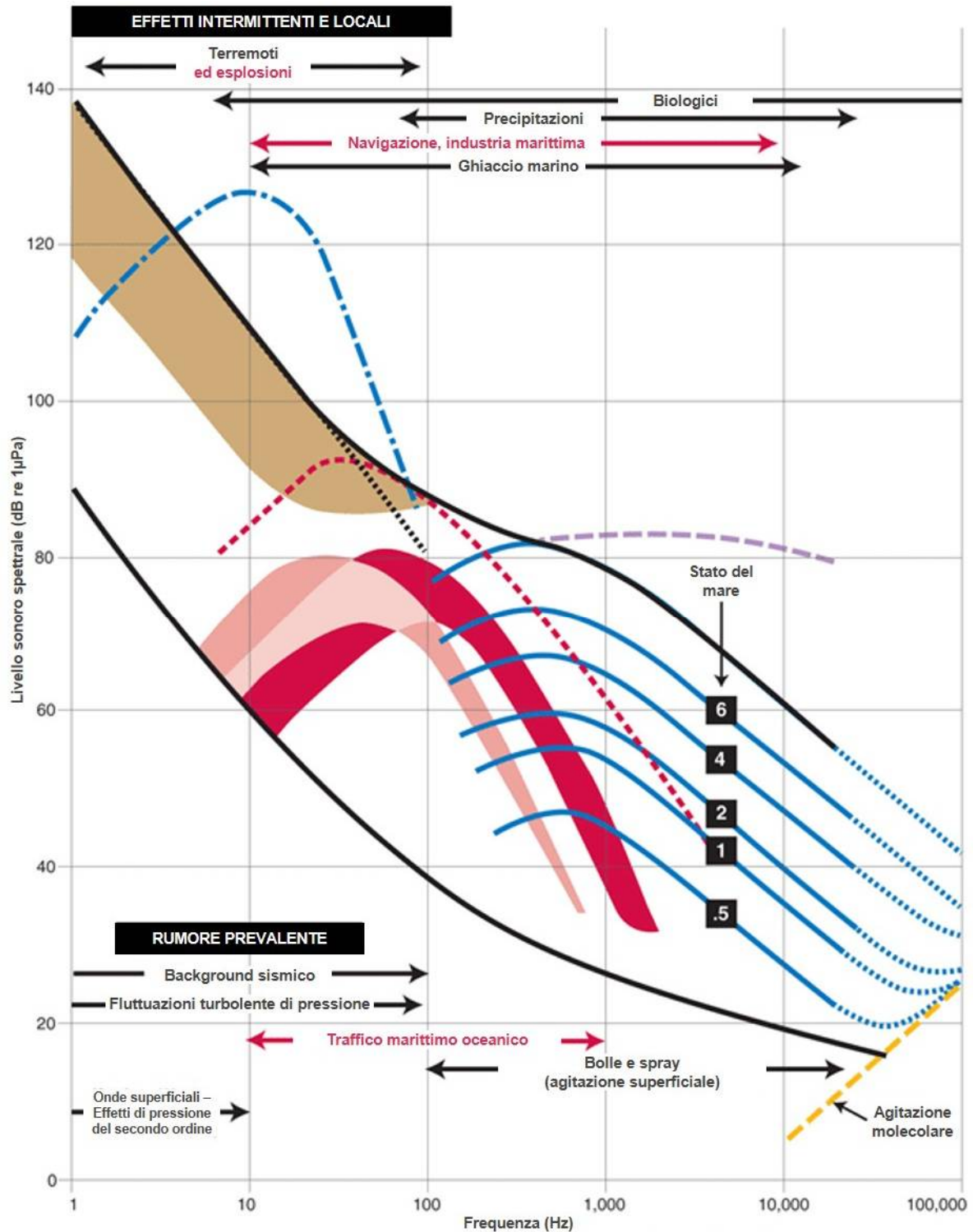


Figura 6.1 – Contributi allo spettro sonoro ambientale subacqueo a diverse frequenze.

I livelli sonori, misurati da Wenz (1962), sono dati in dB sommati su bande di frequenza di ampiezza 1 Hz ovvero in dB re 1 µPa²/Hz. Rielaborazione da <https://dosits.org>.

RUMORE SUBACQUEO

confronto tra i range di frequenza di emissione per le principali sorgenti di insonificazione subacquea e i range di udibilità dei principali ricettori

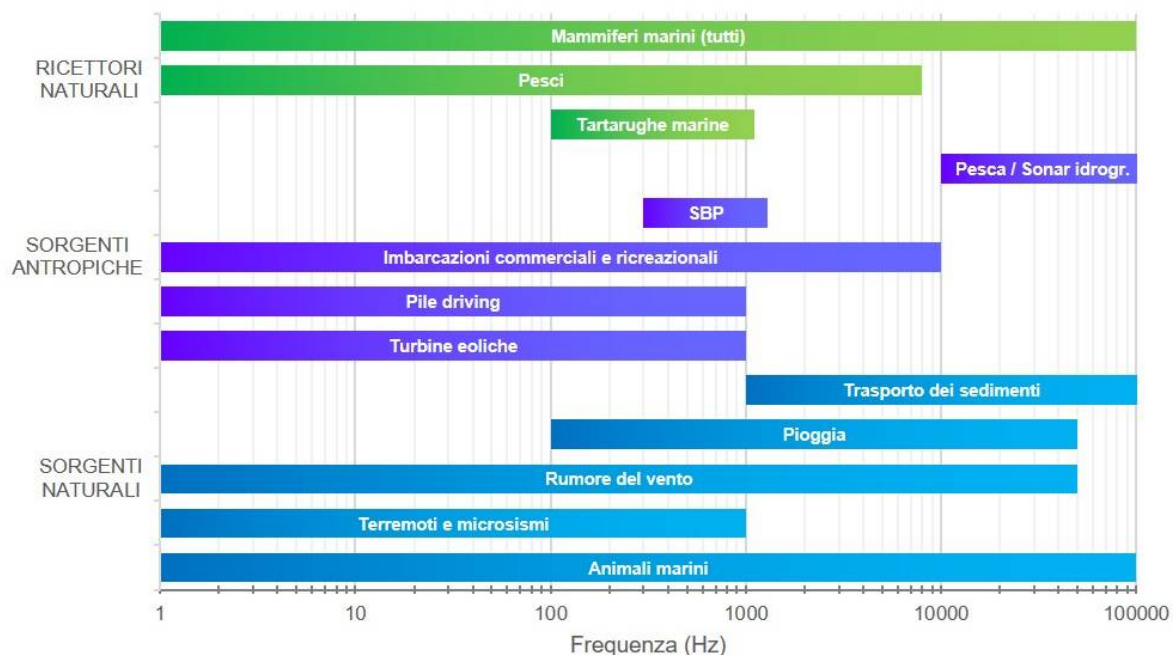


Figura 6.2 – Livelli sonori per le principali fonti di insonificazione subacquea.

Per i ricettori le barre indicano i campi di sensibilità, per le sorgenti i campi di emissione.
Rielaborazione iLStudio da (Polagye & Bassett, 2020).

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

7. FUNZIONE BIOLOGICA DEI SUONI PER LA FAUNA MARINA

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

8. EFFETTI POTENZIALI DEL RUMORE ANTROPOGENICO SULLA FAUNA MARINA

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

9. ANALISI DELLA FAUNA MARINA NEL MAR TIRRENO



9.1. Mammiferi marini

All'interno del bacino del Mediterraneo sono state registrate 23 specie di mammiferi marini e 3 di tartarughe marine. Secondo uno studio (ISPRA, 2012), la cetofauna del Mar Mediterraneo comprende 19 specie delle quali 8 sono classificate come *regolari*, 4 *occasional* e 7 *accidentali*. Una specie si dice *regolare* se essa svolge tutte le funzioni vitali nella zona di avvistamento, *occasionale* se vi transita solo in taluni periodi della sua esistenza senza stazionarvi (rotta di migrazione), *accidentale* se essa è aliena rispetto ad un dato ecosistema e vi si ritrova in modo sporadico, generalmente con singoli individui o comunque in numero limitato.

Le specie considerate *regolari* o *occasional* presenti nell'area di indagine sono indicate in Tabella 9.1 e vengono classificate in LF (Low Frequencies), HF (High Frequencies), e PCW (Phocid Carnivores in Water) in base alle loro caratteristiche uditive.

Tabella 9.1 – Classificazione acustica dei principali cetacei del Mar Mediterraneo.

Fonte: (ISPRA, 2012).

Specie	Nome	Nome comune	Habitat	Gruppo acustico
	<i>Balaenoptera physalus</i>	Balenottera comune	Pelagica, Scarpata profonda	LF
	<i>Physeter macrocephalus</i>	Capodoglio	Scarpata profonda	HF
	<i>Ziphius cavirostris</i>	Zifio	Pelagico, Scarpata profonda	HF
	<i>Grampus griseus</i>	Grampo	Scarpata profonda	HF
	<i>Tursiops truncatus</i>	Tursiope	Costiero	HF
	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Stenella striata	Pelagico, Scarpata profonda	HF
	<i>Delphinus delphis</i>	Delfino comune	Costiero, Scarpata profonda	HF
	<i>Monachus Monachus</i>	Foca monaca	Costiero	PCW

I grandi cetacei come la balenottera comune ed il capodoglio prediligono le aree di mare profondo e pertanto la loro presenza è concentrata nelle acque della Sardegna settentrionale ed in prossimità dell'area del Canale di Sicilia.

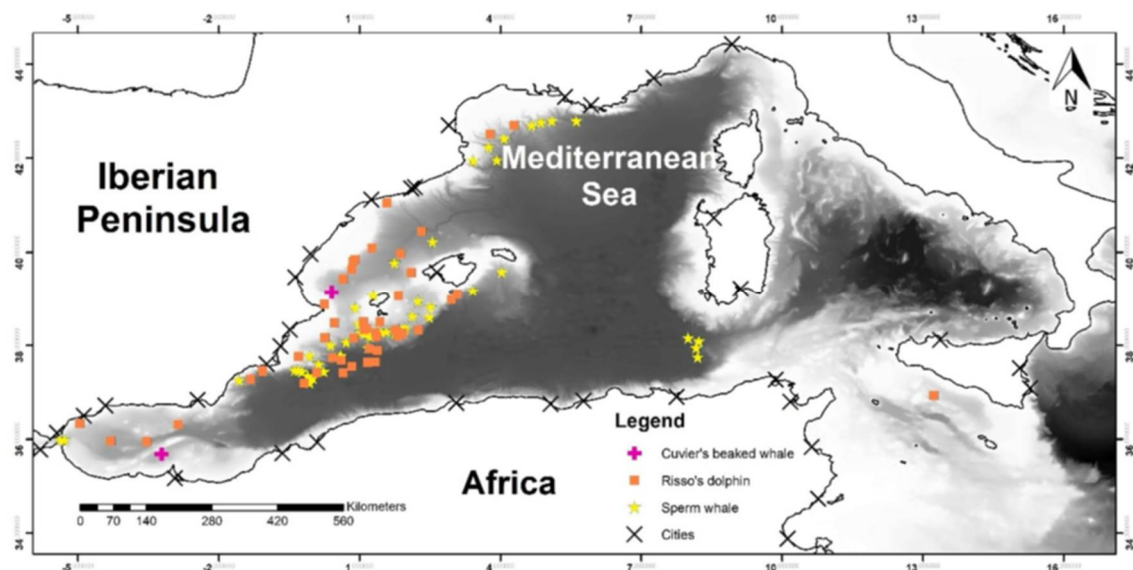


Figura 9.1 – Mappa della distribuzione degli avvistamenti opportunistici (OS) di cetacei di habitat profondo.

Fonte: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar. Geographics, CNES/Airbus, DS, USDO, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community: www.esri.com.

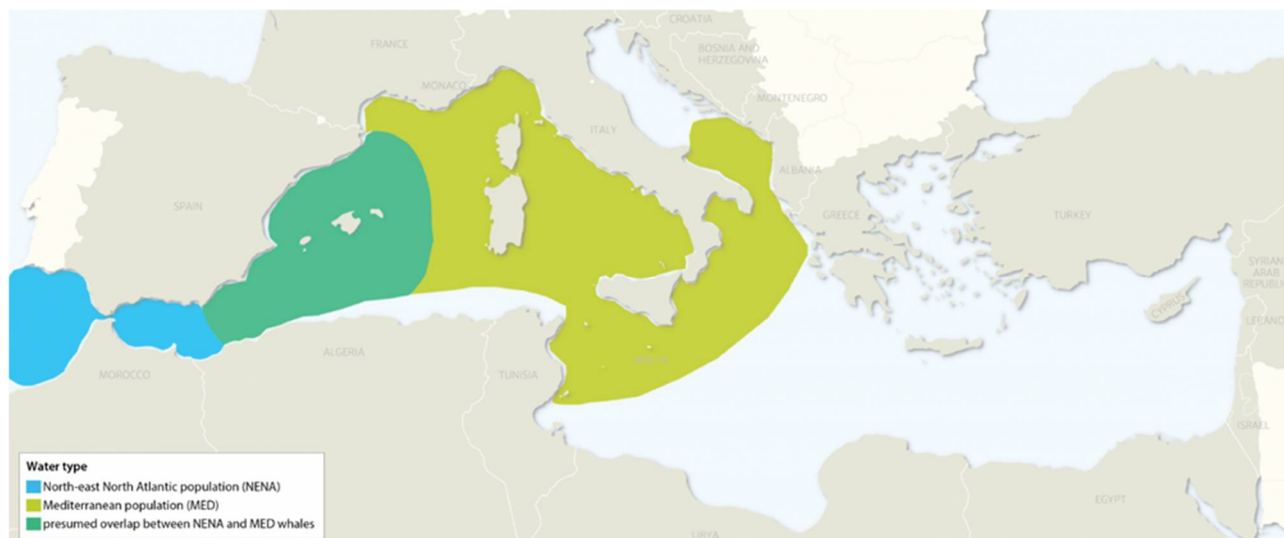


Figura 9.2 – Presunta distribuzione delle popolazioni di balenottera comune (*Balaenoptera physalus*).

Fonte: (Notarbartolo Di Sciara, et al., s.d.).

La Figura 9.3 mostra infine la mappa degli avvistamenti per le 8 specie di cetacei regolari del Mediterraneo più la specie *Monachus monachus* (foca monaca). La mappa è stata prodotta a partire dalle registrazioni del database EMODnet Biology (EMODnet, 2020) al quale convergono, relativamente alla sola zona del Mediterraneo, i risultati delle seguenti campagne d'indagine:

- CET_FLT_CBAR_14-18: Presence of cetacean species collected through Fixed-Line-Transect monitoring across the Western Mediterranean Sea (Civitavecchia-Barcelona route) between 2014 and 2018;
- Royal Belgian Institute of Natural Sciences Vertebrates/Types Collection;
- Royal Belgian Institute of Natural Sciences Mammalia Collection (Mammalia).

I dati coprono circa un secolo di osservazioni, dal 1905 al 2019.

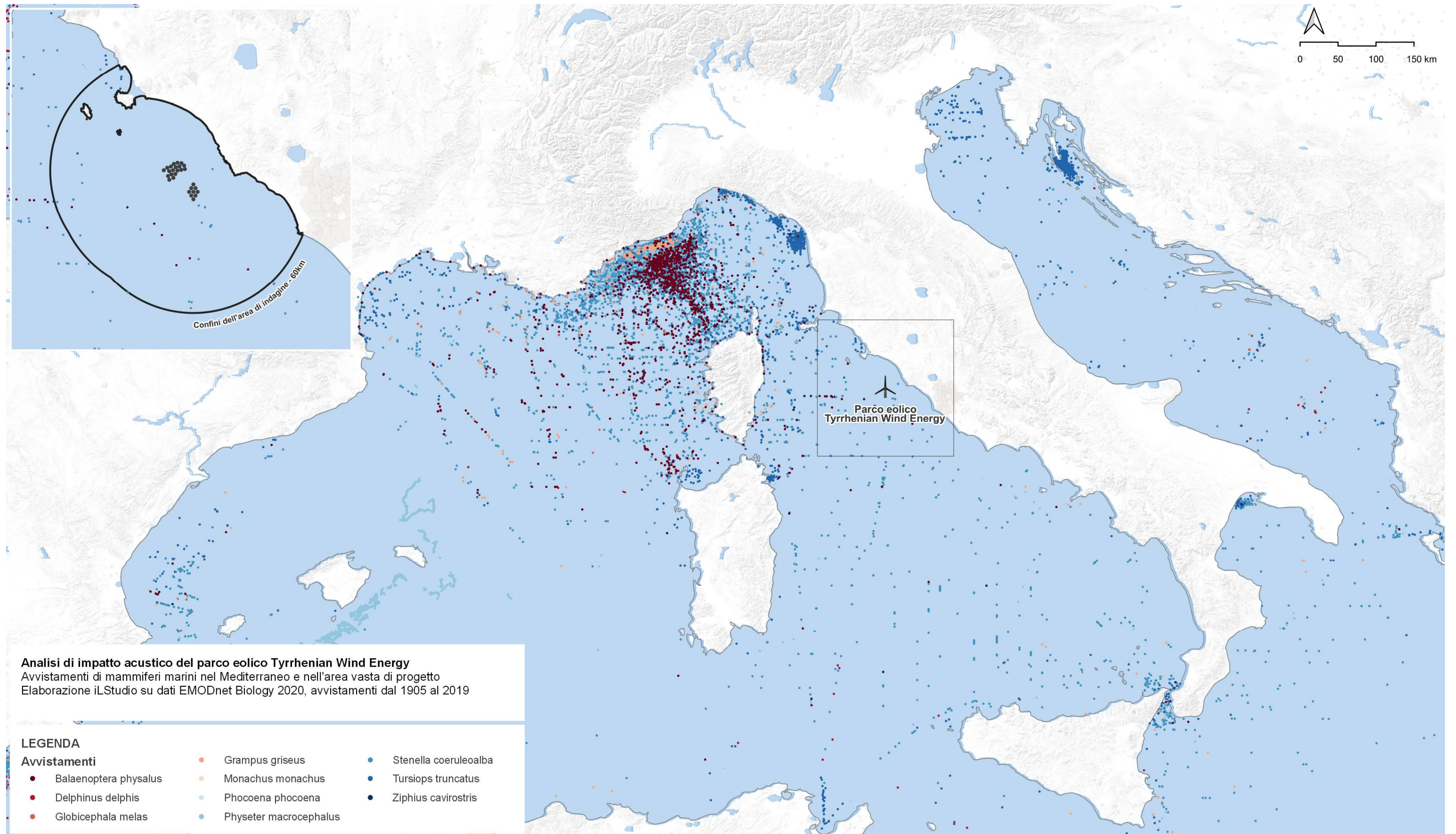


Figura 9.3 – Avvistamenti di mammiferi marini entro 60 km dalle installazioni offshore del parco eolico.
Elaborazione iLStudio su dati (EMODnet 2020).

9.2. Rettili

Delle sette specie di tartarughe marine ancora oggi esistenti sulla Terra solo due frequentano il Mediterraneo in modo regolare e ne usano le spiagge per deporre le uova, la *Caretta caretta* e la *Chelonia mydas* mentre, una terza specie, la *Dermochelys coriacea*, viene sporadicamente avvistata nel bacino mediterraneo presumibilmente a scopo alimentare (Surdo & Massa, 2020).

Il rapporto ISPRA sulle specie marine presenti nelle aree AMP e Natura2000 riporta, in riferimento all'area del Mediterraneo Occidentale, la presenza di tartarughe *Caretta Caretta* e *Dermochelys Coriacea*.

La popolazione mediterranea di *Caretta Caretta* si costituisce di due gruppi, uno locale l'altro proveniente dall'Oceano Atlantico; le popolazioni di individui giovanili del gruppo mediterraneo rappresentano l'80% del totale. Il tasso di avvistamento, sintetizzato nell'indice SPUE (Sighting Per Unit Effort) della specie aumenta generalmente durante la primavera e l'estate. La mappa di Figura 9.4 riporta l'indice SPUE relativamente ai soli monitoraggi da traghetti.

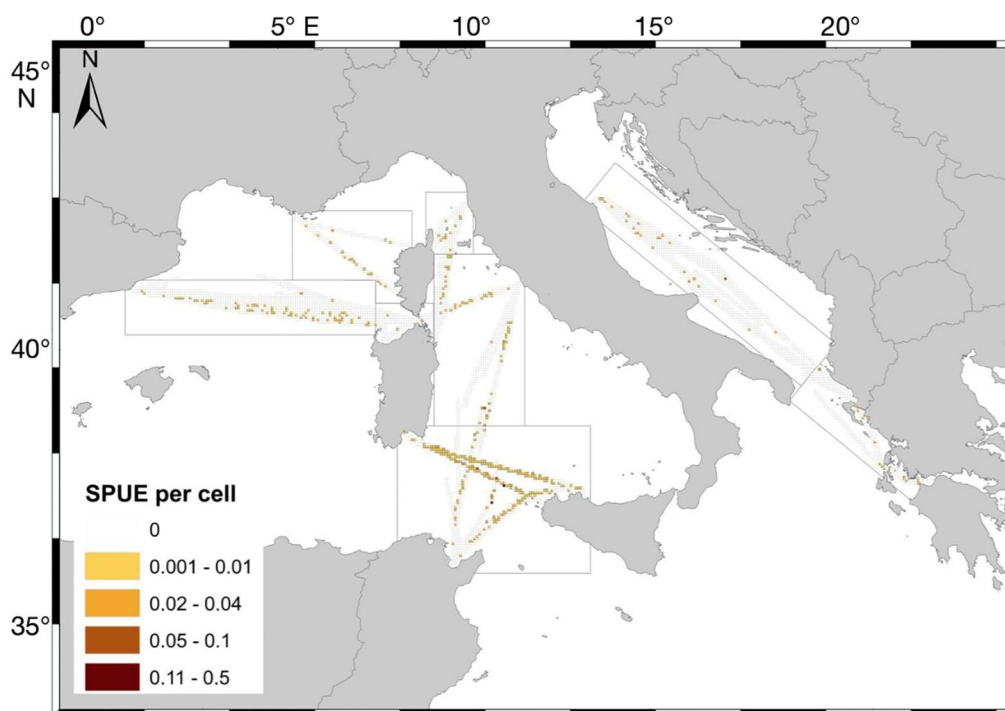


Figura 9.4 – Tasso di avvistamento di *Caretta caretta* da traghetto.
(CNR, 2021).



Figura 9.5 – Mappa di distribuzione della specie *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Dermochelys coriacea*.
Fonte: (ISPRA, 2019).

La presenza della specie nella macro area è inoltre nota grazie a diversi studi di monitoraggio che hanno identificato le coste delle isole Pelagie, siciliane e tunisine come principali siti di nidificazione della specie (Figura 9.6).

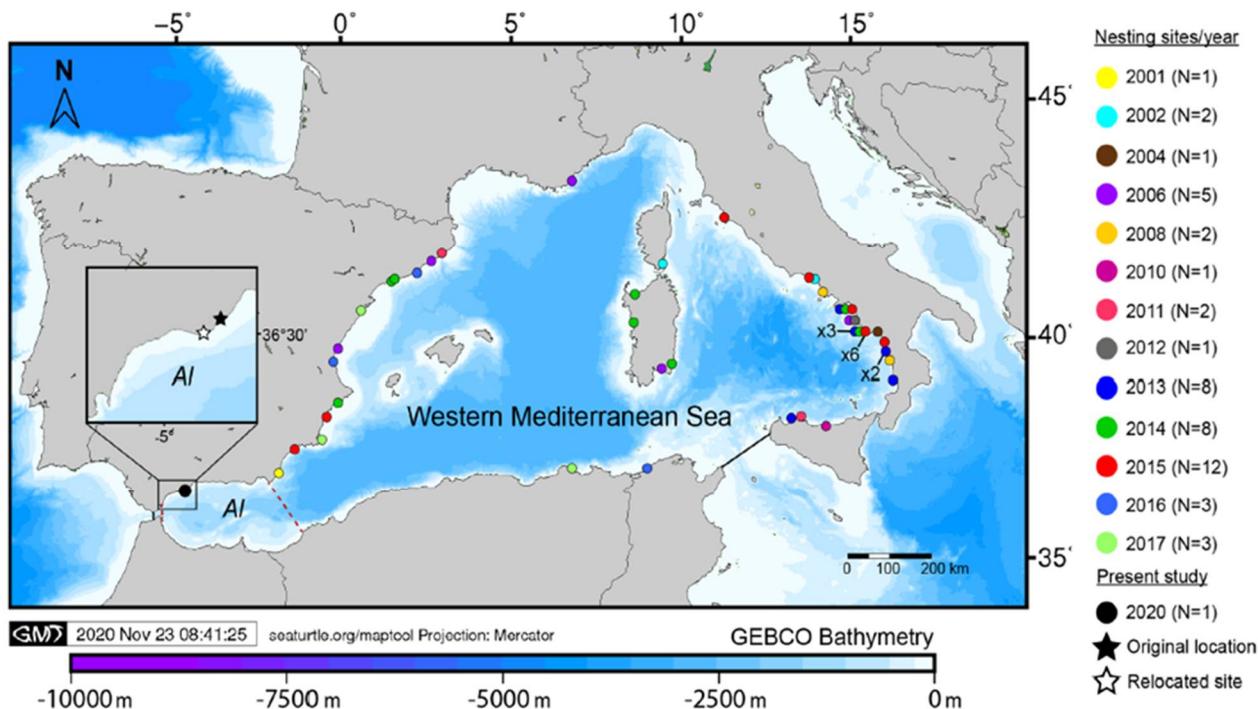


Figura 9.6 – Mappa dei siti di nidificazione di *Caretta caretta*.

Registrazioni nel Mar Mediterraneo Occidentale nelle ultime due decadi realizzata con il software MAPTOOL disponibile sul sito www.seaturtle.org. Fonte: (Gonzalez-Paredes, et al., 2021).

Per quanto riguarda invece la specie *Dermochelys coriacea*, gli individui presenti in area mediterranea sono parte della popolazione nord atlantica e fanno ingresso nel bacino attraverso lo Stretto di Gibilterra. Gli avvistamenti, riconducibili perlopiù a spiaggiamenti o ritrovamenti di esemplari intrappolati in strumenti di pesca, sono più frequenti lungo la costa tunisina. Non vi sono evidenze della presenza di siti di riproduzione locali.

9.3. Pesci

La fauna ittica è caratterizzata da un'elevata biodiversità con 532 specie di teleostei e 81 specie di pesci cartilaginei, che corrispondono rispettivamente al 4.1% e 9.5% del totale delle specie marine descritte per questi due gruppi. Sono inoltre presenti 3 specie di pesci Agnati. Si tratta di una percentuale consistente se si considera che il Mediterraneo costituisce solamente lo 0.32% del volume totale della massa d'acqua oceanica. Le acque atlantiche che transitano attraverso lo Stretto di Gibilterra rendono l'estremità occidentale del Mediterraneo più ricco dal punto di vista della composizione in specie, in quanto sono acque ben ossigenate rispetto all'estremità orientale. Questo fattore fa sì che nel bacino non ci sia una distribuzione di pesci marini omogenea, inoltre vi è un elevato tasso di minaccia di estinzione soprattutto negli habitat maggiormente antropizzati (il 12% dei pesci ossei contro il 40% dei pesci cartilaginei).

In mare aperto si distinguono le specie più grandi quali il tonno rosso (*Thunnus thynnus*) e il pesce spada (*Xyphias gladius*) fino a quelle più piccole quali la sardina (*Sardina pilchardus*) e l'alice (*Engraulis encrasicolus*). Numerosissime sono le specie che vivono su fondali rocciosi tra cui la cernia bruna (*Epinephelus marginatus*), il dentice (*Dentex dentex*), l'orata (*Sparus auratus*) e lo scorfano rosso (*Scorpaena scrofa*). Numerose sono anche quelle che vivono su fondali sabbiosi/fangosi come la sogliola (*Solea solea*), la triglia di fango (*Mullus barbatus*) e il nasello (*Merluccius merluccius*).

10. MODELLO DI CALCOLO DEL CAMPO SONORO IN ACQUA

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

11. RISULTATI E VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

12. MISURE DI MITIGAZIONE

I contenuti utili al pubblico per la Valutazione di Impatto Ambientale (art. 24 D.lgs. 152/2006) sono riportati nello Studio di Impatto Ambientale, cod. C0123YR00RELSIA00.

13. PIANO DI MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio ambientale (PMA) rappresenta l'insieme di azioni che consentono di verificare i potenziali impatti ambientali significativi e negativi derivanti dalla realizzazione, esercizio e dismissione del progetto. Il PMA deve quindi essere predisposto per tutte le fasi di vita dell'opera (fase ante operam, corso d'opera, post operam ed eventuale dismissione); esso rappresenta lo strumento che fornisce la reale misura dell'evoluzione dello stato dell'ambiente consente di individuare i segnali necessari per attivare preventivamente e tempestivamente eventuali azioni correttive qualora le "risposte" ambientali non siano coerenti con le previsioni. Le attività del PMA sono finalizzate a:

- verificare lo scenario ambientale di riferimento (monitoraggio ante operam) utilizzato per la valutazione degli impatti ambientali generati dall'opera in progetto;
- valutare la possibilità di avvalersi di adeguate reti di monitoraggio esistenti per evitare duplicazioni;
- verificare le previsioni degli impatti ambientali attraverso il monitoraggio dell'evoluzione dello scenario ambientale di riferimento a seguito dell'attuazione del progetto (monitoraggio in corso d'opera e post operam), in termini di variazione dei parametri ambientali caratterizzanti lo stato quali - quantitativo di ciascuna tematica ambientale soggetta a un impatto significativo;
- verificare l'efficacia delle misure di mitigazione previste per ridurre l'entità degli impatti ambientali significativi eventualmente individuati in fase di costruzione, di esercizio e di dismissione (monitoraggio in corso d'opera e post operam);
- individuare eventuali impatti ambientali non previsti o di entità superiore rispetto alle previsioni e programmare le opportune misure correttive per la loro risoluzione (monitoraggio in corso d'opera e post operam).

La struttura e le attività del piano di monitoraggio previsto nell'ambito del presente progetto, sono descritte in dettaglio al documento specialistico "Piano di Monitoraggio Ambientale" cod. C0123YR00MONAMB00.

13.1. Monitoraggio ante operam

Il monitoraggio ante operam, da effettuarsi 12 mesi prima dell'avvio delle attività di costruzione, prevede una fase di studio *on desk* sostanziata da survey in situ da svolgersi almeno una volta attraverso specifici transetti nel sito di interesse durante la stagione autunnale e primaverile.

13.2. Monitoraggio in fase di costruzione

Il monitoraggio in fase di costruzione prevede un rilievo acustico elettronico continuo e un rilievo visivo da effettuarsi secondo norma. Nello specifico delle attività di piling degli ancoraggi, è prevista una serie di operazioni standard, da seguire prima e durante l'infissione, che prevedono:

- *Procedura pre – avvio*: prima dell'attivazione dei sistemi di infissione, viene valutata la presenza di mammiferi marini entro l'area di osservazione con particolare attenzione alla zona di e comunque per la piena estensione dell'area di lavoro ove consentito dalle condizioni di visibilità.
- *Procedura soft start*: in caso di mancato avvistamento di mammiferi marini nell'area di osservazione durante la fase di pre – avvio, viene avviata la procedura di soft start durante la quale l'energia di impatto dell'infissore viene gradualmente aumentata. La procedura viene reiterata in caso di fermo macchina prolungato. Anche durante questa fase sono mantenute attive le osservazioni visive da parte del personale specializzato nel monitoraggio visivo dei mammiferi marini (MMO, Marine Mammals Observer). La procedura di soft start è finalizzata a dissuadere i mammiferi marini consentendo loro l'allontanamento dalla zona di lavoro.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica - Valutazione impatto acustico marino		
Codice documento: C0123YR00ACUMAR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 30 di 39

- *Procedura normale di infissione:* fermo restando l'assenza di mammiferi marini nell'area di osservazione e/o arresto, valutata in continuo dalla squadra MMO, l'attività di infissione viene portata a regime con i martelli operanti a piena energia di impatto. In caso di interruzione delle attività o in condizioni di visibilità scarsa che ostacoli l'efficace attività di monitoraggio visivo, è necessario riavviare la procedura di infissione dalla fase di pre-avvio. Le operazioni in notturna o con bassa visibilità possono procedere solo sotto particolari condizioni.
- *Procedura di stand-by:* se un mammifero marino viene avvistato all'interno della zona di osservazione durante le procedure di soft start o di funzionamento normale, l'operatore del sistema di infissione mette in atto la procedura di sospensione arrestando l'infissore.
- *Procedura di arresto:* se un mammifero marino viene avvistato all'interno o in prossimità della zona di arresto, l'attività di infissione deve essere interrotta immediatamente. Nel caso si verifichi una procedura di arresto, si potrà riprendere con le operazioni di infissione, previa procedura soft start, solo nel caso in cui non siano stati osservati mammiferi marini per un certo tempo dall'ultimo avvistamento. Se i mammiferi marini vengono rilevati nella zona di arresto in condizioni di scarsa visibilità, le operazioni devono interrompersi fino a migliori condizioni di osservazione.

Per ulteriori dettagli si rimanda al "Piano di Monitoraggio Ambientale" cod. C0123YR00MONAMB00 allegato allo "Studio di Impatto Ambientale" cod. C0123YR00RELSIA00.

13.3. Monitoraggio in fase di esercizio

Il monitoraggio in fase di esercizio prevede un rilievo acustico elettronico continuo per una durata di 5 anni oltre ad un piano di survey visivi e acustici per almeno 15gg nei 60gg successivi la fine lavori (secondo norma) e nel 3° e 5° anno di esercizio.

Per ulteriori dettagli si rimanda "Piano di Monitoraggio Ambientale" cod. C0123YR00MONAMB00 allegato allo "Studio di Impatto Ambientale" cod. C0123YR00RELSIA00.

13.4. Monitoraggio in fase di dismissione

Il monitoraggio in fase di dismissione prevede un rilievo acustico elettronico continuo durante le attività di dismissione e per ulteriori 12 mesi oltre ad un piano di survey visivi per almeno 15gg nei 60gg successivi al termine delle attività.

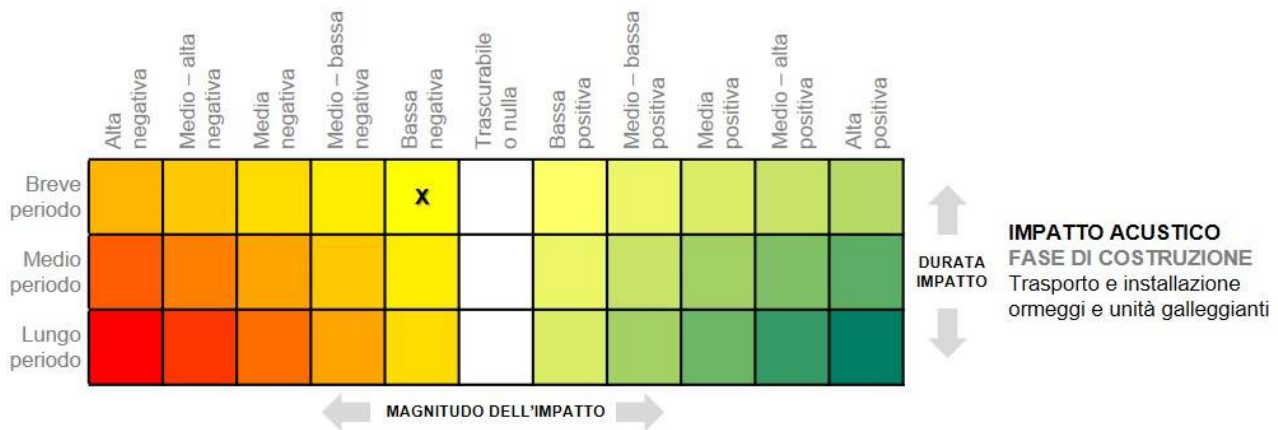
Per ulteriori dettagli si rimanda al "Piano di Monitoraggio Ambientale" cod. C0123YR00MONAMB00 allegato allo "Studio di Impatto Ambientale" cod. C0123YR00RELSIA00.

14. CONCLUSIONI

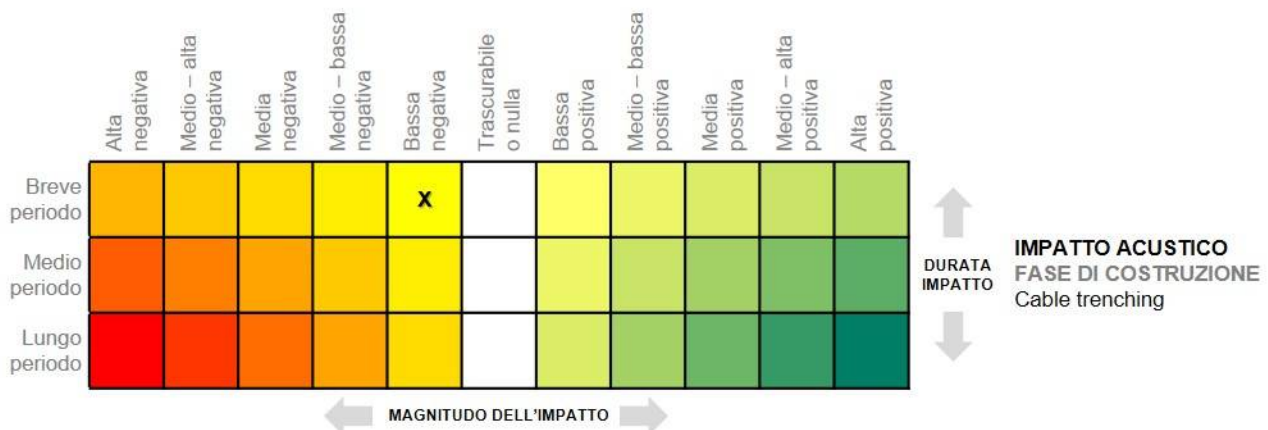
L'intera area del Mediterraneo è, ad oggi, sede di intenso traffico marittimo associato alle attività di trasporto merci, passeggeri ed alla pesca; le imbarcazioni sono responsabili di elevata insonificazione con emissioni sonore, perlopiù costanti. Secondo alcuni studi (Licitra, et al., 2015), l'inquinamento acustico medio rilevato nel Mediterraneo è nell'ordine dei 190-230 dB re 1µPa di picco per segnali impulsivi e di 160-180 dB re 1µPa per segnali continui.

Nell'ambito del presente studio, la valutazione degli impatti è stata effettuata implementando modelli propagatori numerici, basati sulla soluzione dell'equazione d'onda, che consentono la risoluzione del problema acustico in relazione a condizioni sito specifiche tenendo in conto effetti complessi legati alle variazioni di forma e alle caratteristiche fisiche del fondale, alle proprietà della colonna d'acqua oltretché i fenomeni di riflessione, rifrazione e assorbimento del fronte sonoro all'interno del dominio di calcolo.

Le attività di costruzione offshore prevedono fasi di trasporto dei componenti in situ, infissione degli ancoraggi, posa e collegamento delle linee di ormeggio, collegamento delle unità galleggianti e posa della rete di cavi inter-array e di esportazione. Tutte le attività, eccetto l'infissione degli ancoraggi, sono caratterizzate da livelli di insonificazione di bassa entità e trascurabili se paragonati a quelli imputabili al traffico marittimo tipico dell'area di indagine (si tratta in generale di attività caratterizzate dall'impiego simultaneo di circa tre mezzi navali). L'impatto relativo è quindi di breve durata perché limitato alle sole fasi di cantiere e di livello basso.



Anche le operazioni di trenching del cavo, come evidenziato in diversi studi internazionali, determinano livelli sonori confondibili con il rumore emesso dall'imbarcazione di servizio e determina quindi un impatto negativo di livello basso e comunque di breve durata.



Per quanto riguarda l'installazione degli ancoraggi, la valutazione di impatto ha fatto riferimento a condizioni cautelative ipotizzando sistemi di ancoraggio del tipo "a pali infissi". In relazione ai calcoli di dimensionamento preliminari, si prevedono pali di diametro 2.44 m e lunghezza di infissione fino a 30 m. Si tratta quindi di soluzioni decisamente più modeste rispetto a quelle di più comune impiego nell'ambito dei sistemi di fondazione monopalo. Le ridotte dimensioni determinano, a parità di fondale, una minore richiesta energetica per l'infissione e dunque una minore generazione di rumore subacqueo già alla sorgente.

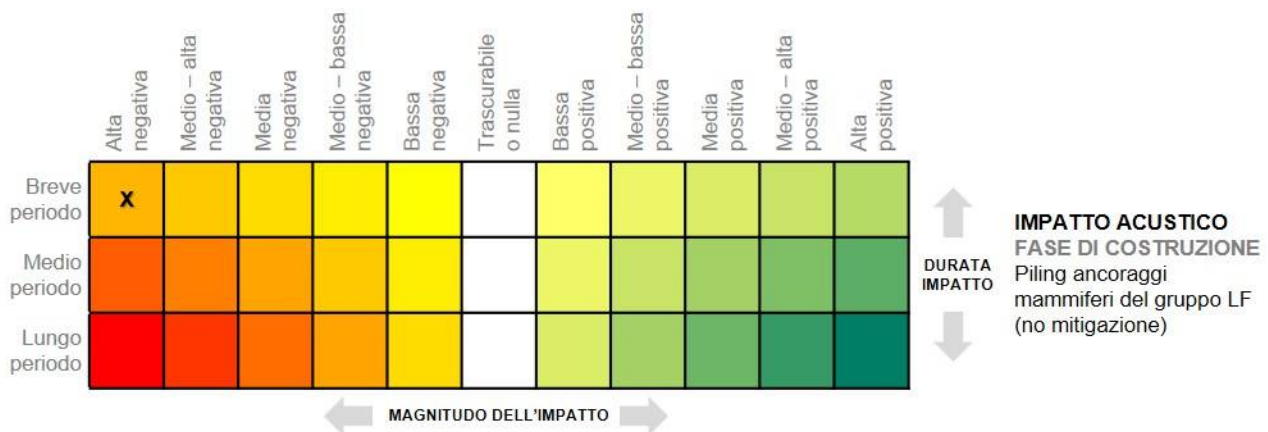
Le valutazioni, effettuate ipotizzando condizioni di posa gravose senza attivazione di procedure soft start, hanno evidenziato le seguenti distanze di sicurezza rispetto al superamento delle soglie di danno TTS e PTS riconosciute dalla letteratura scientifica. In particolare, considerando i livelli soglia TTS (ipotesi cautelativa) la massima distanza entro cui è statisticamente probabile l'insorgenza di danni fisiologici reversibili, è riducibile fino a un minimo di 10 km adottando tecniche di riduzione del rumore alla sorgente. Tale distanza è in particolare riferita ai mammiferi marini del gruppo LF e si riduce notevolmente per le altre specie presenti nell'area di indagine (Tabella 12.1). In particolare, la distanza di sicurezza si riduce a:

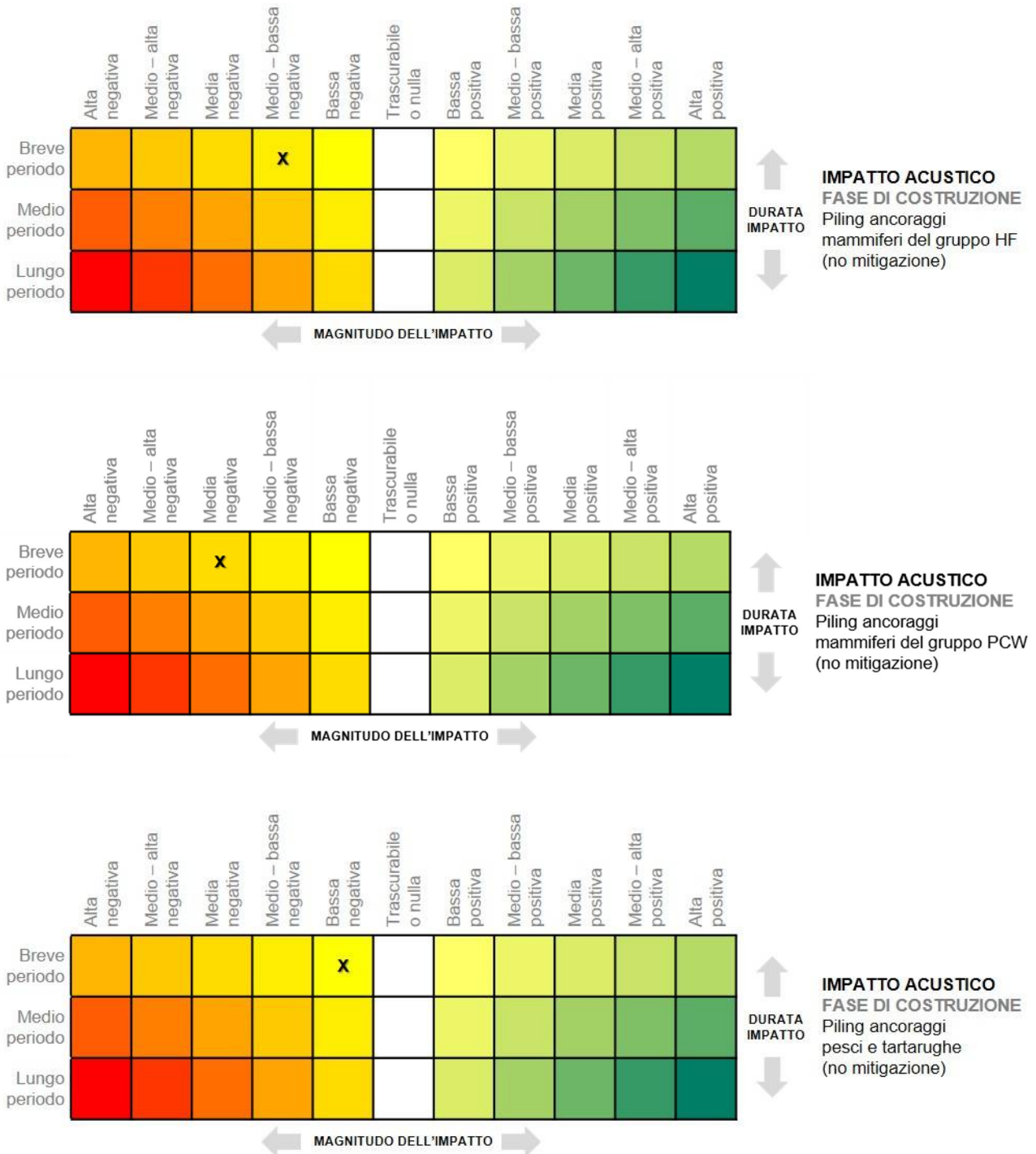
- circa 153 m (in assenza di mitigazione) e meno di 25 m (con mitigazione alla sorgente) per i mammiferi marini del gruppo HF,
- circa 150 m (in assenza di mitigazione) e meno di 25 m (con mitigazione alla sorgente) per le specie di pesci e tartarughe marine,
- circa 8000 m (in assenza di mitigazione) e meno di 560 m (con mitigazione alla sorgente) per i mammiferi marini del gruppo PCW.

In aggiunta, per la categoria PCW, si fa osservare che gli individui di questa specie popolano in prevalenza aree costiere, ben distanti dalle aree di lavoro e comunque all'esterno dell'area di sicurezza indicata.

In relazione all'estensione dell'area perturbata, il massimo impatto prevedibile in completa mancanza di misure di mitigazione, risulta:

- di livello alto e comunque di breve durata per i mammiferi marini del gruppo LF;
- di livello medio - basso e comunque di breve durata per i mammiferi marini del gruppo HF;
- di livello medio e comunque di breve durata per i mammiferi marini del gruppo PCW;
- di livello basso e comunque di breve durata per i pesci e le tartarughe marine.





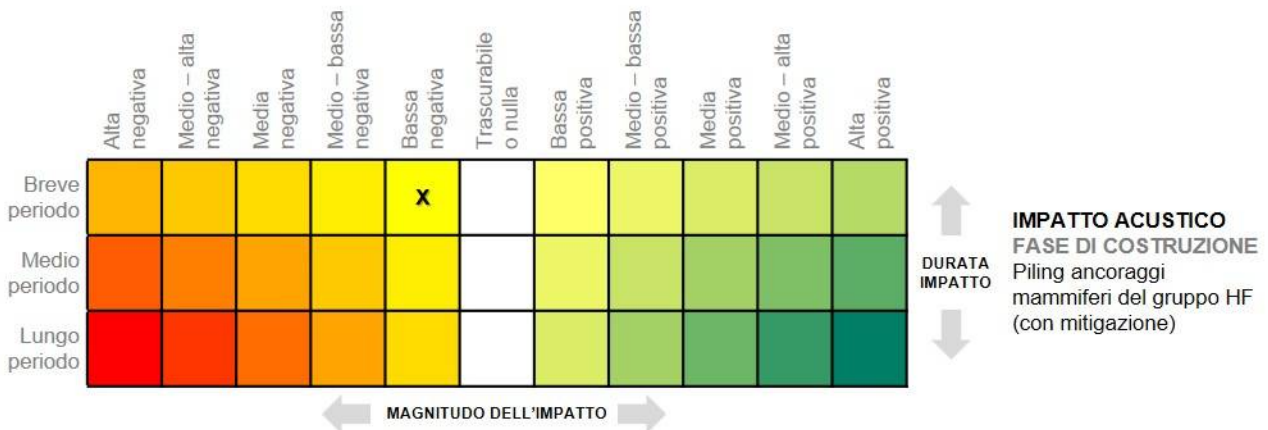
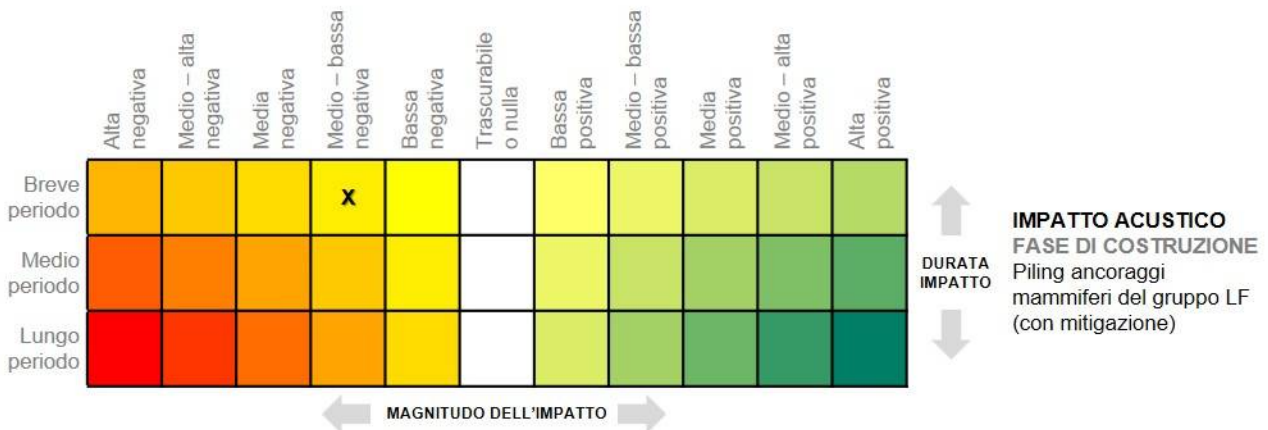
Gli areali di impatto e i relativi livelli di impatto, calcolati sulla base dei livelli di esposizione cumulati sull'intero programma giornaliero di infissione, consistente (cautelativamente) in due cicli di battitura da 2000 colpi ciascuno, sono da considerarsi comunque conservativi dal momento che, in relazione alle procedure di set-up strumentale e battitura, sarà mediamente possibile installare un solo palo al giorno; sono inoltre considerate le risposte comportamentali degli individui già a partire dalle operazioni preliminari di battitura. Nella valutazione mediante la metrica SEL infatti, si ipotizza che l'animale non permanga continuamente nella zona acusticamente perturbata per un tempo pari a 24 ore ma che, al contrario, metta in atto una risposta evasiva dalla zona di lavoro molto prima che si raggiungano i livelli critici di esposizione. In tal senso, è opportuno sottolineare che, in relazione al singolo colpo del martello, anche ipotizzando il funzionamento alla

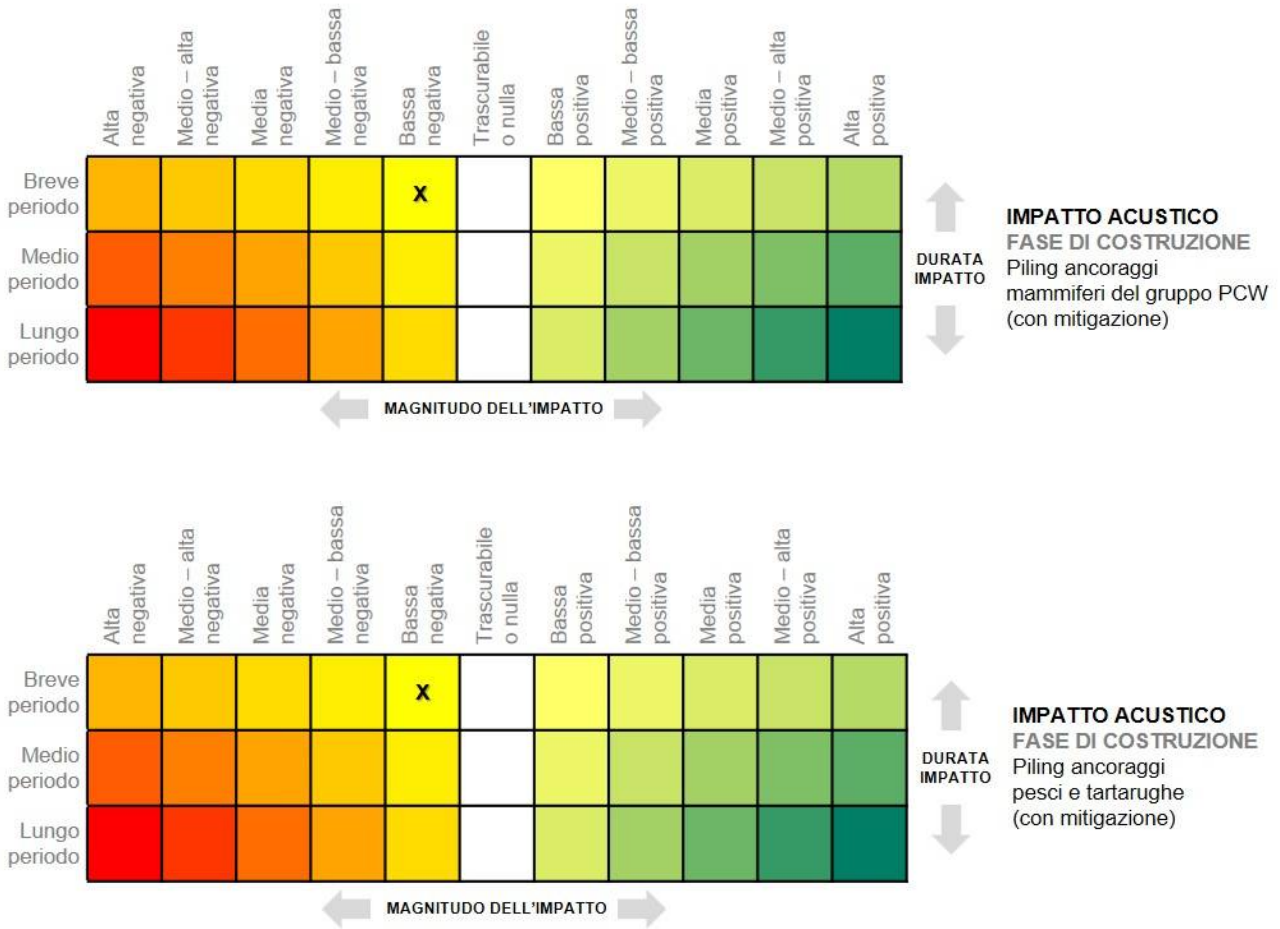
massima energia, il livello di pressione sonora di picco generato nella colonna d'acqua supera il livello soglia TTS solo in immediata vicinanza dei punti di infissione, generalmente entro pochi metri. Tale zona tuttavia è ampiamente compresa nella zona di osservazione prevista nel piano di monitoraggio con MMO.

In luce di queste considerazioni, osservando che in fase di installazione saranno contemporaneamente applicate sia procedure soft start che di monitoraggio attivo con MMO, gli areali finora determinati saranno ben controllati così da risultare liberi da individui sensibili durante l'intera procedura di piling. Ulteriore mitigazione potrà aversi grazie all'adozione di tecniche di riduzione del rumore alla sorgente. Cumulando questi effetti, il massimo impatto prevedibile, in funzione delle misure di mitigazione, risulta quindi ridotto a:

- medio - basso, di breve durata per i mammiferi marini del gruppo LF;
- basso, di breve durata per i mammiferi marini del gruppo HF;
- basso, di breve durata per i mammiferi marini del gruppo PCW;
- basso, di breve durata per i pesci e le tartarughe marine.

In tutti i casi, cessato il disturbo, come evidenziato in diverse campagne di monitoraggio in progetti simili, all'eventuale allontanamento delle specie durante le attività di infissione è prevedibile il completo recupero dell'habitat; gli effetti sono quindi reversibili nel breve periodo. Inoltre, le attività di infissione sono programmate in periodi non critici per lo sviluppo e la riproduzione delle specie e, le attività di monitoraggio, svolte in conformità con le linee guida e gli indirizzi normativi di riferimento, minimizzano infine la probabilità che vi siano, all'interno delle aree di lavoro, individui animali sensibili.



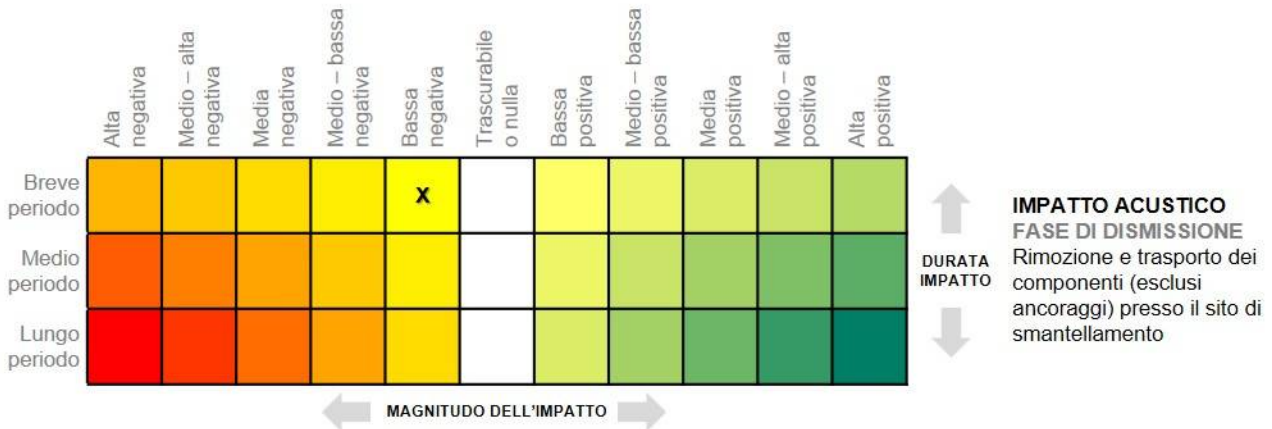


Per la fase di esercizio dell'impianto, l'analisi acustica ha evidenziato livelli di pressione sonora subacquea generalmente al di sotto della soglia di disturbo comportamentale dei mammiferi marini (120 dB re 1 μ Pa) già entro 1.5 km di distanza dall'involuppo del parco con livelli di insonificazione prevalenti attorno a 105 dB re 1 μ Pa (Figura 11.22). In nessun caso sono superate le soglie di danno temporaneo e permanente così come riconosciute nella letteratura di settore. Anche per le altre specie marine, pesci e rettili, i livelli previsti rientrano nei valori limite statisticamente riconosciuti in letteratura scientifica sia per quanto riguarda gli effetti fisiologici temporanei/permanenti, sia per quanto riguarda i disturbi al comportamento.

Le analisi sono peraltro effettuate in condizioni di ragionevole precauzione ipotizzando le unità galleggianti operanti in continuo al regime di potenza nominale nonostante, in relazione alla risorsa eolica disponibile, si preveda un fattore di capacità attorno al 30% con potenziale riduzione dei reali livelli sonori agenti. Si sottolinea inoltre che, considerando i livelli di insonificazione valutati per la fase di esercizio, questi risultano essere nettamente inferiori (più di 10 dB) rispetto alle stime relative al traffico marittimo per la stessa area di indagine; ciò consente di affermare la sostanziale trascurabilità degli effetti aggiuntivi indotti dall'opera con un livello di impatto solo cautelativamente basso di lungo periodo (limitato ovviamente alla sola fase di esercizio degli impianti).



Infine, in fase di dismissione, non si prevedono impatti superiori, in magnitudo, a quelli previsti per la fase di installazione atteso che, diversamente da questa, non saranno attuate operazioni di piling.



Si può quindi concludere che, in relazione alla pre - esistente condizione dell'area, la presenza del parco non introdurrà alcun fattore di rischio significativo per le specie marine presenti, in particolare per le specie di mammiferi marini stanziali del Mar Tirreno.

RIFERIMENTI

Andrew, R. K., Howe, B. M., Mercer, J. A. & Dzieciuch, M. A., 2002. Ocean ambient sound: comparing the 1960s with the 1990s for a receiver off the California coast.. *Acoustics Research Letter Online*, pp. 65-70.

CNR, 2021. *Report tecnico in merito all'attività di consulenza relativa al progetto del parco eolico offshore floating nel Canale di Sicilia*, s.l.: s.n.

EMODnet, 2020. *EMODnet Biology*. [Online]
Available at: <https://www.emodnet-biology.eu/>

Gonzalez-Paredes, D., Fernandez-Maldonado, C., Martinez Valverde, R. & Grondona, M., 2021. The westernmost nest of a loggerhead sea turtle, *Caretta caretta* (Linnaeus 1758), registered in the Mediterranean Basin (Testudines, Cheloniidae). *Herpetology Notes*, Issue 14, p. 907:912.

Hawkins, A. D. & Popper, A. N., 2017. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates.. *ICES Journal of Marine Science*, pp. 635-651.

Hildebrand, J. A., 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, pp. 5-20.

ISPRA, 2012. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne.

Janik, V. M. & Sayigh, L. S., 2013. Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. *Journal of comparative physiology*, pp. 479-489.

Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B. & Schmidt, H., 2011. *Computational ocean acoustics*. 2 ed. s.l.:Springer.

Kunc, H. P., McLaughlin, K. E. & Schmidt, R., 2016. *Aquatic noise pollution: implications for individuals, populations, and ecosystems*. s.l., s.n.

Licitra, G., Marsico, G., Pavan, G. & Borsani, J. F., 2015. La bioacustica marina per lo studio dei cetacei nella implementazione della marine strategy in Italia. *Rivista Italiana di Acustica*.

Madsen, P. T., Wahlberg, M. & Tougaard, J., 2006. Wind turbine underwater noise and marine mammals: Implications of current knowledge and data needs. *Marine Ecology Progress Series*, pp. 279-295.

Notarbartolo Di Sciara, G., Castellote, M., Druon, J. N. & Panigada, n.d. Fin Whales, Balaenoptera Physalus: At Home in a Changing Mediterranean sea?. *Advances in Marine Biology*, p. 75:101.

Polagye, B. & Bassett, C., 2020. *Risk to marine animals from underwater noise generated by marine renewable energy devices*, s.l.: s.n.

Popper, A. N. & Hastings, M. C., 2009. The effect of anthropogenic sources of sound on fishes. *Journal of Fish Biology*, pp. 455-489.

Radford, C., Jeffs, A. & Tindle, C. e. a., 2008. Temporal patterns in ambient noise of biological origin from a shallow water temperate reef.. *Oecologia*, pp. 921-929.

Richardson, J. W., 1995. *Marine mammals and noise*. San Diego: Academic Press.

Ross, D., 1993. On ocean underwater ambient noise. *Acoustic Bulletin*, pp. 5-8.

SNPA, 2020. *Valutazione di impatto ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale*, s.l.: SNPA.

Surdo, S. & Massa, B., 2020. Aggiornamento sulla nidificazione della tartaruga marina *Caretta caretta* in Sicilia. Riflessioni sul valore della citizen science.. *Naturalista Sicil.*, pp. 115-126.

WDCS, 2004. *Oceans of noise: A WDCS Science report*. s.l.:WDCS, the Whale and Dolphin Conservation Society.

Weilgart, L., 2007. A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals.. *International Journal of Comparative Psychology*, pp. 159-168.

WWF, 2014. *Environmental impacts of offshore wind power production in the North Sea: A literature overview*, Oslo: WWF.

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica - Valutazione impatto acustico marino		
Codice documento: C0123YR00ACUMAR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 38 di 39

PARCO EOLICO OFFSHORE AL LARGO DELLE COSTE DI CIVITAVECCHIA PROGETTO DEFINITIVO		
Relazione tecnica - Valutazione impatto acustico marino		
Codice documento: C0123YR00ACUMAR00a	Data emissione: Luglio 2023	Pagina 39 di 39

Il presente documento, composto da n. 127 fogli è protetto dalle leggi nazionali e comunitarie in tema di proprietà intellettuali delle opere professionali e non può essere riprodotto o copiato senza specifica autorizzazione del Progettista.

Taranto, Luglio 2023

Dott. Ing. Luigi Severini