



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI
VITERBO DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECOLOGICHE
E BIOLOGICHE**

Laurea Magistrale in Biologia ed Ecologia Marina (LM-6)

**Comportamento aereo di *Balaenoptera physalus* nel Mar Mediterraneo
occidentale:
distribuzione e relazioni con variabili ambientali**

Candidato

Ivan Farace

Matricola BEM 177

Relatore

Prof. Dario Angeletti

Correlatore

Dr.ssa Ilaria Campana

Anno Accademico

2019 - 2020

INDICE

INTRODUZIONE:	4
CAPITOLO 1: Cenni di biologia ed ecologia di balenottera comune...	6
1.1 Classificazione e sistematica.....	6
1.2 Biologia ed ecologia.....	7
1.3 Comportamento aereo.....	10
CAPITOLO 2: Materiali e metodi.....	15
2.1 Area di studio: caratteristiche generali e provvedimenti di tutela.....	15
2.2 Area di studio: caratteristiche delle aree attraversate dal transetto.....	21
2.3 Metodo di raccolta dati dai traghetti: Protocollo FLT.....	25
2.4 Archiviazione ed elaborazione dati.....	31
2.5 Analisi statistiche.....	32
CAPITOLO 3: Risultati.....	34
3.1 Risultati generali e analisi descrittiva.....	34
3.2 Analisi dei fattori stagionali – ambientali.....	37
3.3 Funzione sociale – comunicativa.....	41
3.4 Analisi dei fattori di disturbo.....	42
3.5 <i>Correspondence Analysis</i> (CA).....	43
CAPITOLO 4: Discussioni e conclusioni.....	46
BIBLIOGRAFIA	54
SITOGRAFIA	60
RINGRAZIAMENTI	61

INTRODUZIONE

Balaenoptera physalus è la specie di balena più comune nel Mediterraneo (Notarbartolo di Sciara & Birkun, 2010), nonché la sola specie di mysticeto frequente ed abituale del Mediterraneo.

Questi affascinanti animali compiono migrazioni di lunghezza e durata notevoli su tutta la vastità degli oceani. Anche all'interno del Mar Mediterraneo avvengono questi spostamenti, nello specifico nella parte occidentale, durante l'estate, gli individui di *Balaenoptera physalus* si spostano verso la zona Ligure-Provenzale (Jahoda et al., 2011) e nel Mar Tirreno (Arcangeli et al., 2014) per alimentarsi, mentre d'inverno avviene una migrazione verso le coste nord-africane (Sciacca et al., 2005).

Il comportamento aereo del *breach* è considerato molto raro nella specie *Balaenoptera physalus* (Whitehead, 1985b; Pryor, 1986; Kot et al., 2013) ma durante alcune campagne di monitoraggio è stato segnalato ed avvistato varie volte il display aereo, o salto, della balenottera comune, sia nel Mar Mediterraneo (Marini et al., 1996), sia in altre zone dell'Oceano Atlantico (Watkins et al., 1979; Kot et al., 2013).

Nel corso degli anni gli studiosi hanno analizzato e descritto il salto in molte specie di grandi cetacei, detto *breaching*, generando varie ipotesi che possono spiegare questo comportamento. I comportamenti aerei sono stati osservati in specie come *Megaptera novaeangliae* (Whitehead, 1985a), *Eschrichtius robustus* (Norris et al., 1983), *Eubalena glacialis* (Clark, 1983; Payne, 1990), *Balaena mysticetus* (Würsig et al., 1989), *Balaenoptera acutorostrata* (Edds & Farlane, 1987) e *Physeter macrocephalus* (Waters & Whitehead, 1990).

Molti fattori potrebbero determinare questi eventi ed il contesto dell'evento è importante per spiegare le possibili ragioni. Secondo studi condotti anche su altre specie, come quelle sopra citate, le cause e gli scopi possono quindi comprendere: comunicazione acustica (Dudzinsky, 2009), display sessuali (Whitehead, 1985b), display aggressivi verso altri individui o imbarcazioni (Kot et al., 2013), stati di eccitazione (Marini et al., 1996), risposte comportamentali all'infortunio, al parassitismo, a relazioni sociali o all'alimentazione (Clapham & Mead, 1999).

Marini et al. (1996) hanno descritto questo comportamento osservando la

balenottera comune da traghetti di linea nel mar Tirreno centrale, fra il 1989 e il 1991, utilizzando piattaforme di opportunità, lungo il transetto Civitavecchia – Golfo Aranci. A seguito di varie osservazioni, alcune avvenute con mare mosso altre con presenza di più individui, è stato ipotizzato che il display aereo potrebbe essere utilizzato per comunicare a lunga distanza oppure come comportamento aggressivo o sessuale.

Il seguente studio è stato effettuato utilizzando dati raccolti dal 2012 al 2020, da traghetti di linea usati come piattaforme di osservazione dal Fixed Line Transect Monitoring Network (Arcangeli et al., 2019); in particolare i dati sono stati raccolti lungo il transetto Civitavecchia-Barcellona, il quale attraversa una vasta area del Mediterraneo occidentale. Lo studio si propone, attraverso un'analisi descrittiva e quantitativa, di investigare sulle potenziali influenze che i fattori ambientali, comportamenti sociali e disturbo antropico possono avere sul display aereo della balenottera comune. Gli eventi di *breaching* sono stati quindi analizzati in relazione a: stagione, stato del mare, tasso di incontro di individui e le relative matrici di distanza tra un evento di salto e l'avvistamento più vicino, concentrazione di clorofilla, presenza e distanza da altri individui conspecifici e traffico navale, con l'obiettivo di ricercare eventuali relazioni tra il comportamento aereo e le precedenti variabili e di rafforzare la conoscenza di questo comportamento comunque raro, poco conosciuto e difficilmente studiabile.

1. CENNI DI BIOLOGIA ED ECOLOGIA DI BALENOTTERA COMUNE

1.1 Classificazione e sistematica

Phylum: *Chordata*

Classe: *Mammalia*

Ordine: *Cetartiodactyla* (Brisson, 1762)

Sottordine: *Mysticeti* (Flower, 1864)

Famiglia: *Balaenopteridae* (Gray, 1864)

Genere: *Balaenoptera* (Lacépède, 1804)

Specie: *Balaenoptera physalus* (Linnaeus, 1758)

La balenottera comune (*Balaenoptera physalus*) è un cetaceo appartenente alla famiglia *Balaenopteridae*, che include la megattera, balenottera azzurra, balenottera boreale, balenottera di Omura, balenottera di Bryde, la balenottera di Eden, e la balenottera minore antartica e la balenottera minore (Bisconti et al., 2020) (figura 1). Secondo studi genetici molecolari la divergenza di questa famiglia dal gruppo dei Mysticeti è avvenuta circa a metà del Miocene (Gingerich, 2004); nonostante ciò ancora non sono chiare le dinamiche evolutive successive.



Figura 1 Cladogramma relativo alla Famiglia *Balaenopteridae*

1.2 Biologia ed ecologia

Dopo la balenottera azzurra, *Balaenoptera physalus* è la specie di cetacei più grande per dimensioni, quest'ultima può raggiungere la lunghezza massima di circa 27 metri (Mackintosh et al., 1929) ed un peso di circa 75 tonnellate (Lockyer, 1976). Studi condotti sulla popolazione dell'Atlantico nord-orientale, considerata simile a quella del Mediterraneo (Notarbartolo di Sciara et al., 2003), hanno stimato la lunghezza massima in 19.23 m per gli individui di sesso maschile e 20.70 m per quelli di sesso femminile (Aguilar & Lockyer, 1987). La popolazione mediterranea differisce però da quella residente nelle acque nord-orientali degli USA (Hain et al., 1992) ed è ritenuta avere dimensioni maggiori (Notarbartolo di Sciara et al., 2003) inoltre, dal punto di vista genetico, è indipendente ed isolata da quella atlantica (Palsbøll et al., 2004), costituendo una popolazione su cui elaborare separate strategie di conservazione. La forma del corpo è marcatamente affusolata ed idrodinamica, caratteristica comune a tutte i Balaenopteridi (figura 2).

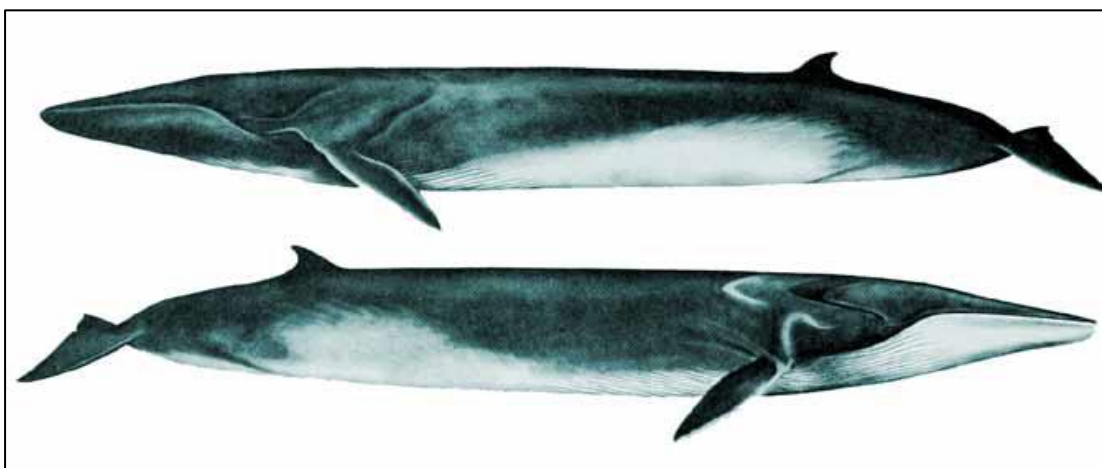


Figura 2 I due lati della balenottera comune, nei quali si osserva la colorazione asimmetrica del rostro

Possiede un doppio sfiatatoio protetto da una sorta di paraschizzi, il soffio è unico e molto alto: può raggiungere i 6 m di altezza ed ha spesso la forma di cono rovesciato. Una singola cresta mediana dorsale si allunga fino alla punta del rostro che risulta a forma di “V”, ampio e piatto. La colorazione è prevalentemente grigiastra sul dorso mentre tende ad essere biancastra sulla parte ventrale del corpo e delle pinne pettorali. La pigmentazione, però, non è uniforme e presenta un motivo distintivo sul lato destro, che la differenzia da altre specie; infatti, il lato sinistro della porzione anteriore del

corpo è grigio scuro, mentre il lato destro ha dei complessi pattern di striature chiare e scure, che ne permettono il riconoscimento individuale (figura 3).

Inoltre, nella regione dorsale, si estende dalla bocca allo sfiatatoio una macchia bianca, il *blaze*, che insieme allo *chevron*, colorazione biancastra a “V” che parte dallo sfiatatoio con la punta rivolta verso la regione caudale, risultano essere caratteri fenotipici unici da individuo a individuo (figura 3).



Figura 3 Sopra particolare del lato destro, sotto *Blaze* e *chevron* di una balenottera comune, ovvero colorazioni biancastre distintive di ciascun individuo

La pinna dorsale è prominente e ricurva e si estende in lunghezza tra 26 – 75 cm (Mackintosh et al., 1929), le pinne pettorali sono piccole e affusolate mentre la coda è larga, appuntita all'estremità e dentellata al centro (Shirihai, 2006).

I misticeti sono mammiferi marini privi di dentatura, al contrario degli odontoceti. Questi cetacei sono provvisti di particolari strutture anatomiche, i fanoni, che non si trovano in nessun altro gruppo tassonomico e che ne permettono l'alimentazione. I fanoni sono strutture composte di cheratina, situate nella mascella superiore, provviste di setole che fungono da filtri per trattenere gli organismi catturati durante l'alimentazione. La loro colorazione rispetta l'asimmetria della pigmentazione

corporea.

La balenottera comune è una tra le specie marine più longeve: la durata della sua vita può raggiungere gli 80-90 anni (Lockyer et al., 1977). Il suo areale include quasi la totalità degli oceani, dai poli ai tropici escludendo le zone con pack di ghiaccio e piccole aeree di mare aperto. La balenottera comune è assente nel Mar Nero (Tomilin, 1957) e nel Mar di Marmara (Öztürk, 1995) mentre è avvistata in quasi tutto il bacino del Mediterraneo, anche se non con la stessa frequenza in tutte le aree.

Durante l'estate, tra Aprile e Settembre generalmente, gli individui di *Balaenoptera physalus* si spostano verso la zona Ligure-Provenzale (Jahoda et al., 2011) e nel Mar Tirreno (Arcangeli et al., 2014) per alimentarsi. Secondo Aïssi *et al*, (2008) sono state inoltre identificate altre due zone di alimentazione, lo stretto di Messina e l'isola di Lampedusa, dove *Balaenoptera physalus* si alimenta anche durante l'autunno ed a inverno inoltrato. Si ipotizza che sfruttino lo stretto di Messina come collegamento tra la i *feeding grounds* del Mediterraneo settentrionale e quelli della porzione meridionale, per poi migrare verso le coste nord-africane e raggiungere i siti di riproduzione (Siacca et al., 2005).

La stagione riproduttiva avviene durante il periodo tra Ottobre e Marzo, ed è seguita da un periodo di gestazione di circa 11-12 mesi. I neonati vengono svezzati fino al sesto o settimo mese di età ed il cucciolo è accompagnato dalla madre fino alle zone di alimentazione estive. La maturità sessuale nelle femmine si raggiunge tra i 6 e i 12 anni di età, e la riproduzione avviene ogni 2/3 anni. Date le peculiari caratteristiche ambientali del Mediterraneo (disponibilità delle prede e/o clima temperato) la stagione riproduttiva potrebbe essere estesa a tutto l'anno con un picco tra la stagione autunnale e quella invernale (Notarbartolo Di Sciara et al., 2003).

La balenottera è un filtratore, si ciba principalmente di piccoli pesci, calamari e crostacei come copepodi e krill. Può essere considerata un predatore attivo: individuato un banco di prede, dilata la cavità orale ed ingerisce un volume d'acqua considerevole senza deglutire. Ciò è reso possibile dalla presenza di numerosi solchi golari che si estendono sulla superficie ventrale fino all'ombelico e che permettono la dilatazione della cavità orale (Pivorunas, 1977). In seguito, l'acqua viene forzata verso l'esterno e convogliata sui fanoni: sulle setole vengono così intrappolate le prede che verranno ingoiate intere.

Grazie alle sue particolari abilità natatorie, riesce a nuotare attorno alle prede senza creare particolari turbolenze che potrebbero indurle alla fuga. Rispetto però alle altre specie di misticeti, la balenottera raggiunge velocità maggiori, superiori ai 20 nodi (37 km/h) (Fox, 2001), facendone il misticete più veloce in acqua.

Il repertorio acustico della balenottera comune è costituito da vocalizzazioni a bassa frequenza che sono utilizzate per la comunicazione con i conspecifici (Fox, 2001). Impulsi a frequenze di 40-75 Hz sono prodotti per la comunicazione a breve raggio, mentre suoni ad impulsi di 20 Hz sono utilizzati per comunicare a grandi distanze (minore è la frequenza, maggiore è la lunghezza d'onda del suono e di conseguenza la distanza che potrà raggiungere). Durante la stagione riproduttiva vengono prodotti suoni a 20 Hz, simili a quelli prodotti dalle megattere (*Megaptera novaeangliae*), con una possibile funzione di corteggiamento (Croll et al., 2002; Watkins et al., 1987).

La balenottera comune soffre di alcune condizioni patologiche. Le principali sono causate dal copepode parassita *Pennella balaenopterae* e dal cirripede *Xenobalanus globicipitis*. Il primo si trova generalmente sul fianco del cetaceo e all'interno del blubber si nutre del suo sangue (Çiçek et al., 2007), mentre il secondo si trova maggiormente sulla pinna dorsale, pettorale e caudale (Rajaguru et al., 1992).

1.3 Comportamento aereo

Il comportamento aereo di grandi cetacei, o *breaching*, avviene quando gran parte o la totalità del corpo della balena emerge al di fuori dell'acqua (figura 4).



Figura 4 Foto in sequenza del salto della balenottera comune (da Accademia del Leviatano)

Per attuare questo comportamento l'animale deve nuotare in basso fino a raggiungere una profondità sufficiente per poi, usando la sua pinna caudale, risalire verso la superficie. Mentre risale deve raggiungere una velocità abbastanza elevata da permetterle la fuoriuscita dall'acqua. La megattera può raggiungere i 28 km/h per emergere completamente dall'acqua (Segre, 2020).

Saltare fuori dall'acqua è energeticamente molto costoso, a causa della forza di gravità ma anche della densità dell'acqua che è di circa 800 volte maggiore rispetto a quella dall'aria. Secondo Segre (2000) per effettuare un singolo salto (calcolato con almeno il 40% del corpo fuori dall'acqua) una balena può consumare energeticamente quanto un maratoneta di 60 kg per completare un'intera maratona.

Secondo Marini *et al.* (1996) i pattern del comportamento aereo di *Balaenoptera physalus* possono essere molteplici e possono essere divisi in due categorie principali: salto verticale e salto obliquo.

Durante il salto verticale la balena esce verticalmente dalla superficie per metà del suo corpo per poi ricadere sul dorso (figura 5a) o sul fianco del corpo (figura 5b).

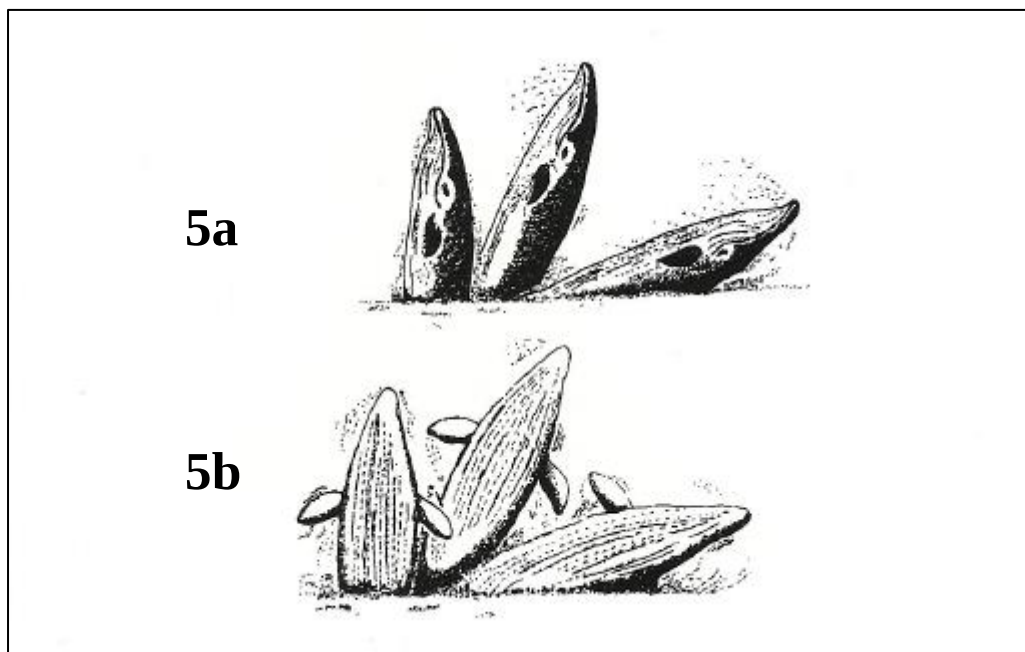


Figura 5 Pattern osservati del comportamento aereo verticale della balenottera comune, con ricaduta sul dorso (5a) e sul fianco (5b) (Marini et al. 1996)

Invece nel salto obliquo la balenottera salta lateralmente uscendo per quasi la totalità del corpo fuori dal mare. Il salto e la ricaduta possono avvenire sul fianco (figura 6a), sul ventre (figura 6b) o sul dorso (figura 6c).

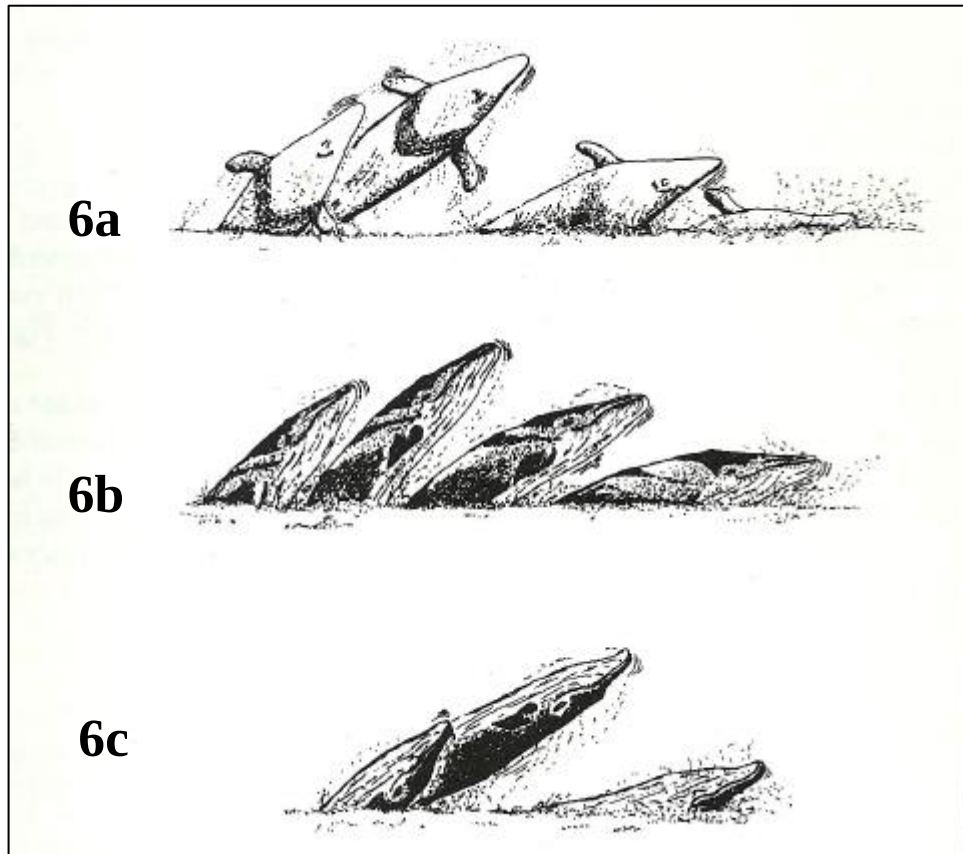


Figura 6 Pattern osservati del comportamento aereo obliquo della balenottera comune, con ricaduta sul fianco (6a), sul ventre (6b) e sul dorso (6c) (Marini et al., 1996)

Altre ricerche condotte da Kot *et al.* (2013) hanno descritto un differente pattern di comportamento rispetto a quello descritto da Marini *et al.* (1996). La balenottera esce dalla superficie con un angolo di traiettoria di 70° rispetto alla superficie (figura 7a). Successivamente compie una rotazione su sé stessa in senso antiorario (figura 7b), per poi cadere sul dorso dopo aver completato la rotazione completa di 90° (figura 7c).

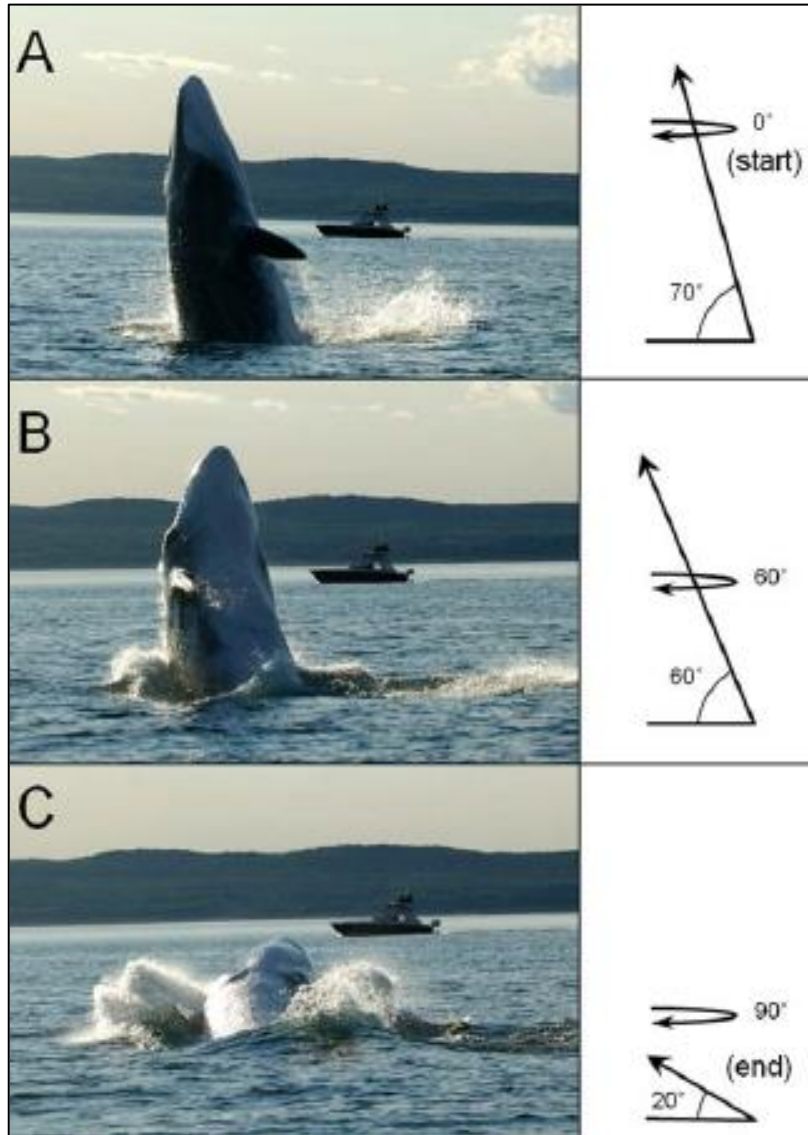


Figura 7 Le fotografie mostrano la sequenza della posizione del corpo con le sue corrispondenti traiettorie e angoli di rotazione, durante il salto (7A) la rotazione (7B) e la ricaduta (7C) della balenottera comune (da Kot et al., 2013)

Le possibili cause che possono determinare questo comportamento sono molteplici e ipotizzate nel corso dei vari anni di studi su questa ed altre specie di cetacei. Le principali cause analizzate e prese in considerazione sono le seguenti:

- zone e periodi di alimentazione (Marini et al., 1996)
- comunicazione acustica non vocale (Dudzinsky et al., 2009)
- display sessuali (Whitehead, 1985a)
- relazioni sociali (Clapham & Mead, 1999)
- risposta al disturbo verso imbarcazioni (Kot et al., 2013)

Secondo lo studio di Marini *et al.* (1996) questo comportamento era effettuato dagli individui durante i periodi di alimentazione ed in un noto *feeding ground*; quindi, è stato ricondotto ad una sorta di stato di eccitamento riconducibile appunto all'alimentazione.

Tramite gli studi di Marini *et al.* (1996) ma anche di Dudzinsky *et al.* (2009) si ipotizza che il salto potrebbe essere utilizzato dai cetacei come una tipologia di comunicazione acustica non vocale. Marini *et al.* (1996) ha osservato il comportamento durante condizioni di mare tempestoso affermando che quest'ultimo, dato il rumore prodotto, potrebbe mascherare le vocalizzazioni acustiche di questa specie. Inoltre, secondo un altro studio di Whitehead (1985b) potrebbe essere una modalità di esclamazione fisica per enfatizzare una vocalizzazione.

Ancora secondo Marini *et al.* (1996), attraverso studi su *Balaenoptera physalus*, ma anche secondo uno studio di Whitehead (1985a), nella specie *Megaptera novaeangliae*, l'evento di *breaching* è riconducibile ad un "rito di corteggiamento", come fosse un indicatore di buono stato di fitness riproduttiva, dato che gli individui erano stati avvistati in gruppo durante la manifestazione di questo comportamento.

Simili sono state le ipotesi di Clapham & Mead (1999) che hanno condotto studi su *Megaptera novaeangliae*, osservando display aerei in gruppi di individui per poi supporre in linea generale che questo comportamento possa essere un meccanismo di comunicazione e quindi essere utilizzato come strumento nel contesto delle relazioni sociali tra individui conspecifici.

Kot *et al.* (2003) ha osservato *Balaenoptera physalus* effettuare una serie di salti consecutivi molto vicini ad una nave mercantile ipotizzando che il salto potrebbe essere una risposta al disturbo attuato da grandi imbarcazioni.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio: caratteristiche generali e provvedimenti di tutela

Il bacino del Mediterraneo è caratterizzato da un afflusso di acque superficiali provenienti dall'Oceano Atlantico, le quali risultano avere una densità minore, dovuta a una più bassa salinità, rispetto alle acque del Mediterraneo; ciò permette che si crei una corrente superficiale proveniente dallo Stretto di Gibilterra. L'afflusso è prima diretto verso nord-est a causa dell'orientamento dello stretto e generalmente descrive un *gyre* in senso orario nella parte occidentale di Alboran fra la Spagna e il Marocco. Fuori Alboran la corrente si ristruttura lungo la costa algerina, formando la "corrente Algerina". Questa massa di acqua si diffonde poi verso la costa provenzale e catalana generando il fronte nord-balearico. Un'altra parte continua a fluire in senso antiorario attorno al Tirreno lungo la Sicilia e la penisola italiana prima di entrare nel Canale di Corsica. Qui il flusso si ristruttura nuovamente e continua verso la costa ligure, provenzale e catalana, fino alla costa algerina e al mare di Alboran dove si chiude (Millot, 1999; figura 8). Questa dinamica di flusso è influenzata dalla forza di Coriolis, dalle condizioni fisiografiche, e dai venti. Nel Golfo del Leone i venti nord-occidentali sono dominanti, più frequenti e persistenti in inverno, mentre il mare delle Baleari è meno ventoso, a causa di un effetto di difesa dei Pirenei (Astraldi & Gasparini, 1994; Millot, 1999); Lo Stretto di Bonifacio, compreso tra le isole Sardegna e Corsica, è principalmente influenzato dalla parte continentale delle bocche di Bonifacio e nella parte occidentale, dal Golfo dell'Asinara e da Castelsardo Canyon. Il Tirreno presenta vortici ciclonici che sono diretta conseguenza del vento che soffia tutto l'anno verso est attraverso lo Stretto di Bonifacio, anche se mostra significative variazioni stagionali (Astraldi & Gasparini, 1994).

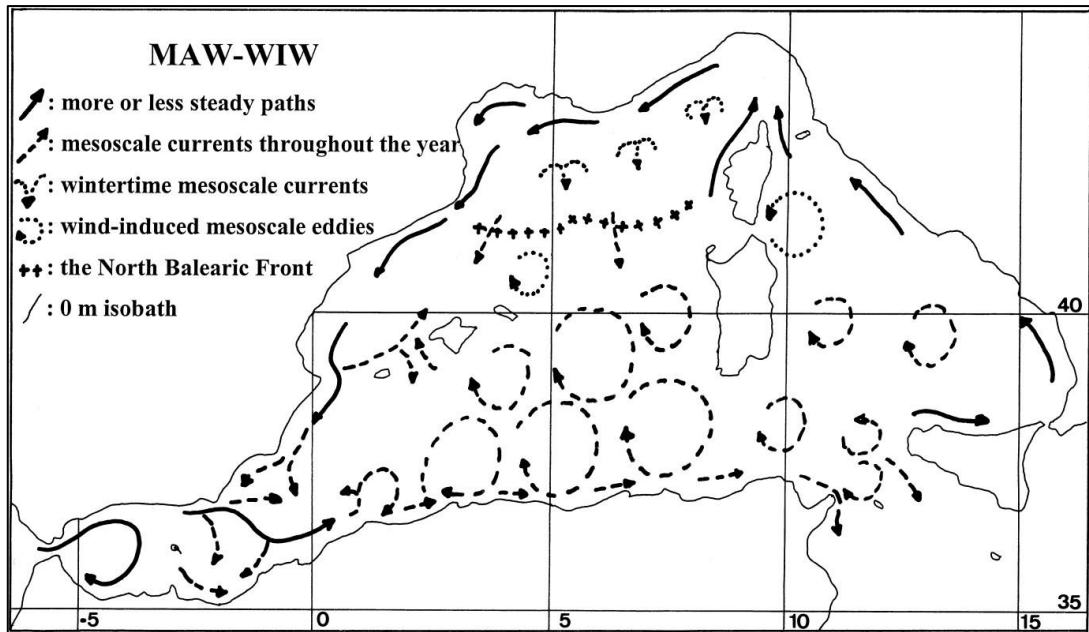


Figura 8 Modello della circolazione superficiale nel bacino occidentale del Mediterraneo (Milot, 1999)

In relazione a batimetrie e correnti è importante considerare anche la concentrazione di clorofilla (CHL) nonché i tassi ed i pattern di produzione primaria nel Mar Mediterraneo, che in generale risulta essere un bacino oligotrofico in cui la produzione primaria è limitata dalla disponibilità di nutrienti inorganici, ad es. azoto (N) e fosforo (P). Generalmente in questo bacino la concentrazione di clorofilla diminuisce da Ovest a Est con una netta separazione nel Canale di Sicilia. Le elevate concentrazioni di CHL in genere caratterizzano le acque costiere e, in particolare, le foci dei fiumi che forniscono carichi nutritivi (Colella et al., 2016; figura 9).

Come si può notare dalla figura 9, ci sono note aree di concentrazione di clorofilla più elevate. Queste sono la foce del Rodano, il Mar Ligure e specifiche porzioni costiere del Tirreno Centrale.

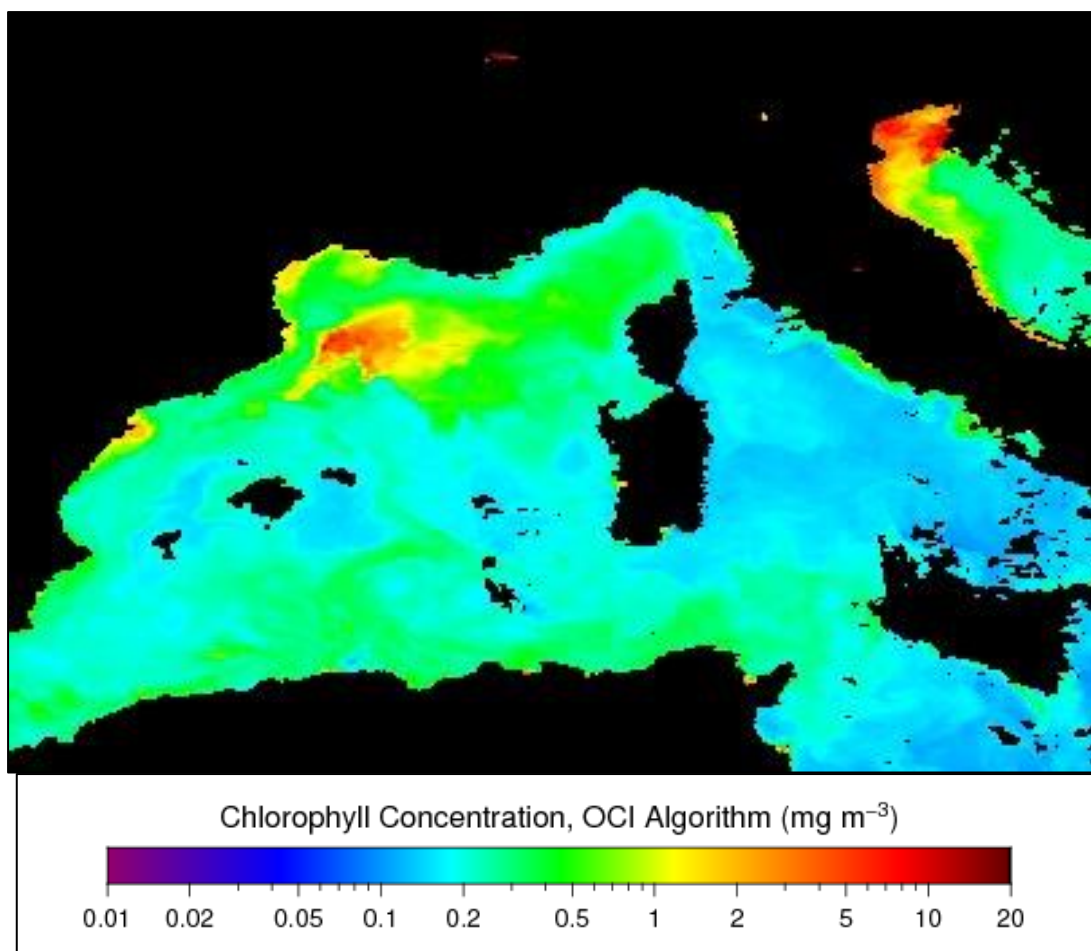


Figura 9 Esempio di mappa di concentrazione della Clorofilla nell'area di studio, ricavata da sensori satellitari Modis Aqua media dati di 8 giorni, da 15-04-2014 a 22-04-2014.
(<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3>)

Data l'importanza ambientale ed ecologica di alcune aree nel Mar Mediterraneo sono state istituite zone di protezione e conservazione dell'ambiente marino.

L'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN) definisce una Area Marina Protetta (AMP) come: uno spazio geografico chiaramente definito, riconosciuto, dedicato e gestito, mediante strumenti giuridici o altri efficaci, per conseguire la conservazione a lungo termine della natura con i servizi ecosistemici associati e il valore culturale (figura 10).

Le aree marine protette sono costituite da ambienti marini, dati dalle acque, dai fondali e dai tratti di costa prospicienti, che presentano un rilevante interesse per le caratteristiche naturali, geomorfologiche, fisiche, biochimiche con particolare riguardo alla flora e alla fauna marine e costiere e per l'importanza scientifica,

ecologica, culturale, educativa ed economica che rivestono. Ogni area è suddivisa, generalmente, in tre zone con diversi gradi di tutela.

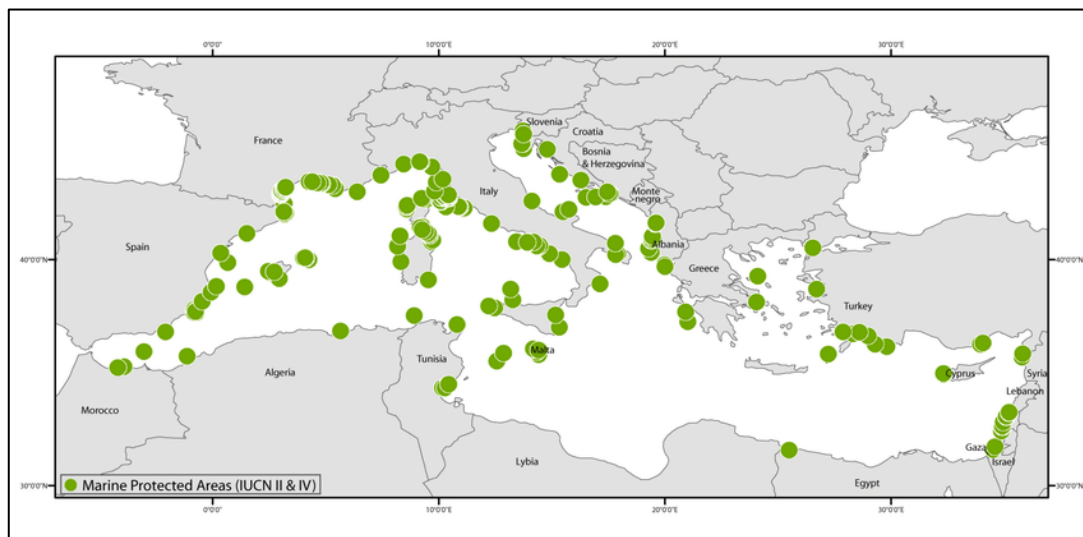


Figura 10 Aree Marine protette nel Mar Mediterraneo, Categorie IUCN II e IV (dal database MedPAN MAPAMED, <http://www.medpan.org/>)

Con il Protocollo relativo alle Aree Specialmente Protette e la Biodiversità in Mediterraneo del 1995 (Protocollo ASP/BD) le parti contraenti alla Convenzione di Barcellona hanno previsto, al fine di promuovere la cooperazione nella gestione e conservazione delle aree naturali, così come nella protezione delle specie minacciate e dei loro habitat, di istituire Aree Speciali Protette di Importanza Mediterranea (ASPIM) (SPAMI in inglese, *Specially Protected Areas of Mediterranean Importance*). La conservazione del patrimonio naturale è quindi l'obiettivo fondamentale che deve caratterizzare le SPAMIs. L'elenco SPAMIs può includere siti che: sono importanti per la conservazione delle componenti della diversità biologica nel Mediterraneo, contengono ecosistemi specifici della zona del Mar Mediterraneo o habitat di specie minacciate di estinzione, e sono di particolare interesse a livello scientifico, estetico, culturale o educativo. Tra queste aree, il Santuario Pelagos è stato la prima ad essere istituita (figura 11).

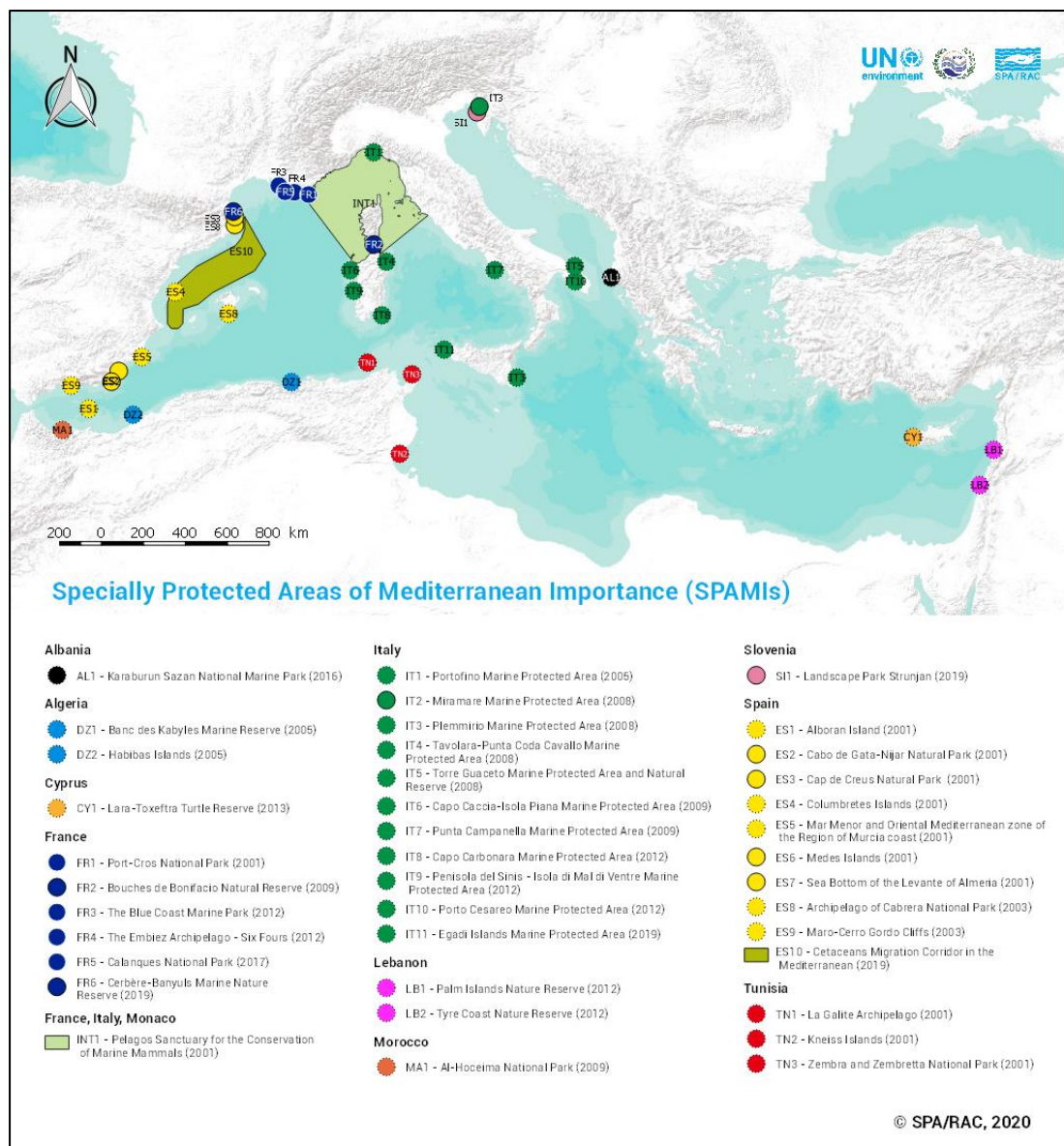


Figura 11 Lista aree SPAMI al 2019 (da RAC/SPA 2020)

Inoltre, dalla task force delle aree protette per i mammiferi marini, sono state definite le *Important Marine Mammal Areas* (IMMAs) come una porzione discreta di habitat che possiede qualsiasi condizione ambientale, proprietà biologica che sostiene, mantiene o migliora lo stato di conservazione dei mammiferi marini. Le aree più importanti tra queste sono il Santuario Pelagos, il mare di Alborán e il Mediterraneo Nord-occidentale, mentre il mar Tirreno centrale risulta una area candidata (figura 12).

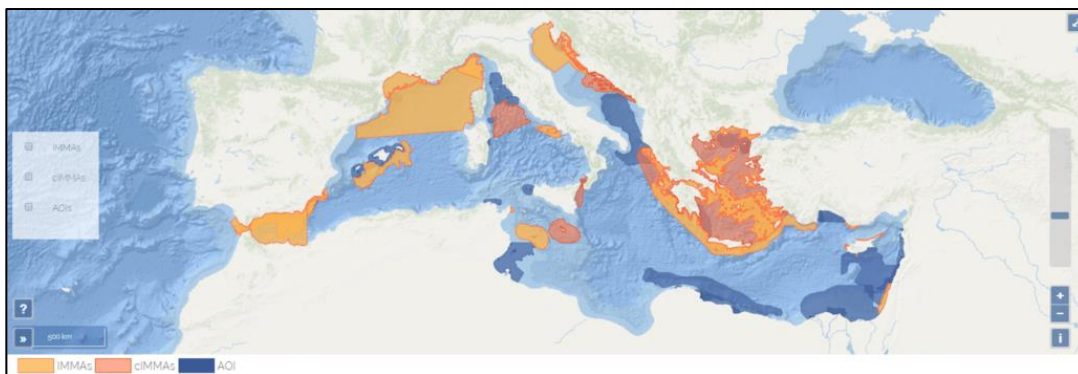


Figura 12 Aree IMMAs nel Mar Mediterraneo

Dal punto di vista dei fattori antropici che caratterizzano il Mar Mediterraneo, il più importante da considerare è il traffico navale. Secondo i dati di Assoporti, L'Associazione Porti Italiani, nel 2012 tra Mar Mediterraneo e Mar Nero sono circolate circa 50.000.000 di imbarcazioni di ogni genere (figura 13). L'area di studio è generalmente molto trafficata, con una presenza navale maggiore nel Mar Tirreno rispetto al Mar di Sardegna e Baleari. È evidente come durante primavera ed estate ci sia un incremento in intensità del disturbo.

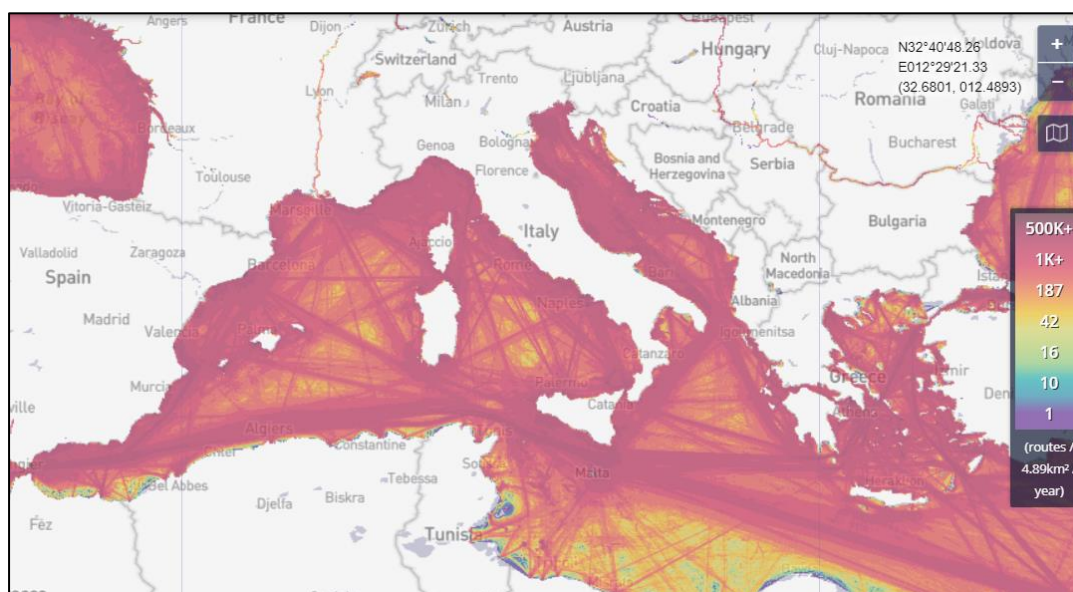


Figura 13 Mappa di densità media di traffico navale nel 2019 ricavata da marinetraffic.com

2.2 Area di studio: caratteristiche delle aree attraversate dal transetto

L'area di studio investe parte del bacino occidentale del Mar Mediterraneo, coprendo il transetto Civitavecchia-Barcellona (andata e ritorno), lungo circa 810 km corrispondenti a 437,365 miglia nautiche. Le zone di mare interessate dal transetto sono il Tirreno Centrale, la zona di confine tra il mare di Corsica e il mar di Sardegna e il mar delle Baleari settentrionale (figura 14).

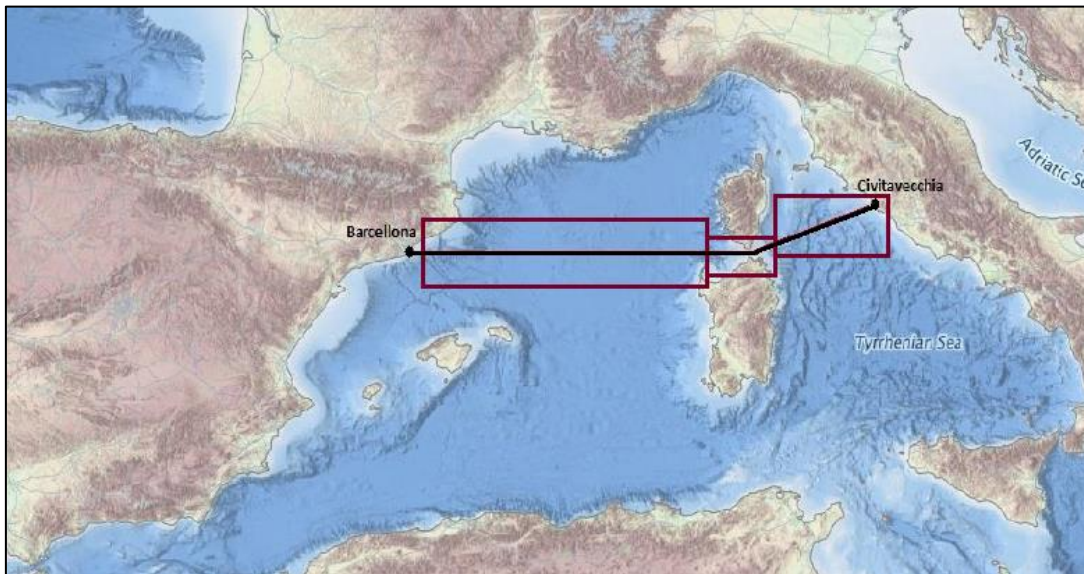


Figura 14 Transetto lineare Civitavecchia-Barcellona con box delle zone attraversate

I mari suddetti si differenziano molto da un punto di vista oceanografico a causa di una lunga e complessa storia geologica che ha interessato il mar Mediterraneo. (figure 15 e 16).

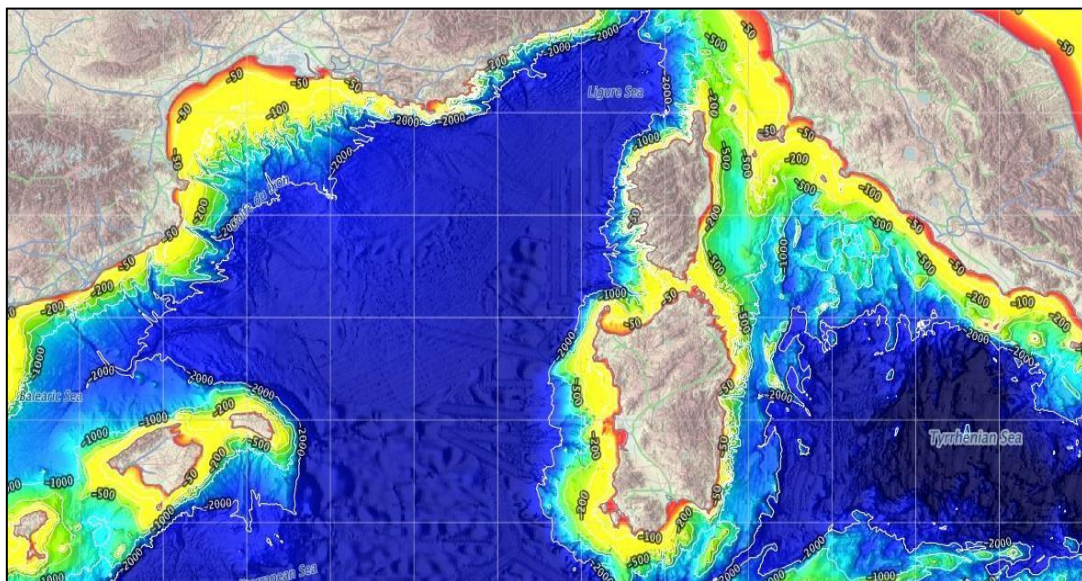


Figura 15 Mappa dell'intera area del Mediterraneo occidentale con batimetrie

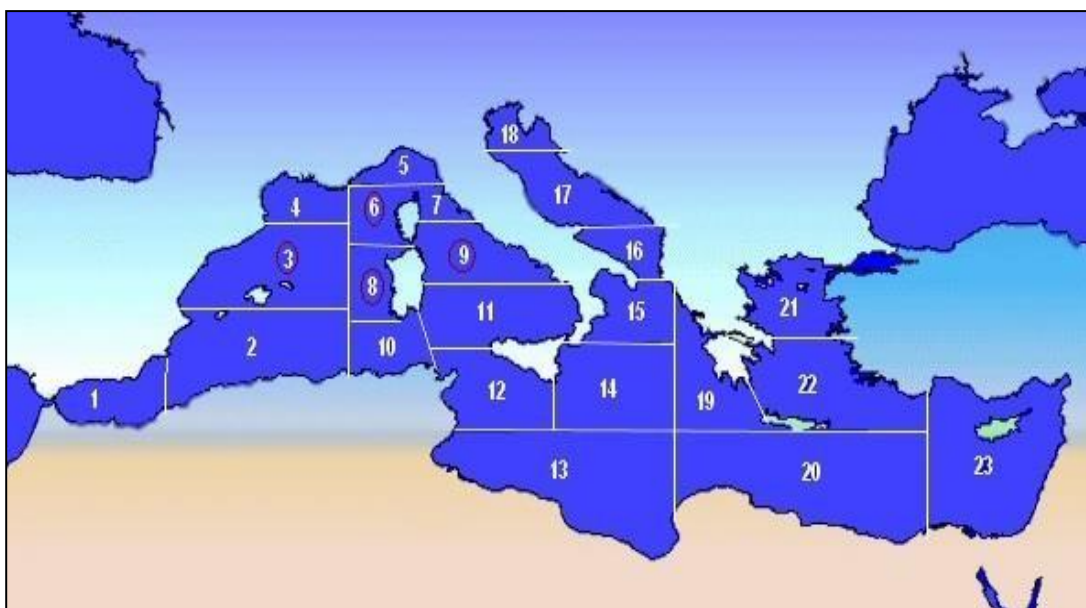


Figura 16 Le aree del Mar Mediterraneo; in evidenza le aree interessate dal transetto: 1 Mare di Alboran , 2 Mar delle Baleari Meridionale, **3 Mar delle Baleari Settentrionale**, 4 Golfo del Leone, 5 Mar Ligure, **6 Mar di Corsica**, 7 Tirreno Settentrionale, **8 Mar di Sardegna**, **9 Tirreno Centrale**, 10 Canale di Sardegna, 11 Tirreno Meridionale, 12 Stretto di Sicilia, 13 Mar Libico, 14 Ionio Meridionale, 15 Ionio Settentrionale, 16 Adriatico Meridionale, 17 Adriatico Centrale, 18 Adriatico Settentrionale, 19 Ionio Orientale, 20 mare di Creta, 21 Egeo Settentrionale, 22 Egeo Meridionale, 23 Mar di Levante

Ai fini delle analisi sono considerate due macroaree di alto mare: il Mar Tirreno Centrale ed il Mar di Sardegna-Baleari.

Il **Mar Tirreno** è compreso fra la Corsica, la Sardegna, la Sicilia, la Calabria, la Basilicata, la Campania, il Lazio e la Toscana; è collegato al mar Ionio tramite lo Stretto di Messina ed è diviso dal mar Ligure dall'isola d'Elba, con il Canale di Corsica a ovest e il Canale di Piombino a est. Il mar Tirreno viene suddiviso in settentrionale e centro-meridionale poiché a questa ripartizione corrispondono una differente fisiografia e storia geologica. La piattaforma continentale lungo il margine costiero del Lazio del nord ha uno sviluppo tra i 17 e i 20 km, mentre la piana abissale interessata dal transetto è caratterizzata dalla presenza di catene montuose sottomarine e *seamounts* e risulta essere meno profonda - la profondità non supera i 2000 metri - rispetto alla zona più meridionale, dove la profondità supera i 3000 m.

Il **Mar di Sardegna** è situato tra l'isola della Sardegna e l'arcipelago spagnolo delle Baleari. Vi si affaccia il versante occidentale della regione Sardegna, si estende fino al mare di Corsica a nord e fino al canale di Sardegna a sud. La piattaforma continentale raggiunge in alcuni punti estensioni superiori ai 30 km dalla linea di costa, ma risulta essere più ristretta nella zona interessata dal transetto, dove a Nord-Ovest dell'Isola dell'Asinara non supera i 5 km. Profondità vicine ai 3000 m si raggiungono nella zona sudoccidentale del bacino.

Il **Mare di Corsica** bagna le coste occidentali della Corsica, proseguendo a nord nel mar Ligure, a sud nel mare di Sardegna (con il quale ha in comune le bocche di Bonifacio) e a ovest con il mare delle Baleari. La piattaforma continentale rispetto a quella sarda si presenta molto più ristretta lungo tutto il margine orientale dell'isola corsa, il fondale risulta, infatti frastagliato e ricco in canyon sottomarini. Nella zona centrale di tale bacino le batimetrie possono superare i 2500 m.

Il **Mare delle Baleari** o **Mare Iberico** è un vasto bacino che si estende tra la costa spagnola e le Baleari, confina a est con il mar di Sardegna e il mar di Corsica. La piattaforma continentale presenta estensioni variabili lungo tutto il margine della costa spagnola e risulta non superare i 10 km nella zona interessata dal transetto. La piana abissale si evidenzia più pianeggiante nella zona di interesse, rispetto a quella suddetta del mar Tirreno. Le profondità maggiori di tale bacino si registrano lungo ristrette fosse a nord-est di Minorca, dove si raggiungono i 3000 m.

Nelle zone attraversate dal transetto appena descritte, sono presenti numerose aree che sottostanno a provvedimenti di tutela, più o meno finalizzati alla protezione dei cetacei. In particolare, a cavallo tra Mar Tirreno, Mare di Corsica e Mar di Sardegna è presente il Santuario Pelagos per la protezione dei mammiferi marini nel Mediterraneo, classificata come area SPAMI, compresa nel territorio francese, monegasco e italiano. L'area marina protetta internazionale è stata istituita nel 1999 e si estende nel bacino corso-ligure-provenzale da Punta Escampobariou (vicino alla città francese di Tolone) a Capo Falcone e capo Ferro (Sardegna), fino al Chiarone (confine tra Toscana e Lazio) e ricopre una superficie di circa 87.500 km². In territorio italiano invece, il Santuario per i mammiferi marini è stato istituito nel 1991 come area naturale marina protetta di interesse internazionale, e occupa una superficie a mare di circa 25.573 km² nelle regioni Liguria, Sardegna e Toscana. Questa zona è caratterizzata da una maggiore produttività causata da molteplici meccanismi di fertilizzazione che aumentano il livello di produzione primaria: gli apporti di acque continentali, l'effetto del rimescolamento invernale e fenomeni di upwelling. Perciò vi è una presenza elevata di molte specie di cetacei, come la balenottera comune, che si alimentano in questo importante *feeding ground* (Jahoda et al., 2011).

Nella parte meridionale del Mar di Corsica e in una piccola parte del Mar Tirreno (compresa tra i comuni di Porto Vecchio e Bonifacio) è presente la riserva naturale delle Bocche di Bonifacio. La riserva è classificata come Area Specialmente Protetta di Interesse Mediterraneo (SPAMI), è stata istituita nel 1999 e copre una superficie marina di circa 800 km² nelle Bocche di Bonifacio tra Corsica e Sardegna. Nel Mar di Sardegna, sulla punta più a nord dell'isola troviamo l'Area Marina Protetta (AMP) Capo Testa – Punta Falcone, indetta nel 2018. La zona racchiude una superficie di oltre 50 km² ed è suddivisa in quattro zone (A, B, Bs e C): riserva integrale, generale, generale speciale e parziale.

Inoltre, nel Mar di Sardegna, di fronte alla Punta di Capo Falcone, e all'estremo lembo a nord-ovest della Sardegna si trova l'Area Marina Protetta Isola dell'Asinara, istituita nel 2002. L'Area Marina Protetta circonda appunto l'Isola dell'Asinara e ha un'estensione di circa 108 km². L'area marina è suddivisa in 3 zone (A, B, C).

Nella parte nord-ovest del Mar Mediterraneo è presente una *Important Marine Mammal Areas* (IMMA) soprannominata “*North West Mediterranean Sea, Slope and*

Canyon System". L'area interessata è molto vasta (145.297 km²) e attraversa molteplici mari: Mar Ligure, Mar di Corsica, Mar di Sardegna e Mar delle Baleari Settentrionale.

Questa zona presenta delle caratteristiche geomorfologiche e oceanografiche molto particolari che includono, sistemi di canyon e zone di upwelling, che promuovono i livelli di produzione primaria e la rendono una zona ecologicamente e biologicamente importante. Il Santuario Pelagos è una zona complementare a questa e la sinergia di queste aree protette permette la protezione della diversità in specie di cetacei nel Mar Mediterraneo.

Nella parte finale del transetto considerato, all'interno del Mar delle Baleari settentrionale, troviamo un'altra area protetta che è direttamente collegata alle sopraccitate. È chiamata "*Cetaceans Migration Corridor in the Mediterranean*" ed è stata approvata come *Specially Protected Areas of Mediterranean Importance* (SPAMI) nel 2019. Ricopre una superficie di 46.386 km² ed è compresa tra le Isole Baleari, la costa catalana e quella valenciana. L'area ha un importante ruolo ecologico non solo per essere un corridoio per le migrazioni dei cetacei (soprattutto per la balenottera comune) ma anche perché è un habitat di biodiversità.

2.3 Metodo di raccolta dati dai traghetti: Protocollo FLT

Nel Tirreno centrale, fra il 1989 e il 1991 sono state condotte delle campagne di avvistamento cetacei lungo il transetto Civitavecchia – Golfo Aranci sfruttando i traghetti delle Ferrovie dello Stato, dall'Accademia del Leviatano – ONLUS (Marini et al., 1996).

Nel 2007 ISPRA, Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale, ha ripreso il progetto e la rete di monitoraggio si è notevolmente ampliata comprendendo oltre alle tratte nazionali, tratte transfrontaliere con la Francia, la Spagna, la Tunisia e la Grecia, definendo l'attuale *Fixed Line Transect Mediterranean Monitoring Network* (Arcangeli et al., 2019; figura 16) ed estendendo anche il monitoraggio a traffico navale e marine litter. L'applicazione del metodo del transetto lineare fisso permette di acquisire dati dal mar Ligure al mar Adriatico, grazie alla partecipazione di molti *partners* scientifici ed il supporto delle compagnie di trasporto marittimo (figura 17).

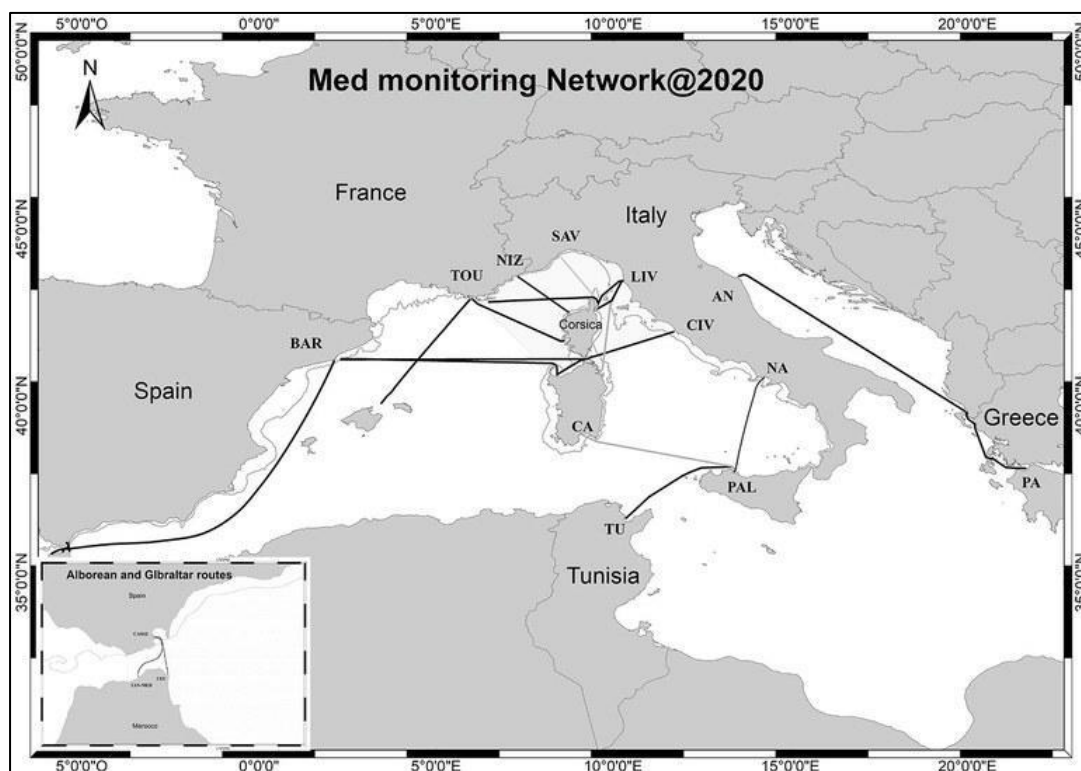


Figura 17 La rete di monitoraggio *Fixed Line Transect Mediterranean Monitoring* (Arcangeli et al., 2019)

I vantaggi dell'utilizzo di questo tipo di metodologia sono:

- I bassi costi di gestione del campionamento, poiché la compagnia marittima ospita gli osservatori a bordo delle proprie navi, fornendo la possibilità di salire sul ponte di comando per tutto il tempo necessario al campionamento.
- La ripetitività del transetto, dato dalle rotte predefinite del trasporto marittimo passeggeri.
- La continuità del campionamento nel tempo, per cui è possibile monitorare l'area di studio durante tutto l'anno, quindi anche nei mesi invernali dove il monitoraggio con piccole imbarcazioni risulta difficoltoso, e in maniera continuativa nel tempo, fornendo la possibilità della creazione di una banca dati di molti anni.
- Il monitoraggio di zone off shore, cioè di aree di mare profondo, molto distanti dalla costa per cui difficilmente raggiungibili con imbarcazioni più piccole.

- L'estensione dell'area campionata: attraverso l'osservazione da traghetto di linea è possibile monitorare molte miglia marine con un unico transetto.

Come già detto, nell'ambito di questo studio è stata campionata la tratta Civitavecchia – Barcellona, operata dalla compagnia Grimaldi Lines, e avviata in Giugno 2012. I traghetti di linea della Grimaldi Lines utilizzati come piattaforma di monitoraggio sono le navi gemelle *Cruise Barcellona* e la *Cruise Roma*. Durante le uscite di monitoraggio sono stati presi dati riguardanti la presenza dei mammiferi marini lungo il transetto. Osservatori dedicati posizionati sul ponte comando (figura 18) effettuano gli avvistamenti delle differenti specie di cetacei presenti in mar Mediterraneo: *Balaenoptera physalus*, *Physeter macrocephalus*, *Ziphius cavirostris*, *Globicephala melas*, *Grampus griseus*, *Tursiops truncatus*, *Stenella coeruleoalba*, *Delphinus delphis* (figura 19).



Figura 18 Posizionamento dell'osservatore sull'aletta del ponte di comando e interno dell'aletta del ponte di comando



Figura 19 Specie di cetacei abitualmente presenti in Mediterraneo. Da in alto a sinistra: *Balaenoptera physalus*, *Physeter macrocephalus*, *Ziphius cavirostris*, *Globicephala melas*, *Grampus griseus*, *Tursiops truncatus*, *Stenella coeruleoalba*, *Delphinus delphis*

La strumentazione adoperata nell'ambito di questa raccolta dati è stata:

- Schede di raccolta dati dedicate
- GPS portatile
- Binocolo 7x o 8x

Le schede di raccolta dati sono tre e sono specifiche per tre sezioni differenti: condizioni meteo, traffico navale e avvistamenti.

Prima di iniziare l'attività di osservazione, l'operatore è tenuto ad annotare sulle schede di raccolta dati a sua disposizione il suo nome, la data, il nome della nave e il codice identificativo del transetto.

Quest'ultimo può essere definito come ad esempio:

➤ CBAR_205.

All'apertura del transetto, sulla scheda meteo (*weather*), l'osservatore registra sul GPS dedicato un punto, o *waypoint* inserendolo con la voce BEG (Begin). La stessa procedura viene eseguita in caso di un periodo di pausa dall'osservazione o in caso di peggioramento delle condizioni del mare che impediscono il monitoraggio, in tale caso la voce utilizzata è STOP; la ripresa dell'attività di monitoraggio dopo la pausa viene invece indicata come START. Al termine dell'attività di campionamento viene nuovamente registrato un *waypoint* come END e trascritto il relativo numero.

Si aggiunge poi data, codice identificativo del transetto, ora, condizioni del mare, rotta e velocità di navigazione, direzione del vento, presenza/assenza di pioggia, visibilità, copertura nuvolosa e coordinate geografiche del punto relativo registrato sul GPS.

Per ogni avvistamento si compila l'apposita scheda sugli avvistamenti (*sightings*). Si identifica ogni avvistamento con un codice GPS si aggiunge poi ora, coordinate geografiche, lato della nave dov'è avvenuto l'avvistamento, nome dell'osservatore, nome scientifico della specie osservata, numero di individui, presenza di giovani, distanza dalla nave, angolo rispetto alla prua della nave, direzione del nuoto, risposta dell'individuo rispetto alla nave, presenza/assenza di collisione ed infine note generali sul comportamento. Nello specifico, per gli avvistamenti con evento di *breaching*, sotto la voce "*surface behaviour*", vengono annotate dei comportamenti accessori come soffio (*blow*), numero di salti, il tipo di salto (*full leap*, sul dorso, ecc.) ed associazioni particolari tra questi.

Per ogni avvistamento poi si compila la scheda del traffico navale (*naval traffic*). Si annota presenza/assenza di cetacei, ora, coordinate geografiche ed i tipi di imbarcazioni, suddivise per dimensioni, entro e dopo le due miglia dalla piattaforma di osservazione.

2.4 Archiviazione ed elaborazione dati

Tutti i dati scritti sulle schede vengono trascritti su fogli di calcolo Excel ed integrati con i dati GPS, utilizzando database specifici stilati secondo i protocolli FLT.

I dati archiviati sono stati poi elaborati inizialmente secondo un'analisi stagionale. I transetti sono stati raggruppati in quattro stagioni:

- Inverno (*Winter*): da Gennaio a Marzo
- Primavera (*Spring*): da Aprile a Giugno
- Estate (*Summer*): da Luglio a Settembre
- Autunno (*Autumn*): da Ottobre a Dicembre

L'analisi descrittiva stagionale ha permesso di evidenziare quali sono le stagioni che presentano la frequenza più alta di questi eventi.

Per mettere in relazione lo stato del mare con i displays aerei ogni evento di salto è stato associato con lo stato del mare presente al momento dell'avvistamento.

Un altro fattore analizzato è il tasso di incontro della specie, encounter rate (ER), secondo la formula “numero avvistamenti/km on effort”, calcolato per tutti i transetti con e senza eventi di *breaching* per ogni stagione. Sono stati poi paragonati i valori con altri valori medi di ER di balenottera presenti in letteratura e ottenuti dello stesso progetto (Arcangeli et al., 2016; Arcangeli et al., 2017).

Per descrivere la presenza di salti di Balenottera e la loro densità spaziale nelle diverse stagioni è stato utilizzato il GIS (*Geographic Information System*), il sistema informativo geografico che ha permesso l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione delle informazioni prese in campo tramite GPS.

Utilizzando il software QGIS versione 3.18.3, sono state create delle mappe con dati geografici georeferenziati ed è stata svolta un'analisi sulla distribuzione degli avvistamenti generali e degli avvistamenti con presenza di salti.

Sono stati scaricate, dal sito della Nasa “Oceancolor”, mappe settimanali della concentrazione di CHL della zona interessate e poi, tramite QGIS, sono state

georeferenziate usando il plugin raster “georeferenziatore”. Successivamente le mappe sono state sovrapposte con i punti georeferenzati dei salti così da relazionare possibili zone di alimentazione con l’evento di *breaching* (allegato 1). Dallo stesso sito sono state poi ricavate le mappe stagionali della concentrazione di CHL per ogni anno ed è stato estratto il valore su ciascuna posizione dei salti, da confrontare con la media stagionale calcolata per ciascun bacino (Sardegna-Baleari, Tirreno centrale). Per questa analisi è stato sfruttato il software QGIS, utilizzando il plugin “field calculator” e la funzione “raster value”.

Al fine di indagare sulle funzioni sociali-comunicative di questo comportamento è stata fatta una prima analisi descrittiva utilizzando i dati ottenuti dagli avvistamenti per evidenziare la presenza di altri individui al momento del salto. Successivamente, tramite QGIS, sono state calcolate delle matrici di distanza (in km) tra l’avvistamento del salto, il primo avvistamento precedente al salto e il primo successivo registrati sullo stesso transetto, dove presenti. È stata utilizzata la funzione “matrici di distanza” tra i plugin “vettori”.

Per approfondire l’influenza del traffico navale è stata analizzata la distanza tra le balenottere avvistate durante un display aereo e la piattaforma di osservazione, quindi la nave. Queste distanze sono state suddivise in cinque intervalli per poi calcolare una media annuale. È stata presa inoltre in considerazione la presenza di imbarcazioni al momento dell’avvistamento di *breaching*, per valutarne la relazione come possibile elemento di disturbo.

2.5 Analisi statistiche

Per effettuare tutte le analisi statistiche è stato utilizzato il software Past 4.03 (Hammer et al., 2001).

Al fine di confrontare i valori medi stagionali di *encounter rate* (ER) totale ed ER di transetti con *breaching*, è stato applicato il test statistico non parametrico di Kruskal-Wallis per più campioni, e Mann-Whitney a due campioni. Per confrontare, invece, la differenza di distribuzione dei valori di ER tra i transetti con *breaching* rispetto al totale è stato utilizzato il test statistico Kolmogorov-Smirnov.

Per confrontare i valori di concentrazione di CHL nei punti dei salti rispetto alla media stagionale dei due bacini considerati (Sardegna-Baleari e Tirreno centrale) è stato usato il test a coppie non parametrico Wilcoxon: il confronto è stato fatto sia con

l'intero dataset dei punti sia considerando i punti divisi per ciascuna stagione.

Per un'analisi complessiva di tutti i fattori che possono influenzare l'evento di *breaching* è stata svolta un'analisi multivariata, chiamata *Correspondence Analysis* (CA). Quest'ultima è una tecnica di analisi statistica a carattere esplorativo che consente l'analisi di dati multivariati (in questo caso variabili quantitative) senza indagare su alcuna particolare correlazione tra due o più insiemi di variabili e senza considerare alcuna particolare ipotesi da convalidare, piuttosto è stata usata per capire come le variabili influenzano il set di eventi considerato. Identifica in questo modo quei fattori che sintetizzano il fenomeno e permettono la rappresentazione dei dati attraverso un numero limitato di dimensioni.

3. RISULTATI

3.1 Risultati generali e analisi descrittiva

Il monitoraggio è stato svolto tra Giugno 2012 ed Ottobre 2020; comprende la stagione invernale, primaverile, estiva ed autunnale. I dati sono stati raccolti in 525 viaggi, percorrendo 117809,59 km, per un totale di 2574,75 ore in sforzo di osservazione (“on effort”).

Dalla figura 20 si nota come le specie osservate più frequentemente sono state la balenottera (721 avvistamenti per un totale di 1033 individui) e la stenella (948 avvistamenti). Molto spesso, soprattutto riguardo alla specie *Stenella coeruleoalba*, un singolo avvistamento conta più di un individuo.

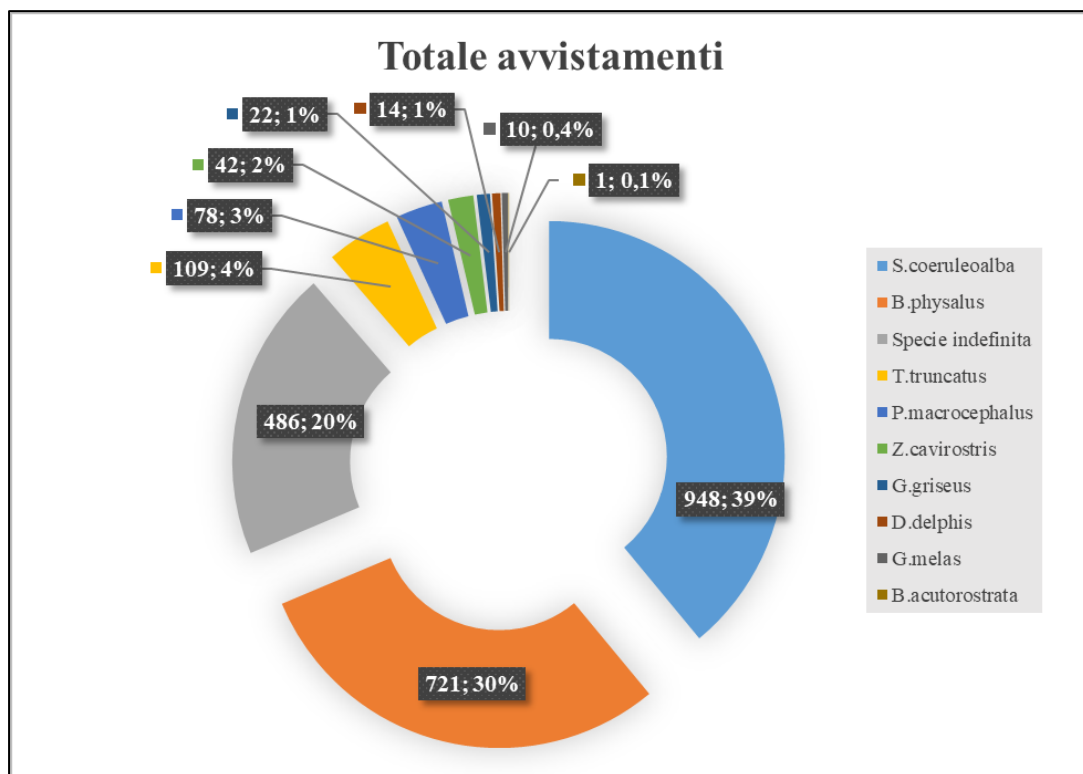


Figura 20 Quantità e composizione percentuale in specie degli avvistamenti (2431).

La balenottera comune è stata osservata saltare 27 volte (figura 21) su 721 avvistamenti totali (figura 22) dal 2012 al 2020.

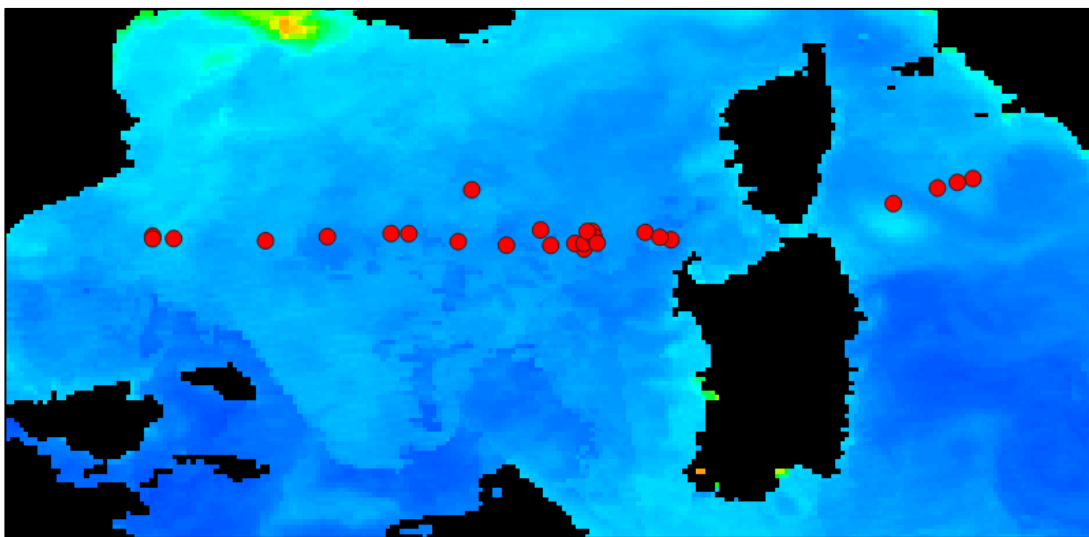


Figura 21 Mappa con punti GPS di avvistamenti con evento di salto di balenottera comune

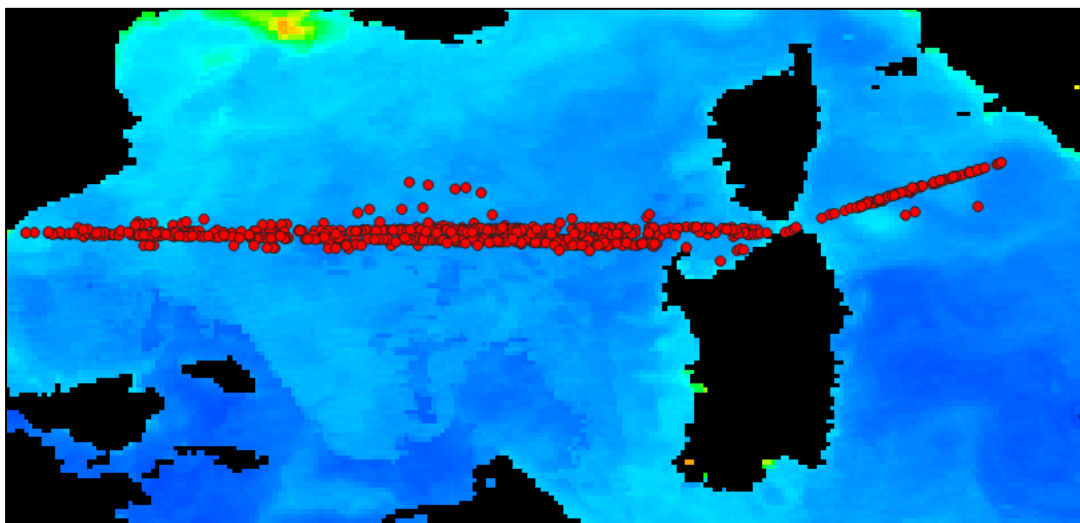


Figura 22 Mappa con punti GPS di avvistamenti totali di balenottera comune

La tabella 1 riassume tutti gli avvistamenti con evento di salto registrati.

Per confrontare il comportamento della balenottera con altre specie di cetacei di grandi dimensioni è stata calcolata la frequenza di displays aerei nel capodoglio e nello zifio, rispettivamente di 5 eventi su 78 totali (6,4%) e di 5 eventi su 42 totali (12%).

Tabella 1 Elenco degli eventi di salto registrati sulla tratta Civitavecchia-Barcellona nel periodo Giugno 2012-Ottobre 2020. Sono riportati: data, stagione, zona transetto, stato del mare e comportamenti accessori di superficie.

Date	Season	Area	Sea state	Surface behavior
2012-06-17	Spring	Sardinia- Baleari	1	soffi, due salti
2012-06-27	Spring	Sardinia- Baleari	0	soffi, dorsal fin, sette salti (tre completi)
2012-07-11	Summer	Sardinia- Baleari	1	soffi, quattro salti
2012-07-11	Summer	Sardinia- Baleari	3	soffi, dorsal fin, salto
2012-07-12	Summer	Sardinia- Baleari	4	soffi, due salti sul fianco, due sul dorso
2012-07-12	Summer	Sardinia- Baleari	4	soffio, salto
2012-07-23	Summer	Tyrrhenian	1	salto sul fianco
2012-08-11	Summer	Sardinia- Baleari	0	salto
2013-06-13	Spring	Sardinia- Baleari	1	salto completo
2013-06-29	Spring	Sardinia- Baleari	1	salto
2013-07-04	Summer	Sardinia- Baleari	3	salto
2013-07-12	Summer	Sardinia- Baleari	1	soffio, dorsal fin, salto, ass. con delfini
2013-07-12	Summer	Sardinia- Baleari	1	soffio, dorsal fin, salto in avanti
2013-10-03	Autumn	Sardinia- Baleari	3	soffio, salto
2013-10-09	Autumn	Sardinia- Baleari	2	tre salti, soffi
2013-10-29	Autumn	Sardinia- Baleari	3	quattro salti, soffi
2014-04-18	Spring	Sardinia- Baleari	2	soffio, salto sul dorso
2014-06-20	Spring	Tyrrhenian	3	sette salti in serie
2014-07-24	Summer	Tyrrhenian	3	soffi, salto
2014-09-09	Summer	Sardinia- Baleari	2	soffi, salto, footprint
2015-09-19	Summer	Sardinia- Baleari	3	quattro salti in serie, soffi
2015-10-20	Autumn	Sardinia- Baleari	0	soffi, salto
2016-07-12	Summer	Sardinia- Baleari	2	tre salti, soffi
2018-06-20	Spring	Sardinia- Baleari	0	salto completo
2018-11-25	Autumn	Sardinia- Baleari	1	salto completo
2019-09-27	Summer	Sardinia- Baleari	2	soffi, serie di salti
2020-10-18	Autumn	Tyrrhenian	1	salto, soffio

3.2 Analisi dei fattori stagionali - ambientali

Seconda una prima analisi stagionale risultano 14 eventi di salto in Estate, 6 eventi in Autunno e 7 in Primavera (figura 23).

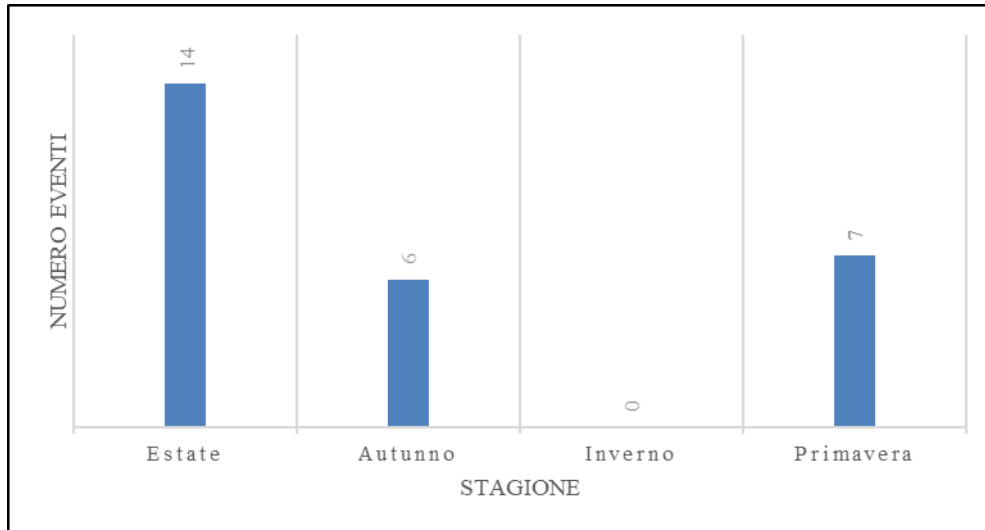


Figura 23 Numero totali eventi di salto per ogni stagione

Normalizzando i dati con il numero di transetti totali effettuati per ogni stagione ed il numero di transetti con salto, le stagioni con eventi di breaching più frequenti risultano essere in ordine: Autunno, Estate e Primavera. (tabella 2).

Tabella 2 Rapporto tra numero transetti totali e numero transetti con salto

STAGIONE	TRANS. TOT.	TRANS. SALTI	RAPPORTO
Primavera	161	7	0,043
Estate	195	11	0,056
Autunno	90	6	0,066
Inverno	79	0	0

Secondo un'analisi mensile invece sono stati riscontrati 10 eventi di salto a Luglio, 6 a Giugno, 5 ad Ottobre 3 a Settembre ed 1 ad Aprile, Agosto e Novembre (figura 24).

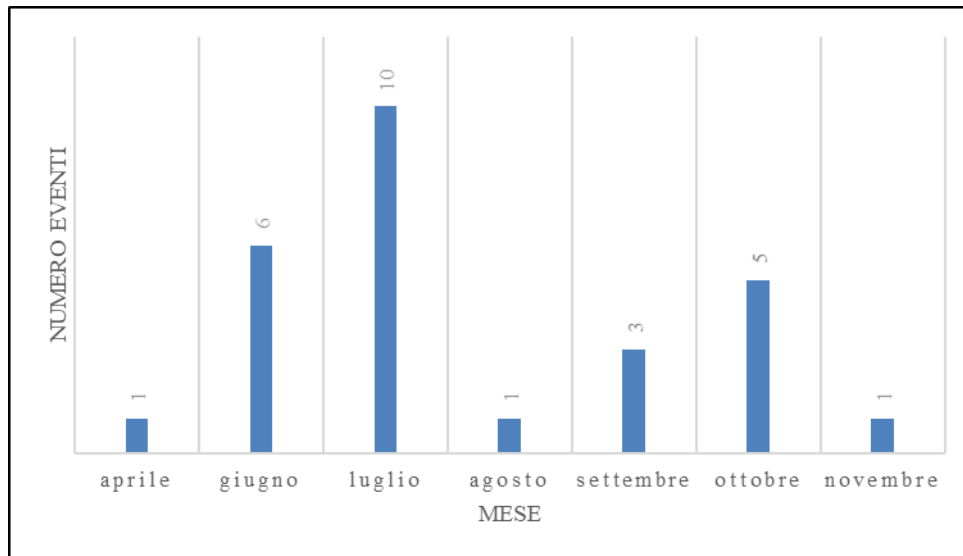


Figura 24 Numero degli eventi di salto nei mesi

Si osserva che il 59% (n=16) degli eventi di salto sono avvenuti nei mesi di Giugno e Luglio e il 74% (n=20) nei mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre.

Nel grafico seguente (figura 26), invece, sono divisi per anni gli eventi di salto, con colori diversi sono rappresentati i rispettivi mesi.

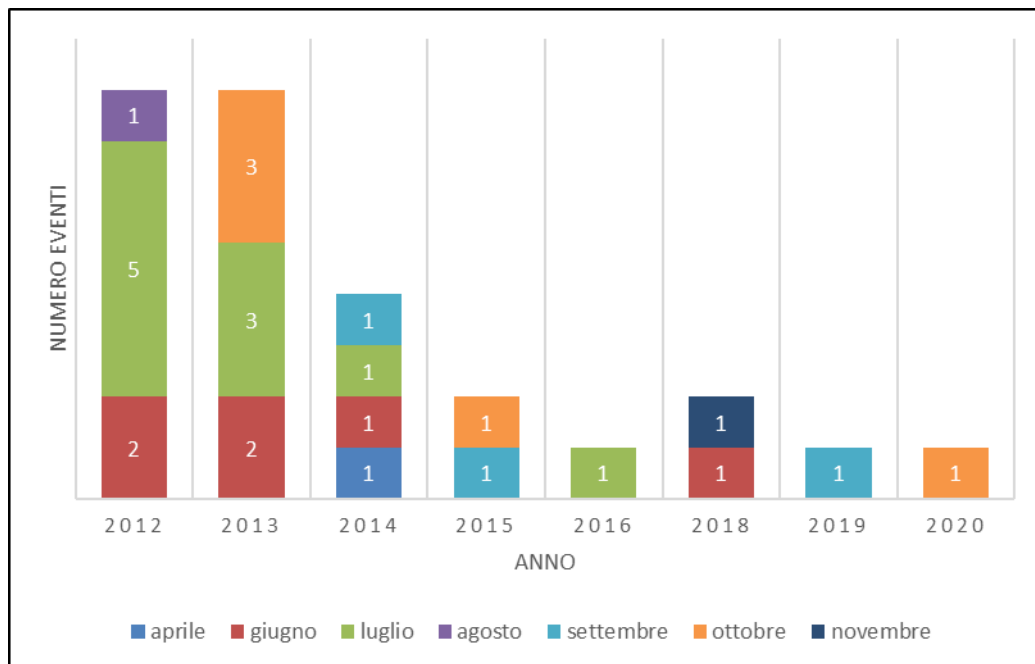


Figura 26 Numero degli eventi di salto nei rispettivi anni suddivisi secondo i mesi in cui si sono stati registrati

Nel 2012 e nel 2013 sono stati registrati 16 eventi, in particolare 12 nei mesi di Giugno e Luglio.

Il massimo numero di eventi di salto è stato registrato a Luglio 2012 (5 eventi), 3 eventi invece sono stati segnalati in Luglio ed Ottobre 2013. Gli anni con più eventi di salto risultano essere il 2012 ed il 2013 con 8 eventi ciascuno.

Nella figura 27 sono riassunti i risultati riguardanti il rapporto tra evento di salto e stato del mare, ma va specificato che il monitoraggio viene interrotto con uno stato del mare maggiore di Beaufort=4.

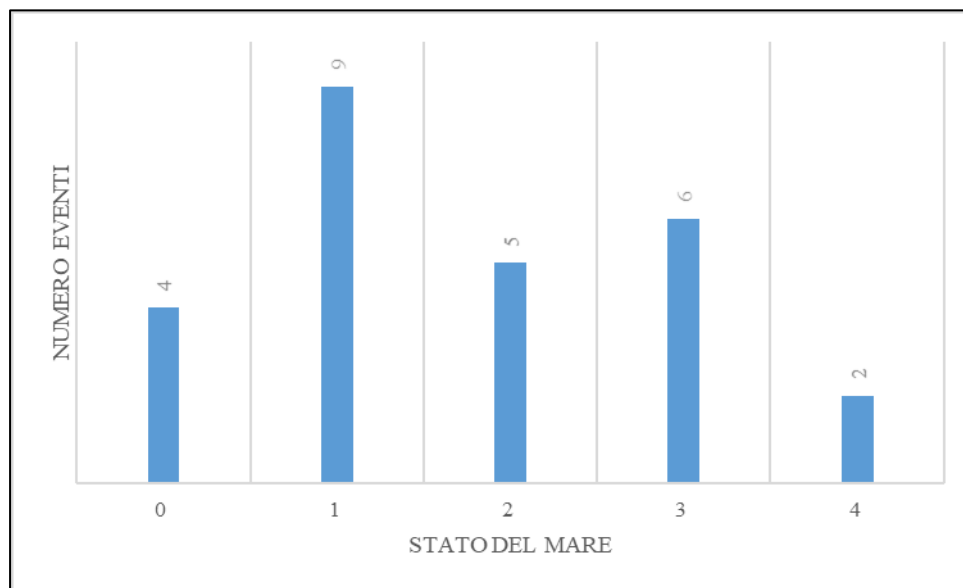


Figura 27 Stato del mare e rispettivo numero di eventi di salto registrati

Il 33% dei salti ($n=9$) è avvenuto con valore scala Beaufort del mare di=1, il 22% ($n=6$) Beaufort=3, il 18,5% ($n=5$) Beaufort=2, il 15% ($n=4$) Beaufort=0 e il 7,5% ($n=2$) Beaufort=4 (avvistamenti off effort). Nel Luglio 2012 sono stati registrati due salti con Beaufort pari a 4 ed uno pari a 3, mentre ad Ottobre 2013 due salti con stato del mare 3.

Calcolando il tasso di incontro (*encounter rate*) delle balenottere per ciascun transetto sono stati confrontati sia i valori totali stagionali sia quelli ottenuti per i transetti in cui sono stati osservati i salti. I valori di *encounter rate* complessivo sono risultati significativamente diversi tra le stagioni (test di Kruskal-Wallis, $p<0,001$), con la Primavera significativamente maggiore rispetto ad Inverno ed Estate (test di Mann-Whitney, $p<0,001$).

I valori medi di ER (*encounter rate*) con eventi di breaching invece non sono risultati significativamente diversi tra le stagioni (test di Kruskal-Wallis, $p > 0,05$); in generale tali valori sono risultati maggiori rispetto alle medie stagionali di ER totale ma non sono emerse differenze significative (test di Kolmogorov-Smirnov, $p > 0,05$). Nella tabella 3 sono indicati i valori di *encounter rate* calcolati.

Tabella 3 Valori di *encounter rate*
per transetti totali e transetti con eventi di *breaching*

STAGIONE	TOT	BREACH
Primavera	0,013	0,025
Estate	0,006	0,019
Autunno	0,011	0,011
Inverno	0,008	0

Le posizioni degli eventi di salto sono state confrontate con le mappe settimanali della concentrazione di CHL per una prima valutazione qualitativa (Allegato 1).

In seguito, sono stati ottenuti i dati stagionali di CHL nell'area di studio ed estratti i valori di CHL nelle posizioni degli avvistamenti con salto.

Dal grafico in figura 28 si può notare come l'andamento della concentrazione stagionale di CHL mostra similitudini tra i due bacini Sardegna-Baleari e Tirreno centrale. Confrontando il valore estratto sul punto dell'avvistamento (*Breach*) con valori medi dell'area, si nota come in Primavera ed Estate gli eventi di salti sembrano in genere avvenire in punti con concentrazioni maggiori di CHL rispetto alla media della zona. Tali differenze non risultano però significative sia considerando il dataset completo (test di Wilcoxon, $p > 0,05$), sia considerando stagioni separate, tranne per l'Autunno, dove la concentrazione media di CHL è significativamente minore nei punti di salto rispetto alla media del bacino (test di Wilcoxon, $p = 0,03$).

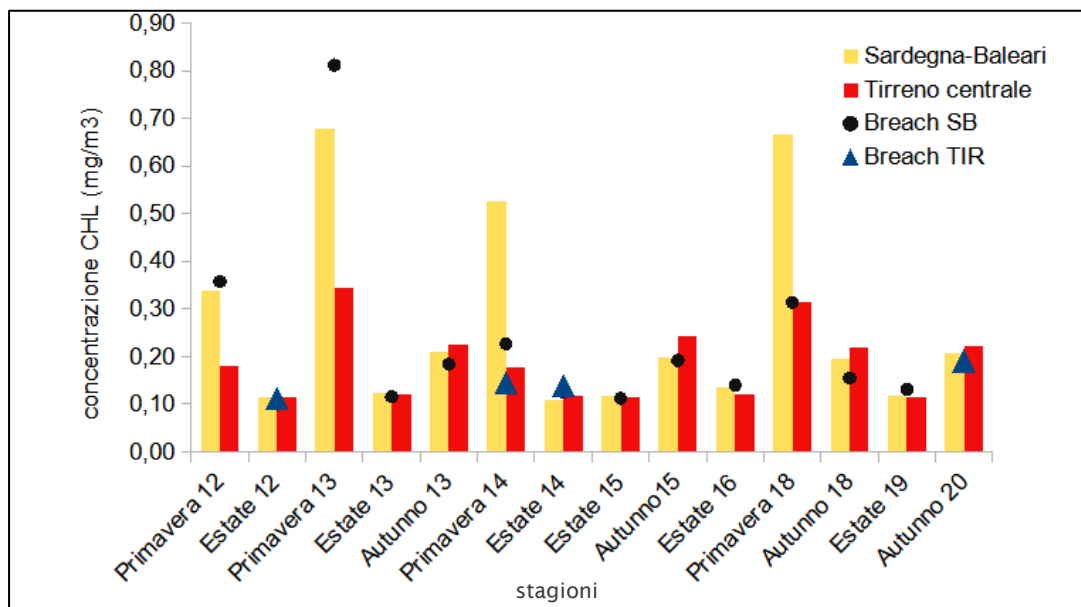


Figura 28 Valori e andamenti stagionali delle concentrazioni di CHL nelle zone del mar di Sardegna-Baleari (in giallo) e del Tirreno centrale (in rosso), in relazione con i valori di CHL calcolati nei punti di salto nel mar Sardegna-Baleari (punto nero) e nel Tirreno centrale (triangolo blu)

3.3 Funzione sociale - comunicativa

Nel 75% (n=20) dei casi registrati, le balenottere sono solitarie quando saltano, ma sono state osservate in gruppi da 2 individui in 5 casi (tra Giugno e Settembre), in un gruppo da 4 una volta (Giugno) ed in un gruppo da 5 individui una volta nel Settembre 2019. La media della dimensione del gruppo nell'evento di salto è di 1,43 individui ed è comparabile con la media della dimensione del gruppo negli avvistamenti senza salto che è di 1,44 individui (t-test, $p=0,98$).

Il valore medio della distanza tra l'avvistamento del salto e altri avvistamenti di balenottera temporalmente contigui, registrati lungo lo stesso transetto, è risultato di 40,23 km, con un range compreso tra gli 11 e 54 km (figura 29). Il valore massimo registrato è di 192,55 km mentre il valore minimo è di 12,59 km (allegato 2).

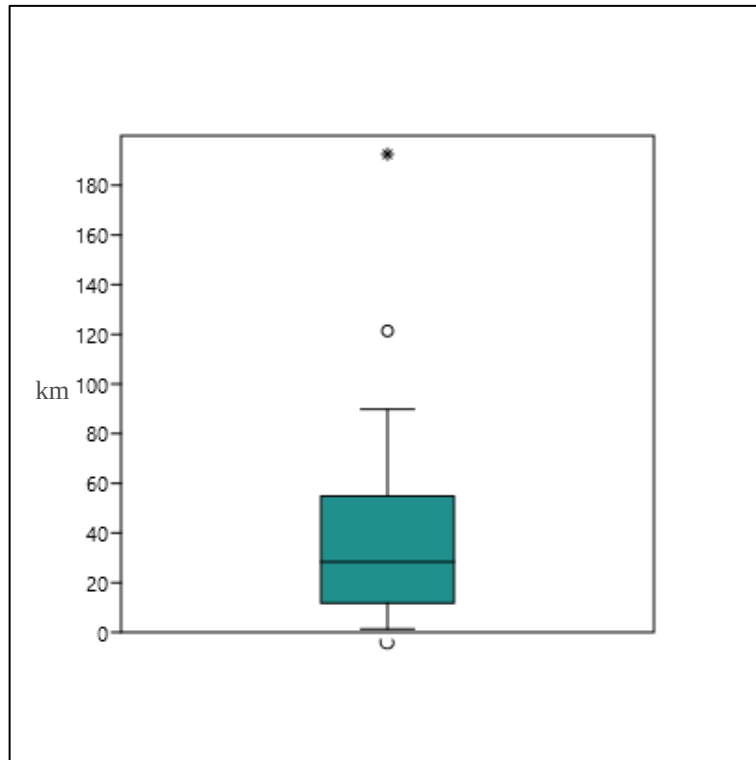


Figura 29 Boxplot delle distanze tra avvistamento con presenza di salto e avvistamenti contigui

3.4 Analisi dei fattori di disturbo

Suddividendo in 5 intervalli la distanza delle balenottere dalla piattaforma di osservazione si ottiene che l'81% (n=22) degli eventi è avvenuta ad una distanza maggiore di 500m dalla nave (figura 30). Nello specifico ci sono stati 3 eventi tra i 0m-200m, 2 eventi tra 200m-500m, 7 eventi tra 500m-1000m, 8 eventi tra 1000m-2000m e 7 eventi oltre i 2000m. In un particolare evento è stato registrato un *near collision* dell'individuo, che subito dopo aver schivato la nave ha effettuato un *breach*.

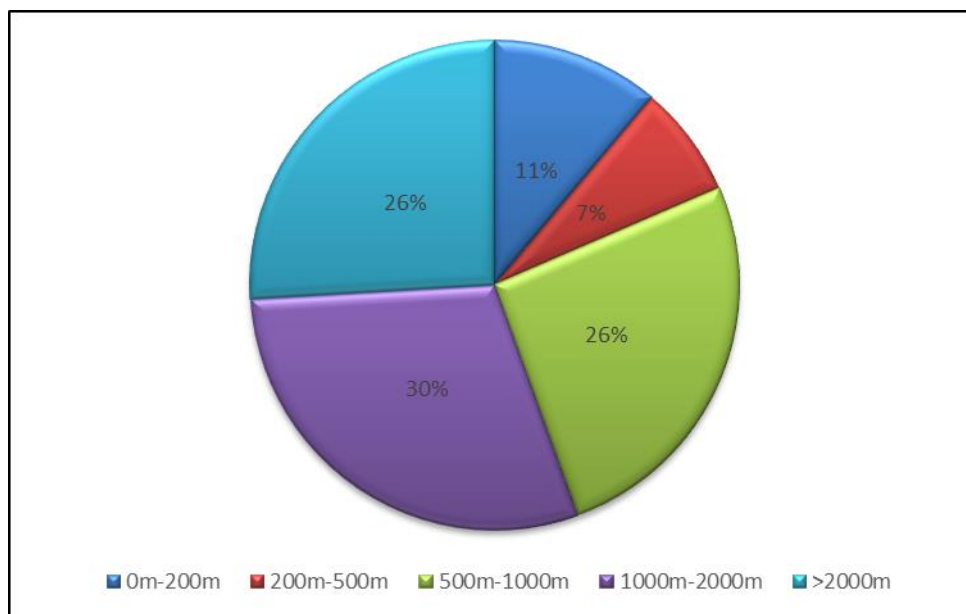


Figura 30 Frequenza in percentuale delle distanze degli eventi di salto dalla nave di monitoraggio

Calcolando le medie annuali risultano: 2012=2325m; 2013=1237m; 2014=1012m; 2015=1000m; 2016=1000m; 2018=750m; 2019=850m; 2020=2000m.

Un altro fattore preso in considerazione è la presenza di altre imbarcazioni al momento dell'evento di salto: nel 57% (n=12) dei casi in cui era disponibile il dato, non erano presenti altre imbarcazioni, nel 38% (n=8) era presente una imbarcazione, nel 5% (n=1) due imbarcazioni. Per 6 eventi di salto non abbiamo dati disponibili.

3.5 Correspondence Analysis (CA)

Nella tabella 4 sono riportati i risultati della *Correspondence Analysis*, da cui si evince che l'Axis 1 spiega il 98% della variabilità dei campioni considerati. Dalla figura 31 si vede come l'Axis 1 sia influenzato maggiormente dalla distanza tra le balenottere, distanza dalla nave e traffico navale, che quindi risultano essere le variabili che più influenzano l'evento del salto. Sono riportati i dati della distanza del salto dalla nave suddivisi per le rispettive classi, così da avere una rappresentazione di dettaglio di questa variabile (figura 31).

Tabella 4 Risultati della CA: valori della varianza spiegata per ciascun asse e scores delle singole variabili

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6	Axis 7	Axis 8	Axis 9
distanza BP	-0.18	-0.02	-0.0036	-3.84E-05	-0.0051	0.00069	-0.000288	0.00071	0.00099
lat	1.89	26.7	0.620	0.4185	7.18	-0.861	5.006	-17.921	-6.23
long	2.36	25422	32.53	34.89	-13.21	14.47	-56.40	14.004	12.81
n ind	1.88	23.7	-63.24	-77.22	76.02	41.78	-80.89	61.657	-69.03
distance	5.58	-0.46	0.022	-0.048	0.033	-0.048	0.00194	-0.0342	0.0156
month	1.63	25.14	12.00	3.60	21413	-44.58	19.37	50.12	12.35
n sightings	4.18	41.25	-68.68	2.273	-76.79	6.365	9.15	28.26	8.518
naval	3.54	4.60	-6.455	161071	72.83	195.17	140335	90.11	-58.20
CHL	1.50	35.51	-111853	-59.42	158559	128744	-6.22	-38.00	407.16
sea state	1.90	28.17	88.75	-99382	-45.43	62.44	38508	29.60	8.708

Axis	Eigenvalue	% of total	Cumulative
1	0.0383	98.367,00	98367
2	0.000525	1.339	99715
3	5,03E-02	0.129	99844
4	1,95E-02	0.050	99894
5	1,59E-02	0.041	99934
6	1,35E-02	0.034	99969
7	7,11E-03	0.018	99987
8	3,89E-03	0.009	99997
9	1,16E-03	0.003	100

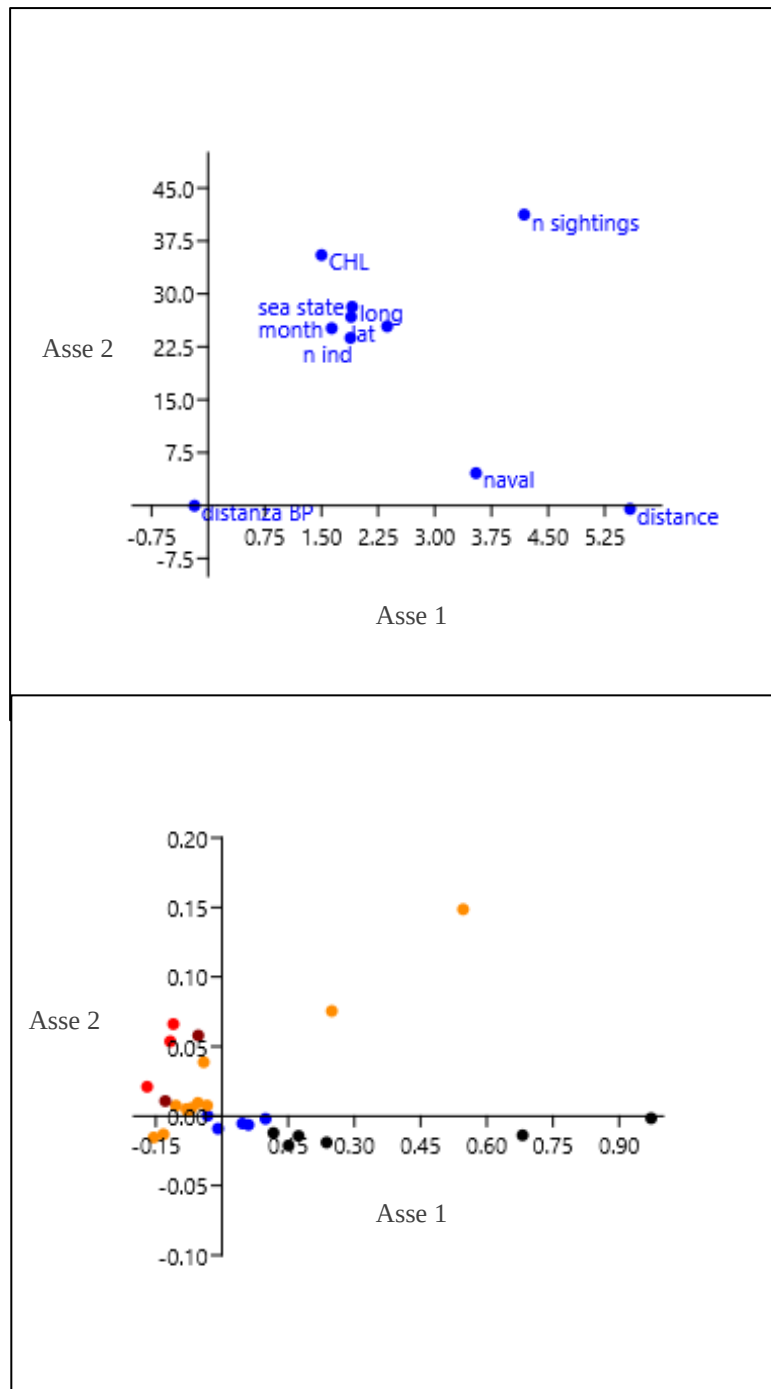


Figura 31 Risultati della CA: in alto, plot che mostra i pattern generali e la distribuzione sugli assi delle variabili considerate. In basso, plot che mostra il pattern specifico di distribuzione sugli assi degli eventi di salto, classificati secondo la distanza dalla nave. In rosso distanza 0-200 m, in bordeaux 200-500 m, in arancione 500-1000 m, in blu 1000-2000 m, in nero >2000

4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Studiare ed interpretare un comportamento animale non è facile, tanto più se la specie considerata è un grande cetaceo, raro da osservare, soprattutto in alcuni comportamenti di interesse, come quello indagato in questo studio. Oltre ad essere animali difficili da studiare per le dimensioni, l'ecologia e le abitudini, le loro strutture sociali e i loro comportamenti sono di complessa interpretazione data la lunga e peculiare evoluzione di queste specie.

Questo studio ha raccolto dati mediante piattaforme di opportunità, elemento che ha i suoi pro ed i suoi contro. Ovviamente l'aspetto economico e pratico è la forza di questa metodologia di raccolta dati: utilizzare, praticamente a costo zero, mezzi di trasporto turistici già attivi, senza dover condurre costosi transetti in mare con mezzi dedicati. Dall'altro lato è chiaro che per studiare il comportamento di un organismo come la balenottera, dovrebbero essere effettuati monitoraggi continui nel tempo che consentano osservazioni da una distanza più ravvicinata. In linea teorica, seguire per un tempo prolungato un individuo o un gruppo da vicino, magari con un'imbarcazione da diporto, consentirebbe sicuramente una raccolta dati più precisa e dettagliata. D'altro canto, va sottolineato che l'uso di imbarcazioni più piccole, oltre ad essere quasi proibitivo dal punto di vista economico, difficilmente potrebbe consentire di raggiungere zone di alto mare con una frequenza paragonabile a quella permessa dall'utilizzo dei traghetti di linea.

Fatta questa premessa questo studio si presenta comunque come uno dei più approfonditi sia in termini di copertura temporale, sia in termini di quantità di dati e variabili analizzate, se confrontato con gli studi condotti in precedenza che hanno avuto come oggetto di indagine il comportamento aereo della balenottera comune.

Il comportamento di *breaching* in *Balaenoptera physalus* è considerato molto raro (Whitehead, 1985b; Pryor, 1986; Kot et al., 2013), in letteratura sono presenti pochissime ricerche che trattano questo argomento ed il fenomeno è pressoché sconosciuto se rimaniamo su questa specie e nel bacino del Mar Mediterraneo in particolare. Per "colmare" il vuoto dovuto all'assenza o della scarsità di dati disponibili, spesso, un canale moderno ed efficace è quello dei social media: molte informazioni vengono riportate a livello divulgativo attraverso i social media, che

infatti vengono usati anche a scopo di Citizen Science e possono fornire utili informazioni su specie o comportamenti meno noti e frequenti (Pace et al., 2019). Per quanto riguarda il Mediterraneo e la balenottera comune, ad esempio, sono stati riportati due casi di salto di balenottera, attraverso la piattaforma social Facebook. Gli avvistamenti sono stati effettuati nell'Agosto 2016 dall'organizzazione no profit SEAME Sardinia e nel mese di Maggio 2014 da CIRCE (Conservación, Información y Estudio sobre cetáceos), rispettivamente in Sardegna e a Gibilterra. Questi enti passano molto tempo in mare a contatto con questi animali e, ciononostante, questo comportamento aereo risulta essere molto infrequente, come già affermato in precedenza.

Data la scarsità di articoli scientifici sul salto di *Balaenoptera physalus* e la sua rara frequenza di salto ho utilizzato, per effettuare un confronto con la letteratura precedente, anche pubblicazioni su specie che effettuano questo salto in maniera più frequente, come *Megaptera novaeangliae*, ed in maniera occasionale come *Balaena mysticetus* (Whitehead, 1985b). Ricerche sulle possibili cause alla base del comportamento di salto, sono comunque scarse anche su queste specie che mostrano in maniera più frequente questo comportamento e spesso le deduzioni su questi comportamenti costituiscono un “corollario” dello studio, mentre l’oggetto principale dello studio era differente. Ad esempio, in uno studio continuo a lungo termine, effettuato da Clapham *et al.* (1995), dal 1978 al 1993 nel Golfo del Maine, si ricercava il motivo per cui la megattera saltasse lateralmente. Si evince che tra 1429 comportamenti attivi di superficie registrati (tra cui il salto, il *tail breach* ed il *flipping*) siano stati osservati solo 346 salti (24%). Gli autori affermano che comunque la frequenza di questo comportamento è risultata bassa, data la specie presa in analisi.

Dai risultati del nostro studio si evince che il salto di *Balaenoptera physalus* è un evento infrequente ma non eccessivamente raro: è stata infatti osservata saltare 27 volte su 721 avvistamenti totali (3,8%) dal 2012 al 2020. Marini *et al.* (1996) hanno avvistato il salto della balenottera nel mar Tirreno centrale con percentuali simili (4% sul totale degli avvistamenti).

Invece secondo quanto analizzato da Notarbartolo Di Sciara *et al.* (2003) la frequenza del salto della balenottera comune è stata del 6,9% su 1703 avvistamenti totali

effettuati nella zona che coincide con il santuario Pelagos, dal 1990 al 1999. Sempre nello studio di Notarbartolo Di Sciara *et al.* (2003) la media della dimensione del gruppo con eventi di *breaching* è stata di 2,24 individui che è risultata significativamente maggiore rispetto a quella dei gruppi senza eventi di *breaching*. Questo risultato è in contrasto con quelli presenti nel nostro studio dove nel 75% dei casi registrati, le balenottere sono solitarie quando saltano ed il numero medio della composizione del gruppo in eventi di salto è di 1,4 individui. Questo potrebbe dipendere dal fatto che la zona del santuario Pelagos è una nota zona di alimentazione per la balenottera comune (Jahoda *et al.*, 2011) ed inoltre gli avvistamenti sono stati registrati in periodi in cui le balenottere si alimentano (tra Aprile e Settembre). Quindi il comportamento del salto in gruppi numerosi potrebbe essere correlato ad una aggregazione per finalità alimentari. Abbiamo una indicazione in tal senso anche dai nostri dati, dove le balene sono state osservate saltare in gruppi da 2 individui in 5 casi tra i mesi di Giugno e Settembre, in un gruppo da 4 nel mese di Giugno 2013 ed in un gruppo da 5 individui a Settembre 2019, periodi che coincidono con le stagioni di alimentazione. Un altro avvistamento (Marini *et al.*, 1995) che avvalorava questa tesi è un salto nel canale di Sicilia, precisamente presso l'isola di Lampedusa. È stato registrato a Marzo, con una densità alta di individui nella zona, zona che risulta essere un noto *feeding ground* (Aïssi *et al.*, 2008). Il salto è stato registrato in un gruppo da 3 individui; quindi, sembra ancora avvalorarsi l'ipotesi che il salto in gruppi più numerosi avviene nei periodi e nelle zone di alimentazione.

Altro caso simile è un evento unico registrato da Amigó *et al.* (2014) lungo le coste catalane quando una balenottera comune ha effettuato un salto in un evidente *feeding ground*. L'area di studio in questione è quella della regione catalana, nel tratto di costa compreso tra Barcellona e Tarragona fino a 25 km dalla costa. Questa zona è particolarmente produttiva per i fenomeni di upwelling, data la sua particolare morfobatimetria, inoltre è dal 2019 una zona SPAMI (vedi capitolo 2.2). Il survey è avvenuto nel 2014: dopo 4 mesi di studi erano stati condotti 51 giorni singoli di monitoraggio per un totale di 2300 km. Sono state avvistate 62 balenottere con un ER (*encounter rate*) di media nella zona di 0,014. Il picco massimo è stato registrato a Maggio con un valore di 0,027, molto simile a quello calcolato nel nostro studio per la stagione Primavera negli eventi di salto (0,025). Sono stati osservati chiari

comportamenti di foraggiamento e *feeding* con conferme date dall'osservazione delle feci, riconosciute dal tipico colore rosso dovuto alla ricchezza di ferro del krill ingerito. Il salto, quindi, in questo caso sembra direttamente correlabile a comportamenti di alimentazione. Come afferma, Marini *et al.* (1996) questo display aereo potrebbe essere ricondotto ad uno stato di eccitamento riconducibile all'alimentazione. Dalle nostre analisi dei fattori stagionali ed ambientali, le stagioni che mostrano maggiore frequenza di salti sono in ordine l'Autunno (Ottobre, Novembre e Dicembre), l'Estate (Luglio, Agosto e Settembre) e la Primavera (Aprile, Maggio e Giugno) che effettivamente coincidono con i periodi nei quali *Balaenoptera physalus* si alimenta nei *feeding grounds* (Jahoda et al., 2011; Arcangeli et al., 2014). Data la congruenza temporale, questo evento potrebbe essere riconducibile ad un tipo di comportamento legato all'alimentazione, magari come stato di euforia oppure, come già affermato da Whitehead (1985b), una forma di comunicazione fisica esclamativa, aggiuntiva a quella vocale.

I valori di CHL nei punti dei salti sono in generale avvenuti in zone con concentrazioni maggiori rispetto alla media dell'area, soprattutto in Primavera ed Estate. In questo caso però, la differenza non è significativa tra la concentrazione di CHL media dell'area e quella del punto del salto, ma se dividiamo i dati per stagione, risulta una differenza significativa in Autunno, dove la concentrazione media di CHL è persino significativamente minore nei punti di salto rispetto alla media del bacino. Si può dedurre che nei periodi in cui c'è disponibilità di risorse trofiche (Primavera ed Estate) i salti avvengono in punti con concentrazione di clorofilla simile alla media dell'area, mentre in Autunno avvengono in aree con bassa concentrazione; quindi, in questa stagione il comportamento del *breaching* non è legato al *feeding* ma evidentemente ad altri fattori. In altre parole, i livelli di produzione primaria elevata nella zona del salto (in Estate e Primavera) potrebbero giustificare la presenza degli animali nella zona stessa, ma non essere la causa primaria dell'espletamento di questo comportamento. Fattori maggiormente determinanti nell'indurre il salto della balenottera potrebbero essere legati alla socialità, alla riproduzione ed in generale a interazioni e rapporti intra ed interspecifici. In altre specie come la balena franca della Groenlandia, *Balaena mysticetus*, il comportamento aereo è più frequente durante le "brevi" migrazioni che durante la permanenza nei *feeding grounds*, questo potrebbe essere correlato agli alti

livelli di attività sociali e sessuali che si manifestano durante le migrazioni primaverili (Würsig, 1989). Questo studio descrive il comportamento generale della balena franca della Groenlandia nell'estate dal 1980 al 1982. Nei due anni sono stati effettuati 340 ore di monitoraggio in 71 voli. In questo lasso di tempo, sono state rilevate balene per 97,7 ore in 46 voli. Sono stati osservati 484 *dives* totali e stati registrati 29 display aerei (principalmente *breach*, *tail slap* e *flipper slap*) ritenuti dall'autore comunque eventi rari.

I valori di *encounter rate* (ER) totale delle balenottere risultano significativamente diversi tra le stagioni con la Primavera significativamente maggiore rispetto alle altre stagioni, in linea con quanto riportato da Arcangeli et al. (2016, 2017) lungo lo stesso transetto. I valori medi ER con eventi di breaching invece non sono risultati significativamente diversi tra le stagioni con tendenze generali però maggiori rispetto alle medie stagionali di ER totale. Questo risultato potrebbe essere influenzato dall'ecologia di *Balaenoptera physalus* nel Mediterraneo, dove, date le condizioni climatiche miti e le peculiari caratteristiche ambientali, le stagioni riproduttive ed alimentari potrebbero avere confini temporali variabili e sovrapponibili (Notarbartolo Di Sciara et al., 2003).

Marini *et al.* (1996) riguardo a *Balaenoptera physalus* e Whitehead (1985a) in uno studio sulla specie *Megaptera novaeangliae*, avevano già ipotizzato, osservando il display aereo in gruppo, che il salto potesse essere un display sessuale atto ad indicare una buona fitness riproduttiva, dato il dispendio energetico necessario per questo comportamento. Anche Clapham & Mead (1999), studiando la specie *Megaptera novaeangliae*, avevano ipotizzato che il salto potesse essere utilizzato come mezzo di comunicazione tra individui dato che era stato effettuato in gruppi di molteplici individui. I risultati del tasso di incontro (*encounter rate*) non sono stati particolarmente rilevanti per confermare tale ipotesi; anche se l'ER risulta maggiore nei transetti con eventi di salto rispetto a quelli con avvistamenti senza salti, tale differenza non è risultata però significativa.

La distanza media tra un salto ed un altro avvistamento nel nostro studio è risultata di 40,23 km questo, secondo un'analisi CA, è uno dei fattori che statisticamente meglio spiega il salto della balenottera. Questo range di distanza potrebbe indicare che gli individui incontrati "prima e dopo" appartengano ad uno stesso gruppo o che

comunque si trovano a distanze compatibili con “l’intento” comunicativo del salto. Da notare invece il periodo temporale di questo comportamento in relazione alla stagione riproduttiva: le stagioni più frequenti sono Estate ed Autunno, stagioni che precedono appunto il periodo riproduttivo. Questo comportamento, quindi, potrebbe essere una modalità dell’individuo per “mostrare” la sua ottima fitness riproduttiva e quindi una strategia per assicurarsi un/una partner prima della stagione riproduttiva. Studi sulla megattera affermano questa ipotesi, confermando che il salto è utilizzato come mezzo per la competizione tra individui (Félix et al., 2015). Nello studio appena citato sono stati condotti 20 surveys tra Luglio ed Agosto 2010, per stimare la struttura sociale e il comportamento competitivo tra gruppi. 22 gruppi in competizione sono stati valutati durante questo studio, le ore totali di avvistamento sono state 41,53, il totale degli individui osservati è di 185. Sono stati osservati 377 salti tra *backward breaching* e *forward breaching*. Il salto, quindi, nella specie *Megaptera novaeangliae*, è un comportamento utilizzato anche per la competizione, per assicurarsi un partner e quindi usato in ambito sessuale-riproduttivo.

Invece, in relazione alle condizioni meteo marine, più del 65% dei salti sono avvenuti con uno stato del mare compreso tra 0 e 2 sulla scala Beaufort. Secondo Marini *et al*, (1996) e Dudzinsky *et al*, (2009) il rumore del salto potrebbe essere utilizzato per comunicare quando il mare è così mosso da interferire con le vocalizzazioni della balenottera comune. In letteratura non sono presenti evidenze scientifiche che affermino come la turbolenza del moto ondoso possa mascherare le vocalizzazioni dei cetacei. Questa ipotesi non sembra essere confermata dato che i salti sono stati principalmente effettuati con mare calmo. Però alcune ricerche scientifiche hanno ricercato nel suono del salto un mezzo di comunicazione. Un esempio è lo studio condotto da Dunlop *et al*. (2008) che descrive ed analizza la porzione del repertorio dei suoni sociali non vocalizzati delle megattere (*Megaptera novaeangliae*) migranti verso sud nelle acque australiane, esplorando la rilevanza sociale di questi suoni. La ricerca è durata oltre tre anni, confinata alla migrazione verso sud, da Agosto a Novembre con picchi massimi di attività tra Settembre ed Ottobre. Tramite strumenti per il survey topografico (*theodolite*) e software, i gruppi sono stati monitorati in tempo reale, annotando i comportamenti di ogni balena (soffio, salto, *flipper splap*, *tail splap*, ecc.), composizione del gruppo, direzione e stato del mare. Gli eventi di *breach* sono

stati accompagnati da osservazione diretta.

La frequenza dei salti non è risultata significativamente differente tra i gruppi di composizione diversa, ma analizzando solo i gruppi che hanno saltato, è risultato che i maschi solitari, i figli solitari e le mamme con i cuccioli saltano significativamente di più rispetto a gruppi multipli di individui, ai gruppi con madre, cuccioli e individui accompagnatrici (*escort*). Inoltre, analizzando i suoni di individui solitari con i suoni di gruppi di altra composizione si è notato come il salto potrebbe essere un segnale intergruppo (diretto quindi ad individui di altri gruppi nell'aerea) invece che un segnale intragruppo. Il risultato di questo studio afferma che il salto potrebbe avere una funzione di comunicazione acustica non vocalizzata. Queste ipotesi ben si adattano anche all'interpretazione dei nostri dati, visto che gli individui che hanno mostrato il comportamento aereo sono quasi sempre solitari, ma non eccessivamente distanti da altri individui.

Secondo l'analisi riguardante invece il possibile effetto su questo comportamento dei fattori di disturbo, abbiamo osservato che più dell'81% degli eventi è avvenuto ad una distanza maggiore di 500m dalla nave e circa nel 57% dei casi non erano presenti altre imbarcazioni.

Secondo Kot *et al.* (2003) il *breaching* potrebbe essere una risposta al disturbo verso grandi imbarcazioni, osservando che questo comportamento era effettuato, consecutivamente, ad una distanza molto ravvicinata dall'imbarcazione. Invece, dai risultati ottenuti nel presente studio, si evince che gli individui di balenottera comune saltano distanti dalla nave ed hanno questo comportamento con un basso o assente traffico navale. Quindi il salto non sembra essere una risposta al disturbo ma, al contrario, un comportamento che avviene preferibilmente in assenza di disturbo. Questo argomento è trattato su alcuni articoli riguardanti *Megaptera novaeangliae* che affermano che i comportamenti attivi di superficie di quest'ultima non sono influenzati dalla presenza delle imbarcazioni (Corkeron *et al.*, 1995; Stamation *et al.*, 2010). Nello specifico nella ricerca di Stamation *et al.* (2010) sono stati analizzati 350 gruppi di megattera per un totale di 166,8 ore di osservazione, da un'imbarcazione da diporto per whale watching di 12 metri. 142 gruppi (69%) hanno mostrato comportamenti attivi di superficie con la presenza dell'imbarcazione e 103 gruppi (72%) hanno effettuato comportamenti attivi di superficie in assenza dell'imbarcazione. Sebbene

non vi sia stata alcuna differenza significativa nella proporzione di gruppi attivi in superficie osservati da navi o da terra, quando questi erano avvistati per la prima volta da terra, i gruppi erano più attivi in superficie rispetto a quando avvistati per la prima volta dall'imbarcazione.

La presenza dell'imbarcazione non è quindi risultata significativamente impattante sulla frequenza dei comportamenti di superficie. Da questa ricerca si evince che piccole imbarcazioni da diporto non costituiscono un disturbo per la megattera ma nel nostro caso grandi navi turistiche potrebbero influenzare questo comportamento dato soprattutto il notevole traffico navale che caratterizza le aree del transetto sotto analisi nel nostro studio.

Dai risultati ottenuti tramite la *Correspondence analysis* (CA) si conferma che i fattori che più influenzano questo comportamento e che spiegano la maggior parte della variabilità del dataset sono: la distanza del salto dalla nave di osservazione, il traffico marittimo presente e la distanza da individui conspecifici. Inoltre, l'analisi conferma che gli eventi si verificano per lo più a elevate distanze dalla nave.

In conclusione, come affermato dalla gran parte degli autori (Whitehead, 1985b; Edds et al., 1987; Payne, 1990; Marini et al., 1996; Clapham et al., 1999; Notarbartolo Di Sciara et al., 2003; Gingerich, 2004; Dudzinski et al., 2009; Kot et al., 2013) il display aereo del salto nei grandi cetacei e nello specifico in *Balaenoptera physalus* è utilizzato per molteplici scopi. Potrebbe essere riconducibile ad uno stato di eccitazione durante i periodi di alimentazione, sicuramente ha una valenza sociale legata anche a comportamenti riproduttivi (come i nostri dati sembrano indicare) ed inoltre gli individui subiscono il disturbo dovuto al traffico navale, che potrebbe costituire un fattore di inibizione per l'espletamento del display aereo. Considerando ciò nonché la valenza sociale e riproduttiva che questo comportamento sembra avere, le zone ed i periodi dove maggiormente si verificano tali eventi potrebbero essere presi in considerazione nell'implementazione delle azioni di mitigazione dei disturbi di natura antropica.

Sicuramente in un'ottica futura, l'estensione del dataset, attraverso i dati disponibili per tutto il network FLT nel Mediterraneo, potrà consentire di trovare conferma alle ipotesi interpretative avanzate in questo studio.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar A., Lockyer C.H. (1987). Growth, physical maturity, and mortality of fin whales (*Balaenoptera physalus*) inhabiting the temperate waters of the northeast Atlantic. *Canadian Journal of Zoology*. 65: 253-264.
- Aïssi, M., Celona, A., Comparetto, G., Mangano, R., Würtz, M., & Moulins, A. (2008). Large-scale seasonal distribution of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the central Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(6), 1253-126
- Amigó N., Bou M., Alonso J. M., Junza M., Martín C., Degollada E. (2014). New data revealing remarkable fin whale (*Balaenoptera physalus*) presence within Catalanian shallow waters. *EDMAKTUB Association*, C/ Manila 54, 08034, Barcelona, Spain.
- Arcangeli A., Campana I., Bologna M. A. (2017). Influence of seasonality on cetacean diversity, abundance, distribution and habitat use in the western Mediterranean Sea: Implications for conservation. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst*. 2017;27:995–1010.
- Arcangeli A., Campana I., Di Clemente J., Paraboschi M., Crosti R. (2016). Intra-Annual Changes in Cetacean Occurrence in the Western Mediterranean Sea. *Ann Mar Biol Res* 3(1): 1014.
- Arcangeli A., Orasi A., Carcassi S. P., Crosti R. (2014). Exploring thermal and trophic preference of *Balaenoptera physalus* in the central Tyrrhenian Sea: a new summer feeding ground? *Marine Biology* Volume 161 Number 2.
- Arcangeli A., Tepsich P., Campana I., Carcassi S., Crosti R., Luperini C., Morgana S., Muzi E., Ruvolo A., Tassara L., (2010). Large scale monitoring in the North Western Mediterranean Sea – Result of two years of research using fixed transect surveys. ECS.
- Arcangeli, A., Aïssi, M., Atzori, F., Azzolin, M., Campana, I., Carosso, L., Vighi, M. (2019). Fixed line transect mediterranean monitoring network (FLT Med net), an international collaboration for long term monitoring of macro-mega fauna and main threats fixed line transect mediterranean monitoring network. *Biologia Marina Mediterranea*, 26(1), 400-401.
- Astraldi, M., & Gasparini, G. P. (1994). The seasonal characteristics of the circulation in the Tyrrhenian Sea. *Seasonal and Interannual Variability of the Western Mediterranean Sea*, 115-134.

- Bisconti M., Bosselaers M. (2020). A new balaenopterid species from the Southern North Sea Basin informs about phylogeny and taxonomy of *Burtinopsis* and *Protororqualus* (Cetacea, Mysticeti, Balaenopteridae) *PeerJ* 8:e9570.
- Çiçek, E., Öktener, A., Çapar, O. B. (2007). "First Report of *Pennella balaenopterae* Koren and Danielssen, 1877 (Copepoda: Pennellidae) from Turkey" (PDF). *Türkiye Parazitoloji Dergisi (Turkish Journal of Parasitology)*.
- Clapham P. J., Leimkuhler E., Gray B. A., Mattila D. K. (1995). Do humpback whales exhibit lateralized behaviour? *Animal Behaviour*, 50(1), 73–82.
- Clapham PJ, Mead JG. (1999). Megaptera novaeangliae. *Mamm Species*. 604:1–9.
- Clark, C. W. (1983). Acoustic communication and behavior of the southern right whale,” in *Communication and Behavior of Whales*, American Association for the Advancement of Science Selected Symposium 76, edited by R. S. Payne (Westview, Boulder, CO.), pp. 163–198.
- Colella S., Falcini F., Rinaldi E., Sammartino M., Santoleri R. (2016). Mediterranean Ocean Colour Chlorophyll Trends, *PLoS ONE*.
- Corkeron P. J. (1995) Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Hervey Bay, Queensland: behaviour and responses to whale-watching vessels. *Canadian Journal of Zoology*. 73(7): 1290-1299.
- Croll D.A., Clark C.W., Acevedo A., Flore S., Gedamke,J., Urban, J. (2002). Only male fin wales sing loud songs. *Nature*. 417 (6891): 809.
- Dudzinski K.M., Jeanette A., D.Gregg. (2009). Communication in Marine Mammals, *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)*, pp. 260-269.
- Dunlop R.A., Cato D.H., Noad M.J. (2008). Non-song acoustic communication in migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Marine Mammal Science*, 24: 613-629.
- Edds P.L., & Macfarlane J.A.F. (1987). Occurrence and general behaviour of balaenopterid cetaceans summering in the St. Lawrence Estuary, Canada. *Can. J. Zool.* 65: 1363–1376
- Félix F., Novillo J. (2015). Structure and dynamics of humpback whales competitive groups in Ecuador. *Animal Behavior and Cognition*, 2(1), 56-70.

- Fox D. (2001). *Balaenoptera physalus* (fin whale). *Animal Diversity Web*.
- Gingerich P., Whale Evolution (2004), in *McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology*, The McGraw Hill Companies.
- Hain J.H.W., Ratnaswamy M.J., Kenney R.D., Winn, H.E. (1992). The fin whale, *Balaenoptera physalus*, in waters of the northeastern United States continental shelf. *Report of the International Whaling Commission*. 42: 653–669.
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Jahoda M., Azzellino A., Lanfredi C., Panigada S., Scuderi A., Zanardelli M., Airoidi S. (2011). Spatial and temporal variability of Mediterranean fin whale feeding areas in the Pelagos Sanctuary. *European Research on Cetaceans* 25: 245.
- Kot B. W., Zbinden D., Sears R. (2013). Aerial behavior by the fin whale (*Balaenoptera physalus*) in the wake of a freighter and near other boats, *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*.
- Lockyer C. (1976). "Body weights of some species of large whales". *J. Cons. Int. Explor. Mer.* **36** (3): 259–273.
- Lockyer C.H., Gambell R., Brown S.G. (1977). Notes on age data of fin whale taken off Iceland, 1967-74. *Report of the International Whaling Commission*. 27: 427-450.
- Mackintosh N. A., Wheeler J. F. G. (1929). "Southern blue and fin whales". *Discovery Reports*. **I**: 259–540.
- Marini L., Consiglio C., Catalano B., Valentini T., Villetti G. (1996). Aerial behavior in fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea. *Marine Mammal Science*, 12: 489–495.
- Marini L., Consiglio C., Catalano B., Valentini T., Villetti, G. (1996). Aerial behavior in fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea. *Marine Mammal Science*, 12: 489-495.
- Marini L., Consiglio C., Sanna A. & Angradi A. M., (1992). Some notes on the fin whale (*Balaenoptera physalus*) in the western Mediterranean Sea. In: J.

J. Simoens (ed.), *Symposium "Whales: biology - threats - conservation"* (Brussels, 5-7 June 1991): 63-71.

- Marini L., Villetti G., Consiglio C. (1995). Wintering areas of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Mediterranean Sea: a preliminary survey. *European Cetacean Society Meeting*, Lugano.
- Marini, L., & Arcangeli, A. (2010). Changes in cetacean abundance and distribution over 20 years along a transregional fixed line transect in the central Tyrrhenian Sea. *European research on cetaceans*, 24, 18-21.
- Marini, L., Consiglio, C., Angradi, A. M., Catalano, B., Sanna, A., Valentini, T., & Villetti, G. (1996). Distribution, abundance and seasonality of cetaceans sighted during scheduled ferry crossings in the central Tyrrhenian Sea: 1989–1992. *Italian Journal of Zoology*, 63(4), 381-388.
- Millot, C. (1999). Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 20(1), 423-442.
- Norris K.S., Villa-Ramírez B., Nichols G., Würsig B., Miller K. (1983). Lagoon entrance and other aggregations of gray whales (*Eschrichtius robustus*). pp. 259-93. In: R. Payne, ed. *Communication and Behavior of Whales*. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Notarbartolo Di Sciara G., & Birkun, A. (2010). Conserving whales, dolphins and porpoises in the Mediterranean and Black Seas. *An ACCOBAMS status report-ACCOBAMS*, Monaco.
- Notarbartolo Di Sciara G., Zanardelli M., Jahoda M., Panigada S., Airoidi S. (2003). The fin whale *Balaenoptera physalus* (L. 1758) in the Mediterranean Sea. *Mammal Rev.* 33(02): 105-150.
- Notarbartolo Di Sciara G., Zanardelli M., Jahoda M., Panigada S., Airoidi S. (2003). The fin whale *Balaenoptera physalus* (L. 1758) in the Mediterranean Sea. *Mammal Review*, 33: 105-150.
- Öztürk B. (1995). Marine mammals inventory of Turkey. *European Research on Cetaceans*. 9: 96-98.
- Pace D.S., Giacomini G., Campana I., Paraboschi M., Pellegrino G., Silvestri M., Alessi J., Angeletti D., Cafaro V., Pavan G., Ardizzone G., Arcangeli A. (2019). An integrated approach for cetacean knowledge and conservation in the central Mediterranean Sea using research and social media data sources. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst.*; 29: 1302– 1323.

- Palsbøll, P.J., Bérubé, M., Aguilar, A., Notarbartolo-Di-Sciara, G. and Nielsen, R. (2004). Discerning between recurrent gene flow and recent divergence under a finite-site mutation model applied to north atlantic and mediterranean sea fin whale (*Balaenoptera physalus*) populations. *Evolution*, 58: 670-675.
- Payne R., (1990). Behaviour of southern right whales. *University of Chicago Press*, Chicago.
- Pivorunas A. (1977). The fibrocartilage skeleton and related structures of the ventral pouch of balenopterid whales. *Journal of Morphology*. 151:299-314.
- Pryor K. (1986). Non-acoustic communicative behavior of the great whales: origins, comparisons and implications for management. *Reports of the International Whaling Commission*, Special issue 8, 89–95.
- Rajaguru A., Shantha G. (1992). "Association between the sessile barnacle *Xenobalanus globicipitis* (Coronulidae) and the bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* (Delphinidae) from the Bay of Bengal, India, with a summary of previous records from cetaceans" (PDF). *Fishery Bulletin*. **90**: 197–202.
- Sciacca V., Caruso F., Beranzoli L., Chierici F., De Domenico E., Embriaco D., et al. (2015) Annual Acoustic Presence of Fin Whale (*Balaenoptera physalus*) Offshore Eastern Sicily, Central Mediterranean Sea. *PLoS ONE* 10(11): e0141838.
- Segre P.S. (2020) “Energetic and physical limitations on the breaching performance of large whales.” *eLife* vol. 9 e51760. 11 Mar.
- Shirihai, H., Jarrett B. (2006). Whales, Dolphins and Other Marine Mammals of the World. *Princeton Field Guides*. pp. 43–45.
- Stamation K.A., Croft D.B., Shaughnessy P.D., Waples K.A., Briggs, S.V. (2010). Behavioral responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to whale-watching vessels on the southeastern coast of Australia. *Marine Mammal Science*, 26: 98-122.
- Tomilin A.G. (1957). Mammals of the U.S.S.R., and adjacent countries. Vol. IX. *Cetacea. Nauk S.S.S.R.*, Moscow. 717 pp.
- Waters S., & Whitehead H. (1990). Aerial behaviour in sperm whales, *Physeter macrocephalus*. *Can. J. Zool.* 68: 2076 – 2082.

- Watkins A.W., Schevill E. W. (1979). Aerial Observation of Feeding Behavior in Four Baleen Whales: *Eubalaena glacialis*, *Balaenoptera borealis*, *Megaptera novaeangliae*, and *Balaenoptera physalus*, *Journal of Mammalogy*, Volume 60, Issue 1.
- Watkins W., Tyack P., Moore K., Bird J. (1987). The 20 Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*). *The Journal of the Acoustical Society of America*. 82 (6): 1901–1902.
- Whitehead H. (1985a). Humpback whale breaching. *Investigations on Cetacea*, Vol. 17: 117-155.
- Whitehead, H. (1985b). Why whales leap. *Scientific American*, 252(3), 84–93.
- Würsig B., Dorsey E. M., Richardson W. J., Wells R. S. (1989). Feeding, aerial and play behaviour of the bowhead whale, *Balaena mysticetus*, summering in the Beaufort Sea. *Aquatic Mammals*, 15(1), 27-37.

SITOGRAFIA

<https://www.marinemammalhabitat.org/immas/imma-definitions>

<https://www.assoporti.it>

<http://www.rac-spa.org/spami>

<https://www.marinebio.org/species/fin-whales/balaenoptera-physalus>

<https://mapamed.org>

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio in primis i miei genitori e mia sorella, grazie per avermi sempre sostenuto, senza di voi non avrei mai potuto raggiungere questo traguardo.

Grazie ad Irina per aver sempre creduto in me, per essermi stata accanto soprattutto nei momenti difficili senza che ci sia stato bisogno di chiederle niente.

Grazie a Giada per i consigli, per il supporto continuo e disinteressato.

Grazie al prof. Dario Angeletti per la possibilità che mi ha dato, per essermi venuto incontro nel momento del bisogno e per essere stato sempre disponibile al massimo.

Grazie ad Ilaria per avermi supportato e sopportato in qualunque momento, per l'aiuto continuo che mi ha dato lungo tutto il percorso, questo è solo l'inizio.

Grazie ad Accademia del Leviatano per tutto il lavoro svolto negli anni, per la passione che tutti i membri dell'associazione mettono in campo ogni giorno e grazie per l'opportunità e la fiducia che mi avete dato.

Grazie a me, non ho mai mollato neanche nei momenti difficili, ho dato sempre il massimo ottenendo per la maggior parte delle volte un buon risultato.

Infine, grazie alla passione che tutti noi abbiamo per il nostro amato Mare, a cui vorrei dedicare dei brevi versi:

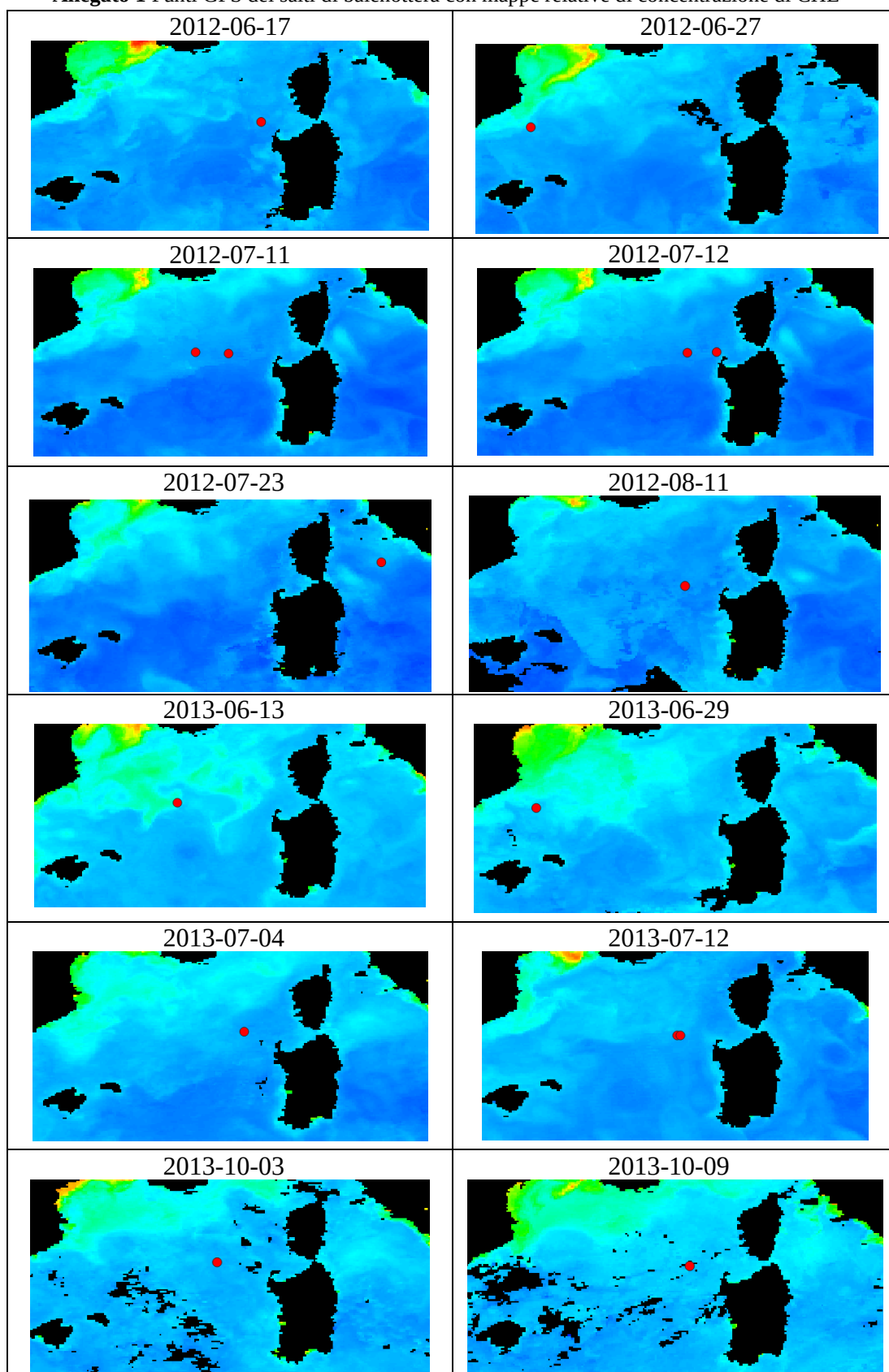
*Tu, motore del mondo
universo sulla Terra
la vita al tuo interno
ha richiesto libertà*

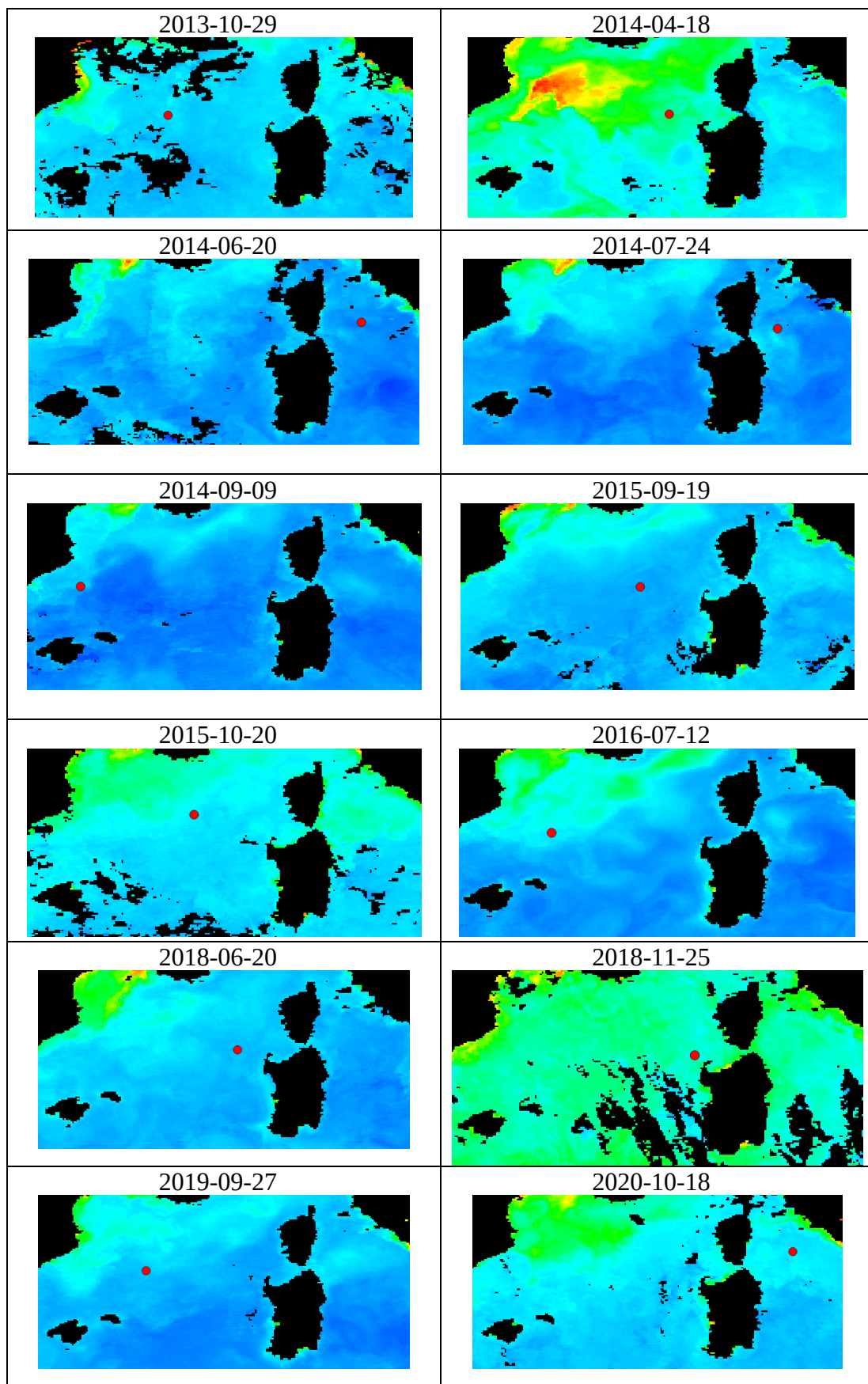
*sei orizzonte catturante
sgargiante blu naturale
come una nobile amante
attraente anima sleale*

*di fronte al tuo cospetto
manto denso loquace
il tutto sobbalza e tace
perpetuo mutar d'aspetto*

*mistero profondo
curativa essenza
mite grave vagabondo
irraggiungibile conoscenza*

Allegato 1 Punti GPS dei salti di balenottera con mappe relative di concentrazione di CHL





Allegato 2 Matrici di distanza tra avvistamento con presenza di salto e avvistamento subito precedente e successivo

2012-06-17	10:35	10:52	11,01 km
	10:52	11:17	17,95 km
2012-06-27	14:54	15:30	16,99 km
	15:30	15:51	23,11 km
2012-07-11	10:48	12:03	59,38 km
2012-08-11	08:53	09:37	35,32 km
	09:37	09:40	58,70 km
2013-06-13	11:28	11:42	10,99 km
	11:42	13:28	81,38 km
2013-06-29	18:02	18:20	9,56 km
	18:20	18:30	26,56 km
2013-07-04	07:12	07:30	12,88 km
	07:30	07:30	1,26 km
2013-07-12	06:54	07:22	30,12 km
	07:22	07:38	7,58 km
2013-10-03	08:05	09:04	41,28 km
2013-10-09	7:53	09:21	63,01 km
	09:21	10:11	35,80 km
2014-04-18	09:22	12:10	121,40 km
2014-06-20	16:25	17:20	39,70 km
2014-07-24	15:05	15:22	12,70 km
2014-09-09	16:03	16:50	38,36 km
2016-07-12	14:15	15:02	39,09 km
2018-06-20	08:25	10:20	89,83 km
	10:20	10:31	11,41 km
2018-11-25	12:00	12:31	25,27 km
2019-09-27	12:32	11:14	192,55m
2020-10-18	16:27	17:50	66,00 km

