

Corso di laurea in BIOLOGIA MARINA

Titolo della tesi:

**Stima dell'abbondanza di *Tursiops truncatus* nella
provincia di
Agrigento (Stretto di Sicilia)**

Tesi di Laurea in: Biologia Delle Tartarughe E Dei Cetacei

Relatore: Prof.ssa Annalisa Zaccaroni

Presentata da:

Correlatore: Dott.ssa Jessica Alessi

Matteo Dentale

Controrelatore: Prof. Cristiano Bombardi

Sessione unica

Anno Accademico 2021/2022

Indice

INDICE	I
ABSTRACT	A
1. INTRODUZIONE	1
1.1 IMPORTANZA MONITORAGGIO	1
1.1.1 <i>Metodi comuni</i>	2
1.1.2 <i>Specie bandiera</i>	2
1.2 IL TURSIOPE	3
1.2.1 <i>Sistematica</i>	4
1.2.2 <i>Distribuzione</i>	5
1.2.3 <i>Ciclo Biologico</i>	6
1.2.3 <i>Alimentazione</i>	7
1.3 STUDIO MAR MEDITERRANEO	8
1.3.1 <i>Stato ecologico</i>	8
2. SCOPO DELLA TESI	9
3. MATERIALI E METODI	10
3.1. IL PROGETTO	10
3.2. AREA DI STUDIO	10
3.3 RACCOLTA DATI	11
3.3.1 <i>Mezzi e strumenti</i>	11
3.3.2 <i>Schede di raccolta dati</i>	12
3.3.3 <i>Foto-identificazione</i>	15
3.4 ANALISI DATI	16
3.4.1 <i>Lavorazione foto</i>	16
3.4.2 <i>Stima di abbondanza</i>	17
4. RISULTATI	19
4.1 RISULTATI DEL CAMPIONAMENTO	19
4.2 RISULTATI RELATIVI ALLA FOTO-IDENTIFICAZIONE	20
4.3 STIMA DI ABBONDANZA	21
5. DISCUSSIONE	27
6. CONCLUSIONI	31
BIBLIOGRAFIA	32
SITOGRAFIA	34

Abstract

Le zone marittime meridionali della Sicilia sono costantemente studiate per capire il loro stato ecologico e la biodiversità che nel tempo tende a cambiare. Uno dei fattori utili per approfondire l'analisi dell'ecosistema marino è lo studio e la stima delle popolazioni che occupano queste aree. Le popolazioni più soggette a questa ricerca sono quelle della specie del delfino tursiope (*Tursiops truncatus*), una delle poche appartenenti all'infraordine dei cetacei ad essere presente vicino alla costa. Ogni anno, questi mammiferi marini vengono studiati dall'ente presente nel territorio di Agrigento (Stretto di Sicilia), l'associazione MeRiS - Mediterraneo Ricerca e Sviluppo APS, per monitorare e aggiornare le informazioni sull'abbondanza e la distribuzione delle popolazioni, che si evolvono nel tempo.

La presente ricerca vuole valutare e stimare l'abbondanza della popolazione del tursiope nelle acque antistanti la provincia di Agrigento, nello Stretto di Sicilia, grazie ai dati acquisiti negli avvistamenti effettuati dal 2016 al 2022. Attraverso la tecnica di foto-identificazione sono testati i metodi utilizzati dall'Associazione MeRiS, per offrire una visione della struttura sociale della specie, del suo areale di distribuzione e incrementare le conoscenze per lo studio dello stato ecologico nell'area di indagine.

Lo studio ha dimostrato la capacità delle tecniche di stima messe in atto nella valutazione delle popolazioni. Inoltre, l'impegno nell'utilizzo della tecnica di campionamento della foto-identificazione è stato davvero fondamentale per il compimento sia di questa ricerca, ma anche per la maggior parte degli studi citati; perciò, questo metodo è senza ombra di dubbio uno dei mezzi più convenienti per il monitoraggio delle popolazioni marittime.

1. Introduzione

La biodiversità marina rappresenta la varietà degli esseri viventi che popolano i nostri mari. Dalla sopravvivenza di una sola specie può dipendere il destino di un intero ecosistema marino: perdita di habitat, cambiamenti climatici, rifiuti e attività entropiche possono mettere a repentaglio il fragile equilibrio dei nostri mari. Analizzare la biodiversità marina, monitorarla costantemente per verificarne il suo stato e quello delle specie marine che vi ci abitano è fondamentale per poter valutare anche gli impatti cui è soggetta.

Sin dai tempi più remoti, l'umanità ha sfruttato questi ecosistemi per ottenerne le risorse per cibo, combustibili, ornamenti, medicine; solo recentemente sono iniziati degli studi per analizzare gli effetti delle azioni antropiche sulle popolazioni e sugli ambienti marini. Riuscire a definire lo stato attuale dei biota marini e/o prevedere futuri cambiamenti è molto complesso, per avere un quadro d'insieme è necessario fare una comparazione con dati e articoli scritti in passato (**H.K. Lotze and B. Worm et al. 2009**).

1.1 Importanza monitoraggio

Il Mar Mediterraneo, con oltre 17.000 specie, è una delle aree con la maggiore biodiversità e rappresenta uno degli "hotspot" della biodiversità. In particolare, lo Stretto di Sicilia, vista la presenza di condizioni che permettono di ospitare diverse tipologie di habitat e di specie provenienti dai bacini occidentale e orientale, è considerato un'area di elevata produzione primaria ed un hotspot di biodiversità.

Per riuscire a stimare lo stato di questo ambiente di studio si possono analizzare e monitorare le specie presenti: un infraordine che è stato ed è protagonista di molte ricerche è quello dei cetacei.

I mammiferi appartenenti a quest'ordine, tra quelli più conosciuti ci possono venire in mente le balene e i delfini, hanno mostrato di interagire in maniere moderata con molti organismi e sistemi marini diversi. Questi mammiferi, infatti, vivono e trovano nutrimento in quasi ogni parte dell'ambiente marino; i grandi fiumi più i loro estuari (*Platanistidae*), le piattaforme continentali (*Mysticeti*, *Phocoenidae*), i profondi canyon oceanici (*Physeteridae*, *Ziphiidae*), gli oceani tropicali (*Delphinidae*) e le gelide zone dell'Artico (*Monodontidae*, *Balaenidae*) o antartico (*Mysticeti*, *Orcininae*).

Sono importanti, quindi, da studiare e monitorare perché possono avere ruoli e apportare modifiche considerevoli ad alcuni ambienti marini, come essere d'aiuto al ciclo di nutrienti nelle aree improduttive ed utili come indicatori della salute e produttività dell'ecosistema marino.

Anche se in alcuni casi la loro importanza ecologica è difficile da determinare, è necessario continuare ad ampliare le ricerche tramite il monitoraggio di quest'ordine di mammiferi (**S. Katona and H. Whitehead et al 1988**).

1.1.1 Metodi comuni

I dati delle ricerche effettuate in passato sono fondamentali per comprendere lo sviluppo e lo stato della vita dell'ecosistema marino che possono essere valutati tramite l'analisi delle popolazioni stesse. Negli ultimi decenni, in molti biota presenti del Mar Mediterraneo sono state avviate iniziative con lo scopo principale di preservare la biodiversità ed arrestarne la sua perdita (**P. Consoli et al. 2021**).

A seconda della specie bersaglio da monitorare, la raccolta di informazioni dipende dal tipo di approccio e dalle risorse disponibili utili per lo scopo. La presenza delle specie può essere registrata visivamente in modo diretto o indirettamente mediante l'acustica; piattaforme mobili, come traghetti e piccole imbarcazioni (per evitare di essere troppo invasivi) sono necessarie per ottenere una copertura più ampia per il monitoraggio. (**P.G.H. Evans et al 2004**). Questa metodologia può comportare vantaggi o svantaggi in base allo studio applicato.

Per alcune specie di cetacei il metodo di marcatura consigliato per l'identificazione degli individui campionati è la foto-identificazione: un metodo non invasivo essenziale per identificarli che utilizza fotografie fatte agli esemplari, perché si basa sull'ipotesi che ognuno di loro abbia caratteristiche uniche utili per il riconoscimento. Queste caratteristiche sono presenti sulle parti ben esposte degli animali (soprattutto il dorso e la pinna dorsale) e l'acquisizione di queste immagini può ritornare utile per monitorare i movimenti e la dimensione delle popolazioni in studio. (**Maglietta et al. 2022**).

Monitoraggi scientifici dedicati (**Ranù et al., 2022**) e progetti di Citizen Science (**Alessi et al., 2019**) hanno confermato la loro presenza nelle acque antistanti la provincia di Agrigento con un tasso di incontro totale pari al 40%, rispetto al numero di monitoraggi effettuati (**Alessi et al., 2019**): il tursiope, quindi, svolge un ruolo chiave in questa area che rappresenta un hotspot per la specie (**Ranù et al., 2022**). Il tursiope, in Mediterraneo, è una specie considerata vulnerabile dalla lista rossa IUCN ed è protetta dalla Direttiva Habitat (92/43 CE), dalla Convenzione di Bonn, dal CITES, dalla Convenzione di Berna e dal Protocollo SPA/Bio della Convenzione di Barcellona. Questo lavoro di tesi si inserisce all'interno del progetto a lungo termine sullo studio della sub-popolazione di tursiopi nelle acque della provincia di Agrigento (Stretto di Sicilia) denominato "Delfini del Mar d'Akragas", condotta dalla associazione MeRIS – Mediterraneo Ricerca e Sviluppo APS.

1.1.2 Specie bandiera

Le specie bandiera sono specie in grado di comunicare e sensibilizzare l'opinione pubblica sulla necessità di conservare la biodiversità del pianeta. Si tratta di specie affascinanti e carismatiche che, grazie alla loro presenza, riescono a dare un contributo fattivo all'implementazione delle pratiche di conservazione e di tutela degli habitat: in pratica delle ambasciatrici di un progetto o di un movimento di conservazione. Tra gli esempi di specie bandiera il più conosciuto al grande pubblico è sicuramente il panda gigante della Cina e simbolo del WWF (World Wildlife Fund): un animale che suscita immediatamente tenerezza e, al contempo, sdegno all'idea di un rischio estinzione.

La scelta di una specie bandiera è influenzata da diversi fattori come, ad esempio, l'obiettivo da raggiungere di un progetto, la promozione di una ricerca finanziata o la conservazione basata sulla comunità. Ai fini della conservazione della biodiversità del pianeta, le specie bandiera sono spesso utilizzate per la scelta e

l'istituzione di aree protette garantendo al contempo la conservazione di ampie superfici che contengono al loro interno numerose altre specie e la salvaguardia dei processi ecosistemici.

Alcune specie animali, inoltre, sono più sensibili rispetto ad altre all'inquinamento, ai cambiamenti climatici e all'impatto con le attività umane. Dallo studio del comportamento e delle migrazioni o dello stato di salute degli individui di una specie si possono trarre informazioni importanti sull'ecosistema. Nella scelta della specie da studiare è fondamentale considerare innanzitutto quale impatto potrebbe avere la sua presenza o assenza nell'area di distribuzione, il che le porta a fungere da "specie sentinella". Gli esemplari appartenenti a queste specie possono essere utilizzati dagli scienziati come indicatori biologici, ovvero per monitorare e comprendere gli ecosistemi. Di solito vengono monitorate quelle presenti al vertice della catena trofica (i consumatori di primo ordine ovvero i predatori), tra essi, vi è quella che può essere considerata come la "specie bandiera" designata per la conservazione delle aree marittime protette: il delfino tursiope (*Tursiops truncatus*). (P. Laporta *et al.* 2016) che nel Mediterraneo è la specie di cetaceo più comune della piattaforma continentale (Bearzi *et al.*, 2018; Gonzalvo *et al.* 2014).

1.2 Il Tursiope

Il tursiope (Figura 1) è sicuramente il cetaceo più conosciuto soprattutto perché è una delle pochissime specie in grado di vivere in cattività, fattore questo che ha permesso di effettuare numerosi studi anche sulla fisiologia della specie (R.S. Wells M.D. Scott *et al.* 2009). Detto anche "delfino dal naso a bottiglia", è probabilmente il più famoso tra tutti i cetacei: in antichità ha avuto un ruolo di primo piano nelle leggende greche e romane e le antiche popolazioni di navigatori del Mediterraneo lo consideravano come portatore di buon auspicio, compagno di rotta e capace di salvataggi.



Figura 1. Il delfino conosciuto come tursiope (*Tursiops truncatus*), foto scattata a bordo di M.RiS.

1.2.1 Sistematica

Phylum: Chordata

Classe: Mammalia

Sottoclasse: Theria

Ordine: Cetacea

Sottordine: Odontoceti

Famiglia: Delphinidae

Il Tursiope (*Tursiops truncatus*, Montagu, 1821), è un cetaceo appartenente al Phylum Cordata, Classe Mammalia, alla famiglia dei Delfinidi, Sottordine Odontoceti è un cetaceo odontoceto. La sua prima descrizione è datata 1804, dal Lacèpède, nel 1821, George Montagu studiò un delfino spiaggiato nel Devonshire e lo chiamò *Delphinus truncatus* (appunto per la forma tozza del rostro), caratteristica questa ben espressa anche dal nome inglese, Bottlenose dolphin, ovvero delfino dal naso a bottiglia (Notarbartolo di Sciara & Demma, 1997). Il percorso che ha portato questo mammifero a colonizzare gli oceani è iniziato circa 55 milioni di anni fa e gli adattamenti che lo differenziano dai mammiferi terrestri sono la forma del corpo, slanciata e idrodinamica, l'abbandono della pelliccia a favore di una pelle particolare, spesso da 2 a 4 millimetri e continuamente lubrificata per limitare l'attrito.

L'adulto ha una lunghezza massima di 3,8 metri e un peso di circa 350 chilogrammi, la femmina è più piccola rispetto al maschio. Il neonato misura 1 metro e pesa 15 chilogrammi (**Notarbartolo di Sciara & Demma, et al. 2004**), è più scuro rispetto agli adulti e presenta sui fianchi delle strie chiare residuo delle pieghe fetali che spariscono entro i sei mesi di vita. La forma, la dimensione e il colore del tursiope varia in rapporto alla zona geografica in cui vive: più piccolo il "costiero", più grande e robusto quello che vive principalmente al largo. Presenta un corpo idrodinamico e molto slanciato. Il capo è sovrastato da un melone pronunciato, separato con un solco ben marcato dal rostro (**Bacchetta & Amante et al. 2007**). La pinna dorsale è alta e falcata, le pinne pettorali sono corte e sottili. La livrea è di diverse sfumature di grigio a seconda dell'individuo ed i contorni sono sfumati nelle diverse aree del corpo: il dorso è di un grigio più scuro che va schiarendosi sui fianchi fino al ventre di colore biancastro o rosato; anche la mandibola è bianca. Il muso è caratterizzato dalla presenza di una specie di "sorriso" dovuto al fatto che l'animale è impossibilitato a muovere le mascelle in altra posizione. Il biosonar (**Whitlow et al. 1993**) permette a questi animali di percepire l'ambiente anche nelle profondità marine. Il senso più sviluppato del tursiope è l'udito, unito alla grande capacità di emettere suoni di frequenze diverse: i click (costituiti da una serie di suoni ad alta frequenza), fischi e scricchiolii.

I click sono utilizzati per l'ecolocalizzazione, mentre gli altri suoni per la comunicazione. Ogni tursiope ha un suo fischio caratteristico che lo rende identificabile immediatamente dai suoi conspecifici. E' privo di corde vocali, per cui si ritiene che i suoni a bassa frequenza vengano generati per mezzo di sei sacche aeree poste vicino allo sfiatatoio.

Il sesso del tursiope può essere determinato mediante l'osservazione del basso ventre in cui si trovano le fessure genitali (**Notarbartolo di Sciara e Demma et al. 2004**).

1.2.2 Distribuzione

È una specie cosmopolita che si trova in tutti i mari del mondo fatta eccezione di quelli più freddi (Figura 2). La distribuzione del tursiope è stata stimata in entrambi gli emisferi all'interno del 45° parallelo (in acque temperate e tropicali) fino al 65° parallelo nel Nord Atlantico; inoltre è una specie comunemente presente nel Mar Mediterraneo (Gnone *et al.* 2011).

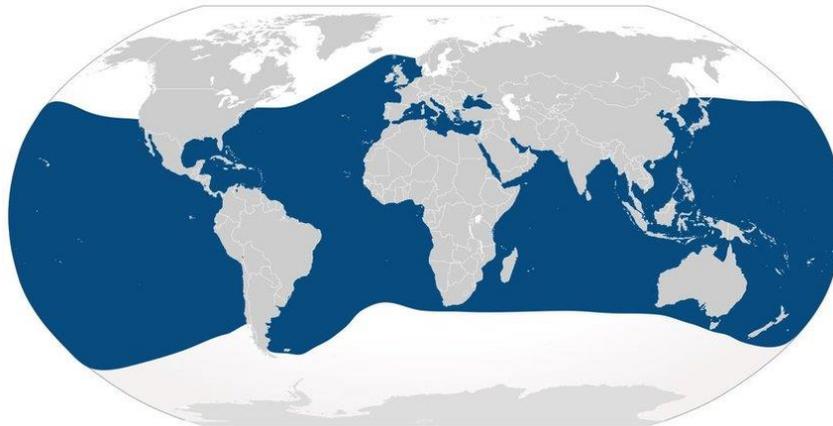


Figura 2. Distribuzione globale del tursiope secondo IUCN

Per questa sua enorme distribuzione sono state messe in atto delle misure di protezione su base internazionale e europea, perché esso è stato elencato come specie vulnerabile (VU) e il suo stato di conservazione è di minore preoccupazione ("leastconcern" (LC)) secondo la Lista Rossa IUCN.

In Europa sono stati fatti frequenti avvistamenti al largo dell'Albania, Croazia, Francia, Spagna, Italia, Slovenia e Turchia. In Italia sono più frequenti nei pressi delle isole, nell'Adriatico e nella zona battezzata col nome "Santuario dei cetacei". Quest'ultimo, denominato ora Santuario Pelagos, è un tratto di mare compreso tra la Liguria, Toscana, Sardegna settentrionale e Francia meridionale, in cui sono presenti dodici specie di cetacei, otto regolari e quattro occasionali. In quest'area marina il tursiope risulta soprattutto frequente lungo le coste della Toscana, dell'arcipelago Toscano e della Liguria Orientale. È l'unica specie che si spinge fino all'Adriatico settentrionale. Nel Mar Mediterraneo, le aree costiere della Sardegna nord-orientale e della Corsica del sud, hanno importanza notevole come aree di nursery. Nello Stretto di Sicilia l'associazione MeRiS - Mediterraneo Ricerca e Sviluppo APS, organizzazione impegnata nella protezione dei mammiferi marini e nella salvaguardia del mare nella provincia di Agrigento (in Sicilia), da anni sta svolgendo una ricerca per offrire una visione della struttura sociale della specie, del suo areale di distribuzione, del suo stato di salute ed è la stessa con cui questo lavoro è stato svolto.

La sola presenza del tursiope può essere una componente chiave per la biodiversità marina dell'ambiente costiero, per dare una dimostrazione, grazie a una distribuzione irregolare indipendente, dello stato e delle caratteristiche dell'habitat marino.

Con ciò è importante, per assicurarsi una visione dello stato ecologico marino, stimare l'abbondanza delle popolazioni presenti: secondo gli ecologi, usare queste informazioni è utile anche a comprendere come una specie tende a distribuirsi nelle aree di studio.

1.2.3 Ciclo Biologico

Il tursiope possiede una moderata longevità e in natura, in media, i maschi possono vivere fino ai 40 anni mentre le femmine vivono almeno 5-10 anni in più e la maturità sessuale. La maturità sessuale viene raggiunta tra i 6-12 anni per le femmine e i 10-13 anni per i maschi (**Cockcroft et al., 1990**).

Ha una elaborata struttura sociale, grande capacità di apprendimento ed un elevato senso dell'altruismo; vive in branco, formando dei gruppi numerosi, soprattutto nel periodo della riproduzione; mentre per il resto dell'anno si muove in sottogruppi, spostandosi continuamente in ambienti adatti e favorevoli. Le dimensioni del gruppo sembrano variare anche in funzione del numero di piccoli presenti e tra gli esemplari le femmine possono essere riconosciute tramite la loro stretta associazione con un cucciolo (**Bearzi et al., 1997**). Nella struttura sociale si possono distinguere quattro tipologie di sottogruppi: la coppia formata da madre-piccolo, i sub-adulti di entrambi i sessi, le femmine adulte con i più giovani e i maschi adulti che possono essere solitari o con altri maschi con cui hanno forti legami.

I maschi incontrano le femmine solo nella stagione degli amori, fra maggio e agosto, quando i piccoli gruppi dei primi incontrano i più grossi gruppi delle seconde, ricchi di giovani individui, formando degli spettacolari branchi di decine di tursiopi. Sono inoltre molto competitivi fra di loro, per questo la loro pinna dorsale è così ricca di segni da renderli fra i cetacei più foto-identificabili e riconoscibili individuo per individuo. Il tursiope è un animale poligamo e ricorre ad alleanze con altri maschi per accoppiarsi con le femmine del proprio gruppo o con quelle solitarie.

Si riproducono ogni 2 o 3 anni, cambiando ogni volta partner, ma se il primo piccolo muore alla nascita, la femmina può riprodursi dopo un anno. La stagione riproduttiva del tursiope non è ben definita anche se le nascite avvengono generalmente durante la stagione più calda. La gestazione dura 12 mesi; il piccolo che nascerà sarà lungo tra gli 80-150 centimetri con un peso di circa 14 chilogrammi e si nutrirà del latte materno fino ai suoi 18 mesi di vita.

In rari casi, può capitare che nascano due piccoli ma difficilmente entrambi riusciranno a diventare adulti.

Come in tutti i cetacei, i piccoli fuoriescono dal ventre materno prima con la coda e sono già in grado di nuotare per seguire la madre; questa dopo la nascita, accompagna il piccolo verso la superficie per farlo respirare e in questa operazione talvolta è coadiuvata da altre femmine.

Il piccolo rimane in stretto contatto con la madre per alcuni anni e lo svezzamento definitivo avviene nella seconda metà del secondo anno di vita e comunque prima della nascita del piccolo successivo. L'intervallo tra due nascite è in media di tre o quattro anni. Nel tursiope si assiste al fenomeno del *baby-sitting*: i piccoli vengono accuditi da una sola femmina, mentre le altre madri vanno a caccia (Mann et al 1998).

1.2.3 Alimentazione

Il tursiope si ciba prevalentemente di pesci, ma non disdegna crostacei e calamari sia in acque basse che in profondità. Il suo fabbisogno giornaliero di cibo è pari al 5% del peso corporeo.

L'alimentazione e le strategie di caccia possono variare a seconda dell'habitat e della preda: gli esemplari che vivono in mare aperto si nutrono di pesci meso-pelagici e calamari oceanici, mentre quelli che vivono presso la costa di pesci e di invertebrati tipici della zona. Le strategie di caccia variano a seconda dell'habitat e del tipo di preda da catturare. La caccia si può svolgere singolarmente o in gruppo utilizzando varie strategie: ad esempio spingendo i pesci sotto costa in modo da catturarli più facilmente.

Per individuare le prede ed evitare eventuali ostacoli, utilizzano l'ecolocalizzazione: il tursiope possiede, infatti, un sonar biologico che sfrutta l'eco di ritorno delle onde sonore emesse tramite strutture presenti nella zona frontale del cranio (sacche vestibolari e melone).

Essendo una specie con una longevità notevole, è considerata predatore opportunista, può accumulare contaminanti (predando prede di varie dimensioni) attraverso il bioaccumulo e offrire una visione di tutto l'ecosistema in termini di esposizione agli impatti ambientali (**R.S. Wells et al. 2004**).

Le femmine con il piccolo, per l'alimentazione, tendono a frequentare maggiormente le aree costiere e quindi i pesci più frequentemente catturati sono: cefali, anguille, acciughe, sardine, sgombri, aringhe, triglie etc. Questi pesci, infatti, hanno un elevato contenuto calorico che si riflette anche sul latte che è molto energetico e concentrato (33% di lipidi e il 6,8% di proteine).

1.3 Studio Mar Mediterraneo

Il Mediterraneo, un bacino chiuso su cui si affacciano 15 Paesi Europei sulla costa settentrionale e 13 su quella meridionale, con una superficie di 2.969.000 Km² rappresenta solo lo 0,82% dei mari e degli oceani del pianeta. Nel canale di Sicilia una dorsale situata a 400 metri di profondità separa le isole della Sicilia dalle coste della Tunisia e divide il Mediterraneo in due bacini principali, quello occidentale di circa 0,85 milioni di Km² e quello orientale di circa 1,65 milioni di Km². Con la presenza di oltre 17.000 specie però è una delle aree con la maggiore biodiversità, rappresenta uno degli “hotspot” della biodiversità e contiene circa il 7,5% delle specie mondiali ([wwf.it](http://www.wwf.it)).

L'utilizzo dei dati di ricerche effettuate in passato è fondamentale per comprendere lo sviluppo della vita in mare, che può essere valutato tramite l'analisi delle popolazioni stesse che vi ci abitano. Negli ultimi decenni, per molti biota presenti in questo vasto ambiente marittimo, sono state avviate iniziative che puntano ad preservarne la biodiversità ed arrestarne la perdita (**P. Consoli et al. 2021**).

1.3.1. Stato ecologico

Per avere una visione d'insieme dello stato ecologico marino è fondamentale stimare l'abbondanza delle popolazioni presenti. Secondo gli ecologi utilizzare queste informazioni è utile anche per comprendere come una specie tenda a distribuirsi nelle aree di studio. Gli studi dell'abbondanza dei mammiferi marini ebbero inizio verso gli anni '60. I primi tentativi, nel confronto dei cetacei, consistevano solo nel conteggio degli esemplari avvistati. Successivamente, negli anni '70 si iniziarono a sviluppare nuovi metodi. Ma la chiave di volta è arrivata con lo sviluppo delle foto-identificazione fornendo l'opportunità di poter “marcare” balene e delfini sfruttando come identificativo per ogni individuo i “mark” naturali presente sul loro corpo. (**Hammond et al. 2021**).

2. Scopo della tesi

Lo scopo della tesi è quello di valutare e stimare l'abbondanza della popolazione del tursiope nelle acque antistanti la provincia di Agrigento, nello Stretto di Sicilia, grazie ai dati acquisiti negli avvistamenti effettuati dal 2016 al 2022. Attraverso la tecnica di foto-identificazione saranno testati i metodi utilizzati dall'Associazione MeRiS per offrire una visione della struttura sociale della specie, della sua distribuzione areale e incrementare le conoscenze per lo studio dello stato ecologico nelle aree di studio. Per garantire un risultato quanto più completo è opportuno fare un ultimo confronto gli altri studi svolti o nelle medesime aree o che abbiamo usufruito di altri metodi per stimare l'abbondanza, così da individuare somiglianze o altri risultati ottenuti nella stessa ricerca svolta. (www.isprambiente.it). Gli studi dell'abbondanza dei mammiferi marini ebbero inizio verso gli anni '60, i primi tentativi, nel confronto dei cetacei, consistevano solo nel conteggio degli esemplari avvistati; successivamente, negli anni 70 si iniziarono a sviluppare nuovi metodi, lo sviluppo delle foto-identificazione ha fornito l'opportunità di poter "marcare" balene e delfini sfruttando come identificativo per ogni individuo i "mark" naturali presente sul loro corpo. (**Hammond et al. 2021**).

3. Materiali e Metodi

3.1. Il progetto

Le acque della provincia di Agrigento ospitano una ricca sotto-popolazione di delfini costieri. In questo tratto di mare dal 2012 opera MeRiS - Mediterraneo Ricerca e Sviluppo, un'organizzazione no profit che si occupa della protezione dei mammiferi marini e del loro ambiente. MeRiS è impegnata in attività di ricerca per la salvaguardia del mare e della biodiversità, con particolare riguardo alla popolazione di cetacei del Canale di Sicilia (Mar Mediterraneo). Dal 2016 ha attivato il progetto a lungo termine "I Delfini del Mar D'Aragas" che si pone come obiettivo primario l'ampliamento delle conoscenze relative alle popolazioni di tursiopi, necessarie alla loro conservazione, come stimarne l'abbondanza, comprenderne il comportamento e le interazioni con altre specie protette (come gli uccelli marini) e con le attività antropiche, specialmente quelle di pesca commerciale.

Il progetto si sviluppa nelle acque antistanti la provincia di Agrigento nella costa sud-occidentale sicula.

Il progetto è stato finanziato nel 2020 da LUSH Italia con il programma Lush Charity Pot, nel 2021 grazie alla vittoria di Jessica Alessi del secondo posto del Premio Terre de Femmes di Fondation Yves Rocher Italia.

3.2. Area di studio

Lo studio si incentra nelle zone marittime del sud-ovest della Sicilia e comprende il tratto di mare antistante la provincia di Agrigento. I monitoraggi si sono svolti in un'area che si estende per circa 529 chilometri quadrati dal Golfo di Sciacca a Licata. L'area di studio è situata nello Stretto di Sicilia (Figura 3), un tratto di mare compreso tra la costa della Sicilia occidentale e la Tunisia, che rappresenta una connessione cruciale tra il bacino occidentale e il bacino orientale del Mar Mediterraneo (**Consoli et al. 2016**). Lo Stretto di Sicilia oggi è considerato un hotspot della biodiversità mediterranea, "punto caldo" caratterizzato da livelli di diversità biologica particolarmente elevati. Queste acque allo stesso tempo sono minacciate da perdita di habitat e specie. In questo tratto di mare sono presenti, tra le altre, quasi tutte le specie marine protette, sia esse pelagiche sia bentoniche, del Mediterraneo (www.ispra.it).

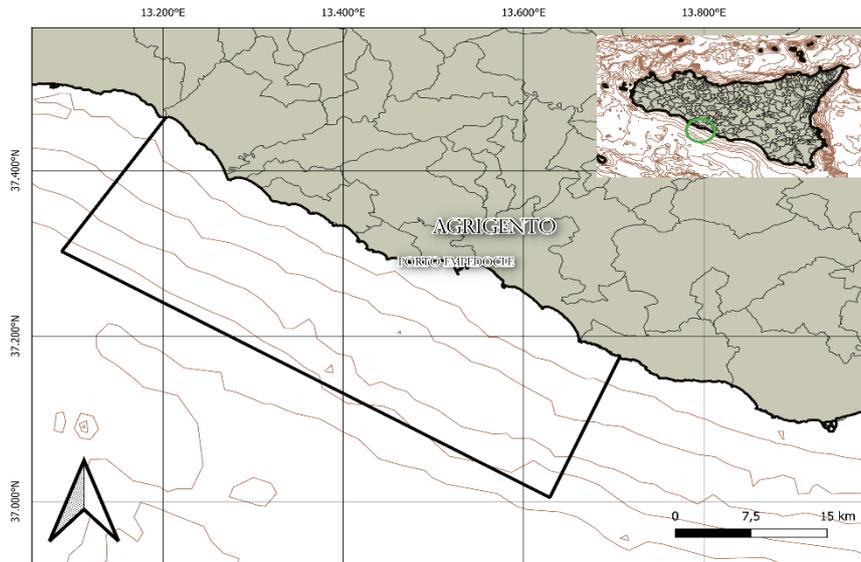


Figura 3. L'area di studio, presso la provincia di Agrigento in Sicilia; come punto di inizio Porto Empedocle

Lo Stretto di Sicilia dal 2015 è stato considerato come future “ASPIM” (Area Specialmente Protetta di Interesse Mediterraneo) dalla convenzione di Barcellona, qui sono state indeterminate circa 115 specie che sono di interesse per la conservazione secondo la Lista Rossa de IUCN, la Direttiva Habitat, la Convenzione di Berna, il Protocollo SPA/BD e CITES (Consoli *et al.* 2021).

Comunque, per questo ecosistema c'è la necessità di eseguire più ricerche per capirne al meglio la caratterizzazione ecologica e biologica essendo entrambe poco studiate.

3.3 Raccolta dati

3.3.1 Mezzi e strumenti

I monitoraggi sono stati condotti utilizzando una barca (Figura 4) semicabinata lunga 6,5 metri, equipaggiata con un motore fuoribordo Honda 130 hp. Ogni spedizione della durata di circa 6 ore (minimo 4 ore), si è svolta con partenza e arrivo dal porto di Porto Empedocle, esclusivamente in buone condizioni meteo-marine (Beaufort ≤ 3). L'area di campionamento veniva scelta in modo casuale nella zona di studio. Durante ogni survey erano presenti un minimo di due osservatori ognuno su un lato dell'imbarcazione per avere una copertura a 360° di tutto l'ambiente circostante (Alessi *et al.* 2019; Ranù *et al.* 2022). Sono stati utilizzati un GPS Garmin per registrare costantemente la posizione geografica dell'imbarcazione e un GPS cartografico (Raymarine DragonFly 7), dotato di ecoscandaglio per fornire informazioni riguardanti la profondità del fondale, la temperatura superficiale dell'acqua e monitorare la velocità dell'imbarcazione che è stata mantenuta inferiore ai 10 nodi durante i Survey, per massimizzare a probabilità l'avvistamento, ed inferiore a 5 nodi in presenza di cetacei, al fine di evitarne il disturbo. Durante tutto il tragitto a partire dall'inizio dell'uscita fino al rientro in porto, sono state compilate delle specifiche schede di navigazione.

Le campagne di ricerca si sono svolte principalmente durante la stagione estiva negli anni compresi tra il 2016 e il 2021.



Figura 4. L'imbarcazione utilizzata per effettuare i campionamenti

3.3.2 Schede di raccolta dati

Nel corso delle uscite di monitoraggio vengono compilate due tipologie di schede per la raccolta dei dati:

Modulo di navigazione (Figura 5) - vengono prima registrati i dati relativi alla survey ossia: la data, il numero dell'uscita, gli orari dell'alba e del tramonto, i componenti dell'equipaggio, le ore motore di inizio e fine attività, le condizioni meteorologiche giornaliere relative alla forza del mare e del vento.

Successivamente, in una tabella, vengono registrati l'orario e il luogo (Porto Empedocle) di inizio spedizione; ogni 30 minuti è riportata la posizione dell'imbarcazione con le corrispondenti coordinate (fornite dal GPS portatile Garmin Etrex 10). Nel caso di incontri specifici (con attività di pesca professionale, avvistamento di

3.3.3 Foto-identificazione

La foto-identificazione è uno dei metodi maggiormente utilizzati nelle ricerche incentrate sui cetacei e consente di riconoscere i singoli esemplari incontrati in mare, dall'analisi dei segni distintivi e permanenti presenti sul corpo degli animali. Questa tecnica, non invasiva, presenta molti vantaggi rispetto a quelle tradizionali usate nella cattura-ricattura: gli animali non vengono fisicamente catturati e marcati (Evans & Hammond, 2004) e l'impatto, sia sul comportamento che sul tasso di sopravvivenza, è ridotto al minimo. Le specie studiate tramite foto-identificazione sono caratterizzate da diversi tipi di *mark* (segni naturalmente presenti sul corpo degli animali, peculiari e differenti in ognuno di essi), che possono essere localizzati in diverse zone del corpo. Nel caso del tursiopo per poter marcare e quindi identificare ciascun esemplare, occorre valutare la presenza di *mark* nella pinna dorsale e sui fianchi, poiché si tratta della parte del corpo che sporge maggiormente fuori dall'acqua e, di conseguenza, risulta sempre visibile ad ogni emersione. I principali natural mark che si riscontrano nel tursiopo sono:

- "Tooth rake", graffi paralleli tra loro causati dai denti, che sembrano causati da un rastrello;
- "Notch", pezzi mancanti nel profilo posteriore della pinna dorsale;
- "Back Indentation", parti del profilo posteriore della pinna dorsale che sembrano seghettate;
- "Protruding piece", lembi di pelle che sporgono dal profilo posteriore della pinna dorsale.

Durante l'analisi fotografica viene valutata anche la presenza sul dorso di graffi, deformità fisiche, o ferite causate dalle attività antropiche (come segni derivanti dalla collisione con imbarcazioni o interazioni negative con attrezzi da pesca).

Per la foto identificazione è stata utilizzata una macchina fotografica reflex digitale (Canon Eos 6D Mark II) equipaggiata con un teleobiettivo stabilizzato Canon 100-400 mm. Il protocollo prevede di fotografare in modo random l'area della pinna dorsale (Figura 7), perpendicolarmente all'asse dell'animale e indipendentemente dal grado di marcatura (segni e tacche sulla pinna dorsale) degli animali incontrati. È utile fotografare gli animali su entrambi i lati, destro e sinistro, ciò permette la completa identificazione dell'esemplare. È di fondamentale importanza impostare correttamente la macchina fotografica: è necessario fotografare con la messa a fuoco in automatico, utilizzando tempi rapidi per la cattura dell'immagine (di almeno 1/800 sec) e fotografare in modalità multi-scatto al fine di catturare l'intera sequenza di emersione dell'esemplare.



Figura 7. Attività di Foto-Identificazione a bordo di MeRiS.

3.4 Analisi dati

3.4.1 Lavorazione foto

Al rientro dalla spedizione le immagini scattate sono lavorate per il riconoscimento degli esemplari fotografati attraverso:

- “Scrematura”: una valutazione qualitativa della fotografia, dove vengono scartate le immagini considerate non adeguate al lavoro (dove l’esemplare non è per nulla presente) e quelle troppo sfocate.
- “Matching”: un confronto delle immagini del catalogo dell’Associazione MeRiS (preferibilmente quelle più recenti) con quelle della spedizione. Il catalogo di foto-identificazione, realizzato da MeRiS grazie al software File Maker pro 12, viene aggiornato costantemente e in esso sono presenti tutte le foto di ogni individuo identificato sin dal primo avvistamento, a partire dal 2016. Questo procedimento permette di poter comprendere se l’esemplare fotografato sia una “cattura” (un individuo nuovo appena identificato fotograficamente) oppure una “ricattura” (un individuo già stato foto-identificato in passato e già presente nel catalogo).
- “Lavorazione”: le foto scelte alla fine, sono ritagliate ed editate per ottenere una migliore visibilità sulla pinna dorsale a livello qualitativo, per poi essere divise in sotto-cartelle in base all’esemplare identificato.
- “Catalogazione”: le foto migliori, preferibilmente sia del lato destro che di quello sinistro degli individui avvistati, vengono inserite nel catalogo di foto-identificazione realizzato da MeRiS. in cui per ogni singolo delfino sono presenti, oltre alle immagini delle pinne dorsali, tutte le informazioni che lo riguardano (numero di identificazione, nome, classe di età, sesso se conosciuto, quantità e tipologia di notch) e l’avvistamento.

3.4.2 Stima di abbondanza

Per stimare l'abbondanza del tursiope è stato utilizzato il software Socprog V2.9 Compiled.

Prima di procedere all'analisi, i dati utili per lo scopo sono stati organizzati in Excel; dal catalogo di tutti gli avvistamenti, si creano due appositi fogli ciascuno contenente le fotografie relative ad un lato (destro e sinistro della pinna dorsale) e entrambi avranno elencati, in ordine cronologico le seguenti informazioni:

- “l'evento”, il numero dell'avvistamento, continuativo dal 2016;
- la data e l'orario di inizio avvistamento;
- l'anno;
- “L' ID totale”, ovvero il codice identificativo di ogni singolo esemplare.

Tutte le analisi sono state fatte mantenendo separati i lati destri da quelli sinistri. Il periodo di campionamento su Socprog è stato impostato annuale. Per stimare l'abbondanza della popolazione ci si è avvalsi di diversi modelli: per ogni campione si sono utilizzati due modelli di popolazione chiusa (Petersen e Schnabel) che sono stati confrontati con tre modelli di popolazione aperta (Jolly-Seber, Mortality e Mortality+trend).

Di seguito vengono fornite informazioni sui modelli applicati:

- “Pertesen” e “Schnabel”, dove si presuppone che la popolazione sia chiusa, il primo fornisce stime calcolate anno per anno, mentre il secondo da una stima sull'intero periodo di studio. Il modello Schanbel stima la dimensione di una popolazione chiusa tramite il metodo della massima verosimiglianza.

-“Jolly-Seber” è un modello adatto quando l'evidenza di un popolazione chiusa è debole. Nel modello Jolly-Seber i tassi di mortalità/emigrazione e di natalità/immigrazione variano tra i periodi di campionamento. Tale modello restituisce per ogni periodo di campionamento (ossia ogni anno) oltre alle stime di abbondanza, i tassi di sopravvivenza e di natalità/immigrazione;

-“Mortality”, in cui si presuppone, in una popolazione di dimensioni costanti, un ritmo bilanciato di nascite e morti. Pertanto, esso assume che la popolazione abbia una taglia costante nel tempo, con nascite (e immigrazioni permanenti) bilanciate dalle morti (e emigrazioni permanenti). Questo modello fornisce tra gli output anche un valore di mortalità: è la somma della mortalità reale, delle emigrazioni permanenti dall'area e degli individui che non vengono ricatturati perché i loro mark cambiano drasticamente e quindi non vengono riconosciuti;

-“Mortality+Trend”, dove la popolazione tende a crescere ed a diminuire ad un ritmo costante. Questo modello restituisce il trend della popolazione, utile a comprendere se la popolazione è stabile, in crescita o in declino.

Per scegliere il modello che meglio si adatta alla popolazione in esame, si sono confrontati i valori di AIC (Akaike Information Criterion). Modelli migliori aumentano la probabilità logaritmica (un incremento di circa 2 suggerisce un aumento statisticamente significativo per un parametro aggiuntivo) e diminuiscono l'AIC. Il

modello considerato in assoluto il migliore è quello che restituisce il valore di AIC inferiore (**Burnham and Anderson et al. 2002**). Tramite questi modelli si è ottenuta una stima della popolazione di individui marcati (N).

Per ottenere la stima di popolazione totale si è applicata la seguente formula (Equazione 1) al modello considerato “migliore”:

$$\text{Equazione 1 } N_{tot} = \frac{N}{\theta}$$

Sono stati utilizzati 3 gradi di marcatura per questo procedimento: il primo indica gli individui aventi almeno un *mark* (θ_1), il secondo gli individui che hanno come minimo 2 *marks* (θ_2) e il terzo con minimo 3 *marks* (θ_3). Per la formula, bisogna fare ricorso alle medie totali e annuali di θ . θ rappresenta la stima della proporzione di individui, nella popolazione, che presentano *mark* duraturi.

θ è stato calcolato per ogni avvistamento (Equazione 2) tramite la formula:

$$\text{Equazione 2 } \theta = \frac{n^{\circ} \text{ marcati}}{n^{\circ} \text{ pod}}$$

In cui:

$n^{\circ} \text{ marcati}$ è dato dal numero di individui che presentano almeno un *mark* nella zona della pinna dorsale, (per il calcolo di θ_1 , almeno due e tre *marks* per il calcolo di θ_2 e θ_3) sulla base quindi del numero di foto inserite nel database.

$n^{\circ} \text{ pod}$ corrisponde, invece al numero di esemplari presenti nel gruppo durante l'avvistamento, comprende quindi gli individui con *mark* e gli individui senza alcun *mark*.

Tramite Excel è stata quindi stimata la popolazione totale, dividendo l'abbondanza stimata di individui marcati presenti nella popolazione per il valore medio di θ (Equazione 1). La varianza è invece stata calcolata secondo la seguente formula (**Wilson et al., 1999**):

$$\text{Equazione 3 } var(N_{tot}) = (N_{tot})^2 \left(\frac{var(N)}{N^2} + \frac{1-\bar{\theta}}{n\bar{\theta}} \right)$$

In cui n è la dimensione del campione, ossia il numero di individui, da cui è stato stimato θ .

E la deviazione standard calcolata come:

$$\text{Equazione 4 } \sigma = \sqrt{var(N_{tot})}$$

4. Risultati

4.1 Risultati del campionamento

Tutti i dati sono stati ricavati dall'associazione MeRiS. dall'inizio del progetto nel 2016 fino all'agosto del 2022, durante 7 anni di lavoro, i campionamenti si sono svolti principalmente durante il periodo estivo. Nella mappa che segue vengono illustrati i tracciati percorsi (linee nere, Figura 6), e gli avvistamenti effettuati (punti rossi, Fig. 8).

In totale nel periodo di studio sono state svolte 209 giornate di monitoraggio e 159 avvistamenti di tursiopo, così suddivisi:

- 2016 - 24 survey, 7 avvistamenti, di cui 7 eventi di foto-identificazione;
- 2017 - 25 survey, 26 avvistamenti, di cui 25 eventi di foto-identificazione;
- 2018 - 34 survey, 27 avvistamenti, di cui 24 eventi di foto-identificazione;
- 2019 - 38 survey, 33 avvistamenti, di cui 33 eventi di foto-identificazione;
- 2020 - 37 survey, 22 avvistamenti, di cui 22 eventi di foto-identificazione;
- 2021 - 40 survey, 38 avvistamenti, di cui 38 eventi di foto-identificazione;
- 2022 - 11 survey, 8 avvistamenti, di cui 8 eventi di foto-identificazione.

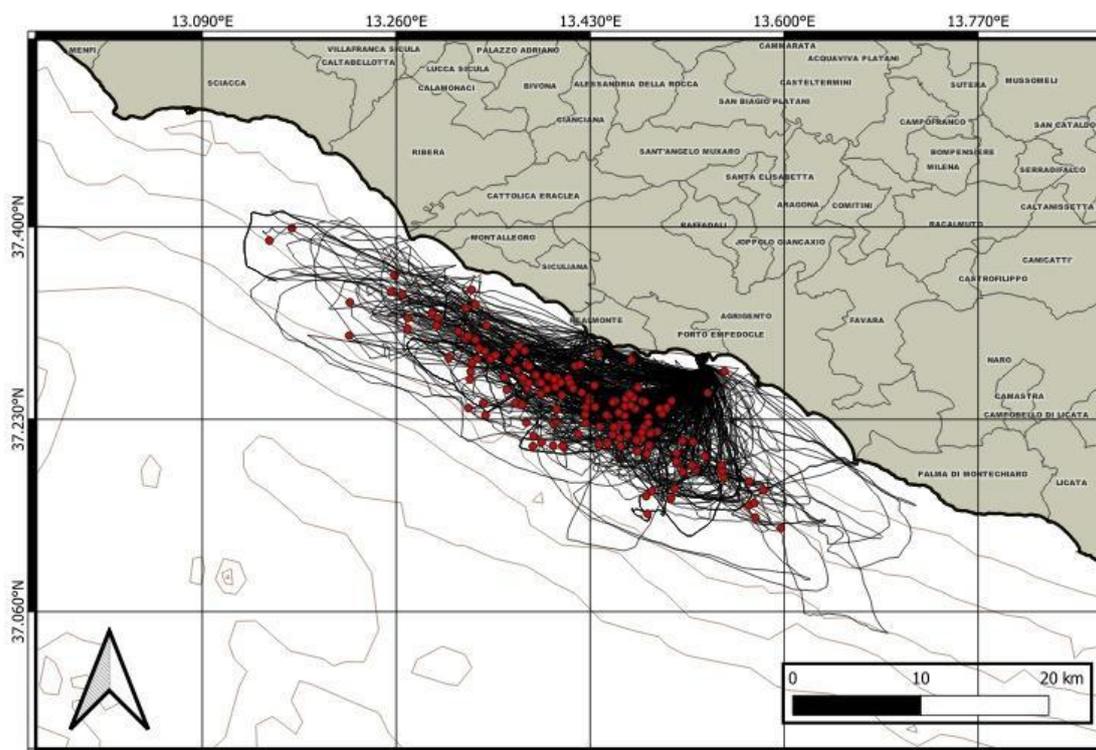


Figura 8. L'area di studio con tutte le rotte (le linee nere) e gli avvistamenti (i punti rossi) fatti tra il 2016-2022.

4.2 Risultati relativi alla foto-identificazione

Durante i sette anni di campionamento (2015-2022) sono state scattate numerose fotografie. Gli individui con almeno un mark sulla pinna dorsale sono stati inseriti nel database fotografico.

Questo contiene un totale di 1207 foto di pinne dorsali (592 lati destri e 615 lati sinistri): 118 individui identificati e 83 ricatture per il lato destro, 121 individui identificati e 85 ricatture per il lato sinistro, 83 individui sono stati identificati sia dal lato destro che sinistro.

Le curve di scoperta del numero di individui identificati rispetto al numero cumulativo di identificazioni per i lati destri e sinistri, mostrano una crescita nel tempo, suggerendo che nuovi individui sono stati catturati e/o che animali non riconoscibili hanno acquisito nuovi segni durante il periodo di studio (figura 9). Dopo circa 1200 identificazioni la crescita della curva diminuisce suggerendo che si sta raggiungendo un plateau, che indica una buona cattura di tutti gli individui di questa sottopopolazione. Le curve, tuttavia, ricominciano a crescere dopo 220 identificazioni, indicando il reclutamento di nuovi esemplari nella sottopopolazione di individui riconoscibili, questi potrebbero essere i cuccioli e i giovani precedentemente non riconoscibili.

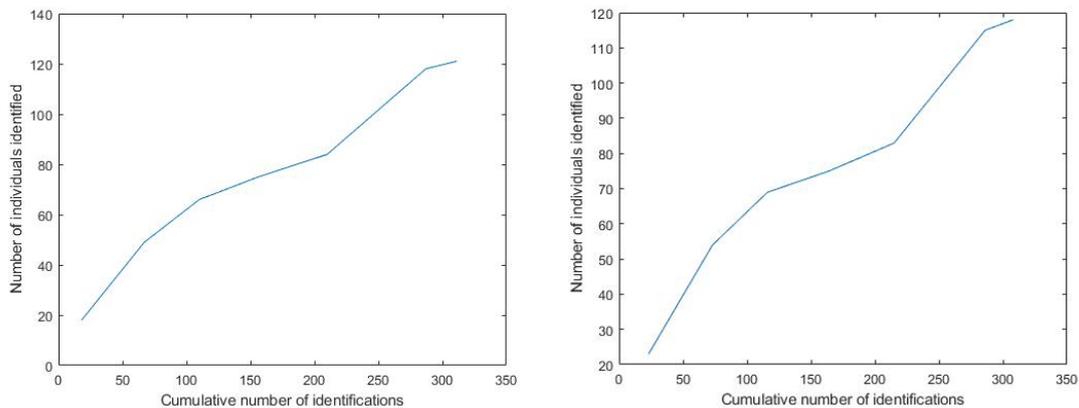


Figura 9. Linea di scoperta degli esemplari, con il lato sinistro (prima immagine) e lato destro (seconda immagine)

Tale incremento di nuovi tursiopi identificati si può osservare anche nel grafico che segue (figura 10), in cui viene illustrato il numero di nuovi identificati per anno di monitoraggio, da questo si evince come il reclutamento di nuovi esemplari sia avvenuto dopo l'estate 2020.

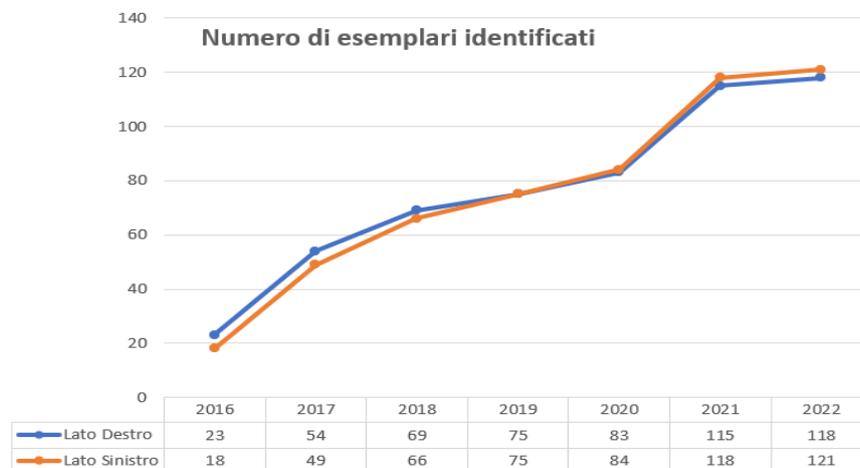


Figura 10. Numero totale degli esemplari indentificati dal 2016 fino al 2022

4.3 Stima di abbondanza

I risultati ottenuti tramite Socprog sono illustrati nelle tabelle seguenti, rispettivamente per i lati sinistri (Tabella 1) e destri (Tabella 2). Per entrambi i dataset il modello risultato migliore è

“Mortality + trend” il quale mostra i più bassi valori di AIC, 488.3 e 518.5 rispettivamente per il dataset dei lati sinistri e destri, e valori di errore standard inferiori rispetto al modello di popolazione chiusa Petersen, il quale non restituisce il valore di AIC. La stima della popolazione degli esemplari identificabili (o marcati), è risultata pari a 82 ± 4.5 esemplari per il dataset dei lati sinistri (95% C.I. 73.8 - 91.6) ed 89 ± 4.8 esemplari per il dataset dei lati destri (95% C.I. 80.3 - 98.4). Tale modello restituisce inoltre il tasso di mortalità (e/o emigrazioni permanenti) che è risultato essere di 0.06 ± 0.02 per il dataset lati sinistri, e di 0.04 ± 0.02 per il dataset lati destri.

Per entrambi i dataset il trend di popolazione è risultato in crescita (Figura 11).

Lati Sinistri										
Petersen										
Sample	N	SE	95% c.i.							
2016-2017	49	0	49.0 - 49.0							
2017-2018	80.5	6.5	69.9 - 91.1							
2018-2018	67.9	4.2	61.1 - 74.8							
2019-2020	70.8	3.3	65.3 - 76.3							
2020-2021	137.4	12.5	116.8 - 157.9							
2021-2022	120.9	15.7	95.0 - 146.8							
Schnabel										
Sample	N	SE	95% c.i.	AIC	Log-likelihood					
2016-2022	109.3718	2.6	104.1 - 114.6	544.3075	-271.1538					
Jolly_Seber										
Sample	N	Surv. Rate	Birth Nos							
2017	49	0.91	29.2							
2018	73.8	0.872	2.5							
2019	66.8	1.097	9.3							
2020	82.6	0.948	53.8							
2021	132.2	NaN	0							
Mortality										

Sample	N	SE	95% c.i.	AIC	Log-likelihood	Estimated mortality rate	s.e.	95%c.i.			
2016-2022	91.26 32	5.4	82.5 - 103.8	524.36 96	-260.1848	0.0869	0.02 5	0.042 5 - 0.137 9			
Mortality + Trend											
Sample	N	SE	95% c.i.	AIC	Log-likelihood	Estimated mortality rate	s.e.	95%c.i.	Estimated trend	s.e.	95%c.i.
2016-2022	81.8	4.5	73.8 - 91.6	488.33 13	-241.1656	0.0574	0.02 43	0.016 3 - 0.110 3	0.2051	0.042 7	0.1182 - 0.2834

Tabella 1 Risultati del lato sinistro della pinna dorsale, ottenuti da Socprog per ciascun modello usato

Lati Destri										
Petersen										
Sample	N	SE	95% c.i.							
2016-2017	60.2	4.2	53.3-67.1							
2017-2018	79.1	6.0	69.3-89.0							
2018-2018	70.9	4.5	63.5-78.3							
2019-2020	73.9	4.1	67.2-80.7							
2020-2021	132.7	13.1	111.1-154.3							
2021-2022	117.3	17.1	89.2-145.4							
Schnabel										
Sample	N	SE	95% c.i.	AIC	Log-likelihood					
2016-2022	105.4574	2.7	100.3-111.6	550.4331	-274.2166					
Jolly_Seber										
Sample	N	Surv. Rate	Birth Nos							
2017	61.4	0.999	22							
2018	83.3	0.877	-3.7							
2019	69.4	0.990	9.6							
2020	78.3	0.969	54.7							
2021	130.7	Nah	0							
Mortality										

Sample	N	SE	95% c.i.	AIC	Log-likelihood	Estimated mortality rate	s.e.	95%c.i.			
2016-2022	89.5514	4.2	81-101.1	538.8439	-267.422	0.075641	0.0209	0.0387-0.1170			
Mortality + Trend											
Sample	N	SE	95% c.i.	AIC	Log-likelihood	Estimated mortality rate	s.e.	95%c.i.	Estimated trend	s.e.	95%c.i.
2016-2022	88.9	4.8	80.3 - 98.4	518.5533	-256.2767	0.037696	0.0233	0.0000 - 0.0833	0.15726	0.0365	0.0906 - 0.2255

Tabella 2. Risultati del lato destro della pinna dorsale, ottenuti da Socprog per ciascun modello usato

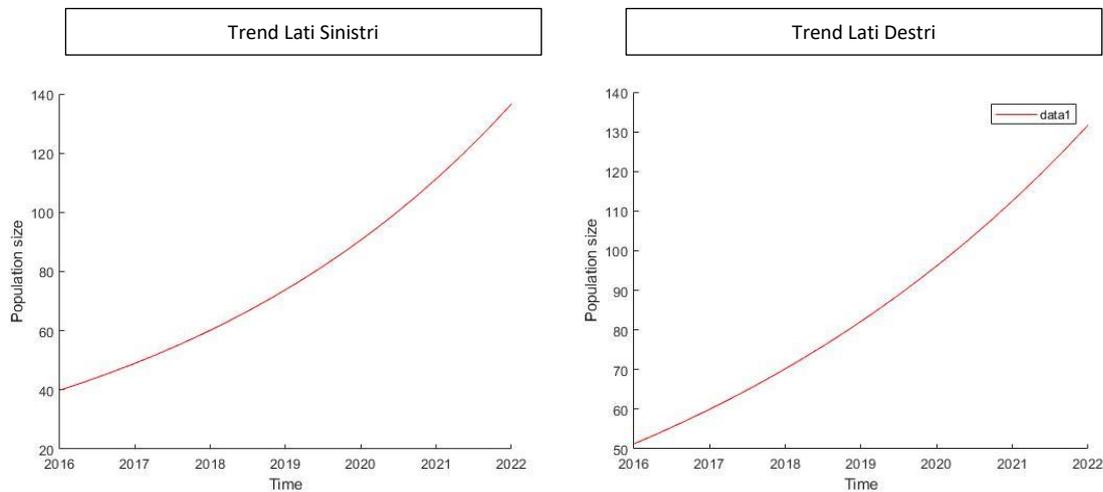


Figura 11. Trend della popolazione di tursiope nel tempo di entrambi i lati

Queste stime si basano solo sulla popolazione di individui marcati. Per aggiungere gli animali non marcati e ottenere la dimensione totale della popolazione, il valore di N (stima degli individui marcati) ottenuto tramite il modello *Mortality + Trend*, è stato diviso per la proporzione stimata di individui marcati rispetto agli animali totali (θ medio, Tabella 3), seguendo **Wilson et al. 1999**.

ANNO	θ_1	θ_2	θ_3
2016	0.8333	0.7857	0.75
2017	0.8443	0.7968	0.6247
2018	0.8699	0.8606	0.7158
2019	0.8813	0.8663	0.817
2020	0.9201	0.9201	0.9129
2021	0.9616	0.8734	0.8414
2022	0.9815	0.919	0.9005
TOT	0.9034	0.8643	0.7937

Tabella 3. Medie delle stime della proporzione di individui marcati (θ) sia nel corso degli anni e totale

Sono state quindi ottenute tre stime per ciascun dataset, basandosi sul diverso grado di marcatura degli esemplari (θ_1 ; θ_2 ; θ_3). Inoltre, la deviazione standard (σ) per la popolazione totale è stata ottenuta utilizzando il metodo suggerito da **Wilson et al. 1999**.

Le stime della popolazione totale ed i relativi valori di varianza e deviazione standard sono riportate in tabella 4.

	N	Ntot1	var	σ	Ntot2	var	σ	Ntot3	var	σ
Lati sinistri	81.82	90.57	32.06	5.66	94.67	38.74	6.22	103.09	54.97	7.41
Lati destri	88.89	98.39	37.00	6.08	102.84	44.92	6.70	111.99	64.20	8.01

Tabella 4 Stime finali, per ciascun lato, del modello "Mortality+Trend"; dove sono presenti quelle della popolazione totale insieme a i relativi valori di varianza e deviazione standard

5. Discussione

Le tecniche utilizzate in questo studio, dal campionamento fino all'elaborazione dei dati cumulati, hanno permesso di valutare varie ipotesi relative all'abbondanza del tursiope nelle aree marittime di Agrigento. Basandosi su modelli che proponevano una stima in base all'andamento della popolazione sono stati presi in considerazione casi in cui si supponeva che la popolazione studiata fosse chiusa (come stimato nei modelli Closed Pertesen e Closed Schnabel) o aperta (come nei modelli Jolly-Seber, Mortality e Mortality+Trend).

Ciascuno modello ha offerto una propria stima di quanti individui sono presenti.

Nel caso la popolazione fosse stata di **tipo chiuso** (con assenza di immigrazioni/emigrazioni e con gli individui che ne "escono" solo tramite la morte):

- il modello Closed Pertesen ipotizza che la popolazione di tursiopi abbia raggiunto il picco massimo nel periodo 2020-2021 e che nell'anno successivo il numero si sia ridotto, con un massimo di 139 e un minimo di 121 esemplari;
- il modello Closed Schnabel (che a differenza del primo risulta più accurato perché utilizza tutti i dati nei suoi calcoli) stima un massimo di 138 e un minimo di 117 esemplari.

Se la popolazione fosse stata di **tipo aperto** (dove si rinnova sia con la nascita/morte degli individui e sia con l'effetto delle immigrazioni/emigrazioni):

- il modello Jolly-Seber (che stima il tasso di perdita e reclutamento) suppone che nell'ultimo anno di studio ci sia il picco del numero di esemplari; infatti, riporta un minimo di 136 e massimo 157 individui;
- il modello "Mortality" (che ipotizza una popolazione di dimensioni costanti e un ritmo bilanciato di nascite/morti) riporta un minimo di 99 e un massimo di 115 individui;
- il modello "Mortality +Trend" (dove con i dati delle nascite e morti la popolazione cresce e diminuisce ad un ritmo costante) stima un valore di minimo 90 e un massimo di 112 individui.

Oltre a questi valori ottenuti, la priorità è stata verificare quale sia il modello più adatto e preciso per lo studio: di quelli che hanno potuto offrire il proprio il valore AIC (Akaike information criterion), "Mortality +Trend" è il modello con il valore più basso e quindi risulta essere più preciso e con un minimo margine di d'errore rispetto a tutti gli altri. Pertanto la stima ritenuta più realistica per quest'area di studio, conta secondo il database dei lati sinistri 74-92 esemplari identificabili, o marcati, e 80-98 esemplari secondo il database dei lati destri. Tali stime si traducono in una **abbondanza totale di 103±7 esemplari (database lati sinistri) e 112±8 esemplari (database lati destri)**. Queste stime appaiono abbastanza realistiche in considerazione dei bassissimi valori di deviazione standard ottenuti (7-8), inoltre la popolazione risultata aperta concorda con studi pregressi dell'associazione MeRIS che hanno individuato una porzione di tursiopi residente nell'area (60% della popolazione campione) e una parte transiente (29% frequente e 11% sporadica) (**Vanacore et al. 2021**).

Anche se in questo studio "Mortality +Trend" è risultato quello più preciso per stimare l'abbondanza della popolazione di tursiope, è stato effettuato un confronto con altre ricerche presenti in letteratura per valutare in quali popolazioni sono stati utilizzati gli stessi modelli e/o le stesse tecniche. Tale confronto consente di comprendere in quali circostanze siano stati utilizzati i vari modelli, e verificare le ricerche che hanno

ottenuto un risultato simile (dove il modello Mortality+Trend è quello più adatto) o diverso (dove altri modelli sono più adatti rispetto a Mortality+Trend).

Non tutte le ricerche hanno adottato l'insieme dei modelli usati in questo studio, ma ne sono stati utilizzati solo alcuni di essi in base alle loro esigenze e quelle del campo di lavoro. In alcuni sono stati usati insieme o singolarmente i modelli Petersen e Jolly-Seber; nonostante il primo si concentri sull'ipotesi dove la popolazione è chiusa e il secondo sostiene sia aperta, entrambi condividono vari concetti come, ad esempio, "tutti gli individui hanno le stesse probabilità di cattura e che essi non tendono a perdere i *mark*".

L'uso singolo di questi due metodi necessitava di essere dimostrato:

- Lo studio riportato nell'articolo di **Catalina Gómez-Salazar et al. 2012** mirava a calcolare l'abbondanza della popolazione delle specie *Inia geoffrensis*, stimandone lo stato di conservazione nei bacini colombiani del Rio delle Amazzoni e dell'Oricono con i dati raccolti tra il 2007 e il 2009. In questa ricerca si dimostra come il modello Petersen può essere adatto solo se si ipotizza che la popolazione fosse chiusa, perché le stime della dimensione (come visto nello studio) potrebbero essere distorte per il continuo reclutamento e la mancanza di chiusura.

- Un altro studio condotto da **Eduardo Morteo et al. 2017** ha concentrato l'attenzione sull'abbondanza del tursiopo nella laguna di Alvarado presso il Golfo del Messico. Con i campionamenti raccolti nel periodo tra il maggio del 2006 e quello del 2008, si voleva stimare la popolazione usufruendo della foto-identificazione e stimarla col modello Jolly-Seber, notando la scarsità di chiusura di essa. I risultati hanno portato a determinare che le stime di abbondanza risultano inferiori rispetto al conteggio degli individui marcati e non, suggerendo che, con la correzione dell'indice di distintività, gli individui tendevano a emigrare/immigrare e la grandezza della popolazione si poteva considerare stabile.

Ci sono situazioni differenti in cui si consiglia l'utilizzo di entrambi i modelli, tenendo conto dei due concetti che hanno in comune. Il risultato ha portato alla conclusione di come le stime di tutti e due i metodi usati siano particolarmente simili tra di loro, più o meno un risultato simile a quello ottenuto nel nostro studio. La prova di tale esito è presente in due indagini condotte rispettivamente da **D. Krib et al. 2004** e da **Fernando Felix et al. 2006**, incentrati sul monitoraggio dei cetacei.

- la prima indagine, mira a contribuire ad un progetto di conservazione dell'orcella asiatica (*Orcella brevirostris*), tramite foto-identificazione, nella zona del fiume Mahakam nel Kalimantan orientale, in Indonesia. Lo scopo era di monitorare l'abbondanza e la presenza relative alla stima della dimensione totale della popolazione basate sull'identificazione e campionamenti effettuati tra il 1999 e il 2002.

- la seconda incentra l'attenzione sul percorso migratorio delle megattere (*Megaptera novaeangliae*) lungo la costa nord-occidentale del Sud-America fino in Costa Rica, cercando di offrire una stima della popolazione migrante con i metodi di *mark-recapture* chiusi e aperti tra il 1991 e il 2004.

Nei due studi, per riuscire a valutare l'abbondanza delle due popolazioni prese in considerazione, sono stati usati sia il modello Petersen che Jolly-Seber. Entrambe le ricerche hanno mostrato come i valori ottenuti siano in particolar modo vagamente simili tra di loro con una leggera differenza. Un andamento che abbiamo

osservato nei risultati ottenuti dal nostro studio: la variabile dipende da come una popolazione tende a comportarsi (da chiusa o aperta).

Oltre al frutto di questi risultati, ottenuto con i due recenti modelli citati, occorre investigare quando è presente nei modelli l'indicatore AIC, capace di stimarne la precisione e la predizione di errore. Gli altri tre metodi ("Closed Schnabel", "Mortality" e "Mortality+Trend"), che hanno fatto parte in questa nostra ricerca, hanno dimostrato le loro stime della dimensione totale della popolazione più quella della loro precisione; il "Mortality+Trend" possiede l'AIC più basso, e questo suggerirebbe essere il metodo più adatto tra i tre, ma non significa che lo sia in altri progetti perché possono esserci delle risvolte, perché, comparando altri articoli dove furono condotte le medesime tecniche, gli esiti possono essere differenti: un esempio cruciale è come il metodo "Mortality" può essere il più adatto e preciso.

Tale esito lo si può trovare nei seguenti lavori catalogati:

- il primo di **Daniele De Biasi Cagnazzi et al. 2011**, ha esaminato tra il 2004 e il 2007 la popolazione della Susa Indopacifica (*Sousa chinensis*) di cui sono stati identificate geograficamente due comunità della specie (una settentrionale e una meridionale) nella zona del Great Sandy Strait, in Australia e l'analisi dei modelli di residenza ha indicato che la maggior parte dei delfini identificati sono residenti a lungo termine.

-il secondo di **Mariana Degradi et al. 2020** valutava le strategie di conservazione del Langenorinco Oscuro (*Sagmatias obscurus*) per riuscire a determinare la dimensione effettiva della popolazione e il numero di delfini riscontrati tra 2004 e il 2013 nei golfi della penisola di Valdes (il golfo Nuevo e il golfo San José) in Argentina, luoghi sempre esposti ad attività antropiche come il traffico di navi da turismo.

-il terzo di **R. Benmessaoud et al. 2013**, attraverso le tecniche di foto-identificazione di *mark-capture* e con 718 ore spese in mare tra il 2008 e il 2010, puntava a stimare la distribuzione e le dinamiche di gruppo dei tursiopi, in modo da discriminare le diverse comunità presenti, presso l'ambiente costiero, nella parte nord-est, in Tunisia.

Il modello "Mortality" è risultato, in ciascun degli ultimi tre articoli citati, quello più opportuno per il monitoraggio della grandezza delle popolazioni in studio. Il lavoro e i calcoli eseguiti durante il monitoraggio ad Agrigento, però, hanno dimostrato la maggiore efficienza del modello "Mortality+trend". Questa particolare efficienza ottenuta tra metodi usati e le ricerche viste, dovrebbe così incitare l'impiego delle suddette tecniche in qualsivoglia indagine, perché l'ottenimento delle giuste stime d'abbondanza può costantemente variare e bisogna sfruttare tutti i metodi a disposizione.

Oltre i modelli utilizzati per riuscire a stimare la dimensione della popolazione, un fattore determinante è la foto-identificazione: la tecnica è utilizzata nella maggior parte degli studi citati, dando anche la prova della efficienza dimostrata nel catturare e ad aiutare a marcare gli esemplari fotografati. Secondo lo studio condotto da **Kim Urian et al. 2014**, la foto-identificazione è estremamente raccomandata per il campionamento durante gli avvistamenti dei cetacei, essendo l'arte fotografica essenziale per il riconoscimento durante la cattura-ricattura degli individui grazie anche agli ultimi sviluppi tecnologici fatti negli ultimi anni, i quali hanno permesso la possibilità di ottenere molte più immagini ad alta risoluzione (molto più facili da manipolare e valide per riconoscere ciascun esemplare).

Inoltre, si può notare come nei dati ottenuti dalla foto-identificazione dell'ultimo periodo, a partire da fine estate dell'anno 2020, ci sia stato un alto tasso di reclutamento di nuovi esemplari: da tale evento si può ipotizzare l'incremento della popolazione deve essere dovuto a lockdown avvenuto durante il Covid-19. La successiva conseguenza fu un decremento del traffico marittimo e dei rumori nocivi causati da attività antropiche che, come sostiene la ricerca di **Gnagne et al. 2022**, causavano gravi ripercussioni alla comunicazione acustica dei mammiferi acquatici. In seguito a questi cambiamenti dell'attività navale, si è ipotizzato un aumento della dimensione delle popolazioni di tursiopi, a causa della riduzione dello stress acustico, in vari siti di studio: come è sostenuto dal lavoro di **L Kelliher, J Murray, L Keefe et al. 2021**, presso Dolphin Bay in Panama, nella ricerca di **Longden et al. 2022**, effettuata in Sarasota Bay in Florida o da **PS Dunphy, JE Bouchard, LC Hynes et al. 2021** presso Almirante Bay in Panama.

6. Conclusioni

Alla luce dei fatti e delle dimostrazioni fatte, la nostra ricerca ha cercato di dar prova all'efficienza delle misure e pratiche eseguite per stimare la dimensione delle popolazioni di tursiope in una determinata area del Mediterraneo, mostrando anche risultati considerevoli che ne descrivono il suo andamento nel tempo.

L'accuratezza dei modelli di stima usati, come abbiamo visto confrontando altri articoli di avvistamenti dei cetacei, può ovviamente variare: lo abbiamo potuto osservare e ammirare la mutevolezza dei risultati e della precisione di ciascun modello impiegato nel proprio campo specifico.

Malgrado la divergenza mostrandosi, ogni ricerca ha voluto dimostrare la capacità delle tecniche di stime messe in atto e con ciò, si dovrebbe raccomandare l'utilizzo di ogni metodo a disposizione per riuscire ad ottenere uno studio sempre più ampio e approfondito delle popolazioni marittime. Inoltre, l'impegno nell'utilizzo della tecnica di campionamento della foto-identificazione è stato davvero fondamentale per il compimento sia per la nostra ricerca e per la maggior parte degli studi citati; perciò, questo metodo è senza ombra di dubbio uno dei mezzi più convenienti per la raccolta dei campionamenti delle popolazioni marittime.

Alla conclusione di ciò, l'intera tesi vuole dare una prova dei metodi sfruttati in questo campo di ricerca e tentare di dar ispirazione e incitamento per ampliare sempre di più lo studio dell'ambiente marino e delle sue popolazioni.

Inoltre i risultati ottenuti sottolineano l'importanza delle acque indagate per la presenza del tursiope. Infatti l'incontro con questa specie è avvenuto nel 76% dei campionamenti (159 avvistamenti, durante 209 giornate di monitoraggio), ed è stato dimostrato che quest'area di soli 529 km quadrati ospita una popolazione aperta composta tra un numero minimo di 103 e massimo di 120 tursiopi, qui si nutrono, si riproducono ed accrescono i propri cuccioli. Il trend di popolazione in costante crescita, sottolinea ulteriormente l'importanza di queste acque e l'urgenza di attuare misure di conservazione a beneficio della specie e del loro habitat.

Bibliografia

- Alessi, Jessica, Bruccoleri, Fabrizio, Cafaro, Valentina, 2019. How citizens can encourage scientific research: the case study of bottlenose dolphins monitoring. *Ocean Coast Manag.* 167, 9–19.
- Bacchetta M. & Amante D. (2007). *Delfini e Balene in Italia*. Centro Ricerca Cetacei, Milano.
- Bearzi G., Bonizzoni S. 2018. Interazioni fra delfini e pesca in Adriatico settentrionale. *Resoconto tecnico. Consulenza e supporto tecnico-logistico per Università degli Studi di Padova*. 26 pp.
- Bearzi, G., Notarbartolo di Sciarra, G. and Politi, E. (1997). Social ecology of bottlenose dolphins in the Kvarneric (northern Adriatic Sea). *Mar. Mamm. Sci.* 13, 650–668
- Benmessaoud, R., M. Chérif, and N. Bejaoui. "Baseline data on abundance, site fidelity and association patterns of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off the northeastern Tunisian coast (Mediterranean Sea)." *Journal of Cetacean Research and Management* 13.3 (2013): 211-219.
- Burnham, K. P., and D. R. Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Springer-Verlag, New York.
- Cagnazzi, Daniele De Biasi, et al. "Abundance and site fidelity of Indo-Pacific humpback dolphins in the Great Sandy Strait, Queensland, Australia." *Marine Mammal Science* 27.2 (2011): 255-281.
- Consoli, P.; Altobelli, C.; Perzia, P.; Bo, M.; Rosso, A.; Alongi, G.; Serio, D.; Canese, S.; Romeo, T.; Andaloro, F. Species and habitats of conservation interest in the Ecologically and Biologically Significant Area of the Strait of Sicily: A contribution towards the creation of a Specially Protected Areas of Mediterranean Importance. *Mediterr. Mar. Sci.* (2021), 22, 297–316.
- Consoli P., Esposito V., Battaglia P., Altobelli C., Perzia P., Romeo T., Canese S., Andaloro F., 2016. Fish distribution and habitat complexity on banks of the Strait of Sicily (Central Mediterranean Sea) from Remotely Operated Vehicle (ROV) explorations. *PLoS One* 11: e0167809 doi:10.1371/journal.pone.0167809
- Cockcroft, V.G. & G.J.B. Ross 1990. Age, growth, and reproduction of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the east coast of southern Africa. *Fish. Bull.* 88(2): 289-302.
- Degrati, Mariana, et al. "Integrating Multiple Techniques to Estimate Population Size of an Impacted Dusky Dolphin's Population in Patagonia, Argentina." *Frontiers in Marine Science* 7 (2020): 289.
- Dunphy, Peyton Shea, Juliana Esther Bouchard, and Lizzie Casey Hynes. "The Impact of Covid-19 Lockdowns on Bottlenose Dolphin and Toadfish Occurrence in Almirante Bay, Panama." (2021).
- Evans, P. G. H. & Hammond, P. S. (2004). Monitoring cetaceans in European waters. *Mammal Review* 34, 131–156.
- Félix, F. E. R. N. A. N. D. O., et al. "Estimates of the Southeastern Pacific humpback whale stock with mark-recapture models in Ecuador." *Journal of Cetacean Research and Management (Special Issue)* (2006).
- Gagne, Emma, et al. "Dolphin communication during widespread systematic noise reduction-a natural experiment amid COVID-19 lockdowns." *Front. Remote Sens* 3 (2022): 1-14.

- Gómez-Salazar, Catalina, Hal Whitehead, and Fernando Trujillo. "Population size estimates of pink river dolphins (*Inia geoffrensis*) using mark-recapture methods on photo-identification." *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 9.2 (2011): 132-139.
- Gonzalvo, J., J. Forcada, E. Grau, and A. Aguilar. 2014. Strong site-fidelity increases vulnerability of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in a mass tourism destination in the western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 94:1227–1235.
- Hammond, P.S., Francis, T.B., Heinemann, D., Long, K.J., Moore, J., Punt, A.E., Zerbini, A.N., 2021. Estimating the abundance of marine mammal populations. *Front. Mar. Sci.* 8, 735770
- Katona, S., & Whitehead, H. (1988). Are Cetacea ecologically important? *Oceanography and Marine Biology*, 26, 553–568.
- Kelliher, Liam, Julia Murray, and Liam Keefe. "Dolphin Presence Increased During COVID19 Lockdown in Dolphin Bay, Panama." (2021).
- Kreb, D. "Abundance of freshwater Irrawaddy dolphins in the Mahakam River in East Kalimantan, Indonesia, based on mark-recapture analysis of photo-identified individuals." *J Cetacean Res Manag* 6 (2004): 269-277.
- Longden, Emma G., et al. "Comparison of the marine soundscape before and during the COVID-19 pandemic in dolphin habitat in Sarasota Bay, FL." *The Journal of the Acoustical Society of America* 152.6 (2022): 3170-3185.
- Lotze, H.K. & Worm, B. Historical baselines for large marine animals. *Trends Ecol.Evol.* 24, 254-262 (2009)
- Laporta, P., Fruet, P. F., & Secchi, E. R. (2016). First estimate of common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) (Cetacea, Delphinidae) abundance off Uruguayan Atlantic coast. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 11(1–2), 144–154
- Maglietta, R., Carlucci, R., Fanizza, C., Dimauro, G., (2022). Machine learning and image processing methods for cetacean photo identification: a systematic review. *IEEE Access* 10, 80195–80207
- Mann, J., Smuts, B.B., 1998. Natal attraction: allomaternal care and mother–infant separations in wild bottlenose dolphins. *Anim. Behav.* 55, 1097–1113.
- Morteo, Eduardo, Axayácatl Rocha-Olivares, and Luis G. Abarca-Arenas. "Abundance, Residency, and Potential Hazards for Coastal Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) Off a Productive Lagoon in the Gulf of Mexico." *Aquatic Mammals* 43.3 (2017)
- Notarbartolo, G., & Demma, M. (1994). *Guida dei mammiferi marini del Mediterraneo*. Padova, Italy: Franco Muzzio Editore.
- Notarbartolo di Sciara, G. & Demma, M. (2004) *Guida dei mammiferi marini del Mediterraneo*. Franco Muzzio Editore, Padova. 264 pp.
- Ranù M, Vanacore A, Mandich A, Alessi J. Bottlenose Dolphins and Seabirds Distribution Analysis for the Identification of a Marine Biodiversity Hotspot in Agrigento Waters. *Journal of Marine Science and Engineering*. (2022)

-Urian, Kim, et al. "Recommendations for photo-identification methods used in capture-recapture models with cetaceans." *Marine Mammal Science* 31.1 (2015): 298-321.

-Vanacore Alessandra, Investigating the social structure of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Strait of Sicily, Università DEGLI STUDI GENOVA, a.a. 2020-2021.

-Wells RS, Rhinehart HL, Hansen LJ, Sweeney JC, Townsend FI, et al. 2004. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: developing a health monitoring system. *EcoHealth* 1:246–54

-Wells, R.S., Scott, M.D., 2009. Common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). In: Perrin, W.F., Würsig, B., Thewissen, J.G.M. (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals*. 2nd ed. Elsevier, Inc, San Diego, pp. 249–255

-Wilson B. , Arnold H., Bearzi G., Fortuna C. M., Gaspar R., Ingram S., Liret C., Pribanic S., Read A. J., Ridoux V., Schneider K., Urian K. W. , Wells R. S., Wood C., Thompson P. M. and Hammond P. S. (1999) Epidermal diseases in bottlenose dolphins: impacts of natural and anthropogenic factors *Proc. R. Soc. Lond. B*.2661077–1083

Sitografia

<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/biodiversita-1/osservatorio-regionale-della-biodiversita-dellambiente-marino-e-terrestre-1/la-biodiversita-dei-banchi-dello-stretto-di-sicilia>

<https://www.wwf.it/dove-interveniamo/il-nostro-lavoro-in-italia/mar-mediterraneo/>