



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
SCUOLA DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

Corso di laurea in
BIOLOGIA ED ECOLOGIA MARINA

**Uso dell'area, distribuzione e dinamiche di popolazione
del tursiope, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) a Filicudi
(Isole Eolie) nel periodo 2005–2025.**

Relatore interno: Dott. Fulvio Garibaldi

Relatrice esterna: Dott.ssa Monica Francesca Blasi

Candidata: **Alessia Fungi**

ANNO ACCADEMICO 2025-2026

ABSTRACT

The general objective of the present study, conducted between 2005 and 2025, is to analyze the use of the marine area surrounding Filicudi Island by the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), evaluating its temporal presence, group structure, individual dynamics, and interactions with anthropogenic activities, in order to contribute to the understanding of the ecological role of the area and its implications for the conservation of the species.

This work aimed to quantify the sampling effort by analyzing its interannual variability to properly contextualize the collected sighting data; despite showing marked interannual variability with peaks between 2010 and 2011, the sampling effort achieved greater homogeneity starting from 2012, reducing the coefficient of variation from 52% to 15% and ensuring a solid database for subsequent analyses. In parallel, the temporal trend of the encounter rate was evaluated by standardizing the number of sightings relative to the sampling effort and verifying the presence of significant differences between distinct time periods. Group size analysis revealed a median group size of 3 individuals, with a composition ranging from encounters with single specimens up to a maximum of 14 units, highlighting a flexible associative dynamic consistent with the coastal habits of the species in the archipelago.

A further objective was the application of photo-identification techniques to describe the individual composition of the groups, the frequency of re-sightings, and the presence of individuals with varying degrees of site fidelity. The study allowed for the expansion of the existing catalog, starting from a historical base of 42 individuals reached by 2017 to a total of 64 identified dolphins in 2025. The data highlight a population composed of a stable core of site-faithful individuals, so-called "core residents," monitored for over 19 years, flanked by a larger component of occasional individuals, consistent with the fission–fusion social structure of the bottlenose dolphin. Furthermore, a progressive saturation of the catalog is observed, evidenced by the clear prevalence of re-identifications over new sightings.

Through photo-identification data, the work also aimed to describe the demographic composition of the observed individuals; the analysis of age classes for the 2018–2025 period revealed a majority of adult individuals. Regarding the analysis of productivity, expressed as the number of calves per female, it is observed that in the 2005–2017 period, more reproductive females were documented,. In the subsequent 2018–2025 period, the number of documented reproductive females was lower, and each female showed a limited number of observed calves.

Finally, the interaction between bottlenose dolphins and fishing gear was analyzed, evaluating both the frequency of association and the effect of the presence of such gear on sighting duration. The application of GLM models revealed that the presence of fishing gear increases sighting duration by 82%, indicating an opportunistic behavioral tendency which, although statistically marginal, underscores the need for constant monitoring for the long-term conservation of the species.

RIASSUNTO

L'obiettivo generale del presente studio, condotto a partire dal 2005 fino al 2025, è analizzare l'uso dell'area marina circostante l'isola di Filicudi da parte del tursiope (*Tursiops truncatus*), valutandone la presenza nel tempo, la struttura dei gruppi, le dinamiche individuali e le interazioni con le attività antropiche, al fine di contribuire alla comprensione del ruolo ecologico dell'area e delle sue implicazioni per la conservazione della specie. Il presente lavoro si è posto l'obiettivo di quantificare lo sforzo di campionamento analizzandone la variabilità interannuale al fine di contestualizzare correttamente i dati di avvistamento raccolti; pur mostrando una marcata variabilità interannuale con picchi tra il 2010 e il 2011, lo sforzo di campionamento ha raggiunto una maggiore omogeneità a partire dal 2012, riducendo il coefficiente di variazione dal 52% al 15% e garantendo una base dati solida per le analisi successive. Parallelamente, è stato valutato l'andamento temporale dell'*encounter rate* standardizzando il numero di avvistamenti rispetto allo sforzo di campionamento e verificando l'eventuale presenza di differenze significative tra periodi temporali distinti. L'analisi della *group size* ha rivelato una dimensione mediana dei gruppi pari a 3 individui, con una composizione che varia da incontri con singoli esemplari fino a un massimo di 14 unità, evidenziando una dinamica associativa flessibile e coerente con le abitudini costiere della specie nell'arcipelago. Un ulteriore obiettivo è stato l'applicazione della tecnica della fotoidentificazione per descrivere la composizione individuale dei gruppi, la frequenza di riavvistamenti e la presenza di individui con diverso grado di fedeltà all'area. Lo studio ha permesso di espandere il catalogo esistente fino a raggiungere un totale di 64 delfini identificati nel 2025. I dati evidenziano una popolazione composta da un nucleo stabile di individui fedeli all'area cosiddetti "*core resident*" monitorati per oltre 19 anni, affiancato da una componente più ampia di individui occasionali, coerentemente con la struttura sociale *fission-fusion* del tursiope; si osserva inoltre una progressiva saturazione del catalogo testimoniata dalla netta prevalenza negli ultimi anni di studio delle ri-identificazioni sui nuovi avvistamenti. Attraverso i dati foto-identificativi, il lavoro ha anche inteso descrivere la composizione demografica degli individui osservati, l'analisi delle classi di età relativa al periodo 2018-2025 ha rilevato la presenza di una maggioranza di individui adulti. Riguardo l'analisi della produttività espressa come numero di piccoli per ogni esemplare femmina, si osserva che nel periodo 2005–2017 sono state documentate più femmine riproduttive, con valori di produttività maggiori rispetto al periodo successivo 2018–2025, in cui il numero di femmine riproduttive documentate risulta inferiore, e ciascuna femmina mostra un numero limitato di piccoli osservati. È stata inoltre analizzata l'interazione tra tursiopi e attrezzi da pesca, valutando sia la frequenza di associazione sia

l'effetto della presenza di tali attrezzi sulla durata degli avvistamenti. L'applicazione di modelli GLM ha rivelato che la presenza di attrezzi da pesca aumenta la durata degli avvistamenti dell'82%, indicando una tendenza comportamentale opportunistica che, sebbene statisticamente marginale, sottolinea la necessità di un monitoraggio costante per la conservazione della specie nel lungo periodo.

INDICE

1. INTRODUZIONE

<i>Tursiops truncatus</i> (Montagu,1821).....	1
1.1 Morfologia.....	2
1.2 Distribuzione e habitat.....	3
1.2.1 Ecotipi neritico e pelagico.....	4
1.3 Alimentazione.....	5
1.4 Ecologia riproduttiva.....	8
1.4.1 Maturità sessuale e tasso di riproduzione.....	8
1.4.2 Sistema di accoppiamento.....	10
1.5 Madre piccolo.....	11
1.5.1 Gravidanza e parto.....	11
1.5.2 Allattamento e svezzamento.....	12
1.5.3 Crescita e separazione.....	13
1.6 Bioacustica del tursiope.....	17
1.6.1 Ruolo del melone nella propagazione del suono.....	17
1.7 <i>Fission-fusion society</i>	19
1.8 Minacce e rischi.....	20
1.9 Legislazione e stato di conservazione.....	22
OBIETTIVI DELLA TESI.....	25

2. MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio.....	26
2.2 Raccolta dati.....	27
2.2.1 Survey in mare.....	28
2.2.2 Condizioni on effort.....	29
2.2.3 Definizione di avvistamento e protocollo di registrazione.....	30
2.3 Sforzo di campionamento, <i>encounter rate</i> , <i>group size</i>	30
2.4 Tecnica della fotoidentificazione.....	32
2.4.1 Protocollo di acquisizione immagini.....	34
2.4.2 Catalogo fotoidentificativo.....	35
2.4.3 Analisi dati fotografici.....	36
2.5 Classi di età.....	39
2.6 Interazione con gli attrezzi da pesca.....	40
2.6.1 Struttura del dataset.....	40
2.6.2 Frequenza di associazione con attrezzi da pesca.....	40
2.6.3 Analisi durata degli avvistamenti.....	40

3. RISULTATI E DISCUSSIONI

3.1 Sforzo di campionamento.....	42
3.2 <i>Encounter rate</i>	44
3.3 <i>Group size</i>	47
3.4 Fotoidentificazione.....	49
3.4.1 <i>New sighted/Resighted</i>	49
3.4.2 Analisi residenza.....	51
3.4.3 Produttività.....	53
3.4.4 Aggiornamento catalogo fotoidentificativo.....	53
3.5 Classi di età.....	57
3.6 Interazione con gli attrezzi da pesca.....	58
3.6.1 Durata degli avvistamenti.....	59
DISCUSSIONI.....	61
4. CONCLUSIONI.....	71
5. BIBLIOGRAFIA.....	72
RINGRAZIAMENTI.....	82

1. INTRODUZIONE

Il Mar Mediterraneo rappresenta uno dei sistemi marini più particolari e vulnerabili al mondo, caratterizzato da un'elevata biodiversità, profonde connessioni tra processi fisici e biologici e minacciato da un aumento costante delle pressioni antropiche. È un L'obiettivo generale del presente studio è analizzare l'uso dell'area marina circostante l'isola di Filicudi da parte del tursiope (*Tursiops truncatus*) Oltre alla componente termica, altri stress ambientali aggravano la situazione ecologica: l'acidificazione delle acque, l'innalzamento del livello del mare, le forzanti legate all'inquinamento, all'attività antropica e la perdita di habitat costieri. In questo quadro di rapido cambiamento, il Mar Mediterraneo rappresenta un indicatore precoce della risposta degli ecosistemi marini al riscaldamento globale e anche una priorità per studi di ecologia, biologia e conservazione marina.

***Tursiops truncatus* (Montagu, 1821)**

Il tursiope, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) è un mammifero marino appartenente all'ordine dei Cetacei, sottordine degli Odontoceti e famiglia dei Delfinidae, conosciuto come delfino dal naso a bottiglia, da cui il nome inglese *bottlenose dolphin*, si presenta come una specie con una notevole variazione morfologica legata alla geografia; si ritrova in tutti i mari temperati e tropicali del mondo soprattutto in acque costiere ma anche del largo (Leatherwood et al., 1990, Wells et al.1999, Reynolds et al.2000). A livello globale risulta attualmente classificato dalla *International Union for Conservation of Nature (IUCN)* come "*Least Concern*" (LC) ovvero specie a rischio minimo di estinzione; nel mar Mediterraneo la valutazione *IUCN* attribuisce un analogo status escludendo però sottopopolazioni isolate come quella presente nel Golfo di Ambracia in Grecia considerata "*Critically Endangered*" (ISPRA).

Con il termine *odontoceti* si indicano i cetacei dotati di denti veri e propri (dal greco *odóntos*, "dente"), che rappresentano la componente predominante della cetofauna del Mar Mediterraneo. Delle otto specie di cetacei considerate residenti in questo bacino, ben sette appartengono a questo gruppo. Al contrario, una sola specie mediterranea, la balenottera comune (*Balaenoptera physalus*), rientra nella superfamiglia dei Mysticeti, caratterizzati dall'assenza di denti e dalla presenza dei fanoni: strutture cornee laminate che pendono dal palato e svolgono un ruolo fondamentale nella filtrazione del plancton e di altre piccole prede dall'acqua. Il tursiope è uno dei cetacei odontoceti più studiati a livello mondiale, complice il fatto di occupare prevalentemente un habitat costiero, con innumerevoli interazioni di vario tipo con le attività umane (Zeng et al.; 2024) (Gaspari et al.;2023).

1.1 Morfologia

Il tursiopo è riconoscibile grazie al suo aspetto generalizzato, presenta un corpo fusiforme altamente idrodinamico nonostante la corporatura robusta e muscolosa, con la porzione posteriore moderatamente falcata ed è caratterizzato da una livrea piuttosto sfumata generalmente grigio scuro sul dorso, grigio chiaro sui fianchi e sul peduncolo caudale, biancastra sul ventre. Una caratteristica importante risiede nel rostro, corto e tozzo, lungo circa 8 centimetri che risulta spiccatamente separato dal resto della zona cefalica del melone, il quale a sua volta è molto pronunciato. Può raggiungere i 3,5 metri di lunghezza ma in media le sue dimensioni si aggirano attorno ai 2,5 metri; non presenta uno spiccato dimorfismo sessuale anche se il maschio risulta poco più grande della femmina raggiungendo un peso di circa 300 chilogrammi. Sulla porzione apicale del capo è presente lo sfiatatoio, che serve per la respirazione, la cui apertura e chiusura sono regolate come in tutti i cetacei da una muscolatura involontaria; quando lo sfiatatoio è aperto, è possibile osservare il setto nasale.

La pinna dorsale di forma triangolare e arrotondata all'apice è alta in media 23 centimetri mentre le pinne pettorali, dette anche "flipper", raggiungono una lunghezza variabile tra i 30 e i 50 centimetri. La pinna caudale, larga in media 60 centimetri, è divisa in due lobi che prendono il nome di "fluke"; entrambe le pinne dorsale e caudale sono riccamente vascolarizzate e sono importanti per la termoregolazione. Esse sono completamente costituite da tessuto connettivo, senza scheletro osseo né muscolatura, dunque, una volta strappato, il tessuto non si rigenera lasciando segni permanenti lungo il bordo che permettono di riconoscere i singoli individui (Würsig e Würsig, 1977).

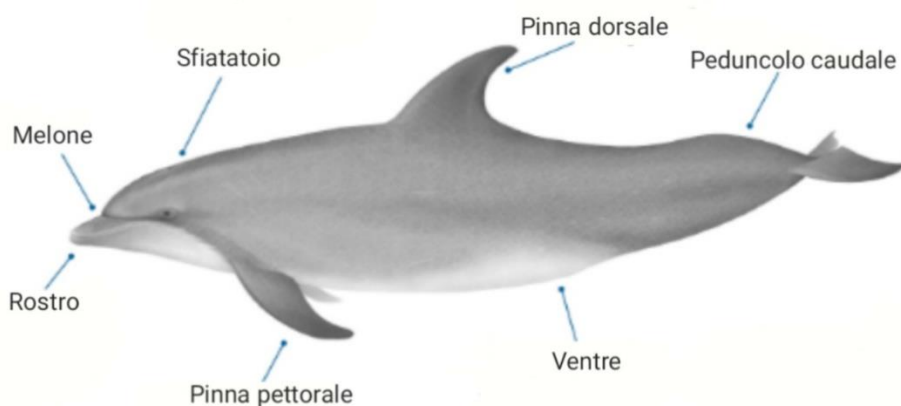


Figura 1.1 Anatomia *Tursiops truncatus*

1.2 Distribuzione e habitat

Come detto, è un cetaceo caratterizzato da una distribuzione cosmopolita, con presenza documentata in entrambi gli emisferi e in un'ampia varietà di habitat marini, occupa prevalentemente acque temperate e tropicali, risultando presente sia in ambienti costieri che in zone pelagiche di tutti gli oceani del mondo.

Nonostante questa ampia diffusione, *T. truncatus* mostra una grande variabilità geografica, sia morfologica sia ecologica. Popolazioni differenti possono presentare variazioni nelle dimensioni corporee, nella pigmentazione, nella forma del cranio e nel numero di denti, tali differenze sono osservabili anche su scale geografiche più ridotte, indicando una forte adattabilità ecologica.

A livello regionale è comune lungo le coste del Pacifico orientale, incluse Colombia, Ecuador, Perù e Cile, dove può formare grandi popolazioni *offshore*; è presente lungo le coste dell'Atlantico settentrionale, dove la distribuzione può espandersi verso latitudini più elevate durante eventi climatici caldi come *El Niño*, lungo le coste dell'Atlantico meridionale e dell'Africa meridionale, nelle acque del Mediterraneo e nel Mar Nero. Nonostante prediliga acque temperate, sono documentati record meridionali che estendono l'areale globale; in particolare, *T. truncatus* è stato osservato fino a 53–55° S nelle acque della Terra del Fuoco e dello Stretto di Magellano, che rappresentano i limiti più meridionali conosciuti per il genere. Questo amplia l'areale della specie nel Sud Atlantico e testimonia la capacità dei tursiopi di raggiungere regioni subantartiche, probabilmente come occasionali visitatori. A supporto della loro vasta distribuzione ci sono l'elevata mobilità della specie e dunque la sua capacità di attraversare grandi distanze in mare aperto (Natalie et al.,2012). I fattori determinanti la distribuzione sembrano correlati alla temperatura e alla distribuzione delle risorse trofiche (Wells et al.,2002).



Figura 1.2 Range di distribuzione di *T. truncatus*

1.2.1 Ecotipi neritico e pelagico

Analisi genetiche su larga scala hanno evidenziato che le popolazioni costiere e pelagiche potrebbero aver sviluppato adattamenti ecologici indipendenti in diversi bacini oceanici. Questo fenomeno è attribuito alla capacità dei tursiopi di sfruttare nicchie ecologiche molto diverse in aree geografiche molto distanti tra loro. Questa versatilità ha portato, in diversi bacini oceanici, all'identificazione di due principali ecotipi: un ecotipo costiero (o neritico) e un ecotipo pelagico (o *offshore*), distinti sulla base di differenze ecologiche, comportamentali, morfologiche e genetiche (Ross & Cockcroft, 1990; Hoelzel et al., 1998; Duffield et al., 1999).

L'ecotipo costiero è associato alla piattaforma continentale e a fondali inferiori ai 200 metri di profondità. Gli individui appartenenti a questo ecotipo mostrano una forte affinità per ambienti a struttura complessa: piattaforme estese, zone con spiccata eterogeneità batimetrica e aree caratterizzate da elevata produttività biologica. Dal punto di vista spaziale, l'ecotipo costiero presenta generalmente una distribuzione ristretta, con elevata fedeltà al sito e movimenti limitati (dell'ordine di poche decine di chilometri). In questo caso *T. truncatus* tende a mostrare una maggiore interazione con attività antropiche costiere, come la pesca e il traffico nautico, e una dieta spesso basata su prede demersali e bentoniche (Ross & Cockcroft, 1990; Bearzi et al., 2009).

Al contrario, l'ecotipo pelagico è associato ad ambienti di scarpata continentale e oceano aperto, caratterizzati da fondali profondi (>1.000–2.000 metri) e da una maggiore distanza dalla costa. Gli individui *offshore* presentano generalmente home range più ampi, minore fedeltà al sito e spostamenti su scala spaziale molto più estesa rispetto alle popolazioni costiere. In diversi oceani, questi gruppi mostrano anche differenze morfologiche (ad esempio dimensioni corporee maggiori e variazioni nella dentatura) e genetiche rispetto agli ecotipi costieri, probabilmente dovute ad una divergenza evolutiva legata all'uso di habitat distinti (Hoelzel et al., 1998; Hersh & Duffield, 1990).

Nel Mar Mediterraneo la distinzione tra ecotipo costiero ed ecotipo pelagico appare meno marcata rispetto ad altri bacini oceanici. Le popolazioni mediterranee di *T. truncatus* mostrano infatti una prevalente affinità per ambienti neritici, con la maggior parte degli avvistamenti confinata entro la piattaforma continentale, generalmente al di sopra dell'isobata dei 200 m e più frequentemente entro i 100 m di profondità (Gannier, 2005). Studi recenti nel Mediterraneo nord-occidentale confermano un uso preferenziale di habitat costieri e di piattaforma, pur evidenziando variazioni spaziali nell'utilizzo dell'area che suggeriscono una strutturazione ecologica più complessa della popolazione e possibili differenze nell'uso delle risorse (Bellingeri et al., 2025).

Osservazioni condotte in Adriatico indicano che, sebbene la specie possa frequentare aree di mare aperto, tali presenze non configurano un vero ecotipo pelagico stabile, ma piuttosto un'espansione funzionale dell'home range in relazione a disponibilità trofica, attività di foraggiamento e dinamiche stagionali (Centurelli et al., 2025). Analogamente, studi su larga scala evidenziano come la distribuzione del tursiope sia fortemente influenzata da variabili ambientali quali temperatura superficiale, produttività primaria e morfologia del fondale, suggerendo che l'uso dell'habitat risponda a gradienti ecologici più che a una rigida distinzione geografica tra costa e largo (Vizeu-Pinheiro et al., 2025).

Le osservazioni in acque più profonde risultano dunque sporadiche e spesso associate a contesti batimetrici particolari, come seamount o piattaforme offshore con caratteristiche trofiche simili agli ambienti neritici. Nel complesso, nel Mediterraneo la distinzione tra ecotipo costiero ed ecotipo pelagico in *T. truncatus* deve essere interpretata in chiave funzionale ed ecologica, considerando plasticità comportamentale, disponibilità di risorse e struttura ambientale, piuttosto che come una netta separazione spaziale.

1.3 Alimentazione

T. truncatus è riconosciuto come un predatore opportunista e flessibile dal punto di vista trofico, in grado di modulare la propria dieta in funzione della disponibilità locale delle risorse e delle caratteristiche ambientali (Giménez et al., 2017; Neri et al., 2023). Nel Mar Mediterraneo, le informazioni derivano prevalentemente dall'analisi dei contenuti stomacali di individui spiaggiati, che evidenziano una dieta marcatamente piscivora e fortemente associata ad ambienti costieri e di piattaforma continentale.

Secondo Neri et al. (2023), tra le prede più frequenti figurano specie demersali tipiche di fondali neritici, come il gronco (*Conger conger*) e il nasello (*Merluccius merluccius*), insieme a Sparidi quali *Diplodus annularis* e *Pagellus erythrinus*. Sono inoltre documentate catture di Clupeidi e Scombridi (ad esempio sardine e sgombri), oltre al pesce nastro (*Trachipterus trachipterus*), mentre il cefalo (*Liza ramada*) e i cefalopodi – in particolare il polpo (*Octopus vulgaris*) – rappresentano una componente secondaria ma ecologicamente significativa della dieta. L'elevata incidenza di specie a comportamento notturno, come *Conger conger* e *Ophidion barbatum*, suggerisce un'attività trofica

anche in condizioni di scarsa luminosità, con possibile impiego dell'ecolocalizzazione e dell'ascolto passivo per l'individuazione di prede produttrici di suoni (Neri et al., 2023).

Lo studio evidenzia inoltre differenze legate al sesso: i maschi risultano prevalentemente ittiofagi, mentre nelle femmine aumenta l'incidenza dei cefalopodi, probabilmente in relazione a comportamenti più stanziali durante il periodo di allattamento e a una maggiore selezione di prede bentoniche sedentarie. La presenza di frammenti di reti da pesca nei contenuti stomacali conferma, infine, interazioni con la pesca costiera e la capacità della specie di sfruttare risorse associate alle attività antropiche (Neri et al., 2023).

In contesti oceanici, al di fuori del Mediterraneo, la dieta mantiene un carattere generalista ma tende a includere una maggiore componente di specie pelagiche e mesopelagiche, riflettendo differenze ambientali e disponibilità trofica, senza tuttavia modificare il ruolo del tursiope come predatore opportunista di medio livello trofico.

Sesso ed età modulano in modo significativo sia "come" sia "dove" *T. truncatus* ricerca e acquisisce il cibo, influenzando l'ampiezza della nicchia trofica e la selezione dell'habitat. Studi classici su popolazioni atlantiche hanno mostrato che i maschi adulti tendono ad avere nicchie trofiche più specializzate ed elevate efficienze energetiche, probabilmente come strategia per massimizzare l'apporto calorico riducendo i costi di foraggiamento (Rossman et al., 2015). Nel Mediterraneo e in altre aree europee, evidenze derivanti dall'analisi dei contenuti stomacali supportano un'elevata variabilità trofica all'interno della popolazione, con differenze legate alle diverse classi di età e potenzialmente anche al sesso, indicando che l'ampiezza della nicchia alimentare può variare in funzione dell'esperienza di cattura e dell'efficienza predatoria (Neri et al., 2023; Neri, 2022; Giménez et al., 2017).

Le femmine adulte mostrano frequentemente un uso più diversificato di risorse e tattiche di caccia, coerentemente con vincoli riproduttivi e sociali come la cura dei piccoli e la filopatria materna, che favoriscono range d'azione più ridotti ma un uso più eterogeneo di habitat e prede. Questo comportamento può tradursi in maggiore variabilità nella dieta assimilata e in differenze nei segnali isotopici associati alla nicchia trofica (Neri et al., 2023). Al contrario, i giovani in fase di crescita (es. 2–6 anni) mostrano pattern trofici intermedi, con nicchie generalmente più ampie rispetto alle femmine adulte e con livelli trofici mediamente inferiori, probabilmente dovuti a vincoli morfologici, abilità di cattura ancora in sviluppo e prolungata dipendenza dagli schemi comportamentali materni.

Queste dinamiche sono in linea con studi condotti su popolazioni di delfini in altre regioni, dove l'analisi degli isotopi stabili ha evidenziato differenze significative nell'uso delle risorse legate all'età e allo stato di maturità sessuale, riflettendo una maggiore plasticità trofica negli individui immaturi rispetto agli adulti (Naranjo-Ruiz et al., 2024).

In sintesi, la modulazione della nicchia trofica in *T. truncatus* è influenzata da una combinazione di fattori biologici (sesso ed età), vincoli comportamentali e contesto ambientale, con implicazioni importanti per la comprensione della biologia alimentare, della dinamica delle popolazioni e della conservazione delle risorse trofiche nei sistemi marini.

La “tecnica di foraggiamento” del tursiope, non è un singolo comportamento stereotipato ma un insieme di scelte ottimizzanti: quale habitat frequentare, quali pacchetti di prede sfruttare, quando farlo, in funzione della pressione predatoria e della densità di prede e quanto diversificare in base alla classe demografica. Dunque, *T. truncatus* è un generalista a livello di specie, ma con all'interno della popolazione strategie di foraggiamento altamente distinte (Rossman et al., 2015).

1.4 Ecologia riproduttiva

1.4.1 Maturità sessuale e tasso di riproduzione

L'elemento essenziale per la caratterizzazione del sesso dell'individuo è la zona ventrale, spesso difficile da osservare, fotografare e dunque studiare in esemplari liberi. I maschi nella parte ventrale hanno due aperture separate: una, l'apertura genitale, che protegge il pene e la seconda che costituisce l'apertura anale. Le femmine invece presentano continuità fra l'apertura anale e quella genitale, molto vicine tra loro, mentre, su entrambi i lati della fessura genitale ci sono due fessure che costituiscono l'apertura esterna delle ghiandole mammarie per l'allattamento dei piccoli.

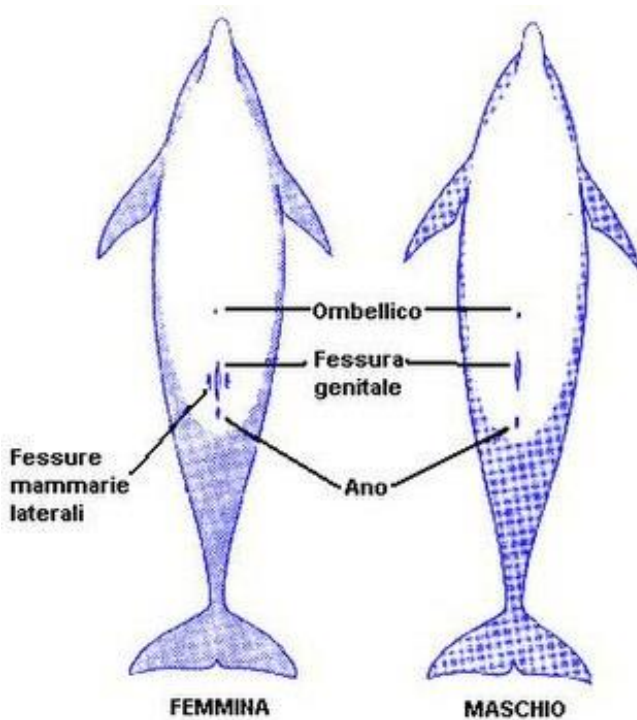


Figura 1.3 Apparato genitale del tursiopo



Figura 1.4 Immagine apparato genitale PHD03, femmina

Il tasso di riproduzione della specie viene descritto a livello di popolazione attraverso il tasso annuale di gravidanza e, a livello individuale, tramite l'intervallo medio interbirth tra una nascita e la successiva (Mann et al., 2000; Wells, 2014). In generale, la strategia riproduttiva di *T. truncatus* è caratterizzata da bassa fecondità, elevato investimento parentale e lunga dipendenza della prole, tratti tipici degli odontoceti. Tuttavia, studi condotti in differenti contesti geografici evidenziano una marcata plasticità nei parametri riproduttivi, con variazioni nell'interbirth interval, nella sopravvivenza neonatale e nel successo riproduttivo correlate a disponibilità trofica, qualità dell'habitat, esposizione a contaminanti e disturbo antropico (Wells, 2014; Schwacke et al., 2010;

Cheney et al., 2019;). Nel contesto delle Isole Eolie, la strategia riproduttiva del tursiope si inserisce pienamente in questo quadro generale, mostrando forti analogie con altre popolazioni costiere, ma anche alcune differenze rilevanti legate alle caratteristiche ambientali e sociali locali. Come osservato in popolazioni estuarine e costiere altamente produttive del Sud-Ovest Atlantico (*Patos Lagoon Estuary*; Fruet et al., 2015), anche alle Eolie, i parti risultano stagionali e concentrati in un definito “*birth pulse*” estivo (Blasi et al., 2020); infatti, essi si collocano prevalentemente tra giugno e luglio. In entrambi i casi, la sincronizzazione dei parti è da attribuire ad una strategia adattativa finalizzata a ridurre al minimo i costi termoregolatori del neonato e a massimizzare l’apporto energetico della madre durante le fasi iniziali della lattazione.

Per quanto riguarda il ciclo riproduttivo, gli intervalli inter-parto (IBI) osservati alle Eolie (2–7 anni, media ~3,5 anni) risultano comparabili a quelli documentati in altre popolazioni costiere temperate, come Sarasota Bay o Moray Firth, dove gli IBI medi variano generalmente tra 3 e 4 anni (Wells, 2014; Cheney et al., 2019). Come osservato in altri contesti, anche alle Eolie l’IBI tende ad accorciarsi in seguito alla perdita del neonato e ad allungarsi nelle femmine più anziane o in condizioni ambientali meno favorevoli, suggerendo un forte controllo fisiologico e comportamentale del ciclo riproduttivo in risposta allo stato individuale e corporeo della femmina (Blasi et al.; 2020)

Una differenza rilevante emerge invece nella durata dell’investimento materno. Alle Eolie, il periodo di allattamento risulta relativamente lungo (in media oltre 3 anni, con casi fino a 5 anni), e i legami madre–figlio possono persistere per diversi anni dopo lo svezzamento. Sebbene associazioni prolungate siano note anche in altre popolazioni (Mann et al., 2000; Wells, 2014), la persistenza osservata alle Eolie appare particolarmente marcata e viene interpretata come una strategia di apprendimento e protezione in un ambiente costiero complesso e antropizzato, dove la trasmissione di informazioni ecologiche e sociali può aumentare significativamente la sopravvivenza della prole.

Anche la sopravvivenza del piccolo mostra pattern comparabili, ma con sfumature locali. I valori di sopravvivenza fino allo svezzamento stimati alle Eolie sono in linea con quelli riportati per altre popolazioni costiere, ma la mortalità risulta fortemente concentrata nelle prime fasi di vita e appare influenzata da fattori quali esperienza materna, condizione corporea e pressione antropica. (Blasi et al.; 2020) In particolare, come osservato anche altrove, i primogeniti delle femmine giovani presentano una probabilità di sopravvivenza inferiore rispetto ai figli successivi, evidenziando l’importanza dell’esperienza riproduttiva nel determinare il successo riproduttivo individuale (Mann et al., 2000; Fruet et al., 2015).

Un elemento comune è l'elevata eterogeneità individuale tra femmine. In tutte le popolazioni analizzate, poche femmine altamente performanti contribuiscono in modo sproporzionato all'output riproduttivo complessivo, mentre altre mostrano ripetuti insuccessi riproduttivi (Fruet et al., 2015; Cheney et al., 2018). Alle Eolie, questa variabilità sembra essere ulteriormente amplificata da fattori locali quali la disponibilità irregolare di risorse, il disturbo antropico e la struttura sociale *fission–fusion*, che influenzano le scelte di gruppo, i siti di parto e le strategie di protezione dei neonati. Essa è descritta come una associazione caratterizzata da gruppi dinamici la cui composizione varia nel tempo in funzione di fattori ecologici, riproduttivi e sociali. Questo aspetto verrà approfondito in modo dettagliato nella Sezione 1.7, dedicata specificamente alla struttura sociale e alle dinamiche di associazione della specie.

1.4.2 Sistema di accoppiamento

Durante il corteggiamento, il maschio si posiziona inarcando la schiena, toccando e strofinando il muso sulla femmina. La copulazione avviene tipicamente pancia a pancia con entrambi gli animali rivolti nella stessa direzione. L'intromissione dura solo circa dieci secondi e comporta spinte vigorose del bacino. Il sistema di accoppiamento di una specie si riferisce, oltre alla descrizione dell'atto copulatorio, alle strategie usate da maschi e femmine per la riproduzione, non sempre questo dato risulta facilmente accessibile, ma quel che è certo è che in questa specie il ruolo della femmina ha una valenza maggiore rispetto ad altre specie (Whitehead et al., 2000).

Il sistema di accoppiamento è generalmente poliginandrico (caratterizzato da accoppiamenti multipli da parte di entrambi i sessi, con assenza di monogamia e con elevata competizione intra-sessuale, in particolare tra i maschi) e si caratterizza per un'elevata variabilità delle tattiche riproduttive in entrambi i sessi, fortemente influenzata dal contesto sociale ed ecologico.

I maschi possono competere individualmente attraverso *roaming*, inseguimenti e *mate guarding* solitario, oppure cooperare formando alleanze più o meno stabili (King et al., 2019). Il *mate guarding*, con il quale si intende il comportamento del maschio di applicare controllo coercitivo sulla femmina selezionata, rappresenta una strategia centrale: consente di aumentare la probabilità di paternità impedendo l'accesso di altri maschi, ma comporta costi elevati in termini di tempo ed energia. In molte popolazioni, questa strategia è rafforzata dalla cooperazione, con maschi che formano alleanze per controllare e difendere una femmina durante il periodo fertile. La cooperazione può

includere comportamenti coercitivi volti a ridurre le opportunità di accoppiamento *extra-pair*. In alcuni contesti non si osservano alleanze riproduttive vere e proprie e i maschi si affidano a strategie solitarie o a legami preferenziali con specifiche femmine.

Le femmine, a fronte di elevati costi riproduttivi, adottano strategie volte a ridurre i rischi e mantenere un certo controllo sulla riproduzione. Una tattica chiave è l'accoppiamento con più maschi, che può contribuire a confondere la paternità, ridurre potenziali aggressioni e aumentare le possibilità di compatibilità genetica. In alcune popolazioni, le femmine mostrano associazioni preferenziali con determinati maschi, suggerendo una forma di scelta del partner quando la coercizione maschile è limitata. In risposta al *mate guarding* le femmine possono mettere in atto strategie di evitamento, come la segregazione spaziale dai maschi in presenza di piccoli o la modulazione delle associazioni sociali durante i periodi di estro. (Brightwell e Gibson, 2023).

1.5 Rapporto madre-piccolo



Figura 1.5 Esemplare adulto con cucciolo PHD22 e PHD22 (1)

1.5.1 Gravidanza e parto

La gravidanza è un altro aspetto piuttosto difficile da valutare anche se grazie ai recenti sviluppi tecnologici soprattutto attraverso l'impiego di strumenti ecografici si sono compiuti passi avanti nello studio di questo aspetto, principalmente in esemplari in cattività. Di norma negli odontoceti la

lunghezza del periodo di gestazione tende ad aumentare con la dimensione dell'animale. Per *T. truncatus* il periodo di gestazione è di ca 12 mesi e le nascite avvengono di solito in estate per minimizzare i costi termoregolatori del neonato e per massimizzare l'apporto energetico della madre durante le fasi iniziali della lattazione. I tursiopi partoriscono di solito un solo piccolo di lunghezza media di un metro e all'inizio del parto nella maggior parte dei casi è la pinna caudale ad emergere per prima (parto podalico); questo sembra favorire una maggiore sopravvivenza alla nascita per il feto in quanto evita il rischio di annegamento (Harrison,1969).

I delfini solitamente nascono con le pinne pettorali e dorsali leggermente incurvate mentre la pinna caudale è arricciata verso il basso (McBride e Kritzler, 1951). Alla nascita il piccolo è altamente dipendente dalla madre sia per la ricerca di cibo che per la fase di allattamento. Alcuni tratti ci permettono di riconoscere individui piccoli all'interno di una popolazione selvatica e, tra questi ricordiamo: a) le dimensioni ridotte rispetto ai membri adulti anche se è una condizione che non perdura a lungo poiché la crescita durante il primo anno di vita procede molto velocemente; b) la colorazione che spesso è molto diversa tra piccolo e madre; c) la totale assenza di segni, tacche, sbeccature lungo i profili e i margini delle pinne dorsale e caudale; d) infine la tendenza del piccolo a spostarsi vicino alla madre in una conformazione che rende il nome di "posizione di nuoto infantile" per cui la coppia rimane sempre in contatto durante il nuoto.

1.5.2 Allattamento e svezzamento

Nel *T. truncatus*, l'allattamento rappresenta una fase cruciale della strategia riproduttiva e riflette un elevato investimento materno, coerente con una *slow life history* tipica degli odontoceti. Il latte è altamente energetico e la composizione varia nel corso della lattazione, con un progressivo incremento del contenuto lipidico in risposta alle crescenti richieste metaboliche del piccolo (Reddy et al., 1994; West et al., 2007). Studi più recenti evidenziano come la condizione corporea materna e lo stato fisiologico influenzino significativamente la qualità del latte e il successo dello sviluppo neonatale, soprattutto in contesti soggetti a stress ambientale o contaminanti (Kellar et al., 2021; Smith et al., 2022).

L'allattamento può protrarsi per diversi anni e comporta un costo energetico sostanziale per la madre, con effetti diretti sull'intervallo inter-parto e sul tasso riproduttivo annuale (Wells, 2014; Cheney et al., 2020). Il comportamento di suzione è rapido e intermittente, spesso durante il nuoto,

e richiede una stretta coordinazione madre-piccolo. Nei primi mesi di vita il neonato mantiene un'associazione quasi costante con la madre, beneficiando non solo del nutrimento ma anche di protezione e apprendimento sociale, elementi fondamentali per lo sviluppo delle competenze di foraggiamento e dell'integrazione nella rete sociale (Connor et al., 2000; Mann & Smuts, 2021).

Lo svezzamento non costituisce un evento puntuale ma un processo graduale, generalmente compreso tra i 2 e i 4 anni, con variazioni inter-popolazione legate alla disponibilità trofica e alle condizioni ambientali (Mann et al., 2000; Wells, 2014). Studi demografici recenti hanno mostrato che in popolazioni soggette a disturbo antropico o ridotta disponibilità alimentare si osservano prolungamenti dell'allattamento, riduzione della sopravvivenza neonatale e allungamento dell'interbirth interval, con ripercussioni sulla dinamica di popolazione (Fruet et al., 2021; Schwacke et al., 2022).

Nel complesso, la lunga durata della dipendenza materna nel tursiope rappresenta un elemento chiave della strategia riproduttiva della specie, influenzando direttamente la produttività femminile e la resilienza delle popolazioni in contesti ecologicamente variabili.

1.5.3 Crescita e separazione

Nel tursiope, lo sviluppo neonatale si struttura fin dalle prime ore di vita attorno a una relazione madre-figlio altamente specializzata, in cui prossimità fisica, coordinazione natatoria e sincronizzazione comportamentale costituiscono le basi per una progressiva autonomia. Studi pionieristici in cattività hanno descritto, durante il primo anno, due configurazioni spaziali predominanti: la posizione "echelon", in cui il piccolo nuota lateralmente alla madre sfruttando la scia idrodinamica per ridurre il costo energetico del movimento, e la "infant position", sotto il peduncolo caudale materno, che facilita protezione e accesso alle mammelle (Gubbins et al., 1999). Nel corso dei mesi si osserva una riduzione della dipendenza locomotoria associata alla posizione "echelon" e un aumento di configurazioni più flessibili, indice di maturazione motoria e maggiore controllo natatorio.

Studi successivi su popolazioni selvatiche hanno confermato che la distanza interindividuale madre-piccolo aumenta progressivamente con l'età, parallelamente allo sviluppo delle competenze di nuoto, respirazione coordinata e interazione sociale (Mann & Smuts, 2021; Sprogis et al., 2020). In particolare, l'incremento graduale dell'esplorazione indipendente e delle interazioni con altri

membri del gruppo rappresenta una fase chiave per l'apprendimento sociale e per l'acquisizione di strategie di foraggiamento culturalmente trasmesse (Noren et al., 2022).

Ricerche recenti basate su droni e tecniche di osservazione aerea hanno inoltre evidenziato come la posizione spaziale del piccolo rispetto alla madre vari in funzione del contesto comportamentale (riposo, spostamento, presenza di disturbo antropico), suggerendo che la prossimità non sia solo legata a esigenze nutrizionali ma anche a fattori di protezione e regolazione dello stress (Sprogis et al., 2020; Noren et al., 2021).

Nel complesso, la progressiva riduzione del tempo trascorso in stretta associazione con la madre non implica una rottura del legame, ma riflette un graduale passaggio verso l'indipendenza motoria e sociale, mantenendo la figura materna come riferimento primario per nutrizione, sicurezza e apprendimento comportamentale nei primi anni di vita.

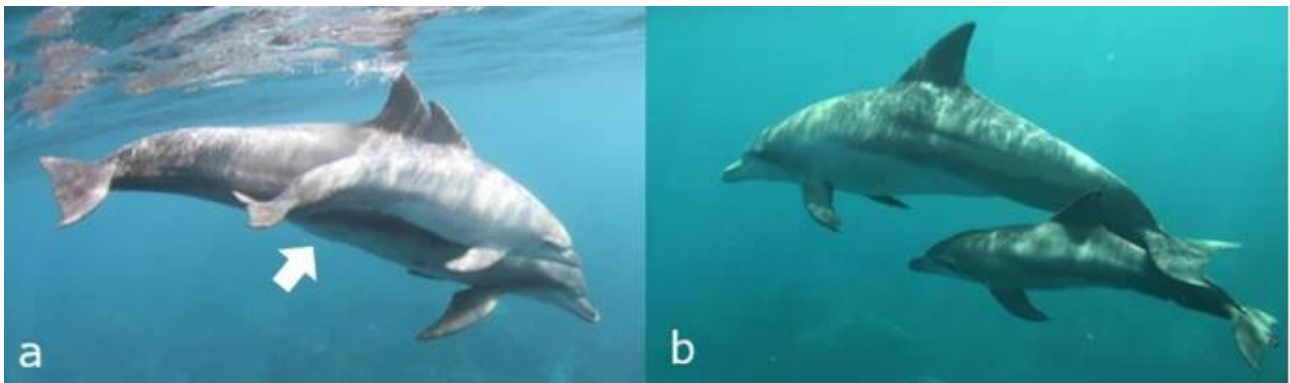


Figura 1.6 a: Echelon position b: Infant position (da Noren, S. R. (2008). *Infant carrying behaviour in dolphins: cost reductions through hydrodynamic drafting*).

Poiché i comportamenti sociali dei piccoli riflettono la natura fluida del sistema, le prime fasi di allontanamento sono molto variabili e differenziate tra popolazioni diverse, per cui risulta difficoltoso estrapolare un pattern univoco. Uno studio condotto a Shark Bay, in Australia, ha però evidenziato come in alcune popolazioni selvatiche di *T. truncatus*, caratterizzate da una struttura sociale *fission–fusion*, i cuccioli si separino frequentemente dalla madre, anche per distanze rilevanti, alternando periodi di separazione solitaria a separazioni in cui sono accompagnati da altri individui (“escort”) (Mann et al., 1998) che dunque mettono in atto un comportamento detto “allomaterno”. Già nei primi mesi di vita, queste separazioni non rappresentano eventi eccezionali, ma costituiscono una componente regolare del comportamento, con una maggiore frequenza durante le fasi in cui la madre è impegnata nel foraggiamento. Non emergono evidenze di un vantaggio diretto per la madre

in termini di aumento del tempo di alimentazione quando il cucciolo è affidato a un'escort rispetto a quando resta temporaneamente da solo. La funzionalità di queste interazioni sembra essere principalmente legata ai benefici per il piccolo, che può acquisire esperienza sociale attraverso il gioco e la pratica delle interazioni, e per le femmine inesperte, che ottengono opportunità di apprendimento. Un aspetto rilevante è il cambiamento che avviene tra la prima settimana di vita e il periodo successivo: inizialmente le madri non tollerano separazioni sociali e possono reagire inseguendo il cucciolo, mentre nelle settimane successive la tolleranza aumenta rapidamente. Questo andamento è coerente con l'ipotesi di una finestra sensibile per il riconoscimento madre-neonato e con il progressivo miglioramento delle capacità motorie e comunicative del piccolo (Mann & Smuts, 1998). In generale, la socialità materna è un forte predittore delle condizioni di gruppo in cui si trova il cucciolo ma emergono differenze di sesso nelle strategie giovanili: le figlie tendono a rispecchiare la socialità materna anche quando separate, mentre i figli mostrano il pattern opposto, suggerendo che per i maschi le separazioni possano essere un buon momento per sviluppare abilità sociali, agonistiche e socio-sessuali utili nelle future alleanze maschili. (Gibson & Mann, 2008).

Nelle popolazioni caratterizzate da alleanze maschili complesse, la fase giovanile rappresenta un periodo cruciale per l'acquisizione di competenze sociali che saranno fondamentali nelle future coalizioni tra maschi adulti (Gibson & Mann, 2008). A livello comunicativo, il fischio firma costituisce un segnale di riconoscimento individuale altamente stabile e stereotipato, generalmente definito entro il primo o secondo anno di vita. Evidenze recenti confermano che il processo di sviluppo del signature whistle è influenzato sia da componenti genetiche sia da apprendimento sociale e modellamento acustico, con un ruolo significativo dell'ambiente sonoro e delle interazioni precoci madre-figlio (Fripp et al., 2021; King et al., 2022).

Il confronto madre-cucciolo evidenzia differenze legate al sesso anche nella struttura acustica: le femmine tendono a produrre segnali maggiormente distinti da quelli materni, coerentemente con un sistema sociale caratterizzato da filopatria femminile, mentre i maschi mostrano talvolta maggiore similarità o variabilità del repertorio durante la fase di transizione verso l'indipendenza e la futura integrazione nelle reti maschili (Sayigh et al., 1990; Carde et al., 2023). Studi recenti basati su analisi bioacustiche ad alta risoluzione suggeriscono inoltre che la flessibilità vocale nei giovani possa essere associata a fasi di esplorazione sociale e riorganizzazione delle relazioni affiliative (Carde et al., 2023; King et al., 2022).

Considerando congiuntamente aspetti comportamentali, sociali e vocali, emerge una relazione madre–cucciolo dinamica e modulata nel tempo. La madre passa progressivamente da un controllo prossimale e fisico a forme di supervisione più distanziate, mentre la piccola alterna vicinanza e separazione per soddisfare esigenze nutrizionali, protezione e apprendimento sociale. Studi recenti sulle dinamiche di sviluppo sociale indicano che questa gradualità favorisce l’acquisizione di competenze relazionali complesse e la costruzione delle future reti sociali, inclusa la formazione di alleanze nei maschi e la stabilizzazione dei legami matrilineari nelle femmine (Gerber et al., 2022; Mann & Smuts, 2021).

Nel complesso, lo sviluppo vocale e sociale nel tursiope evidenzia un’interazione stretta tra maturazione individuale, apprendimento esperienziale e struttura sociale della popolazione, confermando il ruolo centrale della relazione madre–figlio come matrice delle future traiettorie comportamentali.

1.6 Bioacustica del tursiope

La propagazione del suono è fortemente influenzata dall’habitat attraverso cui il segnale si trasmette (Urlick, 1975; Rogers & Cox, 1988). In ambiente acquatico, fattori quali il tipo di fondale, la batimetria, la temperatura, la salinità e la presenza di vegetazione influenzano la trasmissione dei suoni (Nowacek et al., 2001). A differenza dei cetacei mysticeti, che producono suoni attraverso la vibrazione delle corde o pieghe vocali della laringe, i delfini e gli odontoceti generano i segnali acustici a livello del sistema nasale. In dettaglio, nei tursiopi la produzione del suono avviene grazie all’aumento della pressione dell’aria all’interno delle cavità nasali, controllato dall’azione coordinata dei muscoli facciali. Il flusso d’aria viene fatto passare attraverso le labbra foniche (*phonic lips*), situate nel tratto nasale, la cui vibrazione genera i segnali acustici (Ridgway et al., 1980; Cranford et al., 2011). Il controllo motorio fine dei muscoli nasali consente una notevole flessibilità vocale, permettendo la produzione di un’ampia gamma di suoni e, in alcuni casi, l’emissione simultanea di segnali differenti (Finneran et al., 2018; Ridgway et al., 2015). Dal punto di vista anatomico, le strutture nasali del lato destro risultano generalmente più sviluppate rispetto a quelle del lato sinistro. Numerose evidenze indicano che nei delfini odontoceti la produzione dei suoni è lateralizzata a livello dell’apparato nasale: i click utilizzati per l’ecolocalizzazione sono generalmente associati all’attivazione predominante del complesso fonatorio destro, mentre i suoni tonali, inclusi i fischi, risultano prevalentemente prodotti dal lato sinistro (Cranford et al., 1996; Madsen et al., 2013). Studi anatomici e funzionali hanno mostrato che entrambe le tipologie di segnali originano

dalle cosiddette *phonic lips*, strutture accoppiate situate nei passaggi nasali superiori, capaci di generare impulsi sonori attraverso vibrazione pneumatica controllata (Cranford et al., 1996).

In *T. truncatus*, tuttavia, la distinzione tra categorie acustiche non riflette meccanismi completamente separati, poiché click e segnali tonali derivano dallo stesso sistema fonatorio di base, modulato dinamicamente tramite variazioni di pressione e controllo muscolare fine (Madsen et al., 2013; Jensen et al., 2020). Ricerche recenti suggeriscono inoltre che la lateralizzazione non sia assoluta, ma piuttosto funzionale e flessibile, con possibili attivazioni bilaterali in funzione del contesto comportamentale e comunicativo (Mann et al., 2021).

L'apparato fonatorio del tursiope rappresenta un sistema altamente specializzato ma integrato, in cui ecolocalizzazione e comunicazione vocale condividono una comune base anatomica e fisiologica.

I click rappresentano impulsi acustici elementari a banda larga e non modulati, con componenti in frequenza che vanno approssimativamente da 1 a 120 kHz (Au, 2004; Herzing, 2004) che, variando in cadenza e organizzazione temporale, danno origine sia ai click di ecolocalizzazione sia ai *burst pulses*, ovvero treni di click ad altissima frequenza. Dal punto di vista funzionale, i click sono impiegati principalmente nella navigazione, nella ricerca, discriminazione e cattura della preda. Funzionano tramite un meccanismo che prevede l'emissione di ultrasuoni a partire dal sistema nasale e indirizzati nella zona frontale dell'animale con una direzione gestita dal melone; le onde emesse viaggiano nell'acqua e rimbalzano sugli oggetti, tornando indietro come echi, la mandibola inferiore, piena di tessuto adiposo, cattura questi echi e li trasmette all'orecchio interno, dopodiché il cervello elabora gli echi, creando una "mappa sonora" dell'ambiente che permette al delfino di distinguere le dimensioni, la forma, la distanza e la composizione degli oggetti.

Parallelamente, i tursiopi producono fischi a frequenza modulata utilizzati soprattutto nella comunicazione sociale. Ogni individuo sviluppa, attraverso un processo di apprendimento vocale nei primi mesi di vita, un fischio stereotipato noto come "*signature whistle*", che veicola l'identità individuale e svolge la funzione di *contact* o *cohesion call*.

1.6.1 Ruolo del melone nella propagazione del suono

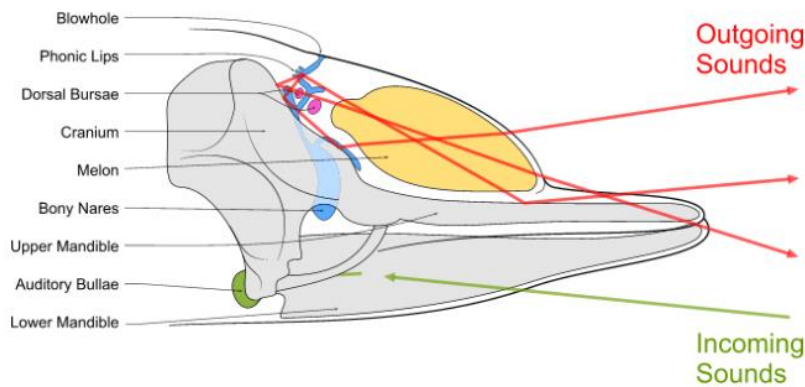


Figura 1.7 Anatomia della porzione frontale del tursiope

Nei delfini odontoceti come *T. truncatus*, la bioacustica è strettamente legata all'anatomia cranica, in particolare al melone, una struttura di tessuto adiposo specializzato situata nella regione frontale del cranio. Il melone costituisce il principale mezzo di trasmissione e modellazione del suono dalla sorgente interna verso l'ambiente acquatico circostante (Harper et al., 2008; Jones et al., 2020). Contrariamente a quanto si potrebbe supporre, il melone non è un semplice accumulo di grasso passivo. Studi anatomici basati su dissezioni e sezioni seriali hanno mostrato la presenza di regioni strutturalmente distinte, attraversate da tendini e fibre muscolari connesse ai muscoli facciali e ai tessuti circostanti. Questa organizzazione suggerisce che il melone possa modificare attivamente la propria forma, influenzando parametri quali la frequenza, la direzionalità e l'ampiezza del fascio sonoro emesso (Harper et al., 2008). Ulteriori evidenze derivano da studi di imaging avanzati (Ridgway et al., 2004), che hanno rivelato un ricco flusso sanguigno nella porzione dorsale del melone e nei tessuti adiposi associati. Poiché la velocità del suono nei lipidi dipende dalla temperatura, la termoregolazione del melone potrebbe contribuire a mantenere stabili le proprietà acustiche del segnale, compensando le variazioni ambientali. Le stesse analisi mostrano come le vie nasali, gli spazi sinusali e l'architettura cranica siano funzionalmente integrati nel percorso di produzione e propagazione del suono: i click generati dalle labbra foniche vengono infatti convogliati attraverso il melone prima di essere emessi nell'ambiente acquatico. Dal punto di vista funzionale, il melone agisce come una vera e propria lente acustica, capace di concentrare i click a banda larga in un fascio altamente direzionale, migliorando l'efficienza dell'ecolocalizzazione e l'interazione con l'ambiente (Au, 1993). Questo ruolo è coerente con la presenza di gradienti di densità e composizione lipidica all'interno del melone, che influenzano i processi di rifrazione del suono.

1.7 *Fission-fusion society*

Le *fission–fusion societies* rappresentano un modello di organizzazione sociale caratterizzato da elevata fluidità nella composizione e dimensione dei gruppi, con associazioni che possono variare nell’arco di minuti o ore. Nel tursiope (*T. truncatus*), tale struttura sociale è stata confermata da studi recenti basati su analisi di reti sociali, che evidenziano un sistema dinamico ma strutturato, nel quale gli individui formano sottoreti preferenziali all’interno di una popolazione più ampia (Lusseau et al., 2006; Frère et al., 2010; Genov et al., 2019).

Nonostante l’elevata fluidità aggregativa, si osservano associazioni stabili e preferenziali, spesso tra individui dello stesso sesso o con stato riproduttivo simile. Nelle femmine, la formazione di gruppi con altre madri o femmine gravide è stata collegata a benefici cooperativi, tra cui maggiore vigilanza, protezione dei piccoli e incremento della sopravvivenza neonatale (Mann & Smuts, 2021; Carde et al., 2023). Analisi demografiche recenti suggeriscono che la posizione nella rete sociale e la forza delle associazioni possano influenzare direttamente il successo riproduttivo femminile (Elliser & Herzing, 2015; Stanton & Mann, 2020).

Anche i maschi mostrano una marcata strutturazione sociale multilivello. In molte popolazioni, la maggior parte degli individui maschi forma alleanze stabili a lungo termine, spesso in coppie o triadi, che cooperano nell’accesso alle femmine in estro (Connor et al., 2014; Gerber et al., 2022). Studi più recenti hanno evidenziato che tali alleanze possono organizzarsi su più livelli gerarchici, con coalizioni di secondo ordine che cooperano temporaneamente in contesti competitivi complessi (Connor et al., 2007; King et al., 2021).

Le associazioni strette, sia tra femmine sia tra maschi, sembrano fornire benefici adattativi quali riduzione del rischio predatorio, maggiore efficienza nell’accesso alle risorse e incremento delle opportunità riproduttive. L’approccio moderno basato su network analysis dimostra che, pur in un sistema *fission–fusion* altamente dinamico, la struttura sociale del tursiope è tutt’altro che casuale, ma organizzata secondo pattern stabili e prevedibili nel lungo termine (Genov et al., 2019; Gerber et al., 2022).

1.8 Minacce e rischi

A causa della loro distribuzione prevalentemente costiera, i tursiopi risultano esposti a una vasta gamma di pressioni antropiche. Storicamente, fino agli anni Sessanta, in Mediterraneo l'uccisione intenzionale rappresentava probabilmente la principale causa di mortalità per la specie. Sebbene tale pratica sia drasticamente diminuita grazie all'introduzione di legislazioni di tutela nella maggior parte dei Paesi mediterranei, uccisioni mirate continuano a verificarsi localmente. Oggi, le minacce per il tursiope sono multiple e cumulative. Tra le più rilevanti si annoverano gli effetti tossici delle sostanze xenobiotiche, le epizoozie, il disturbo diretto legato al traffico nautico e navale, l'inquinamento acustico e le conseguenze del cambiamento climatico. Questi fattori agiscono spesso in modo sinergico, compromettendo la salute, il comportamento e la capacità di sopravvivenza delle popolazioni.

L'interazione con le attività di pesca rappresenta una delle criticità più gravi. Il comportamento opportunistico del tursiope, unito alla sua presenza costiera, lo espone a un elevato rischio di intrappolamento accidentale (*by-catch*) in diverse tipologie di attrezzi da pesca, ad esempio la mortalità accidentale nelle reti da posta fissa è considerata frequente lungo gran parte del bacino mediterraneo. I segni tipici di *by-catch* includono individui trovati eviscerati, con peduncolo caudale o pinne mancanti, evidenti segni di rete o addirittura corde legate alla coda. Oltre alla mortalità accidentale, i danni arrecati dai delfini agli attrezzi da pesca e la depredazione del pescato possono innescare azioni di ritorsione da parte dei pescatori, tra cui l'uccisione diretta o molestie intenzionali. Tali reazioni non sono uniformi: gli atteggiamenti verso i delfini variano ampiamente lungo le coste mediterranee in funzione di fattori culturali, religiosi e socio-economici, e non sempre la depredazione sfocia in ostilità aperta.

È importante sottolineare che la sovrapposizione tra le prede dei delfini e le specie bersaglio della pesca non implica necessariamente una competizione diretta. Tuttavia, effetti competitivi si accentuano quando le prede chiave si fanno scarse e restano sottoposte a intensa pressione di pesca. A questo proposito, circa il 95% delle catture ittiche globali proviene dalle piattaforme continentali, gli stessi ambienti occupati dai tursiopi, mentre la biomassa rimossa dalla pesca in queste regioni supera quella consumata dai delfini di ordini di grandezza. La sovrappesca e il conseguente declino degli stock ittici rappresentano quindi una minaccia indiretta ma rilevantissima. Secondo il rapporto FAO-GFCM "*The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries 2025*", circa il 52 % degli stock ittici valutati nel Mediterraneo e Mar Nero risulta ancora sovrasfruttato, sebbene questo rappresenti il

livello più basso degli ultimi dieci anni e suggerisca tendenze di miglioramento nella gestione delle risorse, molte delle specie ittiche classificate come sovrasfruttate costituiscono prede importanti per il tursiopo, con ripercussioni sul suo stato nutrizionale e sul successo riproduttivo.

Un'altra forma di minaccia per *T.truncatus* è rappresentata dalla contaminazione chimica. I livelli di composti organoclorurati (come PCB, policlorobifenili e PAH, Idrocarburi Policiclici Aromatici) nei tursiopi del Mediterraneo sono molto elevati rispetto a quelli riscontrati in altre regioni (Fossi et al.,2006) (Jepson et al.,2016). Tali composti sono stati associati a disturbi riproduttivi, immunosoppressione e neoplasie, aumentando inoltre la vulnerabilità agli eventi epizootici (Hall et al.,2006). Sebbene in alcune aree si osservi una lenta diminuzione dei contaminanti, nel Mediterraneo le concentrazioni rimangono critiche, rendendo essenziali programmi di monitoraggio, valutazione del rischio e protocolli di intervento preventivi.

Il disturbo diretto e l'inquinamento acustico causati dal traffico nautico rappresentano un'altra minaccia crescente. Negli ultimi decenni il Mediterraneo ha conosciuto una forte espansione della navigazione commerciale e da diporto, ma gli effetti cumulativi su comportamento e uso dell'habitat dei cetacei sono stati studiati solo in misura limitata. Esistono tuttavia evidenze di allontanamento temporaneo o permanente dei tursiopi da aree costiere in seguito a intensi aumenti stagionali del traffico nautico (Pirotta et al.,2015).

Anche la rimozione di individui vivi dalla popolazione selvatica per esibizione in cattività, programmi di "*dolphin assisted therapy*" o ricerca, rappresenta una perdita equivalente alla mortalità accidentale o intenzionale, poiché sottrae individui riproduttivi alle popolazioni naturali. Sebbene tali pratiche siano oggi vietate dalla maggior parte delle normative nazionali e accordi internazionali nel Mediterraneo, il loro impatto storico e potenziale resta rilevante

Il cambiamento climatico infine costituisce una minaccia trasversale, con potenziali effetti su numerosi processi biologici: per i cetacei, gli impatti sono spesso mediati da variazioni nella distribuzione e abbondanza delle prede, nonché da cambiamenti negli habitat costieri. (Bearzi et al., 2009)

1.9 Legislazione attiva e stato di conservazione

Il presente paragrafo fornisce una rassegna della principale normativa internazionale, europea e nazionale applicabile alla tutela dei cetacei, con particolare riferimento al *T. truncatus*. La struttura che disciplina la conservazione della specie si articola su più livelli giuridici, comprendendo convenzioni, direttive e regolamenti dell'Unione Europea e strumenti legislativi nazionali. Tale quadro normativo integra misure di protezione diretta della specie con disposizioni relative alla gestione degli habitat, alla regolamentazione delle attività antropiche e al controllo delle pressioni ambientali, dando origine ad un sistema finalizzato al mantenimento di uno stato di conservazione favorevole delle popolazioni.

➤ **Quadro internazionale**

- Convenzione di Washington (1973): “Convenzione sul commercio internazionale delle specie animali e vegetali in via d'estinzione”, nota anche con l'acronimo CITES. Il tursiope è inserito in appendice I, mentre i cetacei non inseriti in questa appendice sono automaticamente inseriti nell'appendice II (commercio consentito, ma regolato da licenza di esportazione).
- Convenzione di Bonn (1979): “Convenzione sulla conservazione delle specie migratorie appartenenti alla fauna selvatica”. Il tursiope è inserito nell'allegato II, ma solo le popolazioni del Mediterraneo e del Mar Nero, è stato proposto l'inserimento anche delle altre popolazioni.
- Convenzione di Barcellona (1976): “Convenzione per la Protezione dell'Ambiente Marino e delle Regioni Costiere del Mediterraneo”. Nell'allegato II “Lista delle specie minacciate e in pericolo” annovera anche il tursiope.
- ACCOBAMS (Agreement on the Conservation of Cetaceans on the Black Sea, Mediterranean Sea and Contiguous Atlantic Area) (2001). Gli obiettivi di questo accordo sono di ridurre le minacce per i cetacei del Mar Nero, del Mediterraneo e dell'area Atlantica contigua e di aumentare le conoscenze su questi animali e il tursiope è inserito nell'annesso I.
- Il *Cetacean Specialist Group* dell'IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura e delle Risorse Naturali) ha prodotto un documento con obiettivi principali di identificare lo status delle 86 specie di cetacei presenti al mondo, per poter individuare le azioni prioritarie per la loro sopravvivenza. La suddivisione delle azioni per le diverse specie e anche in relazione alla regione geografica di appartenenza, dato che molte di queste, come il tursiope, sono ad ampia distribuzione. Nella *Red List of Threatened Species*, dell'IUCN il

tursiope è annoverato a livello mondiale ed europeo nella categoria di rischio LC (*Least Concern*), in Mediterraneo la classificazione rimane la stessa ad eccezione di alcune isolate sub-popolazioni che risultano invece classificate come “*Critically Endangered*”.

➤ **Ambito europeo**

- Convenzione di Berna (1979): “Convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica e dell’ambiente naturale in Europa”. Il tursiope è inserito nell’allegato II (specie strettamente protette), che ne prevede una speciale protezione e ne proibisce in particolare la cattura, l’uccisione, la detenzione e il commercio.
- Direttiva Habitat 92/43/CEE: è la norma UE più importante per il tursiope: *T. truncatus* è in Allegato II (richiede designazione di Siti Natura 2000/SAC) e in Allegato IV (richiede protezione rigorosa: divieti di uccisione/cattura/disturbo intenzionale, ecc.). A livello pratico implica istituzione/gestione di siti Natura 2000 marini per habitat e specie; valutazioni d’incidenza per piani/progetti che possono impattare i siti/specie e obbligo di mantenere/ristabilire “stato di conservazione favorevole”.
- Direttiva Quadro sulla Strategia Marina 2008/56/CE (MSFD) la quale impone di raggiungere/mantenere il Buono Stato Ambientale e include tra i descrittori la “introduzione di energia, incluso rumore subacqueo” a livelli che non causino effetti avversi. Effetto pratico: monitoraggi e misure su rumore, pressioni antropiche e impatti su fauna (cetacei inclusi).
- Regolamento UE commercio fauna/flora (CE) n. 338/97. implementa e rende uniforme CITES nell’UE (con regole e allegati UE). Effetto pratico: controlli e restrizioni su commercio/detenzione/movimentazione dentro UE, oltre a import/export.
- Pesca e catture accidentali (*bycatch*) – Regolamento “Technical Measures” (UE) 2019/1241: include l’obiettivo che le catture accidentali di specie sensibili (inclusi mammiferi marini) non superino livelli compatibili con gli obiettivi ambientali. È stato inoltre aggiornato con atti delegati recenti su misure *anti-bycatch* per piccoli cetacei in aree critiche (es. Golfo di Biscaglia). In pratica impone obblighi/strumenti tecnici (misure di mitigazione, controlli, chiusure/attrezzi/monitoraggio a seconda delle aree e flotte).

➤ **Quadro nazionale**

- Recepimento Direttiva Habitat: D.P.R. 357/1997 (e successive modifiche): è l'atto che attua Habitat in Italia (Natura 2000, procedure, tutela specie).
- *Marine Strategy Framework Directory* in Italia (valutazione iniziale, programmi di monitoraggio, misure): quadro nazionale per pressioni come rumore, collisioni, contaminanti, rifiuti, con ricadute dirette sui cetacei.
- Santuario Pelagos (Italia–Francia–Monaco): Legge 11 ottobre 2001, n. 391: ratifica ed esecuzione dell'Accordo Pelagos (1999). Cornice specifica nel NW Mediterraneo per protezione di mammiferi marini e habitat (misure, coordinamento, pianificazione).
- CITES in Italia (sanzioni/reati): Legge 7 febbraio 1992, n. 150
- Aree Protette e AMP
 - Legge quadro aree protette 394/1991: disciplina parchi/riserva/AMP (divieti e regolamentazione attività).
 - Legge 979/1982 ("Difesa del mare"): contiene basi storiche per istituzione di riserve marine e tutela ambiente marino, sono strumenti territoriali fondamentali (AMP, regolamenti locali) per ridurre disturbo, collisioni, degrado habitat e pressioni sulle aree di presenza dei cetacei.
- Applicazione tramite linee guida internazionali (ACCOBAMS) recepite e diffuse (es. ISPRA) e spesso tramite ordinanze/regolamenti locali (Capitanerie/AMP). In pratica: distanze minime, velocità, tempi di permanenza, divieti di inseguimento/interposizione, gestione dell'impatto turistico.

Obiettivi della tesi

Il presente studio si propone di analizzare l'uso dell'area marina circostante l'isola di Filicudi da parte di *T. truncatus* nel periodo 2005–2025, valutandone la presenza, la struttura dei gruppi e le dinamiche individuali nel tempo, nonché le interazioni con le attività antropiche.

In particolare, il lavoro mira a quantificare e contestualizzare lo sforzo di campionamento e l'andamento dell'*encounter rate*, analizzare la dimensione dei gruppi osservati e applicare la tecnica della foto-identificazione per descrivere la composizione individuale, la fedeltà all'area e la struttura demografica della popolazione nel periodo. Inoltre, lo studio intende valutare l'interazione tra tursiopi e attrezzi da pesca, considerandone la frequenza e l'effetto sulla durata degli avvistamenti, e inquadrare i risultati ottenuti in un'ottica di gestione e conservazione dell'area.

2.MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio

L'area di studio in cui si colloca questo lavoro è la porzione di mare che circonda l'isola di Filicudi, nell'Arcipelago delle Eolie, situato a nord della costa siciliana e a ovest della costa calabrese. L'arco Eoliano è un sistema vulcanico che si estende per circa 35 chilometri e che poggia su un fondale marino a circa 1000 metri di profondità; le sue origini risiedono nel fenomeno di subduzione a seguito dello scontro tra la placca terrestre Africana e quella Euroasiatica a seguito del quale si è originata attività vulcanica della quale si hanno prove a partire da circa 1,3-0,9 milioni di anni fa. L'arco vulcanico originatosi in direzione da ovest verso est si estende per 200 chilometri ed è composto oltre che dalle isole vulcaniche emerse (Alicudi, Filicudi, Lipari, Panarea, Salina, Stromboli e Vulcano) da vari "seamounts" ovvero monti sottomarini: Alcione, Lamentini, Palinuro, Glabro, Marsili, Sisifo, Eolo, Enarete disposti ad anello e risalenti alla fase pleistocenica dell'orogenesi appenninica. L'isola di Filicudi (N38°34' E14°35') è la seconda isola occidentale delle sette dell'arcipelago e la quinta in ordine di grandezza con un'estensione di 9,7 km². Poiché l'evento di subduzione si è sviluppato in direzione da ovest verso est le isole più occidentali sono le più antiche a livello di attività vulcanica che oggi di fatto risulta esaurita. Nell'arcipelago le uniche isole che presentano ancora qualche forma di attività vulcanica sono Stromboli, Vulcano e Panarea, con tre tipologie completamente diverse una dall'altra. Il punto più alto di Filicudi è rappresentato dal Monte Fossa Felci, un vulcano spento alto 774 metri s.l.m. ma che si estende al di sotto della superficie marina per 1000 metri circa. All'estremità nord-orientale dell'allineamento vulcanico si trova il centro vulcanico sommerso chiamato Filicudi Nord mentre al lato nord-occidentale dell'isola a circa 1,5 chilometri dalla costa affiora lo scoglio della Canna, alto 85 metri; si tratta di un *neck* vulcanico, una formazione geologica creata dalla solidificazione del magma all'interno del camino di un vulcano spento. L'erosione rimuove nel tempo le parti esterne del cono, lasciando esposta la spina rocciosa, dura e basaltica. Infine, a 47 metri di profondità a 4 chilometri dall'isola troviamo il Banco di Filicudi, una secca ad elevata biodiversità che rappresenta un punto importante sia per alimentazione dei cetacei che per le attività di pesca. L'isola presenta un andamento batimetrico regolare che segue il profilo della costa raggiungendo velocemente i 30 metri di profondità per poi scendere gradualmente e toccare i 1000 metri a circa 3 chilometri dall'isola.

L'area di studio nel dettaglio (Figura 2.1) comprende tutta l'area marina circostante l'isola per un totale di 400 km^2 il cui limite si estende a sud-ovest fino a $38^{\circ}31' \text{ N}$ e $14^{\circ}26' \text{ E}$ mentre quello nord-est $38^{\circ}38' \text{ N}$ e $14^{\circ}40' \text{ E}$.

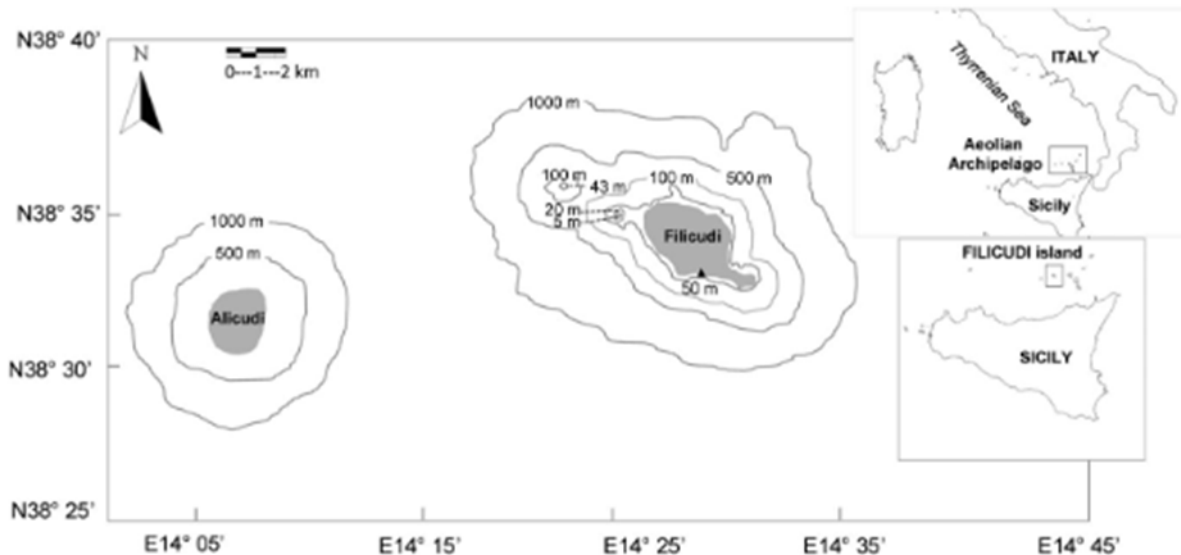


Figura 2.1 Area di studio attorno l'isola di Filicudi

2.2 Raccolta dati

2.2.1 Surveys in mare

I *surveys* in mare sono stati effettuati utilizzando un'imbarcazione di 7 metri con motore fuoribordo, con a bordo gli strumenti necessari per la navigazione e la ricerca, tra cui:

- GPS (Garmin GPS 12): è stato impiegato per geolocalizzazione sia durante i *surveys*, in modo da ottenere, tramite interpolazione, il percorso effettuato durante ogni uscita, sia in fase di avvistamento, per acquisire dati da utilizzare in eventuali studi sulla distribuzione o sullo sfruttamento del territorio da parte dei cetacei osservati.
- Bussola, integrata nell'imbarcazione.
- Fotocamera digitale.
- Videocamera digitale (GoPro Hero13).
- Binocoli.
- Schede *survey*, schede avvistamento e schede comportamentali.

Tutte le spedizioni hanno avuto come punto di partenza il porto di Pecorini Mare, sul lato sud-est dell'isola. I dati sono stati raccolti dal 2005 al 2025, sempre nella fascia oraria mattutina, variabile tra le 06:00 e le 14:00, durante il periodo estivo, da maggio a settembre.

2.2.2 Condizioni "on effort"

L'ordine e la direzione del monitoraggio in mare sono stati stabiliti giornalmente in base alle condizioni meteo-marine, considerate "on effort", facendo riferimento in particolare alla visibilità di superficie, che doveva essere superiore a 300 metri, e allo stato del mare, valutato nel nostro caso tramite la scala Beaufort (misura empirica della forza del vento basata sugli effetti del vento sulla superficie del mare), che doveva essere compreso tra 0 e 3. Inoltre, ogni giorno è stata ricercata una variazione della direzione di navigazione per non assecondare una possibile direzione preferenziale dei delfini. Durante ogni campionamento è stato utilizzato il metodo dei transetti lineari, in modo che il monitoraggio di ogni area non venisse ripetuto. A bordo, gli avvistatori, di cui almeno due esperti, si sono disposti in modo da coprire l'intero arco dell'orizzonte, occupandosi ciascuno di una porzione, si è suddiviso il campo di osservazione in quattro quadranti (da prua a poppa e da dritta a sinistra della barca), assegnando un quadrante a ciascun osservatore (anche se non sempre erano presenti 4 osservatori esperti). Durante ciascun *survey*, ogni dieci minuti è stata effettuata una "stazione di campionamento", durante la quale sono stati registrati sulle apposite schede i dati *survey*, comprendenti tutte le informazioni relative al monitoraggio.

Dati di navigazione

- Punto GPS
- Velocità
- Direzione della barca
- Orario

Dati ambientali quali:

- Direzione vento
- Condizione mare secondo la scala Beaufort
- Direzione della corrente

Dati relativi alle attività antropiche (in un raggio di 30 metri dalla barca)

- Numero e tipologia di attrezzi da pesca
- Numero e tipologia di imbarcazioni

Infine, è stata registrata anche l'eventuale presenza di altre specie in particolare specie ittiche e tartarughe.

2.2.3 Definizione di avvistamento e protocollo di registrazione

Ai fini del presente studio, un avvistamento è stato definito come la presenza di uno o più individui di *T. truncatus* registrata durante una singola giornata di monitoraggio. Eventuali osservazioni multiple della specie all'interno della stessa giornata sono state aggregate in un unico avvistamento, considerando il giorno come unità statistica indipendente, al fine di ridurre effetti di pseudoreplicazione.

Una volta avvistato il gruppo focale, definito come il numero di animali osservati in apparente associazione che si muovevano nella stessa direzione e che spesso, ma non sempre, erano impegnati nella medesima attività (Shane, 1990), si è portata la barca in un raggio di 30 metri dal gruppo e si è cercato di mantenere una rotta parallela rispetto alla loro direzione di movimento, evitando brusche variazioni di rotta e di velocità, intralci ai movimenti e alle attività dei delfini, come tagliare loro la strada o dirigere la barca sopra di essi. Lo scopo ultimo di questa pratica è stato quello di influenzare il meno possibile il comportamento dei delfini.

La registrazione dei dati è passata da intervalli di 10 minuti a intervalli di 3 minuti, utilizzando apposite schede "di avvistamento", che prevedevano, oltre ai dati già precedentemente citati, informazioni di natura biologica quali la dimensione del gruppo (*group size*), la suddivisione e il conteggio degli individui per classi di età distinte tra piccoli, giovani e adulti, e, dove possibile, il numero identificativo di ogni individuo riconosciuto.

Una volta inseriti questi dati, si è proseguito registrando, sempre a intervalli di 3 minuti, dati comportamentali su apposite "schede di comportamento", in modo da poter successivamente correlare queste informazioni con i dati di posizione, numerosità e composizione del gruppo.

Il comportamento è stato classificato secondo un catalogo in cui erano riportate diverse categorie, secondo lo schema fornito da Shane et al. (1990).

- Spostamento/movimento: tutto il gruppo in avvistamento si sta muovendo nella stessa direzione
- Riposo: caratterizzato da un movimento molto lento, poco energetico
- Alimentazione: di solito con immersioni ripetute in direzioni diverse ma tutte nella stessa area, con colpi di coda frequenti e una conformazione a cerchio, spesso accompagnata dalla presenza di pesci o uccelli in superficie.
- Socializzazione: accentuato contatto fisico, ad esempio contatti ventrali oppure associazione madre piccolo
- Accoppiamento

Si sono riportate inoltre nella scheda informazioni accessorie utili allo studio etologico del gruppo, quali: a) eventuali interazioni con la barca loro tipologia (ad esempio attività di *bow-riding*, in cui uno o più esemplari hanno nuotato a prua della barca sfruttando la scia di quest'ultima per eliminare eventuali parassiti epibionti o per depistaggio); b) il tipo di conformazione (ad esempio circolare, tipica della fase di alimentazione) e di formazione (si è intesa la struttura del gruppo, quindi ad esempio lineare o aggregata a triangolo); c) infine, dati specifici quali emissione di bolle, salti, etc. Tutti i dati raccolti durante l'avvistamento tramite le "schede *survey*" e le "schede avvistamento" sono stati poi digitalizzati all'interno di una matrice Excel, rendendo i dati più fruibili e funzionali per condurre le successive analisi statistiche. A seconda dell'analisi condotta, l'unità di riferimento è stata rappresentata dal singolo individuo (analisi di foto-identificazione), dal giorno di avvistamento (*group size*), dall'anno di campionamento (*encounter rate*) o dal singolo set in ogni avvistamento (interazione on attrezzi da pesca).

2.3 Sforzo di campionamento, encounter rate e group size

Lo sforzo di campionamento è stato quantificato come il numero di chilometri percorsi durante ciascun *survey* in mare. I chilometri percorsi giornalmente sono stati ottenuti tramite la registrazione di punti GPS durante la navigazione e successiva interpolazione del tracciato effettuato. La distanza tra punti GPS consecutivi è stata calcolata utilizzando la formula di *Haversine* (Sinnott, 1984), che consente di stimare la distanza geodetica tra due punti sulla superficie terrestre a partire dalle loro coordinate geografiche. Per ciascun anno di studio è stato calcolato il totale dei chilometri percorsi, utilizzato come misura dello sforzo di campionamento. Considerata l'assenza di una stima dettagliata dello sforzo a scala giornaliera uniforme per l'intero periodo di studio, lo sforzo di campionamento

è stato standardizzato su base annuale. Tale approccio ha permesso di confrontare la frequenza di avvistamento tra anni e periodi differenti, riducendo il potenziale effetto di variazioni nello sforzo di ricerca. Al fine di tenere conto della variabilità interannuale nello sforzo di campionamento, il numero di avvistamenti registrati nel corso dello studio è stato standardizzato mediante il calcolo dell'encounter rate espresso come:

$$ER = N_i / km_i$$

dove N_i indica il numero di avvistamenti osservati nell'anno i e km_i la distanza totale percorsa nello stesso anno.

I dati raccolti sono stati analizzati mediante un approccio descrittivo e inferenziale. Lo sforzo di campionamento è stato quantificato su base annuale e utilizzato per il calcolo dell'*encounter rate*, espresso come rapporto tra il numero di avvistamenti registrati in ciascun anno e i chilometri percorsi nello stesso periodo.

La *group size* (dimensione del gruppo) è stata analizzata su scala giornaliera, considerando il numero di individui osservati per ciascun evento. Data la distribuzione asimmetrica dei dati e la presenza di valori estremi, sono state privilegiate misure robuste di tendenza centrale, in particolare la mediana, e rappresentazioni basate sulla distribuzione dei dati.

Le differenze temporali nell'*encounter rate* annuale e nella *group size* giornaliera tra i periodi considerati sono state testate mediante il test non parametrico di Kruskal-Wallis, scelto in quanto non richiede l'assunzione di normalità dei dati. L'anno è stato considerato come unità statistica per l'analisi dell'*encounter rate*, mentre il giorno di avvistamento è stato utilizzato come unità statistica per l'analisi della *group size*. Data la distribuzione asimmetrica dei valori di *group size* e la presenza di valori estremi, l'analisi statistica è stata condotta utilizzando misure robuste di tendenza centrale, in particolare la mediana. La media è stata calcolata esclusivamente a scopo descrittivo e non utilizzata per i confronti statistici.

2.4 Fotoidentificazione

La tecnica della fotoidentificazione è un metodo di marcatura naturale e ricattura che consente di riconoscere univocamente i singoli individui attraverso l'analisi di immagini fotografiche ad alta risoluzione, principalmente delle pinne dorsali, ma non solo anche del dorso, delle aree laterali e della pinna caudale. Nel presente studio, tale tecnica è stata utilizzata per analisi descrittive relative alla composizione dei gruppi e alla presenza di individui identificabili nel tempo.



Figura 2.2 Esempi di esemplari facilmente riconoscibili, a sinistra pinna con numerosi segni e sbecature a destra macchia dorso-laterale. Rispettivamente PHD02 e PHD18



Figura 2.3 PHD05, facilmente riconoscibile per taglio profondo nella porzione anteriore della pinna dorsale

La possibilità di identificare singoli individui all'interno di una popolazione consente di effettuare osservazioni a lungo termine, producendo serie temporali utili per analizzare lo sviluppo e la dinamica delle popolazioni nel tempo, superando una visione puramente istantanea del fenomeno. La fotoidentificazione è stata applicata per la prima volta allo studio del tursiopo da Caldwell nel

1955 e, ad oggi, rappresenta uno dei metodi meno invasivi, più efficienti e meno costosi per studi di questo tipo. Le fotografie utilizzate per la fotoidentificazione devono ritrarre chiaramente la pinna dorsale dell'individuo, con particolare attenzione al margine posteriore, che tende ad assottigliarsi progressivamente dalla porzione anteriore a quella posteriore fino a formare una sottile lamina di tessuto, su questa porzione della pinna si formano frequentemente tagli, tacche o rotture, comunemente definite *skin lesions*, che costituiscono elementi utili per il riconoscimento individuale. Le lesioni cutanee osservabili sulle pinne dorsali possono avere origini diverse e sono state suddivise in tre principali categorie in base alla loro causa:

- Lesioni di natura antropica: derivate da interazioni con attrezzi da pesca, collisioni con natanti o causate direttamente per mano dell'uomo. Si manifestano sotto forma di deformazioni ossee, lividi, abrasioni, amputazioni di una o più appendici o cicatrici molto profonde.
- Lesioni di natura sociale: frutto di interazioni intraspecifiche in fase di accoppiamento, gioco o socializzazione oppure interspecifiche inteso come preda-predatore. Presenti spesso sotto forma dei cosiddetti *tooth rake marks*
- Lesioni di natura infettiva/parassitica: nel primo caso tra le più frequenti abbiamo herpes virus, candidosi, lobomicosi e poxvirus; nel secondo caso il parassita più studiato per i cetacei di ridotte dimensioni sono le diatomee (Van Bresse et al. 2007, Hart et al. 2012).

Oltre alla pinna dorsale si cerca di includere fotogrammi in cui si possa analizzare anche la parte del dorso e le porzioni laterali dell'individuo, che spesso mostrano graffi e pattern di colorazione particolari che possono aiutare nel riconoscimento. I limiti di questa tecnica risiedono nelle abilità del fotografo, nelle caratteristiche della macchina fotografica impiegata; nelle condizioni naturali presenti durante lo scatto (intensità della luce, condizioni del mare), nella capacità dell'operatore che si occupa di analizzare le foto di discriminare i singoli individui e infine nella possibilità che alcuni segni possano subire variazioni nel tempo.

La permanenza dei segni nel tempo e la possibilità di variazione di questi ultimi è di critica importanza per gli studi *mark-recapture* o per le stime di popolazione sul lungo termine; quindi, talvolta oltre ai segni sulla pinna dorsale e graffi presenti sul corpo si utilizza la "*Dorsal ratio*" parametro che equivale al rapporto tra la distanza tra le 2 tacche più grandi presenti diviso la distanza della tacca più bassa dalla punta della pinna (Defran et al., 1990), si ottiene un valore numerico univoco per ogni delfino.

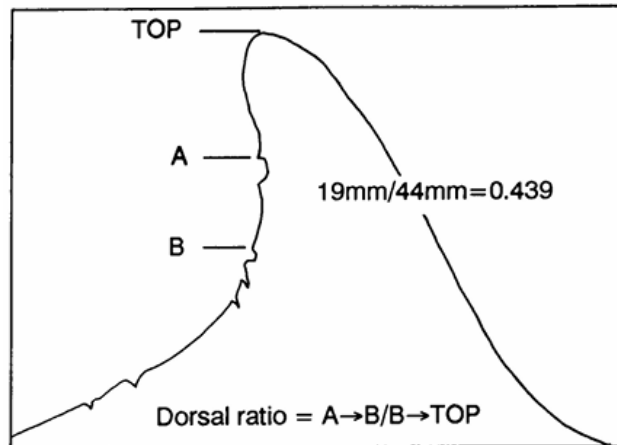


Figura 2.4 Calcolo della "Dorsal ratio" (Defran et al.,1990)

2.4.1 Protocollo di acquisizione delle immagini

In questo studio per ottenere un'immagine utilizzabile, la barca procedeva ad una velocità ridotta con una direzione parallela a quella di movimento del gruppo, la foto veniva scattata perpendicolarmente all'asse del corpo dell'individuo con il fotografo posto tra il soggetto e la fonte di luce (in questo caso quella naturale del sole) in modo da avere la superficie della pinna ben illuminata. Chiaramente minore distanza dall'individuo equivale ad una maggiore risoluzione dell'immagine, dunque, è stato necessario trovare un compromesso tra necessità di risoluzione e soglia di disturbo per il gruppo in analisi.

2.4.2 Catalogo foto-identificativo

Sulla base delle analisi condotte sulle fotografie scattate durante gli avvistamenti è stato costruito un catalogo digitale con l'utilizzo delle sole foto di buona e ottima qualità.

Il catalogo è composto da schede individuali, una per ciascun individuo identificato, all'interno delle quali sono state raccolte le informazioni più rilevanti disponibili per ogni soggetto, insieme alle migliori fotografie a esso associate. Su ogni scheda sono riportati:

- Il numero identificativo assegnato all'individuo (es. PHD01)
- Il nome assegnato all'individuo (es. Pino)
- Il sesso dell'individuo (se noto)
- La classe di età dell'individuo (adulto-giovane-cucciolo)
- La data in cui l'individuo è stato avvistato la prima volta
- Le date degli avvistamenti successivi
- Il numero totale degli avvistamenti
- Eventuali associazioni con altri individui
- Tratti comportamentali riconoscibili e ripetuti
- Caratteristiche e tratti distintivi

PINO PHD01	
Numero identificativo	PHD01
Nome	PINO
Sesso	F
Classe d'età	ADULTO
Data del 1° avvistamento	16/06/2005
Date degli avvistamenti successivi : 17-19-22-23-25-26-27/06/2005; 15/08/2005; 11-16-17-19-25-26/06/2006; 03-08/09/2006; 04-07-09-10-17-21/06/2007; 06/07/2008; 31/08/2008; 02/09/2008; 19/06/2009; 29/03-17/04-30/04-02/06-12/06-14/06-04/10 2010. 23/06/2011, 30/06/2011.	
Totale: 37 avvistamenti	
Associazione con altri individui : spesso con Bartolo, Andrea, Bicolor e Davide, Marzia, Salva e Ludo. Nel 2011 visto solo 2 volte e non più in associazione con Andrea.	
Comportamento: visto una volta da solo. Comportamento schivo. Solo una volta a prua dell'imbarcazione.	
Caratteristiche: pinna molto rovinata. Buco di pallottola sul fianco destro posteriore.	

Figura 2.5 Esempio scheda individuale presente nel catalogo

2.4.3 Analisi dati fotografici

Tutte le fotografie raccolte durante gli avvistamenti effettuati tra il 2005 e il 2025 sono state attentamente esaminate e, tra queste, sono state selezionate le immagini di migliore qualità. A partire da tali fotografie è stato inizialmente costruito un catalogo, costantemente aggiornato nel corso degli anni. Per ogni nuova immagine, la pinna dorsale è stata confrontata con quelle già presenti nel database mediante un sistema di classificazione, al fine di valutare il grado di corrispondenza con individui già identificati o stabilire se si trattasse di un nuovo individuo.

Per la scelta delle fotografie ci si è basati sui seguenti criteri (Berghan et al.,2008):

- Visibilità completa della pinna dorsale;
- Le foto devono mostrare la faccia laterale della pinna dorsale chiara e ben distinta (lato destro e/o sinistro);
- La pinna dorsale nel fotogramma deve essere sufficientemente grande da rendere chiaramente visibili tutte le caratteristiche;
- Il fuoco e l'intensità della luce nell'immagine devono essere tali da distinguere tutte le caratteristiche della pinna o almeno le più distintive;

È seguita poi la fase di "*matching*" che prevede:

- Il confronto tra le pinne dorsali dei tursiopi identificati nei diversi anni di osservazione.
- Identificazione di nuovi individui.
- L'aggiornamento annuale delle foto, le foto degli stessi individui scattate in anni diversi rappresentano le ricatture.
- Verifica della presenza di individui già identificati.
- Registrazione di modifiche eventualmente avvenute sulle caratteristiche distintive delle pinne dorsali dei singoli individui.

Questa fase è uno step di fondamentale importanza perché assicura che non si incappi in cosiddetti errori di identificazione all'interno del catalogo e del database. Due tipi di errori possono essere creati e possono portare al conseguente disadattamento o falsa dichiarazione di individui in un gruppo:

- Errore di tipo 1, "falso-positivo", si verifica quando a individui diversi viene assegnato lo stesso numero identificativo.

- Errore di tipo 2 "falso negativo" si verifica quando allo stesso individuo vengono assegnati 2 o più numeri identificativi (Gunnlaugsson e Sigurjónsson, 1990; Stevick et al., 2001, Auger-Methe, 2008).

In una fase successiva è stata fatta una classificazione di tutte le foto scattate durante gli avvistamenti dal 2005 al 2025 in base alla loro qualità suddividendole in tre gruppi: scarsa, buona e ottima qualità.

In seguito a questa classificazione, sono state inserite all'interno del database le sole foto di buona e ottima qualità. Le caratteristiche naturali delle pinne dorsali tenute in considerazione per la foto identificazione sono:

- Tacche/tagli: assenza di parti di tessuto dal margine posteriore, ma anche anteriore della pinna dorsale;
- Cicatrici e graffi profondi: presenza di cicatrici profonde e graffi sulla pinna dorsale principalmente, e su altre parti del corpo, secondariamente;
- Forma inusuale: pinna dorsale dalla forma particolare rispetto alla classica forma falcata;
- Deformità naturali/non naturali: distorsioni dai normali contorni della pinna dorsale, come la presenza di peduncoli o ferite come quelle causate dalle collisioni con le imbarcazioni o con le eliche dei motori



Figura 2.6 Analisi foto-identificativa della pinna dorsale

È importante sottolineare che il dataset di fotoidentificazione presenta alcuni limiti. La possibilità di identificare degli individui è risultata dipendente dalle condizioni ambientali e dalla qualità delle immagini raccolte, nonché dalla presenza di segni distintivi sufficientemente evidenti. Inoltre, il sesso e la classe di età non sono stati determinabili per tutti gli individui identificati. Di conseguenza, le analisi basate sulla foto-identificazione sono state considerate esclusivamente a fini descrittivi e interpretativi, senza essere utilizzate per stime di abbondanza o valutazioni demografiche della popolazione.

Le analisi di fotoidentificazione sono state condotte a scopo descrittivo e hanno incluso il numero di individui identificati, la frequenza di riavvistamento e la composizione dei gruppi in termini di classi di età e sesso, senza applicazione di modelli di stima della popolazione.

Tutte le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software R (4.5.2), mentre l'organizzazione preliminare dei dati e le analisi descrittive sono state condotte con Microsoft Excel.

2.5 Classi di età

I delfini fotoidentificati sono stati classificati in 3 classi di età sulla base delle dimensioni corporee relative tra individui

- **Adulti:** individui di lunghezza compresa tra i 2,5 e i 3 metri di lunghezza (lunghezza massima registrata nel mar Mediterraneo per individui adulti)
- **Giovani:** individui lunghi circa 2/3 del corpo di un individuo adulto di normali dimensioni (2 metri) e con minore presenza di segni e tacche sul corpo e sulla pinna dorsale;
- **Piccoli:** individui con lunghezza corporea minore della metà di quella di un adulto tipo (2,5 metri), aventi una colorazione corporea più chiara rispetto a quella di un adulto e in associazione, più o meno stretta, con la madre.



Figura 2.7 A sinistra esemplare giovane a destra esemplare adulto



Figura 2.8 Davanti esemplare cucciolo, dietro esemplare giovane

Inoltre è stata condotta un'analisi descrittiva sulla produttività della popolazione nel corso del periodo di studio facendo una distinzione tra periodo 2005-2017 e 2018-2025, cercando di individuare il numero di piccoli per ogni femmina considerata riproduttiva.

2.6 Interazione con attrezzi da pesca

2.6.1 Struttura del dataset

Per l'analisi relativa all'interazione della popolazione di *T. truncatus* nell'area di studio nel periodo compreso tra il 2018 e il 2025 il dataset è stato strutturato su due livelli temporali. Il primo livello è rappresentato dai set registrati ogni 3 minuti, utilizzati per analizzare la frequenza di associazione tra tursiopi e attrezzi da pesca nel tempo. Il secondo livello è rappresentato dall'avvistamento, utilizzato per analizzare la durata degli eventi osservati.

Poiché il dataset relativo al periodo 2018-2025 includeva esclusivamente avvistamenti in cui i tursiopi erano presenti, le analisi non si sono concentrate sulla presenza/assenza della specie, ma sulla frequenza e sulle modalità di associazione con gli attrezzi da pesca.

2.6.2 Frequenza di associazione con attrezzi da pesca

Nel dettaglio la frequenza di associazione tra tursiopi e attrezzi da pesca è stata analizzata a livello di set. Per ciascun anno di monitoraggio è stata calcolata la percentuale di set in cui erano presenti attrezzi da pesca durante gli avvistamenti di tursiopi. Le differenze nella frequenza di set con attrezzi da pesca tra gli anni sono state testate mediante test del χ^2 (chi-quadro) su tabelle di contingenza (attrezzi presenti/assenti x anno). Poiché i set appartenenti allo stesso avvistamento non sono statisticamente indipendenti, il test del χ^2 è stato utilizzato a scopo descrittivo per esplorare la variazione temporale dell'associazione.

2.6.3 Analisi durata avvistamenti

La durata degli avvistamenti è stata analizzata a livello di avvistamento al fine di evitare problemi di pseudoreplicazione legati all'uso dei set come unità indipendenti. La durata di ciascun avvistamento è stata calcolata moltiplicando il numero totale di set consecutivi per la durata del singolo set (3 minuti). Ogni avvistamento è stato classificato come "con attrezzi" nel caso in cui fosse presente almeno un set con attrezzi da pesca, oppure come "senza attrezzi" nel caso in cui non fossero stati osservati attrezzi durante l'intero avvistamento. La durata degli avvistamenti in presenza e assenza di attrezzi è stata inizialmente esplorata mediante analisi descrittive (media, mediana, range).

Per valutare l'effetto della presenza di attrezzi da pesca sulla durata degli avvistamenti di tursiopi è stato applicato un modello lineare generalizzato (GLM). La durata degli avvistamenti (minuti) è stata utilizzata come variabile risposta, mentre la presenza di attrezzi da pesca (si/no) è stata inclusa come variabile esplicativa. Poiché la durata degli avvistamenti è una variabile continua, positiva e caratterizzata da una distribuzione asimmetrica, è stata adottata una distribuzione Gamma con funzione di collegamento logaritmica. Le analisi sono state condotte a livello di avvistamento. Tutte le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software R.



Figura 2.9 Interazione di *T. truncatus* con imbarcazione da pesca



Figura 2.10 Interazione *T. truncatus* attrezzo da pesca sotto costa

3.RISULTATI E DISCUSSIONI

3.1 Sforzo di campionamento

Al fine di contestualizzare i dati raccolti rispetto all'intensità del monitoraggio, e consentire un'interpretazione più accurata e robusta dei risultati, per ciascun anno è stato calcolato lo sforzo di campionamento, espresso come numero totale di chilometri percorsi durante *i surveys* in mare. Questo parametro è stato utilizzato come misura quantitativa dello sforzo di ricerca e come riferimento per valutare le variazioni temporali nel numero di individui identificati. Il numero di chilometri percorsi annualmente varia a seconda dell'anno di studio riflettendo differenze nell'intensità dell'attività di monitoraggio. Lo sforzo complessivo risulta concentrato nel periodo estivo (maggio-settembre), in accordo con quanto descritto nella sezione Materiali e Metodi. I valori annuali di sforzo di campionamento sono riportati in Tabella 3.1 e Figura 3.1, che mostrano l'andamento dei chilometri percorsi nel corso dei periodi di studio e il numero di avvistamenti per ciascun anno.

Tabella 3.1 Riporta il numero di avvistamenti e di chilometri complessivi percorsi per anno durante *i surveys*.

Anno	N° avvistamenti	Km percorsi
2005	22	85,94
2006	20	78,25
2007	35	131,78
2008	7	134,61
2009	8	122,75
2010	31	685,84
2011	19	524,86
2012	4	251,77
2013	16	264,93
2014	21	257,45
2015	18	272,92
2016	7	322,97
2017	9	246,71
2018	2	201,69
2019	19	233,76
2020	10	346,91
2021	10	253,16
2022	2	317,73
2023	23	210,43
2024	7	264,56
2025	11	283,66

Sforzo di campionamento annuale (km percorsi) nel periodo 2005–2025

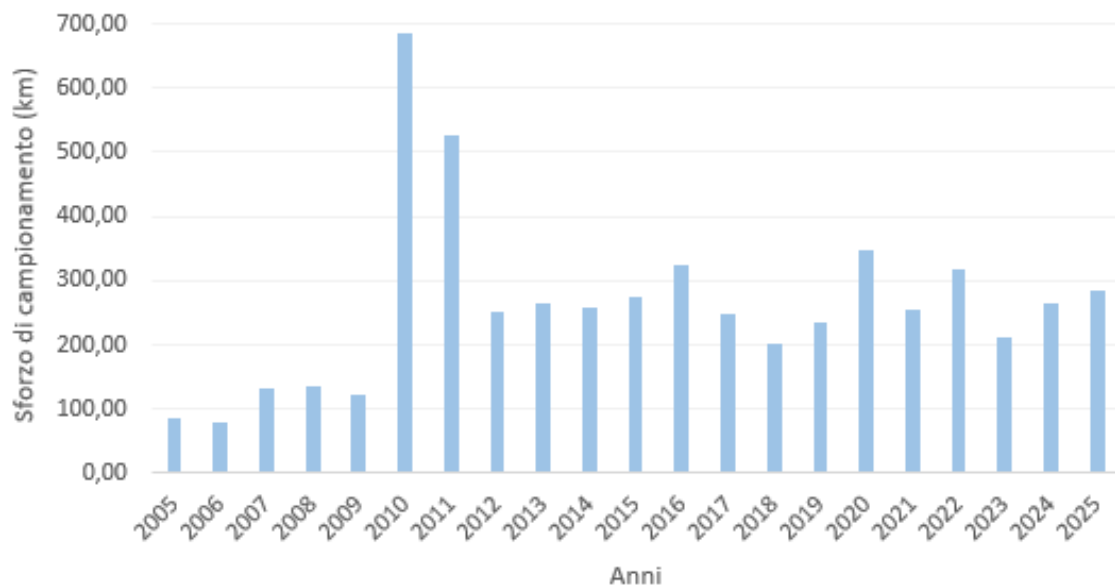


Figura 3.1 Andamento annuale dello sforzo di campionamento espresso come chilometri percorsi durante i *survey* in mare nel periodo 2005–2025

L'analisi dello sforzo di campionamento annuale nel periodo 2005–2025 evidenzia una marcata variabilità interannuale, come chiaramente osservabile dal grafico, in particolare per la presenza di picchi estremamente elevati nel 2010 e nel 2011 con valori annuali compresi tra circa 80 e 686 km.

Considerando l'intera serie temporale, lo sforzo medio annuo risulta pari a **261,56 ± 135,97 km**, valore che indica un'elevata dispersione dei dati attorno alla media. Tale elevata deviazione standard riflette la forte eterogeneità dello sforzo nei primi anni della serie. Il coefficiente di variazione (CV), pari al **52%**, conferma questa interpretazione, evidenziando una variabilità molto elevata rispetto al valore medio.

A partire dal 2012 lo sforzo di campionamento si mantiene relativamente più costante, con oscillazioni moderate tra gli anni; limitando infatti l'analisi al periodo 2012–2025, successivo alla fase caratterizzata dai picchi più marcati, la media annua si mantiene sostanzialmente stabile (**266,33 ± 39,56 km**), ma con una drastica riduzione della deviazione standard. Il coefficiente di variazione si abbassa infatti al **15%**, indicando una variabilità moderata e una maggiore omogeneità dello sforzo nel tempo.

Nel complesso, i risultati mostrano che, pur mantenendosi simile in termini di media annua, lo sforzo di monitoraggio è divenuto significativamente più stabile e standardizzato a partire dal 2012, suggerendo una progressiva strutturazione metodologica delle attività di campionamento e una riduzione delle fluttuazioni estreme osservate nella fase iniziale della serie temporale.

3.2 Encounter rate

Il grafico dell'*encounter rate* (avvistamenti/km) evidenzia una marcata variabilità interannuale nel periodo considerato. Nei primi anni della serie, tra il 2005 e il 2007, si osservano valori particolarmente elevati, compresi approssimativamente tra 0,25 e 0,27 avvistamenti/km.

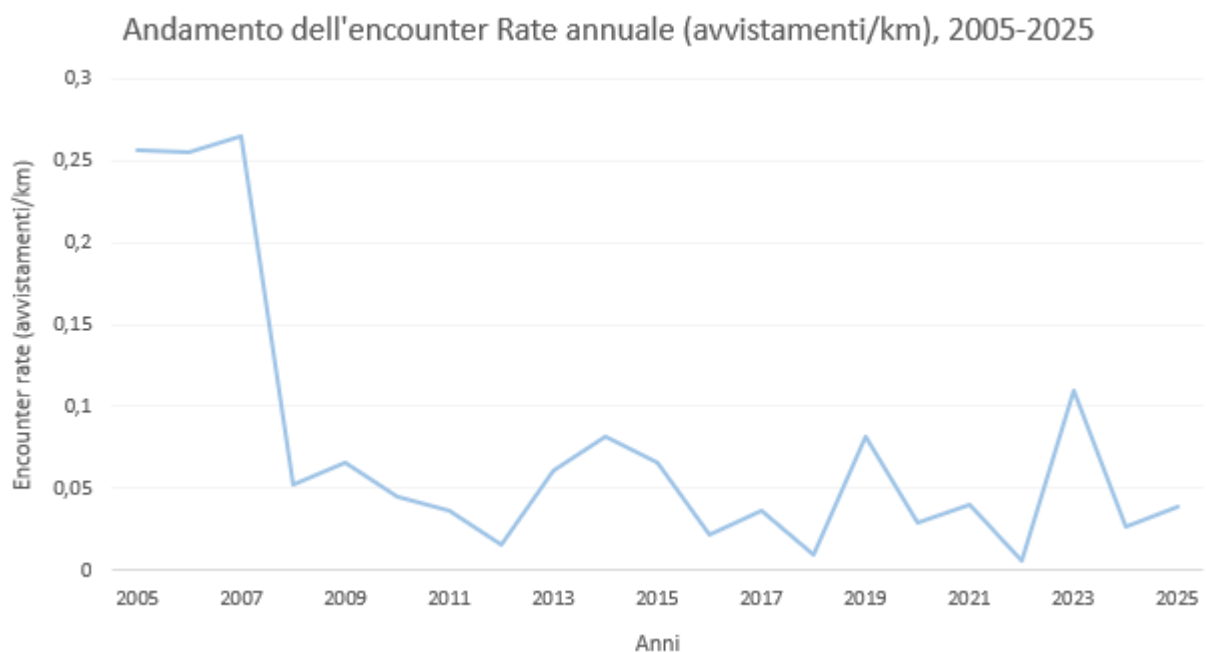


Figura 3.2 Andamento annuale dell'*encounter rate*, calcolato come rapporto tra il numero di avvistamenti e i chilometri percorsi durante i *survey* in mare nel periodo 2005–2025.

Tali valori potrebbero essere attribuibili a uno sforzo di campionamento relativamente ridotto ma concentrato in aree ad alta densità di individui, oppure a un effetto legato alla fase iniziale del monitoraggio, caratterizzata da possibili *bias* di campionamento. Nel quinquennio successivo, tra il 2008 e il 2012, si registra un calo netto e progressivo dell'*encounter rate*, con una successiva

stabilizzazione su valori più contenuti, generalmente compresi tra 0,02 e 0,06 avvistamenti/km. A partire dal 2013 e fino al 2021, l'andamento mostra oscillazioni moderate attorno a valori medio-bassi. Nel 2023 si osserva invece un picco evidente, con un valore prossimo a 0,11 avvistamenti/km, che si discosta dai livelli immediatamente precedenti e successivi, suggerendo un incremento puntuale piuttosto che una variazione strutturale di lungo periodo.

Al fine di approfondire l'interpretazione dei pattern osservati nel grafico, è stato applicato il test statistico non parametrico di **Kruskal-Wallis**, suddividendo l'intero periodo di studio (2005-2025) in quattro sottoperiodi quinquennali. Questa suddivisione ha consentito di confrontare i valori della variabile considerata tra diversi intervalli temporali e di valutare l'eventuale presenza di differenze significative tra i gruppi. Il test non parametrico di Kruskal-Wallis, scelto considerando la distribuzione asimmetrica dei dati e la dimensione campionaria, ha evidenziato differenze statisticamente significative tra periodi considerati (Kruskal-Wallis test, **p= 0,0139**), indicando che l'*encounter rate* non è rimasto costante nel corso del periodo di studio. Il *box plot* dell'*encounter rate* nei quattro periodi di studio (Figura 3.3) evidenzia differenze nella distribuzione dei valori tra i periodi considerati. Il primo periodo mostra valori medi più elevati e una maggiore variabilità interannuale, mentre nei periodi successivi si osserva una progressiva riduzione dei valori medi e distribuzione che appare più concentrata. Gli ultimi due periodi presentano *encounter rate* generalmente più bassi, con una variabilità ridotta e la presenza di alcuni valori estremi.

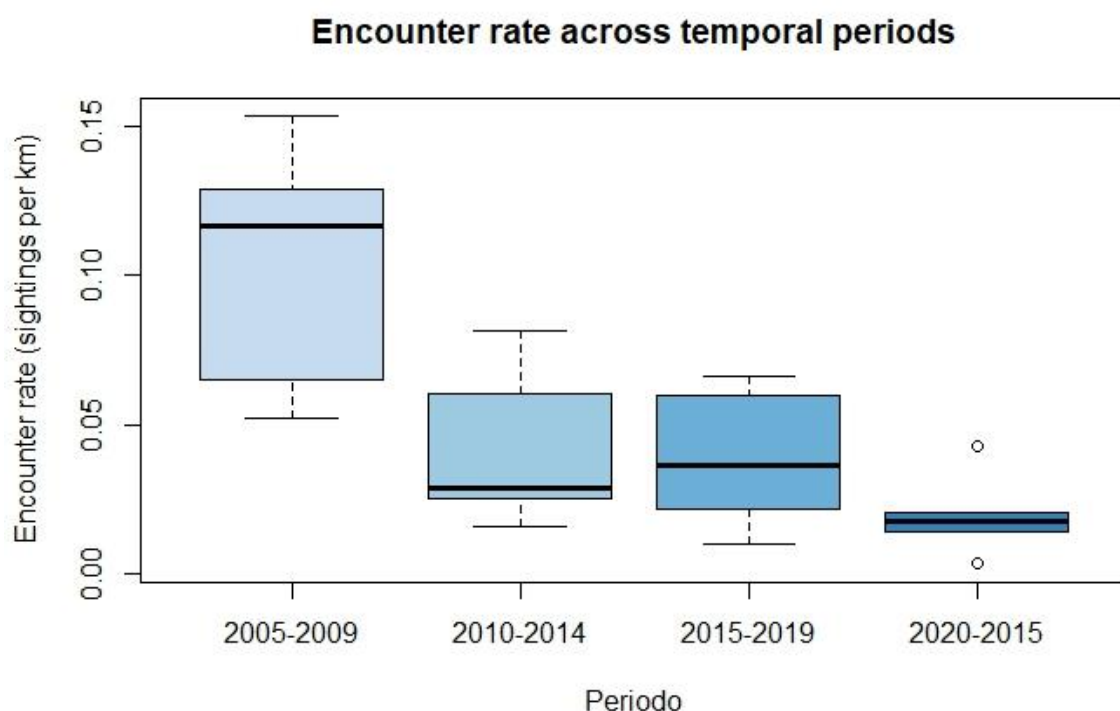


Figura 3.3 Box plot dell'*encounter rate* annuale per periodo temporale. La linea centrale rappresenta la mediana, il box l'intervallo interquartile e i baffi l'estensione dei valori osservati.

Per valutare l'eventuale presenza di una tendenza temporale nell'*encounter rate* (avvistamenti/km) è stata applicata un'analisi di **correlazione di Spearman (ρ)**. Tale test non parametrico è stato scelto in quanto non richiede l'assunzione di normalità dei dati, risulta robusto in presenza di *outliers* e consente di individuare relazioni monotone tra variabili ordinali o quantitative distribuite in modo non necessariamente lineare. Considerata la numerosità relativamente ridotta del campione ($n = 21$ anni) e la presenza di valori estremi nei primi anni della serie (2005–2007).

L'analisi condotta sull'intero periodo 2005–2025 ha evidenziato una correlazione negativa significativa tra anno ed *encounter rate* ($\rho = -0,63$; **$p = 0,002$**), indicando una diminuzione monotona dell'indice nel tempo. Il valore del coefficiente suggerisce una correlazione moderata-forte, mentre il p-value inferiore a 0,01 conferma che tale relazione è statisticamente significativa.

3.3 Group size

La dimensione dei gruppi (*group size*) è stata analizzata su scala giornaliera, considerando il numero di individui osservati per ciascun avvistamento (considerando 1 solo avvistamento al giorno). L'analisi ha incluso tutti i giorni in cui è stata registrata la presenza di tursiope nel periodo di studio 2005-2025.

La distribuzione dei valori di *group size* mostra una marcata variabilità, con gruppi di dimensioni differenti osservati nel corso degli anni. I valori risultano generalmente asimmetrici, con una maggiore frequenza di gruppi di piccole dimensioni e la presenza occasionale di gruppi più numerosi, come evidenziato dalla distribuzione dei dati (Figura 3.4).

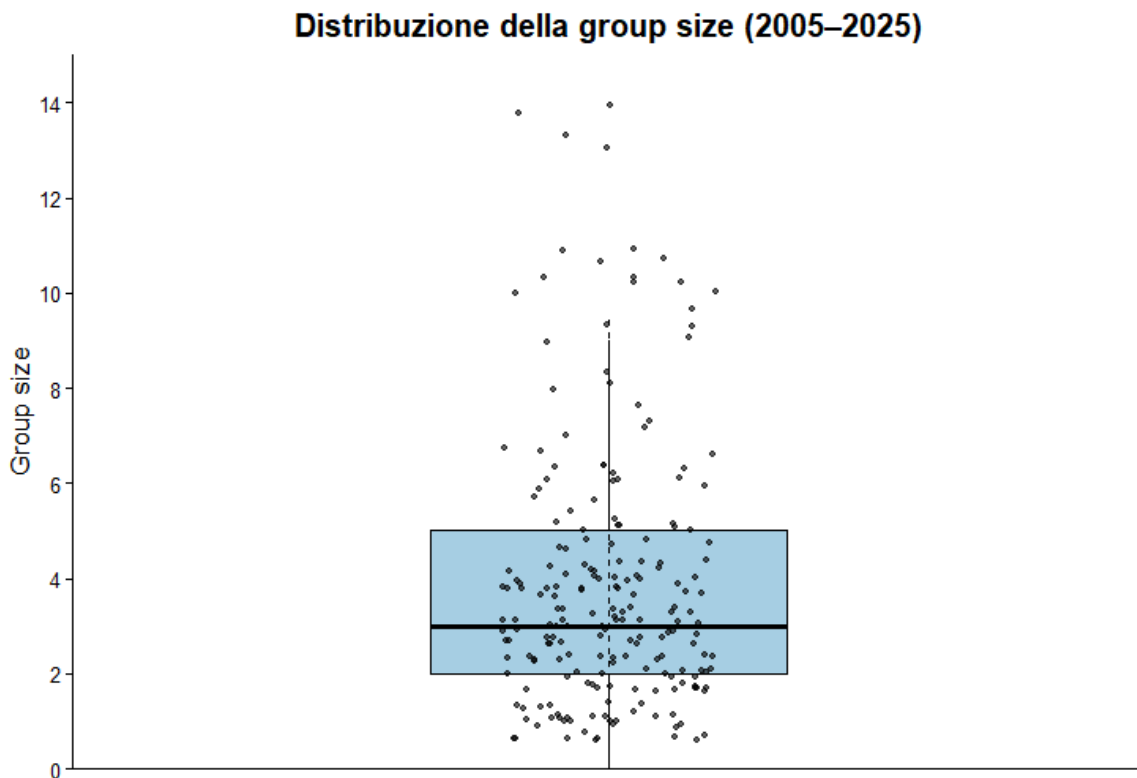


Figura 3.4 Distribuzione dei valori di *group size* osservati durante gli avvistamenti di *Tursiops truncatus* nel periodo 2005–2025. Il *box plot* rappresenta la mediana e i quartili, mentre i punti indicano i singoli avvistamenti.

La distribuzione della *group size* nel periodo 2005–2025 mostra una mediana pari a circa 3 individui per gruppo, con la maggior parte delle osservazioni concentrate tra 2 e 5 individui. Sono presenti valori estremi corrispondenti a gruppi più numerosi, osservati meno frequentemente, che indicano un'elevata variabilità nella dimensione dei gruppi. Tra gli avvistamenti effettuati nel periodo di

studio, i gruppi con il numero più elevato di individui sono stati registrati il 10/06/2010 e il 15/06/2014, in entrambe le occasioni pari a 14 individui.

Per valutare eventuali differenze temporali nella dimensione dei gruppi, i valori di *group size* giornaliera sono stati raggruppati in periodi temporali omogenei (gli stessi usati per l'analisi dell'*encounter rate*) e confrontati mediante *box plot*, rappresentazione che permette di visualizzare la dispersione dei dati intorno a ciascun periodo, le mediane e l'eventuale presenza di estremi.

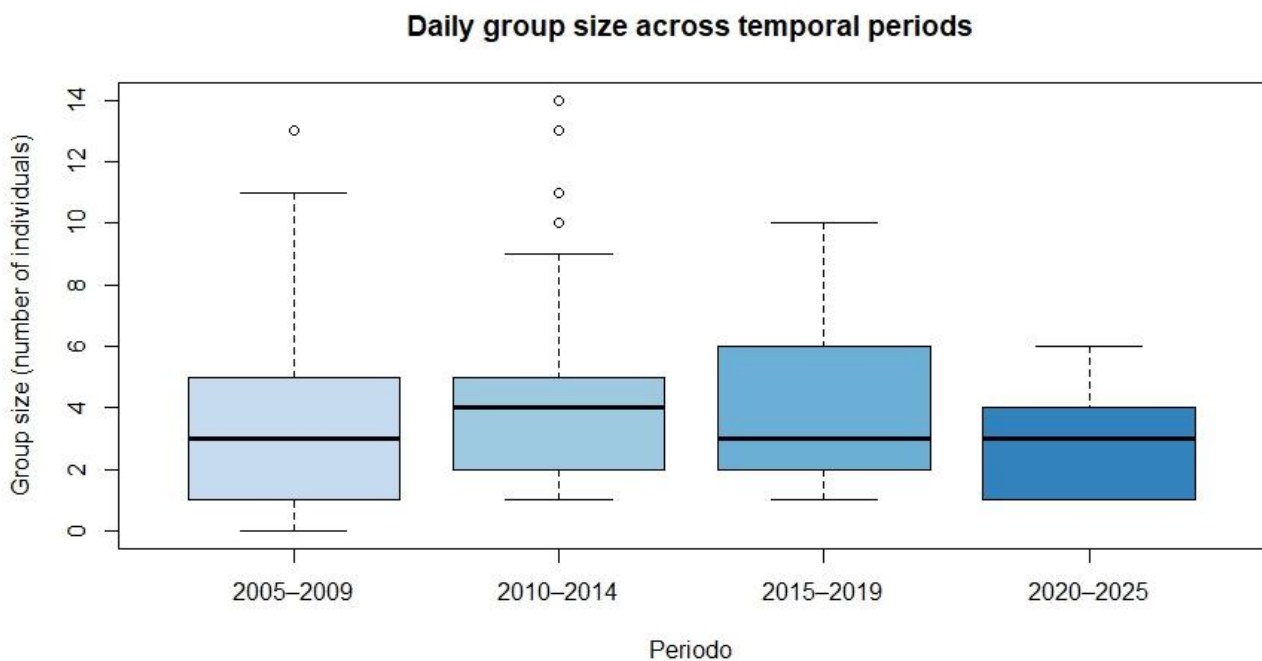


Figura 3.5 *Box plot* della *group size* per periodo temporale. Il confronto tra periodi è risultato statisticamente non significativo (Kruskal-Wallis, $p = 0,103$).

Il *box plot* della dimensione giornaliera dei gruppi nei quattro periodi temporali mostra valori mediani simili tra i periodi, generalmente compresi tra 2 e 4 individui. Tuttavia, si osservano differenze nella variabilità, con una maggiore dispersione e la presenza di gruppi più numerosi nei periodi 2010-2014 e 2015-2019. Nel periodo più recente (2020-2025) la distribuzione appare più concentrata, con una riduzione dei valori massimi osservati.

Il confronto statistico tra periodi è stato effettuato utilizzando sempre il test non parametrico di **Kruskal-Wallis**. L'analisi NON ha evidenziato differenze statisticamente significative nella *group size* tra i periodi considerati (Kruskal-Wallis, $p=0,103$), indicando che la dimensione dei gruppi osservati non mostra variazioni significative nel percorso del periodo di studio.

3.4 Foto-identificazione

Per le analisi condotte sull'intero periodo di monitoraggio (2005–2025), i dati analizzati nel presente studio relativi al periodo 2018-2025, sono stati integrati con quelli relativi al periodo 2005–2017, per i quali le immagini erano già state precedentemente esaminate e catalogate secondo il medesimo protocollo metodologico. L'integrazione dei due dataset ha consentito di ottenere una serie temporale continua e coerente, rendendo possibile l'analisi delle dinamiche di presenza, riavvistamento e fedeltà al sito degli individui su scala pluriennale, nonché la valutazione dei cambiamenti temporali nella struttura della popolazione. Complessivamente sono stati identificati 64 individui.

3.4.1 *New sighted / resighted*

La tabella riporta il numero annuale di nuovi individui, individui ri-osservati e totale delle identificazioni di *T. truncatus* nel periodo 2005–2025.

Tabella 3.2 Andamento annuale delle foto-identificazioni di *T. truncatus*.

Anno	Nuovi identificati	Ri-identificati	Totale
2005	10	0	10
2006	7	5	12
2007	7	13	20
2008	2	12	14
2009	1	18	19
2010	1	19	20
2011	4	16	20
2012	0	6	6
2013	3	13	16
2014	3	16	19
2015	2	23	25
2016	1	27	28
2017	1	25	26
2018	9	5	14
2019	3	11	14
2020	2	9	11
2021	2	8	10
2022	0	3	3
2023	4	2	6
2024	1	5	6
2025	1	6	7

I dati riassumono l'andamento temporale delle identificazioni foto-catalogate e costituiscono la base per l'analisi delle dinamiche di presenza e ri-avvistamento della popolazione nell'area di studio.

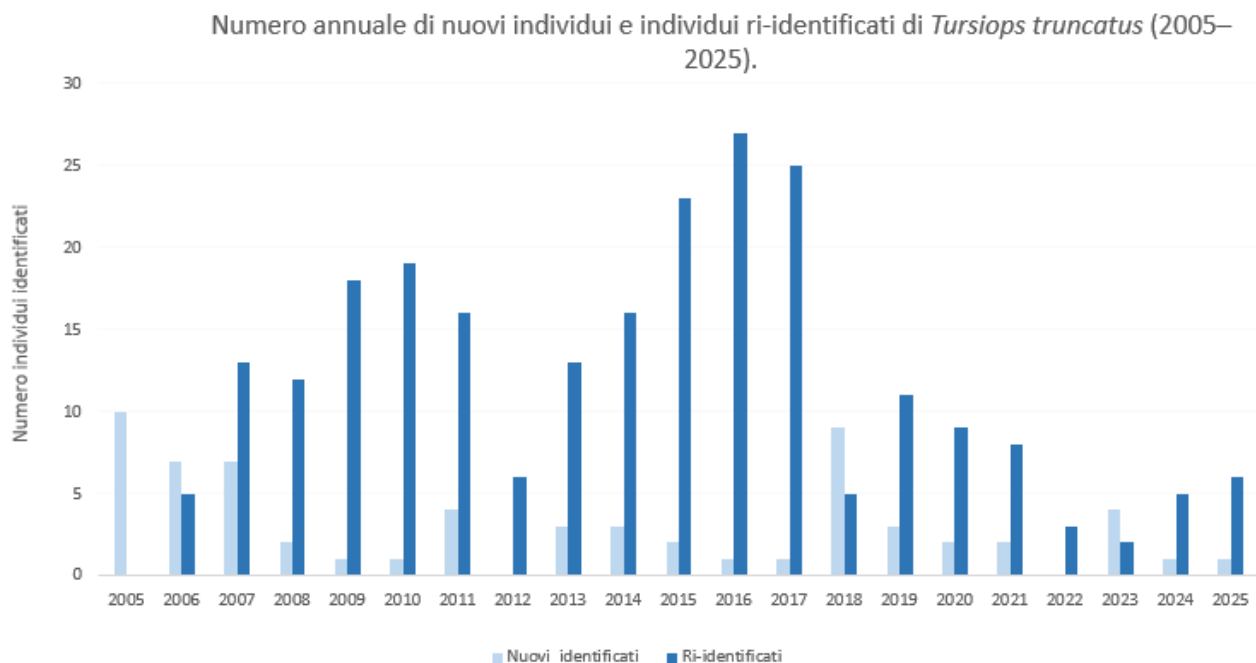


Figura 3.6 Grafico relativo gli individui ri-identificati e quelli identificati per la prima volta nel periodo 2005-2025

Il numero annuale di nuovi individui e individui ri-identificati di *Tursiops truncatus* nel periodo 2005–2025 mostra un andamento variabile nel tempo, con una fase iniziale (2005–2009) caratterizzata da un numero relativamente elevato di nuove identificazioni e da un progressivo incremento delle ri-identificazioni. Nel biennio 2010–2011 si osserva contemporaneamente un picco sia nello sforzo di campionamento sia nel numero complessivo di identificazioni, in particolare di ri-identificazioni. Nel periodo 2012–2017 le ri-identificazioni risultano predominanti rispetto ai nuovi individui, con un massimo tra il 2015 e il 2017. A partire dal 2018 si registra una diminuzione generale sia dei nuovi individui sia delle ri-identificazioni, in concomitanza con uno sforzo di campionamento su valori intermedi rispetto ai picchi precedenti.

3.4.2 Analisi di residenza

Tabella 3.3 Matrice di presenza/assenza degli individui identificati nel periodo 2005–2025

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
PHD01																						
PHD02																						
PHD03																						
PHD03(1)																						
PHD04																						
PHD04(1)																						
PHD04(2)																						
PHD05																						
PHD05(1)																						
PHD06																						
PHD06(1)																						
PHD07																						
PHD08																						
PHD09																						
PHD09(1)																						
PHD10																						
PHD10(1)																						
PHD11																						
PHD12																						
PHD13																						
PHD14																						
PHD15																						
PHD16																						
PHD17																						
PHD18																						
PHD19																						
PHD20																						
PHD21																						
PHD22																						
PHD24																						
PHD25																						
PHD26																						
PHD27																						
PHD28																						
PHD29																						
PHD30																						
PHD31																						
PHD32																						
PHD33																						
PHD35																						
PHD37																						
PHD38																						
PHD39																						
PHD40																						
PHD41																						
PHD42																						
PHD43																						
PHD44																						
PHD44(1)																						
PHD45																						
PHD45(1)																						
PHD46																						
PHD47																						
PHD48																						
PHD49																						
PHD50																						
PHD51																						
PHD52																						
PHD52(1)																						
PHD53																						
PHD53(1)																						
PHD54																						
PHD55																						
PHD56																						

La tabella riporta la matrice di presenza/assenza dei 64 individui fotoidentificati nel periodo 2005–2025. Ciascuna riga corrisponde a un individuo, mentre le colonne rappresentano gli anni di monitoraggio; le celle colorate indicano gli anni in cui l'individuo è stato avvistato e ricatturato fotograficamente, mentre le celle bianche indicano assenza di ricattura. Complessivamente, il pattern evidenzia una variabilità nella continuità temporale degli avvistamenti tra individui, con alcuni soggetti caratterizzati da sequenze di presenza distribuite su più anni consecutivi e altri osservati in modo discontinuo o limitato a intervalli temporali più ristretti. Inoltre, si osserva che diversi individui sono stati documentati prevalentemente nella prima parte del periodo di studio, mentre altri compaiono principalmente negli anni più recenti, riflettendo una distribuzione temporale eterogenea delle ricatture all'interno del dataset.

Dalla tabella si evincono chiaramente 3 distinte tendenze di presenza all'interno della popolazione osservata: il primo riguarda un numero piuttosto ristretto di individui, nel dettaglio 7 (PHD01,PDH02,PDH03,PDH04,PHD07,PDH09 e PDH10), che sono presenti per tutto il periodo di studio e possono essere definiti come “*core residents*” identificati per la maggior parte del periodo e che quindi mostrano un'elevata fedeltà all'area attorno all'isola di Filicudi andando a costituire il “nucleo” di relazioni stabili su cui si innestano agganci temporanei che si dissolvono in fretta; a questo gruppo appartengono per lo più individui adulti tra cui le femmine con il maggiore successo riproduttivo (PHD03, PHD04, PHD10).



Figura 3.7 Individui appartenenti ai “*core residents*”, rispettivamente da davanti verso dietro e da sinistra verso destra: PHD10, PHD03, PHD06, PHD01

Il secondo gruppo è caratterizzato da esemplari che risultano presenti per la prima parte del periodo di studio ma che poi non vengono più identificati negli anni finali, alcuni con un maggiore livello di fedeltà e altri invece con una presenza più sporadica nell'area. Questa categoria potrebbe racchiudere al suo interno individui definibili come “ingressi temporanei” in un network più ampio e mobile che dopo aver sfruttato l'area a scopo per lo più trofico si sono spostati altrove.

L'ultima categoria racchiude alcuni individui che hanno iniziato a frequentare l'area solo negli ultimi anni di studio, tra questi si segnalano diversi esemplari giovani e 4 cuccioli.

A questi 3 raggruppamenti si affiancano infine esemplari avvistati sporadicamente e non con continuità, questi rappresentano gli individui che utilizzano l'area di Filicudi esclusivamente come area di passaggio.

3.4.3 Produttività

Il grafico mostra la produttività delle femmine riproduttive identificate durante il periodo di studio, espressa come numero di piccoli osservati per ciascun individuo.

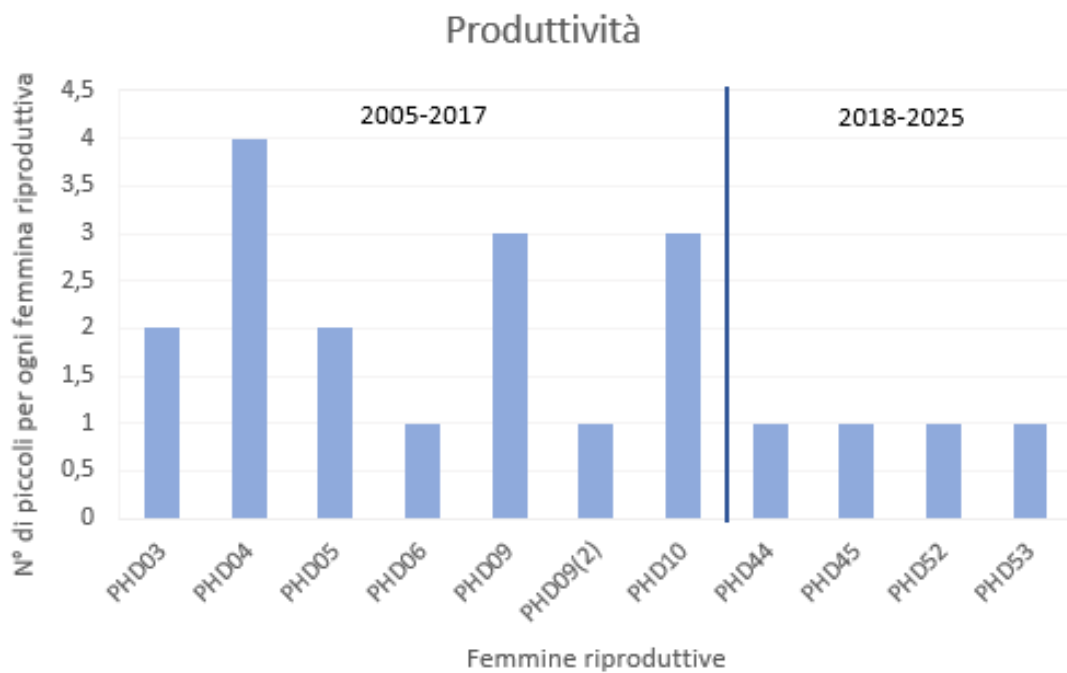


Figura 3.8 Produttività delle femmine riproduttive di *T. truncatus*, espressa come numero totale di piccoli osservati per ciascuna femmina nel corso del periodo di studio.

Nel periodo 2005–2017 sono state documentate più femmine riproduttive, con valori di produttività variabili tra 1 e 4 piccoli per femmina. In particolare, alcuni individui, come PHD04, PHD09 e PHD10, mostrano valori più elevati rispetto alle altre femmine, le altre femmine presentano valori inferiori, con uno o due piccoli osservati durante l'intero periodo.

Nel periodo successivo (2018–2025), il numero di femmine riproduttive documentate risulta inferiore, e ciascuna femmina mostra un numero limitato di piccoli osservati, pari a un singolo evento riproduttivo per individuo. Complessivamente, il grafico evidenzia una variabilità interindividuale nella produttività riproduttiva e una distribuzione non uniforme degli eventi riproduttivi tra le diverse femmine identificate.



Figura 3.9 PHD10 e PHD10(1)



Figura 3.10 PHD04 e PHD04(1)



Figura 3.11 PHD52 e PHD52(1)

3.4.4 Aggiornamento catalogo fotoidentificativo

I dati di fotoidentificazione relativi al periodo 2018–2025 sono stati analizzati nell’ambito del presente studio, attraverso la selezione delle immagini, la valutazione qualitativa e il confronto fotografico finalizzato al riconoscimento individuale degli esemplari. La raccolta di immagini idonee all’identificazione individuale in questo periodo è risultata più sistematica e confrontabile tra anni, consentendo un’analisi standardizzata e robusta dei pattern di presenza e riavvistamento. Sono state selezionate esclusivamente fotografie di qualità buona e ottima, utilizzate per la costruzione e l’aggiornamento del catalogo foto-identificativo, permettendo il riconoscimento degli individui già noti e l’eventuale identificazione di nuovi soggetti. Per ciascun anno è stato determinato il numero di individui identificati e il numero di ricatture, intese come riavvistamenti di individui già presenti nel catalogo, nonché l’anno del primo avvistamento per ciascun individuo. Il monitoraggio precedente condotto dagli inizi dello studio nel 2005 fino al 2017 aveva già consentito l’identificazione complessiva di 42 individui distinti, costituendo la base del catalogo foto-identificativo. I dati analizzati nel presente lavoro si inseriscono pertanto in una serie storica già avviata, contribuendo all’aggiornamento e all’espansione del catalogo esistente. L’andamento del numero cumulativo di individui identificati nel tempo è riportato in Figura 3.12, evidenziando l’incremento progressivo del catalogo nel corso del periodo di studio.

La curva cumulativa degli individui foto-identificati mostra un incremento progressivo del numero totale di individui nel periodo di studio, passando da 10 individui nel 2005 a 64 individui nel 2025. Nei primi anni di monitoraggio (2005–2007) si osserva un aumento rapido, con il numero di individui che passa da 0 a 24, suggerendo una fase iniziale di intensa acquisizione di nuovi individui. Successivamente, tra il 2008 e il 2012, l’incremento rallenta, con valori che crescono più gradualmente e una breve fase di stasi intorno al 2011–2012 (32 individui). Dal 2013 al 2017 la crescita riprende in modo costante ma moderato, raggiungendo 42 individui. Un aumento marcato si registra nel 2018, con un salto da 42 a 51 individui, indicando un significativo aggiornamento del catalogo in quell’anno. Negli anni successivi (2019–2025), la curva torna a crescere lentamente, con incrementi annuali ridotti e alcune fasi di stabilizzazione (ad esempio tra 2021 e 2022), fino a raggiungere un totale di 64 individui nel 2025.

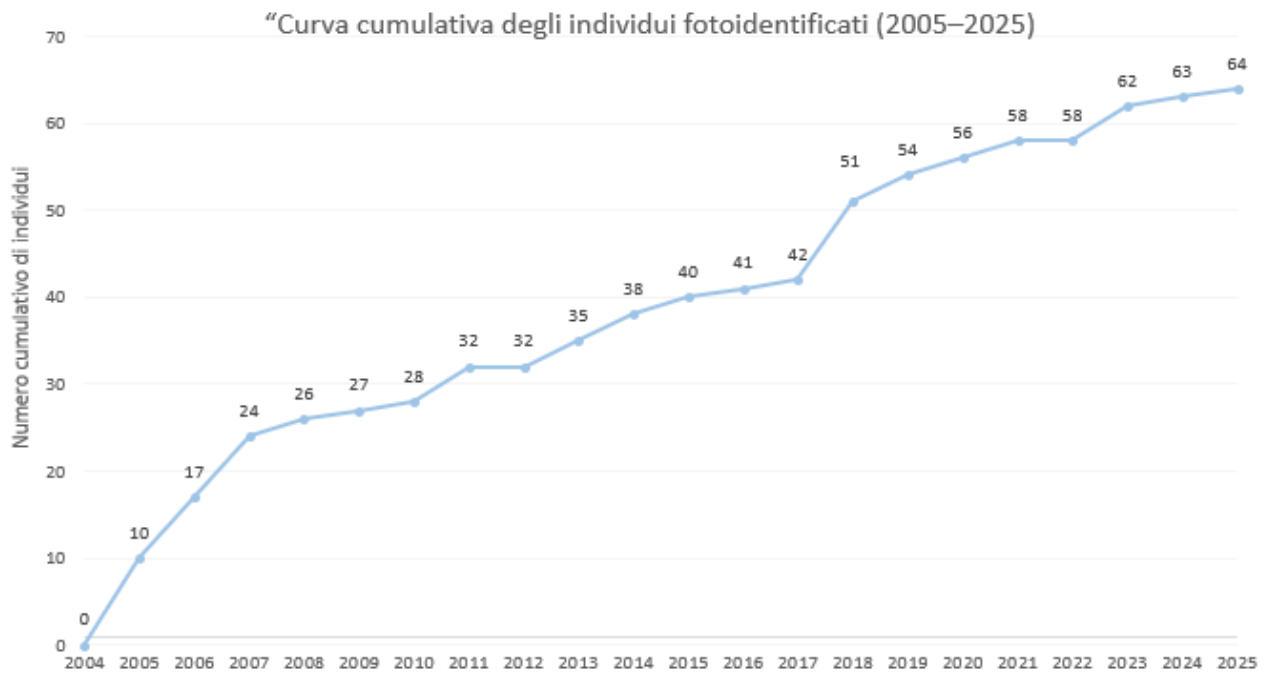


Figura 3.12 Andamento della curva cumulativa degli individui fotoidentificati nel periodo di studio 2005-2025

Nel complesso, l'andamento della curva suggerisce una progressiva saturazione del catalogo fotoidentificativo, con una diminuzione del tasso di scoperta di nuovi individui nel tempo, intervallata da occasionali incrementi più consistenti.

3.5 Classi di età

Al fine di descrivere la composizione demografica della popolazione, gli individui foto-identificati sono stati suddivisi annualmente in tre classi di età (adulti, giovanili e cuccioli).

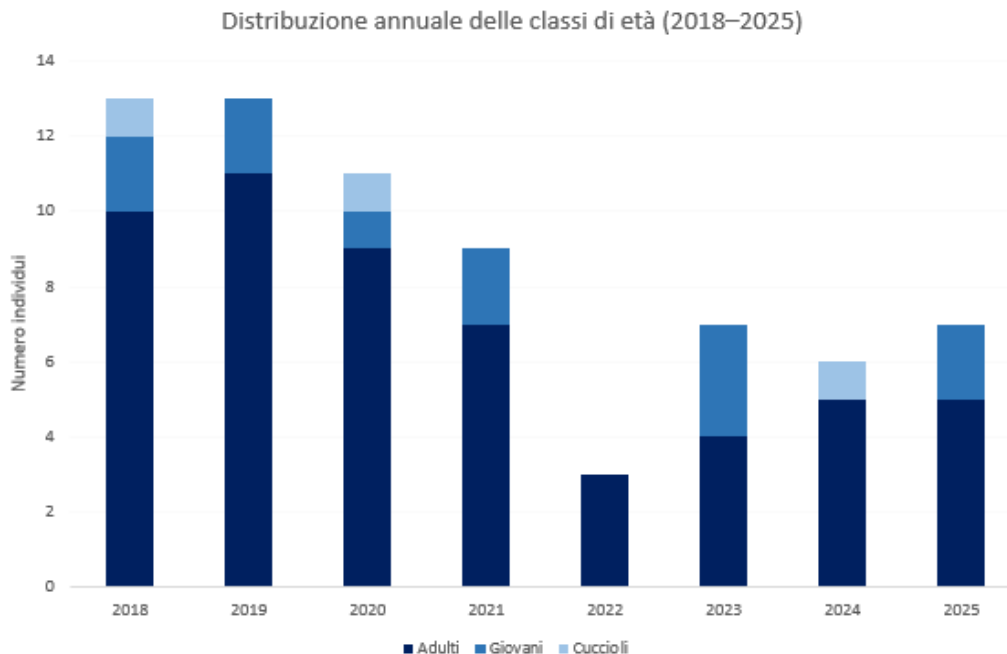


Figura 3.13 Distribuzione annuale delle classi di età (adulti, giovanili e cuccioli) degli individui di tursiope foto-identificati nel periodo 2018–2025.

La distribuzione annuale delle classi di età nel periodo 2018–2025 mostra una predominanza costante degli individui adulti in tutti gli anni considerati. Le classi dei giovanili e dei cuccioli risultano meno rappresentate e mostrano una variabilità interannuale, con alcuni anni caratterizzati dall'assenza o dalla bassa frequenza di cuccioli. Negli anni più recenti si osserva una lieve ripresa della presenza di individui giovani.

3.6 Interazione con gli attrezzi da pesca

Nel periodo di studio, la frequenza di set in cui erano presenti attrezzi da pesca durante gli avvistamenti di tursiopi ha mostrato una marcata variazione temporale. La percentuale annuale di set associati alla presenza di attrezzi da pesca evidenzia un andamento non costante nei primi anni del monitoraggio, seguito da un incremento evidente a partire dal 2023 (Fig. 3.14).



Figura 3.14 Variazione annuale della percentuale di set con attrezzi da pesca durante gli avvistamenti di tursiopi nel periodo 2018–2025.

Il test del χ^2 ha evidenziato differenze statisticamente significative nella frequenza di set con attrezzi da pesca tra periodi analizzati ($p \ll 0,001$) indicando che l'associazione tra tursiopi e attrezzi da pesca varia significativamente nel tempo.

$$\chi^2 (p = 3.8 \times 10^{-6})$$

3.6.1 Durata degli avvistamenti:

a) Analisi descrittiva

La durata degli avvistamenti di tursiopi differisce tra le due condizioni analizzate, ovvero in presenza e in assenza di attrezzi da pesca (Fig. 3.15).

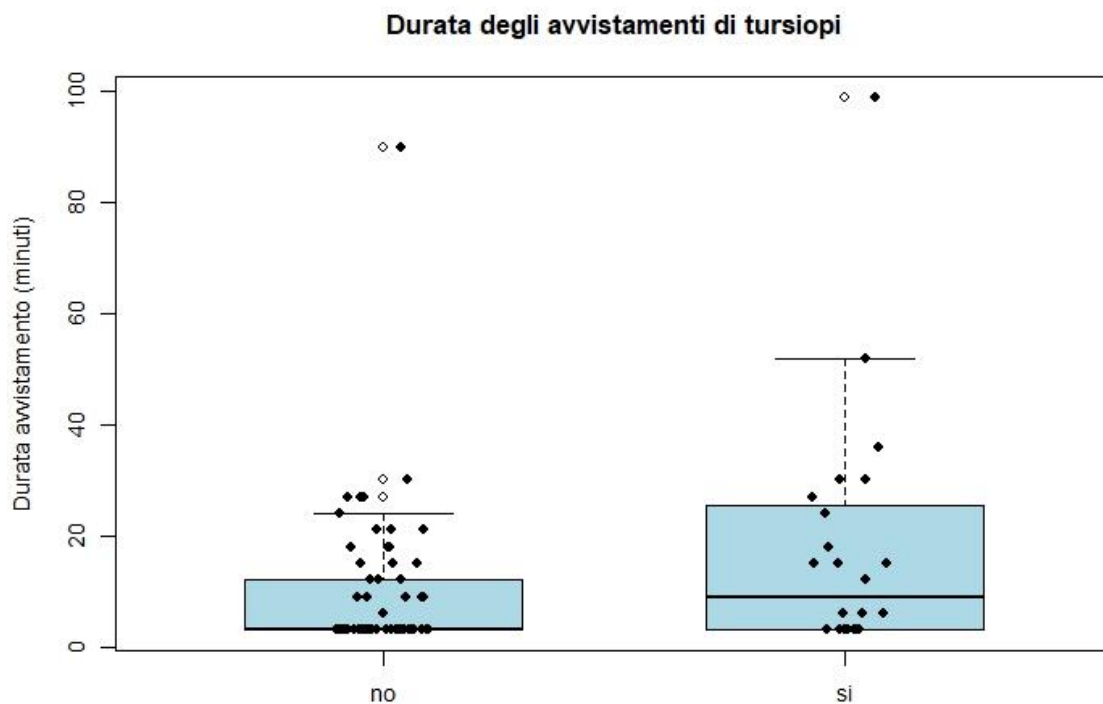


Figura 3.15 Box *plot* della durata degli avvistamenti di tursiopi (minuti) in presenza (si) e assenza (no) di attrezzi da pesca. La linea centrale indica la mediana, i *box* rappresentano il primo e terzo quartile e i punti i singoli avvistamenti.

Gli avvistamenti associati alla presenza di attrezzi mostrano una durata mediamente maggiore e una variabilità più elevata rispetto a quelli in cui tali attrezzi risultano assenti.

In particolare, la durata media degli avvistamenti in presenza di attrezzi da pesca è pari a 17,4 minuti (mediana = 9 minuti) mentre gli avvistamenti senza attrezzi presentano una durata media di 9,6 minuti (mediana = 6minuti).

Tabella 3.4 Riporta valori di media e mediana valutate in minuti della durata degli avvistamenti con e senza attrezzi da pesca

Condizione	Media (min)	Mediana (min)
Con attrezzi	17,4167	9
Senza attrezzi	9,5902	3

b) Modello statistico (GLM)

Per valutare quantitativamente l'effetto della presenza di attrezzi da pesca sulla durata degli avvistamenti di tursiopi è stato applicato un modello lineare generalizzato (GLM) con distribuzione Gamma e funzione di collegamento logaritmica. Il modello ha evidenziato una tendenza all'aumento della durata degli avvistamenti in presenza di attrezzi da pesca, sebbene l'effetto non risulti statisticamente significativo al livello $\alpha = 0,05$ ($p = 0,068$).

```
Call:
glm(formula = Durata_min ~ Attrezzi, family = Gamma(link = "log"),
     data = dati)

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2.2607      0.1712  13.204  <2e-16 ***
Attrezzisi   0.5967      0.3222   1.852  0.0676 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

In particolare, il modello stima che la durata degli avvistamenti associati alla presenza di attrezzi da pesca sia mediamente circa 1,82 volte maggiore rispetto agli avvistamenti in cui tali attrezzi erano assenti.

$$\exp(0.5967) = 1,82$$

Nel complesso, i risultati dell'analisi descrittiva e del modello statistico sono coerenti con la tendenza temporale osservata, suggerendo che la presenza di attrezzi da pesca è associata a una maggiore persistenza dei tursiopi nell'area, sebbene con un'elevata variabilità inter-avvistamento.

DISCUSSIONI

L'analisi dello sforzo di campionamento annuale nel periodo 2005–2025 evidenzia un andamento caratterizzato da marcata variabilità nei primi anni della serie e da una progressiva stabilizzazione a partire dal 2012. Il grafico mostra infatti valori relativamente contenuti tra il 2005 e il 2009, seguiti da un picco eccezionale nel biennio 2010–2011, in particolare nel 2011, anno in cui si registra il massimo valore della serie. Successivamente, lo sforzo si assesta su valori più omogenei, generalmente compresi tra circa 200 e 300 km annui. La concentrazione dello sforzo di campionamento nel periodo estivo (maggio-settembre), coerente con quanto descritto nei Materiali e Metodi, rappresenta un elemento metodologico importante, poiché consente di ridurre l'effetto della stagionalità sulle analisi e di rendere i confronti interannuali più robusti. Dall'altra parte, la variabilità osservata nello sforzo di campionamento sottolinea la necessità di adottare indici standardizzati, come l'*encounter rate*, per interpretare in modo corretto l'andamento degli avvistamenti nel tempo. Dunque, i risultati indicano come la fase iniziale del monitoraggio sia stata caratterizzata da una minore uniformità nella pianificazione dello sforzo, verosimilmente legata a una fase di avvio e consolidamento del protocollo di campionamento. A partire dal 2012 si osserva invece una strutturazione metodologica più stabile, con uno sforzo annuo relativamente costante e coerente tra gli anni. Tale stabilizzazione rappresenta un elemento metodologicamente rilevante, in quanto riduce il potenziale effetto di variazioni nello sforzo sull'interpretazione degli indici di presenza, migliorando l'affidabilità del confronto temporale.

L'analisi dell'*encounter rate* nel periodo 2005–2025 evidenzia una significativa variazione temporale nella frequenza di avvistamento di *T. truncatus* nell'area di studio, con valori particolarmente elevati nella fase iniziale del monitoraggio (2005–2007), seguiti da una riduzione e da una successiva stabilizzazione su livelli mediamente inferiori negli anni più recenti. La correlazione negativa significativa rilevata mediante il test di Spearman ($\rho = -0,63$; $p = 0,002$) conferma la presenza di una diminuzione complessiva dell'indice nel tempo, suggerendo una variazione nell'intensità di utilizzo dell'area da parte della specie piuttosto che una semplice fluttuazione casuale. Il confronto tra periodi temporali, supportato dall'analisi mediante *box plot* e dal test di Kruskal–Wallis, evidenzia inoltre una riduzione progressiva dei valori mediani e della variabilità interannuale dell'*encounter rate*, indicando una transizione da una fase iniziale caratterizzata da una maggiore frequenza e

variabilità degli avvistamenti a una fase più recente con valori più stabili ma inferiori. Questo pattern suggerisce una dinamica complessa e non lineare nell'uso dell'area, coerente con uno scenario in cui l'area di Filicudi rappresenti un habitat ad utilizzo non esclusivo ma variabile nel tempo, probabilmente in risposta a cambiamenti nelle condizioni ambientali, nella disponibilità trofica o nelle pressioni antropiche. In questo contesto, studi recenti condotti su scala mediterranea evidenziano come la distribuzione e l'uso dell'habitat da parte del tursiope siano fortemente influenzati da fattori ambientali quali la batimetria, la morfologia della piattaforma continentale e la distribuzione delle risorse, riflettendo una marcata plasticità ecologica della specie e l'assenza di una rigida segregazione spaziale degli individui (Bellingeri et al., 2025). L'eterogeneità spaziale e temporale nell'uso dell'habitat, ampiamente documentata per le popolazioni mediterranee di *T. truncatus* (La Manna et al., 2023; Giralt Paradell et al., 2023; Vizeu-Pinheiro et al., 2025), supporta l'ipotesi che la diminuzione dell'*encounter rate* osservata nel presente studio possa riflettere una riorganizzazione spaziale dell'uso dell'area, compatibile con uno spostamento del core habitat o con una variazione nella sua importanza funzionale nel contesto di un sistema di habitat interconnessi. È inoltre necessario considerare che l'*encounter rate* rappresenta un indice relativo, influenzato anche dalla probabilità di rilevamento e dallo sforzo di campionamento; tuttavia, la persistenza del trend negativo e le differenze significative tra periodi temporali suggeriscono che le variazioni osservate riflettano almeno in parte cambiamenti reali nell'utilizzo dell'area. Nel complesso, questi risultati indicano che l'area di studio svolge un ruolo dinamico nell'ecologia spaziale della specie, configurandosi come un'area di utilizzo flessibile la cui importanza relativa può variare nel tempo, piuttosto che come un'area di residenza stabile per l'intera popolazione locale.

L'analisi della group size di *T. Truncatus* osservati nell'area di studio nel periodo 2005-2025 evidenzia una struttura sociale caratterizzata per lo più da gruppi di piccole dimensioni, con una mediana pari a circa 3 individui e la maggior parte delle osservazioni che contano tra i 2 e i 5 individui.

La prevalenza di gruppi di piccole dimensioni è coerente con quanto riportato in numerosi studi condotti in Mediterraneo centrale ed occidentale, nei quali *T. truncatus* mostra struttura sociale di tipo *fission-fusion*, con dimensioni e composizione dei gruppi che variano in funzione del contesto ambientale, delle attività svolte e della distribuzione delle risorse trofiche (Bearzi et al.,1997,1999; Gnone et al.,2011; Carde et al.;2023; Gerber et al.;2022). In particolare, gruppi ridotti sono frequentemente associati a fasi di spostamento o a strategie di foraggiamento opportunistico,

soprattutto in ambienti costieri e insulari (Bearzi et al., 2008; Louis et al., 2015). Tali condizioni risultano compatibili con quanto osservato nell'area di Filicudi, caratterizzata da un rapido gradiente batimetrico e da una distribuzione eterogenea delle risorse come già evidenziato in precedenti studi condotti nella area (Blasi, 2010, 2014). Il confronto tra periodi temporali non ha evidenziato differenze statisticamente significative nella dimensione dei gruppi, indicando che, nonostante le fluttuazioni osservate nello sforzo di campionamento e nell'*encounter rate*, la struttura dimensionale dei gruppi è rimasta piuttosto stabile nel corso dei vent'anni di monitoraggio. Questo risultato suggerisce che eventuali variazioni nella frequenza di avvistamento non si traducano necessariamente in cambiamenti nella struttura sociale di base della popolazione che utilizza l'area.

L'analisi descrittiva mette in evidenza una maggiore variabilità e la presenza di gruppi numerosi nei periodi 2010-2014 e 2015-2019, mentre nel periodo più recente (2020-2025) la distribuzione appare più concentrata e con valori massimi inferiori. Nonostante tali differenze non risultino statisticamente significative ($p\text{value} = 0,103$) potrebbero riflettere cambiamenti nel contesto ecologico o modalità di sfruttamento dell'area come una minore aggregazione temporanea di individui o una diversa distribuzione spaziale delle attività di gruppo.

I risultati indicano che l'area di Filicudi è utilizzata prevalentemente da piccoli gruppi, in linea con quanto osservato in altri contesti insulari e costieri del Mediterraneo, dove *T. truncatus* tende a organizzarsi in unità sociali di dimensioni ridotte e strutturate, associate a specifiche caratteristiche ambientali e alla distribuzione delle risorse (La Manna et al., 2022; Feliu-Tena et al., 2023; Soster et al., 2025). La stabilità della *group size* nel tempo rafforza l'ipotesi che l'area venga frequentata da individui e piccoli gruppi che mantengono una certa continuità nella modalità di aggregazione anche se all'interno di una dinamica spaziale e temporale abbastanza flessibile.

L'applicazione della tecnica della foto-identificazione nel periodo 2018–2025, integrata con i dati storici relativi al periodo 2005–2017, ha permesso di ottenere informazioni chiave sull'utilizzo dell'area di studio da parte di *T. truncatus*, fornendo una prospettiva individuale di lungo periodo e consentendo di analizzare le dinamiche di presenza, riavvistamento e fedeltà al sito. L'incremento progressivo del numero cumulativo di individui foto-identificati, accompagnato dalla presenza di numerose ricatture, indica che l'area di Filicudi è frequentata sia da individui occasionali sia, in numero più limitato, da individui che mostrano una maggiore continuità di presenza nel tempo questo dato indica la presenza di una componente numericamente consistente di soggetti che

utilizzano l'area in modo sporadico, affiancata da un nucleo più ristretto di individui frequentemente ricatturati. Questo pattern è coerente con quanto osservato in altre popolazioni mediterranee, nelle quali la foto-identificazione ha evidenziato la coesistenza di individui residenti o semi-residenti e individui transitori, soprattutto in contesti costieri e insulari (Bearzi et al., 1999; Gnone et al., 2011; Louis et al., 2015). L'andamento non uniforme della curva cumulativa degli individui identificati, caratterizzato da fasi di incremento alternate a periodi di apparente stabilità, supporta ulteriormente l'ipotesi di un utilizzo dinamico dell'area di studio.

L'analisi congiunta delle nuove identificazioni e delle ri-identificazioni evidenzia una transizione da una fase iniziale di espansione del catalogo, caratterizzata da numerose nuove identificazioni, a una fase successiva dominata dalle ricatture, suggerendo il consolidamento della conoscenza della popolazione locale. In particolare, il periodo centrale del monitoraggio (2012–2017) è caratterizzato da una predominanza delle ri-identificazioni anche in presenza di uno sforzo relativamente stabile, indicando la presenza di una componente residente con elevata fedeltà al sito e alta sopravvivenza apparente. La riduzione osservata a partire dal 2018, non completamente proporzionale alla variazione dello sforzo di campionamento, potrebbe riflettere una variazione reale nell'intensità di utilizzo dell'area, compatibile con una riorganizzazione spaziale della popolazione o con cambiamenti nelle condizioni ambientali o trofiche. Questo andamento è coerente con la plasticità ecologica del tursiope e con la variabilità nell'uso dell'habitat documentata per le popolazioni mediterranee, nelle quali l'importanza relativa di specifiche aree può variare nel tempo (La Manna et al., 2023; Giralt Paradell et al., 2023; Vizeu-Pinheiro et al., 2025).

La matrice di presenza/assenza e l'identificazione di individui osservati in entrambi i macro-periodi di studio evidenziano inoltre l'esistenza di un sottogruppo caratterizzato da una marcata continuità temporale di presenza, configurabile come evidenza di *long-term site fidelity*. Questi individui, classificabili come *core residents* o super-residenti, mostrano una persistenza su scala pluriennale (fino a 19 anni) e suggeriscono l'esistenza di un nucleo stabile che utilizza regolarmente l'area di Filicudi come parte integrante del proprio home range. Al contrario, la maggior parte degli individui identificati presenta pattern di presenza discontinui o limitati nel tempo, risultando compatibile con una componente più mobile o transiente. La coesistenza di individui altamente residenti e individui occasionali delinea quindi una struttura di popolazione composita, nella quale un nucleo residente stabile coesiste con una componente più dinamica che contribuisce alla connettività su scala regionale, come già documentato in altre popolazioni costiere mediterranee. Negli ultimi anni

sembra ci sia stato un ingresso di nuovi individui, la cui presenza nel tempo potrà solo essere confermata con futuri studi.

Nel complesso arcipelago delle Eolie, la popolazione di *T. truncatus* studiata a Filicudi mostra una *fission–fusion* society mista, nella quale la popolazione si riorganizza di continuo in sottogruppi che si formano, si sciolgono e si riaggregano su scale di giorni e stagioni, con compagni costanti che permangono nel tempo e conoscenze casuali che decadono rapidamente. In particolare, si delinea una società in cui i delfini mantengono un “nucleo” di relazioni stabili su cui innestano agganci temporanei che si dissolvono in fretta (Blasi & Boitani, 2014). La differenziazione sociale è alta: nella rete convivono legami molto forti e legami deboli, e gli individui più “centrali” tendono a entrare in contatto con altri individui a loro volta ben connessi, segno di una rete gerarchicamente differenziata.

Nel dettaglio, secondo Blasi & Boitani, la popolazione studiata si divide in due “social units” miste, connesse ma diverse per coesione, residenza e uso dell’habitat. La *unit-1* è femmine-centrica: accoglie la maggior parte delle femmine (spesso con piccoli), presenta gruppi più grandi della media e una residenza più marcata nell’area; allo stesso tempo, mostra minore frequenza di incontri vicino alle reti da pesca (tramaglio). Le femmine con piccoli concentrano relazioni forti e prediligono gruppi più grandi, limitando l’esposizione alle reti: è una scelta che massimizza difesa, *allomaternal care* e apprendimento sociale, riducendo costi e rischi associati al disturbo umano.

La *unit-2* è maschi-centrica: include la maggioranza dei maschi, mostra gruppi piccoli o diadi/triadi preferenziali e una maggiore interazione con le reti; ospita inoltre individui solitari o con legami brevi, suggerendo ingressi temporanei in un network più ampio e mobile (specialmente in periodo riproduttivo). In termini *fission–fusion*, la *unit-1* svolge la funzione di “ancoraggio” (*fusion*) della comunità: co-protezione da predatori e maschi coercitivi, cura e educazione dei piccoli, possibilità di riposo e socialità, la *unit-2* immette variabilità (*fission*) attraverso strategie maschili diversificate e un uso più opportunistico delle risorse antropiche.

Il motore delle fusioni e scissioni sono molteplici fattori: l’interazione di sesso/stato riproduttivo, ecologia su piccola scala e interazioni antropiche. L’accesso opportunistico a risorse “create” dall’uomo favorisce spesso gruppi piccoli o il foraggiamento del singolo individuo, perché riduce competizione intragruppo; tuttavia, a Filicudi coesistono anche micro-associazioni maschili presso le reti, segno che la stessa pressione ecologica può generare soluzioni sociali alternative all’interno

della *fission–fusion*. Le reti tramaglio agiscono come un modulatore esterno: per alcuni maschi incentivano la scissione e la specializzazione, per il nucleo femminile spingono verso la fusione difensiva e l'evitamento spaziale.

L'analisi della fedeltà al sito e dei pattern di presenza ha permesso di delineare una struttura di popolazione stratificata, in cui la coesistenza di diverse strategie di utilizzo dell'habitat riflette la complessità sociale tipica di *T. truncatus*. I risultati evidenziano tre tendenze principali che suggeriscono l'esistenza di un nucleo stabile di "core residents" (7 individui), caratterizzato da un'elevata persistenza temporale che, in alcuni casi, raggiunge i 19 anni. Questa componente stanziale della popolazione, composta prevalentemente da femmine adulte con alto successo riproduttivo (come PHD03, PHD04 e PHD10), rappresenta l'ancoraggio biologico e sociale del network locale.

Tale evidenza di *long-term site fidelity* si inserisce coerentemente nel modello di società *fission–fusion* descritto per l'area di Filicudi (Blasi & Boitani, 2014), dove la componente residente funge da polo di attrazione (fase di *fusion*) per individui più mobili. La distinzione tra il gruppo dei residenti e quello degli "ingressi temporanei" o "transienti" non indica solo una diversa frequentazione spaziale, ma rispecchia una precisa differenziazione nelle unità sociali.

Per quanto concerne il secondo gruppo — individui presenti nella prima fase di studio e successivamente non più identificati — rimane complessa la definizione del loro destino ecologico. La mancata osservazione negli anni finali del monitoraggio non permette di stabilire con certezza se tali esemplari si siano spostati altrove, seguendo rotte migratorie o trofiche verso aree più idonee, o se siano occorsi eventi di mortalità, legati a cause naturali o a interazioni negative con le attività antropiche (come *bycatch* o collisioni). Tuttavia, la loro presenza temporanea suggerisce che abbiano utilizzato l'area di Filicudi come un nodo di un network più ampio e mobile, probabilmente a scopo trofico, prima di dileguarsi dalla zona di studio.

Questi dati suggeriscono una sovrapposizione tra i "core residents" e la cosiddetta Unit-1, una compagine femmine-centrica orientata alla massimizzazione della fitness attraverso la cooperazione e l'apprendimento sociale. La tendenza di queste femmine a formare gruppi più numerosi e a evitare le aree di pesca intensiva (reti da tramaglio) conferma una strategia di gestione del rischio volta a proteggere i piccoli, di cui si è osservato un incremento significativo tra i nuovi ingressi degli ultimi anni.

Al contrario, la componente più dinamica della popolazione — rappresentata dagli individui con legami brevi o occasionali — sembra convergere verso le caratteristiche della Unit-2. Quest'ultima, a prevalenza maschile, mostra un utilizzo più opportunistico e solitario delle risorse, interagendo frequentemente con le attività antropiche. In questo contesto, le reti da posta agiscono come un modulatore ecologico: mentre per il nucleo residente (Unit-1) rappresentano un disturbo da evitare, per gli individui della Unit-2 costituiscono una risorsa trofica che incentiva la frammentazione (*fission*) in piccoli sottogruppi o diadi. In conclusione, la stabilità del nucleo riproduttivo garantisce la resilienza della popolazione locale, mentre la componente transiente assicura la connettività genetica su scala regionale, integrando Filicudi in un sistema ecologico mediterraneo più vasto.

In questo contesto, l'analisi della produttività riproduttiva fornisce ulteriori elementi a supporto del ruolo funzionale dell'area di studio. Alcune femmine identificate hanno prodotto più piccoli nel corso del periodo di monitoraggio, mentre altre mostrano eventi riproduttivi più limitati o sporadici, evidenziando una distribuzione non uniforme del contributo riproduttivo tra gli individui. Questo pattern è coerente con quanto osservato da Blasi et al. (2020), che hanno evidenziato come la produttività femminile nelle popolazioni mediterranee di *T. truncatus* sia strettamente associata alla fedeltà al sito e alla stabilità nell'utilizzo dell'habitat, con femmine residenti che tendono a mostrare un maggiore successo riproduttivo rispetto a individui con presenza più occasionale. La presenza di femmine che hanno prodotto più piccoli e che sono state osservate ripetutamente nel tempo suggerisce che l'area di Filicudi possa rappresentare un habitat funzionalmente rilevante anche per lo svolgimento delle attività riproduttive, rafforzando l'ipotesi dell'esistenza di una componente residente stabile.

Dunque, l'integrazione dei risultati derivanti dall'analisi delle identificazioni individuali, dei pattern di residenza e della produttività riproduttiva indica che l'area marina attorno a Filicudi rappresenta un habitat ad utilizzo flessibile ma ecologicamente significativo.

L'analisi delle classi di età degli individui foto-identificati nel periodo 2018-2025 evidenzia una composizione demografica dominata in modo costante da individui adulti, con rappresentazione più limitata delle classi giovanili e dei cuccioli. Questo pattern risulta coerente nel tempo, nonostante una certa variabilità interannuale nella presenza di individui più giovani e suggerisce che l'area di studio sia frequentata prevalentemente da individui maturi.

La predominanza di adulti è un risultato comune in studi basati sulla foto-identificazione, soprattutto in contesti in cui l'area analizzata non rappresenta un sito riproduttivo primario o un'area stabile di nursery. In diverse popolazioni mediterranee di *T. truncatus* la presenza di cuccioli risulta spesso sporadica e associata a specifiche condizioni ambientali o comportamentali, mentre gli individui adulti mostrano una maggiore mobilità e una più ampia capacità di sfruttamento delle risorse disponibili (Bearzi et al., 1999; Gnone et al., 2011).

La variabilità osservata nella presenza di giovanili e cuccioli, con anni caratterizzati da assenza o bassa frequenza di queste classi, suggerisce che l'area di Filicudi, almeno nel periodo analizzato (2018-2025) non venga utilizzata in modo regolare come area di riproduzione o di accrescimento, si osservano infatti un totale di 15 adulti, 10 giovanili e solo 3 esemplari appartenenti alla classe "cuccioli". Tuttavia, la presenza occasionale di individui giovani indica che l'area può comunque rivestire un ruolo funzionale secondario, ad esempio come area di passaggio e di alimentazione anche per gruppi a composizione mista.

È inoltre importante considerare i limiti intrinseci della tecnica della foto-identificazione nella determinazione delle classi di età, in particolare per individui osservati raramente o in condizioni non ottimali. Dunque, l'assenza o la bassa frequenza di cuccioli in alcuni anni potrebbe riflettere, almeno in parte, una minore probabilità di identificazione piuttosto che una reale assenza biologica.

Si conclude che i risultati relativi le classi di età supportano un'interpretazione dell'area di studio come un habitat utilizzato per lo più da individui adulti, in modo coerente con un uso flessibile e non esclusivamente riproduttivo dell'area. Il quadro che si delinea risulta allineato con le ipotesi emerse dalle analisi precedenti, rafforzando l'idea di un'area funzionale ma non strutturalmente centrale per tutte le componenti della popolazione.

L'analisi dell'interazione di *T. truncatus* e gli attrezzi da pesca nel periodo 2018-2025 evidenzia un'associazione non costante nel tempo, caratterizzata da una marcata variazione interannuale e da un incremento evidente negli anni più recenti. L'aumento della percentuale di set in cui sono stati osservati attrezzi da pesca durante gli avvistamenti di tursiopi, in particolare a partire dal 2023, suggerisce un cambiamento nelle modalità di utilizzo dell'area o, in alternativa, un'intensificazione delle attività di pesca nello stesso periodo.

Le differenze statisticamente significative tra periodi nella frequenza di set associati alla presenza di attrezzi da pesca indicano che l'interazione tra tursiopi e attività di pesca non è un fenomeno casuale né stabile nel tempo. Questo risultato è in linea con quanto riportato in diversi studi mediterranei, che descrivono il tursiopo come una specie altamente opportunista, capace di modificare il proprio comportamento spaziale e trofico in risposta alla presenza di attività antropiche, in particolare la pesca artigianale (Bearzi et al., 2008; Díaz López, 2006; Bellinger, 2025), attività particolarmente sviluppata sull'isola di Filicudi.

L'analisi descrittiva della durata degli avvistamenti mostra che gli eventi associati alla presenza di attrezzi da pesca tendono ad avere una durata maggiore rispetto a quelli in cui tali attrezzi sono assenti. Questo pattern suggerisce una maggiore permanenza di esemplari nell'area in presenza di potenziali risorse trofiche facilmente accessibili, come le catture accidentali o elevate concentrazioni di pesce associate agli attrezzi. Comportamenti simili sono stati documentati in diverse popolazioni di *T. truncatus*, dove l'associazione con attività di pesca è stata interpretata come una strategia di foraggiamento opportunistico, che può aumentare l'efficienza alimentare degli individui (Díaz López & Shirai, 2008; Bearzi et al., 2011).

Il modello lineare generalizzato applicato alla durata degli avvistamenti conferma una tendenza all'aumento della durata degli eventi in presenza di attrezzi da pesca, stimando una permanenza mediamente circa 1,8 volte maggiore rispetto agli avvistamenti senza attrezzi. Sebbene questo effetto non risulti statisticamente significativo, la coerenza tra l'analisi descrittiva e il modello statistico suggerisce che la presenza di attrezzi da pesca eserciti comunque un'influenza biologicamente rilevante sul comportamento spaziale dei tursiopi, con un'elevata variabilità inter-avvistamento.

I risultati indicano che l'interazione con gli attrezzi da pesca rappresenta un elemento importante nell'ecologia comportamentale dei tursiopi nell'area di studio, soprattutto negli anni più recenti. La maggiore frequenza di associazione e la tendenza a una permanenza più prolungata suggeriscono

che tali interazioni possono avere implicazioni positive, in termini di opportunità trofiche ma soprattutto potenzialmente negative in termini di *bycatch*, ferite o dipendenza da risorse di origine antropica, Questi aspetti sottolineano l'importanza di monitorare nel tempo l'evoluzione del rapporto tra tursiopi e attività di pesca, in un'ottica di gestione e conservazione della specie e dell'ecosistema marino locale.

4.CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha permesso di analizzare l'uso dell'area e le dinamiche di popolazione del tursiopo (*T. truncatus*) nell'isola di Filicudi lungo un arco temporale di vent'anni (2005-2025). L'analisi sistematica dello sforzo di campionamento e dei tassi di incontro ha inizialmente confermato una presenza costante della specie nell'area, sebbene caratterizzata da fluttuazioni interannuali che riflettono la natura mobile di questi cetacei.

I risultati relativi alla foto-identificazione hanno permesso di distinguere tre precise tendenze di presenza all'interno della popolazione. In primo luogo, è stata accertata l'esistenza di un nucleo ristretto di individui, definiti "*core residents*", che mostrano un'elevatissima fedeltà al sito, essendo stati identificati costantemente per tutto il periodo di studio. A questi si contrappone un secondo gruppo di esemplari presenti solo nella fase iniziale del monitoraggio e successivamente scomparsi — il cui destino rimane incerto tra ipotesi di spostamento spaziale o mortalità — e un terzo gruppo di nuovi ingressi rilevati esclusivamente negli ultimi anni, tra cui spiccano numerosi giovani e cuccioli. La coesistenza di questi pattern, unita all'avvistamento di individui sporadici di passaggio, delinea una struttura di popolazione composita e gerarchizzata, dove la stabilità pluriennale di alcuni soggetti (fino a 19 anni) suggerisce che Filicudi sia una porzione integrante dell'home range di un nucleo stanziale.

Dal punto di vista della composizione demografica, la prevalenza di individui adulti indica che l'area non assolve esclusivamente una funzione di nursery, ma rappresenta un habitat cruciale per diverse fasi vitali. Tuttavia, il significativo successo riproduttivo documentato per le femmine residenti e la formazione di gruppi più numerosi in presenza di piccoli evidenziano l'importanza del sito per la protezione e l'accrescimento della prole. In questo contesto, l'interazione con le attività di pesca al tramaglio, particolarmente intensificatasi negli ultimi anni, emerge come un fattore di pressione esterna che influenza la distribuzione spaziale e le aggregazioni sociali.

In conclusione, lo studio conferma il valore ecologico dell'isola di Filicudi come area di riferimento e di stabilità all'interno di un network regionale più ampio. La resilienza di questa popolazione dipende dalla conservazione del nucleo residente e dalla gestione delle interazioni antropiche, rendendo necessari continui sforzi di monitoraggio per comprendere l'evoluzione di queste dinamiche e garantire l'efficacia delle misure di tutela per la specie nell'arcipelago eoliano.

5. BIBLIOGRAFIA

- Adams, J. D., Speakman, T., Zolman, E., & Schwacke, L. H. (2006). Automating image matching, cataloging, and analysis for photo-identification research. *Aquatic Mammals*, 32(3), 374–384.
- Barratclough, A., Wells, R. S., Schwacke, L. H., Rowles, T. K., Gomez, F. M., Fauquier, D. A., ... & Smith, C. R. (2019). Health assessments of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): past, present, and potential conservation applications. *Frontiers in veterinary science*, 6, 444.
- Bearzi, G., Agazzi, S., Bonizzoni, S., Costa, M., & Azzellino, A. (2008). Dolphins in a bottle: abundance, residency patterns and conservation of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the semi-closed eutrophic Amvrakikos Gulf, Greece. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(2), 130-146.
- Bearzi, G., Bonizzoni, S., & Gonzalvo, J. (2011). Dolphins and coastal fisheries within a marine protected area: mismatch between dolphin occurrence and reported depredation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21(3), 261-267.
- Bearzi, G., Fortuna, C., & Reeves, R. (2009). Ecology and conservation of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Mediterranean Sea. *Mammal Review*, 39(2), 92.
- Bearzi, G., Notarbartolo-Di-Sciara, G., & Politi, E. (1997). Social ecology of bottlenose dolphins in the Kvarnerić (northern Adriatic Sea). *Marine mammal science*, 13(4), 650-668.
- Bearzi, G., Politi, E., & di Sciara, G. N. (1999). Diurnal behavior of free-ranging bottlenose dolphins in the kvarnerić (northern adriatic sea) 1. *Marine Mammal Science*, 15(4), 1065-1097.
- Bearzi, G., Politi, E., Agazzi, S., & Azzellino, A. (2006). Prey depletion caused by overfishing and the decline of marine megafauna in eastern Ionian Sea coastal waters (central Mediterranean). *Biological Conservation*, 127(4), 373-382.
- Bearzi, M. (2004). Aspects of the ecology and behaviour of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Santa Monica Bay, California.
- Bellingeri, M., Nebuloni, A., La Manna, G., Akkaya, A., Alessi, J., Arcangeli, A., ... & Gnone, G. (2025). Investigating the presence of different bottlenose dolphin ecotypes in the Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 15(1), 5526.

- Blasi, M. F., & Boitani, L. (2014). Complex social structure of an endangered population of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Aeolian Archipelago (Italy). *PLoS one*, *9*(12), e114849.
- Blasi, M. F., Alessi, J., Melodia, C., Azzolin, M., Giacoma, C., Buscaino, G., ... & Papale, E. (2023). Bottlenose dolphins' fin marks comparison highlights limited movements and anthropogenic threats in the waters around Sicily (Italy, Central Mediterranean Sea). *Hydrobiologia*, *850*(3), 627-643.
- Blasi, M. F., Bruno, C., & Boitani, L. (2020). Female reproductive output in a Mediterranean bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* population. *Aquatic Biology*, *29*, 123-136.
- Blount, D., Gero, S., Van Oast, J., Parham, J., Kingen, C., Scheiner, B., ... & Levenson, J. J. (2022). Flukebook: an open-source AI platform for cetacean photo identification. *Mammalian Biology*, *102*(3), 1005-1023.
- Brightwell, K., & Gibson, Q. (2023). Inter-and intra-population variation in bottlenose dolphin mating strategies. *Sex in cetaceans*.
- Cañadas, A., & Hammond, P. S. (2006). Model-based abundance estimates for bottlenose dolphins off southern Spain: implications for conservation and management. *Journal of Cetacean Research and Management*, *8*(1), 13-27.
- Carde, J. (2023). Investigating Long-term Changes in Distribution and Behavior of Coastal Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in Biscayne Bay, South Florida.
- Carlucci, R., Fanizza, C., Cipriano, G., Paoli, C., Russo, T., & Vassallo, P. (2016). Modeling the spatial distribution of the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) and common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Gulf of Taranto (Northern Ionian Sea, Central-eastern Mediterranean Sea). *Ecological indicators*, *69*, 707-721.
- Carnabuci, M., Schiavon, G., Bellingeri, M., Fossa, F., Paoli, C., Vassallo, P., & Gnone, G. (2016). Connectivity in the network macrostructure of *Tursiops truncatus* in the Pelagos Sanctuary (NW Mediterranean Sea): does landscape matter?. *Population ecology*, *58*(2), 249-264.
- Centurelli, M., Biagiotti, I., Costantini, I., & Leonori, I. (2025). Behavioral observations on the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) at fixed points in the open waters of Italy's Northern-Central Adriatic Sea. *Ocean & Coastal Management*, *262*, 107555.

- Cheney, B. J., Thompson, P. M., & Cordes, L. S. (2019). Increasing trends in fecundity and calf survival of bottlenose dolphins in a marine protected area. *Scientific Reports*, *9*(1), 1767.
- Connor, R. C. (2000). The bottlenose dolphin: social relationships in a *fission-fusion society*. (No Title), 91.
- Consoli, P., Esposito, V., Battaglia, P., Perzia, P., Scotti, G., D'Alessandro, M., ... & Romeo, T. (2021). Marine litter pollution associated with hydrothermal sites in the Aeolian archipelago (western Mediterranean Sea). *Science of The Total Environment*, *773*, 144968.
- Cozzi, B., Huggenberger, S., & Oelschläger, H. A. (2016). *Anatomy of dolphins: insights into body structure and function*. Academic Press.
- Cranford, T. W., Amundin, M., & Norris, K. S. (1996). Functional morphology and homology in the odontocete nasal complex: implications for sound generation. *Journal of morphology*, *228*(3), 223-285.
- Cranford, T. W., Elsberry, W. R., Van Bonn, W. G., Jeffress, J. A., Chaplin, M. S., Blackwood, D. J., ... & Ridgway, S. H. (2011). Observation and analysis of sonar signal generation in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): evidence for two sonar sources. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *407*(1), 81-96.
- Defran, R. H., Caldwell, M., Morteo, E., Lang, A. R., Rice, M. G., & Weller, D. W. (2015). Possible stock structure of coastal bottlenose dolphins off Baja California and California revealed by photo-identification research. *Bulletin, Southern California Academy of Sciences*, *114*(1), 1-11.
- Di Sciara, G. N., Venturino, M. C., Zanardelli, M., Bearzi, G., Borsani, F. J., & Cavalloni, B. (1993). Cetaceans in the central Mediterranean Sea: distribution and sighting frequencies. *Italian Journal of Zoology*, *60*(1), 131-138.
- Díaz López, B. (2006). Interactions between Mediterranean bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and gillnets off Sardinia, Italy. *ICES Journal of Marine Science*, *63*(5), 946-951.
- Díaz López, B. (2011). Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: Influence of behaviour. *Mammalian Biology*, *76*(2), 180-189.
- Díaz López, B., & Shirai, J. A. B. (2008). Marine aquaculture and bottlenose dolphins' (*Tursiops truncatus*) social structure. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *62*(6), 887-894.

- Elliser, C.R. and Herzing, D.L. (2016), Long-term interspecies association patterns of Atlantic bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis*, in the Bahamas. *Mar Mam Sci*, 32: 38-56.
- Eskelinen, H. C., Winship, K. A., Jones, B. L., Ames, A. E., & Kuczaj, S. A. (2016). Acoustic behavior associated with cooperative task success in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Animal cognition*, 19(4), 789-797.
- FavalliM, M., Karátson, D., Mazzuoli, R., Pareschi, M. T., & Ventura, G. (2005). Volcanic geomorphology and tectonics of the Aeolian archipelago (Southern Italy) based on integrated DEM data. *Bulletin of Volcanology*, 68(2), 157-170.
- Feliu-Tena, B., Rodilla, M., Pastor, J., Abalo-Morla, S., Bou-Cabo, M., & Belda, E. J. (2023). Evaluating dolphin damage in trammel net fisheries in the Valencia region: Insights to improve management. *Regional Studies in Marine Science*, 65, 103075.
- Fossi, M. C., Casini, S., & Marsili, L. (2006). Endocrine Disruptors in Mediterranean top marine predators. *Environmental science and pollution research international*, 13(3), 204–207.
- Fripp, D., Owen, C., Quintana-Rizzo, E., Shapiro, A., Buckstaff, K., Jankowski, K., Wells, R., & Tyack, P. (2005). Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) calves appear to model their signature whistles on the signature whistles of community members. *Animal cognition*, 8(1), 17–26. <https://doi.org/10.1007/s10071-004-0225-z>
- Fruet, P. F., Genoves, R. C., Möller, L. M., Botta, S., & Secchi, E. R. (2015). Using mark-recapture and stranding data to estimate reproductive traits in female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) of the Southwestern Atlantic Ocean. *Marine Biology*, 162(3), 661-673.
- Gannier, A. (2005). Summer distribution and relative abundance of delphinids in the Mediterranean Sea. *Revue d'écologie*, 60(3), 223-238.
- Gatta, C., Iorio, E. L., Genovese, C., Biancani, B., Mores, A., La Monaca, D., ... & Tafuri, S. (2025). Assessing Bottlenose Dolphins' (*Tursiops truncatus*) Health Status Through Functional Muscle Analysis, and Oxidative and Metabolic Stress Evaluation: A Preliminary Study. *Animals*, 15(9), 1215.
- Genov, T., Centrih, T., Kotnjek, P., & Hace, A. (2019). Behavioural and temporal partitioning of dolphin social groups in the northern Adriatic Sea. *Marine biology*, 166(1), 11.

- Gerber, L., Connor, R. C., Allen, S. J., Horlacher, K., King, S. L., Sherwin, W. B., ... & Krützen, M. (2022). Social integration influences fitness in allied male dolphins. *Current Biology*, *32*(7), 1664-1669.
- Gibson, Q. A., & Mann, J. (2008). The size, composition and function of wild bottlenose dolphin (*Tursiops* sp.) mother–calf groups in Shark Bay, Australia. *Animal Behaviour*, *76*(2), 389-405.
- Giménez, J., Marçalo, A., Ramírez, F., Verborgh, P., Gauffier, P., Esteban, R., ... & de Stephanis, R. (2017). Diet of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Gulf of Cadiz: Insights from stomach content and stable isotope analyses. *PLoS One*, *12*(9), e0184673.
- Gnone, G., Bellingeri, M., Airoidi, S., Gonzalvo, J., David, L., Di-Méglio, N., ... & Azzellino, A. (2023). Cetaceans in the Mediterranean Sea: encounter rate, dominant species, and diversity hotspots. *Diversity*, *15*(3), 321.
- Gnone, G., Bellingeri, M., Dhermain, F., Dupraz, F., Nuti, S., Bedocchi, D., ... & Wurtz, M. (2011). Distribution, abundance, and movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (north-west Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *21*(4), 372-388.
- Gnone, G., Bellingeri, M., Dhermain, F., Dupraz, F., Nuti, S., Bedocchi, D., ... & Wurtz, M. (2011). Distribution, abundance, and movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (north-west Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *21*(4), 372-388.
- Goodall, R. N. P., Marchesi, M. C., Pimper, L. E., Dellabianca, N., Benegas, L. G., Torres, M. A., & Riccialdelli, L. (2011). Southernmost records of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Polar Biology*, *34*(7), 1085-1090.
- Grellier, K., Hammond, P. S., Wilson, B., Sanders-Reed, C. A., & Thompson, P. M. (2003). Use of photo-identification data to quantify mother calf association patterns in bottlenose dolphins. *Canadian Journal of Zoology*, *81*(8), 1421-1427.
- Gubbins, C., Mcowan, B., Lynn, S. K., Hooper, S., & Reiss, D. (1999). Mother-infant spatial relations in captive bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Marine Mammal Science*, *15*(3), 751-765.

- Hall, A. J., Hugunin, K., Deaville, R., Law, R. J., Allchin, C. R., & Jepson, P. D. (2006). The risk of infection from polychlorinated biphenyl exposure in the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*): a case-control approach. *Environmental health perspectives*, 114(5), 704–711.
- Hammond, P.S., Mizroch, S.A., & Donovan, G.P. (1990). Individual recognition of cetaceans: use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Incorporating the Proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters.
- Harvey, B. S., Dudzinski, K. M., & Kuczaj, S. A. (2017). Associations and the role of affiliative, agonistic, and socio-sexual behaviors among common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Behavioural processes*, 135, 145-156.
- Hill, H. M., Greer, T., Solangi, M., & Kuczaj II, S. A. (2007). All mothers are not the same: Maternal styles in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *International Journal of Comparative Psychology*, 20(1).
- Ingram, S. N., & Rogan, E. (2002). Identifying critical areas and habitat preferences of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 247-255.
- Ingram, S. N., & Rogan, E. (2002). Identifying critical areas and habitat preferences of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Marine Ecology Progress Series*, 244, 247-255.
- Jepson, P. D., Deaville, R., Barber, J. L., Aguilar, À., Borrell, A., Murphy, S., Barry, J., Brownlow, A., Barnett, J., Berrow, S., Cunningham, A. A., Davison, N. J., Ten Doeschate, M., Esteban, R., Ferreira, M., Foote, A. D., Genov, T., Giménez, J., Loveridge, J., Llavona, Á., ... Law, R. J. (2016). PCB pollution continues to impact populations of orcas and other dolphins in European waters. *Scientific reports*, 6, 18573.
- Jones, B., Zapetis, M., Samuelson, M. M., & Ridgway, S. (2020). Sounds produced by bottlenose dolphins (*Tursiops*): A review of the defining characteristics and acoustic criteria of the dolphin vocal repertoire. *Bioacoustics*, 29(4), 399-440.
- Kaplan, J., Goodrich, S. Y., Melillo-Sweeting, K., & Reiss, D. (2019). Behavioural laterality in foraging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Royal Society Open Science*, 6(11).

- King, S. L., Connor, R. C., Krützen, M., & Allen, S. J. (2021). Cooperation-based concept formation in male bottlenose dolphins. *Nature communications*, *12*(1), 2373. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22668-1>
- King, S. L., Sayigh, L. S., Wells, R. S., Fellner, W., & Janik, V. M. (2022). Vocal copying of individually distinctive signature whistles in.
- La Manna, G., Rako-Gòspic, N., Manghi, M., & Ceccherelli, G. (2019). Influence of environmental, social and behavioural variables on the whistling of the common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *73*(9), 121.
- Ladegaard, M., Mulsow, J., Houser, D. S., Jensen, F. H., Johnson, M., Madsen, P. T., & Finneran, J. J. (2019). Dolphin echolocation behaviour during active long-range target approaches. *Journal of Experimental Biology*, *222*(2).
- Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., & Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in ecology & evolution*, *25*(4), 250-260.
- Losi, A. (2021). Analisi delle lesioni cutanee sui tursiopi (*tursiops truncatus*) della provincia di Agrigento.
- Louis, M., Gally, F., Barbraud, C., Béseau, J., Tixier, P., Simon-Bouhet, B., ... & Guinet, C. (2015). Social structure and abundance of coastal bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the Normano-Breton Gulf, English Channel. *Journal of Mammalogy*, *96*(3), 481-493.
- Louise Chilvers, B., & Corkeron, P. J. (2001). Trawling and bottlenose dolphins' social structure. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *268*(1479), 1901-1905.
- Madsen, P. T., Jensen, F. H., Carder, D., & Ridgway, S. (2012). Dolphin whistles: a functional misnomer revealed by heliox breathing. *Biology letters*, *8*(2), 211-213.
- 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. (2019). Maternal care and offspring development in odontocetes. In *Ethology and behavioral ecology of odontocetes* (pp. 95-116). Cham: Springer International Publishing.

- MANN, J., & SMUTS, B. B. (1998). Natal attraction: allomaternal care and mother–infant separations in wild bottlenose dolphins. *Animal Behaviour*, 55(5), 1097-1113.
- Mann, J., Connor, R. C., Barre, L. M., & Heithaus, M. R. (2000). Female reproductive success in bottlenose dolphins (*Tursiops* sp.): life history, habitat, provisioning, and group-size effects. *Behavioral ecology*, 11(2), 210-219.
- Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica. (s.d.). Aree marine di prossima istituzione.
- Muraco, H. S. (2015). *Reproductive biology of the female bottlenose dolphin (Tursiops truncatus)*. Mississippi State University.
- Naranjo-Ruiz, K. L., Delgado-Estrella, A., Torres-Rojas, Y. E., Silva, I., Manrique-Ortega, M. D., Mendoza-Franco, E. F., ... & del Río-Rodríguez, R. E. (2024). General health status of a stranded *Tursiops truncatus* of the oceanic ecotype in southern Gulf of Mexico, Campeche coasts: a multidisciplinary analysis. *Latin american journal of aquatic research*, 52(1), 107-118.
- Naranjo-Ruiz, K. L., Torres-Rojas, Y. E., & Delgado-Estrella, A. (2024). Potential residence and coexistence strategy of *Tursiops truncatus* in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico: ecological inferences using stable isotopes. *Estuaries and Coasts*, 47(8), 2603-2615.
- Neri, A., Sartor, P., Voliani, A., Mancusi, C., & Marsili, L. (2022). Diet of bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), in the northwestern Mediterranean Sea. *Diversity*, 15(1), 21.
- Pace, D. S., Panunzi, G., Arcangeli, A., Moro, S., Jona-Lasinio, G., & Martino, S. (2022). Seasonal distribution of an opportunistic apex predator (*Tursiops truncatus*) in marine coastal habitats of the Western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 9, 939692.
- Pace, D. S., Panunzi, G., Arcangeli, A., Moro, S., Jona-Lasinio, G., & Martino, S. (2022). Seasonal distribution of an opportunistic apex predator (*Tursiops truncatus*) in marine coastal habitats of the Western Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 9, 939692.
- Pace, D. S., Tizzi, R., & Mussi, B. (2015). Cetaceans value and conservation in the Mediterranean Sea. *Journal of Biodiversity & Endangered Species*, 1-24.
- Pace, D. S., Tizzi, R., & Mussi, B. (2015). Cetaceans value and conservation in the Mediterranean Sea. *Journal of Biodiversity & Endangered Species*, 1-24.

- Palmer, L. E. (2025). *Bottlenose dolphin vocal communication: drivers of whistle variation and the utility of identity signals to inform conservation* (Doctoral dissertation, University of Bristol).
- Piroddi, C., Bearzi, G., & Christensen, V. (2011). Marine open cage aquaculture in the eastern Mediterranean Sea: a new trophic resource for bottlenose dolphins. *Marine Ecology Progress Series*, 440, 255-266.
- Pirotta, E., Harwood, J., Thompson, P. M., New, L., Cheney, B., Arso, M., Hammond, P. S., Donovan, C., & Lusseau, D. (2015). Predicting the effects of human developments on individual dolphins to understand potential long-term population consequences. *Proceedings. Biological sciences*, 282(1818), 20152109.
- Quick, N. J., & Janik, V. M. (2008). Whistle rates of wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): influences of group size and behavior. *Journal of Comparative Psychology*, 122(3), 305.
- Quintana-Rizzo, E., Mann, D. A., & Wells, R. S. (2006). Estimated communication range of social sounds used by bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(3), 1671-1683.
- Rivarolo, P., Grotti, M., Ianni, C., & Magi, E. (1998). Heavy metals distribution in the Eolian Basin (South Tyrrhenian Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 36(11), 880-886.
- Robinson, K. P., Sim, T. M., Culloch, R. M., Bean, T. S., Cordoba Aguilar, I., Eisfeld, S. M., ... & Pierce, G. J. (2017). Female reproductive success and calf survival in a North Sea coastal bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) population. *PLoS One*, 12(9), e0185000.
- Rossmann, S., Berens McCabe, E., Barros, N. B., Gandhi, H., Ostrom, P. H., Stricker, C. A., & Wells, R. S. (2015). Foraging habits in a generalist predator: Sex and age influence habitat selection and resource use among bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Marine Mammal Science*, 31(1), 155-168.
- Saviano, P., Fiorucci, L., Grande, F., Macrelli, R., Troisi, A., Polisca, A., & Orlandi, R. (2020). Pregnancy and fetal development: cephalic presentation and other descriptive ultrasonographic findings from clinically healthy bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) under human care. *Animals*, 10(5), 908.

- Sayigh, L. S., Tyack, P. L., Wells, R. S., & Scott, M. D. (1990). Signature whistles of free-ranging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*: stability and mother-offspring comparisons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *26*(4), 247-260.
- Soster, F., Galdies, C., Awbery, T., Gauci, A., Metzger, B., Barbara, N., & López, B. D. (2025). Common bottlenose dolphin habitat suitability in Malta's coastal waters as a human-altered environment. *Marine Environmental Research*, 107422.
- Stanton, M. A., & Mann, J. (2012). Early social networks predict survival in wild bottlenose dolphins.
- Tolley, K. A., Read, A. J., Wells, R. S., Urían, K. W., Scott, M. D., Irvine, A. B., & Hohn, A. A. (1995). Sexual dimorphism in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from Sarasota, Florida. *Journal of Mammalogy*, *76*(4), 1190-1198.
- Urían, K., Gorgone, A., Read, A., Balmer, B., Wells, R. S., Berggren, P., ... & Hammond, P. S. (2015). Recommendations for photo-identification methods used in capture-recapture models with cetaceans. *Marine Mammal Science*, *31*(1), 298-321.
- Vizeu-Pinheiro, M., Rogan, E., Cid, A., Castro, J., & Borges, F. O. (2025). Environmental influence on Bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) abundance in Southern Portugal. *Regional Studies in Marine Science*, 104569.
- Wells, R. S., Hohn, A. A., Scott, M. D., Sweeney, J. C., Townsend Jr, F. I., Allen, J. B., ... & Irvine, A. B. (2025). Life history, reproductive, and demographic parameters for bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida. *Frontiers in Marine Science*, *12*, 1531528.
- Würsig, B., & Jefferson, T. A. (1974). Methods of photo-identification for small cetaceans. *to Estimate Population Parameters*, 43.
- Würsig B. (1989). Cetaceans. *Science (New York, N.Y.)*, *244*(4912), 1550–1557. <https://doi.org/10.1126/science.2662403>

