



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale
Biologia Marina

**STUDIO DEI TRATTI DEL CICLO BIOLOGICO DELLA RAZZA STELLATA (*RAJA ASTERIAS*)
IN ALTO-MEDIO ADRIATICO**

**LIFE-HISTORY TRAITS OF THE STARRY RAY (*RAJA ASTERIAS*) IN THE UPPER-CENTRAL
ADRIATIC SEA**

**Tesi di Laurea Magistrale di:
Andrea Pardini**

**Relatore:
Chiar.ma Prof.ssa
Emanuela Fanelli**

**Correlatori:
Giada Bargione
Fortunata Donato**

**Sessione straordinaria febbraio 2025
Anno Accademico 2023/2024**

1. INTRODUZIONE	1
1.1 Tassonomia e distribuzione dei condroitti	1
1.2 Principali minacce alla conservazione dei Condroitti	4
1.2.1 Caratteristiche biologiche dei condroitti	7
1.2.2 Degradazione dell'ambiente marino	10
1.2.3 Interazione elasmobranchi e pesca	11
1.2.4 Commercializzazione degli elasmobranchi	14
1.3 Normative e misure comunitarie	16
1.4 La specie <i>Raja asterias</i>	20
1.4.1 Distribuzione	20
1.4.2 Morfologia	21
1.4.3 Comportamento	28
1.4.4 Caratteristiche del ciclo biologico	29
1.4.5 Accrescimento	33
1.4.6 Alimentazione e predazione	37
1.4.7 Ecologia	39
1.4.7 Pesca	40
1.5 Obiettivi	43
2. MATERIALI E METODI	44
2.1. Campionamento Biologico	44
2.1.1. Area di pesca	44
2.1.2. Metodologie di pesca	45
2.1.3 Pescate non commerciali	48
2.2 Analisi di laboratorio	57
2.2.1. Misure morfometriche	57
2.2.2. Analisi del ciclo riproduttivo	59
2.2.3. Determinazione dell'età	67
2.3. Elaborazione dati	78
2.3.1. Sex ratio	78
2.3.2. Regressione lunghezza – peso (RLP)	78

2.3.3. Fattore di condizione	80
2.3.4. Regressione lunghezza totale – lunghezza e larghezza del disco	81
2.3.5. Taglia di prima maturità (L_{50})	81
2.3.6. Indice Gonado-Somatico (IGS)	82
2.3.7. Indici di precisione	83
2.3.8. Accrescimento teorico in lunghezza (VBGF)	85
2.3.9. Analisi della distribuzione degli individui	86
3. RISULTATI	88
3.1. Misure morfometriche	88
3.1.1. Distribuzione di frequenza	88
3.1.2. Sex ratio	90
3.1.3. Regressione lunghezza-peso	90
3.1.4. Fattore di condizione	93
3.1.5. Regressione Lunghezza totale – lunghezza disco e larghezza disco	95
3.2. Studio del ciclo riproduttivo	96
3.2.1. Analisi macroscopica degli stadi di maturità	96
3.2.2. Taglia di prima maturità (L_{50})	100
3.2.3. IGS calcolato per stadio di maturità	102
3.3. Determinazione dell'età	103
3.3.1. Accrescimento teorico in lunghezza	103
3.3.2. Regressione Lunghezza totale individuo – raggio vertebra	108
3.4. Analisi della distribuzione degli individui	109
4. DISCUSSIONE	116
5. CONCLUSIONI	129
6. BIBLIOGRAFIA	132
7. SITOGRAFIA	162

RIASSUNTO

Gli elasmobranchi rivestono un ruolo cruciale negli ecosistemi marini, agendo sia come predatori apicali sia come meso-predatori. La riduzione delle loro popolazioni può avere effetti devastanti sulle reti trofiche, compromettendo lo stato di salute dei mari. Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo quello di investigare i tratti del ciclo biologico (età e accrescimento, ciclo riproduttivo, taglia di maturità sessuale (LT_{50}), distribuzione spaziale degli individui maturi vs immaturi) di una specie di razza endemica del bacino Mediterraneo, la razza stellata (*Raja asterias*). La conoscenza precisa e accurata dei tratti del ciclo vitale della specie su scala locale risulta di primaria importanza per poter adottare misure gestionali di conservazione adeguate. Difatti, considerata la distribuzione spaziale e batimetrica della razza stellata, questa specie risulta oggetto di *bycatch* in numerose attività di pesca. I campioni sono stati prelevati in alto-medio Adriatico in occasione di pesche commerciali o scientifiche che hanno coinvolto l'utilizzo di diversi attrezzi da pesca (strascico, rapido, tremaglio e reti da imbrocco) adoperati su diverse scale spaziali e temporali. Per investigare la progressione del ciclo riproduttivo le gonadi di un totale di 289 individui tra maschi e femmine sono stati analizzati macroscopicamente. L'analisi della taglia di maturità (LT_{50M}

= 36.0 cm; $LT_{50F} = 42.5$ cm) ha messo in evidenza come i maschi raggiungano la maturità sessuale a una taglia inferiore rispetto alle femmine. Per la determinazione dell'età le vertebre di 133 individui sono state analizzate per la conta degli anelli di crescita. Sulle vertebre prelevate della regione post-craniale della razza sono stati testati quattro trattamenti diversi (vertebra intera non trattata, vertebra intera bruciata, vertebra sezionata non trattata e vertebra sezionata bruciata). I risultati hanno mostrato che la tecnica più precisa e accurata, con valori di APE (2.43) e ACV (3.44) più bassi, è risultata la tecnica delle vertebre sezionate e bruciate. Le stime di età hanno mostrato range di età maggiori per le femmine (0+ - 5 anni) rispetto ai maschi (0+ - 4 anni) e i parametri della curva stimata erano rispettivamente $L_{\infty F} = 70.0$ cm e $k = 0.31$ per le femmine e $L_{\infty M} = 56.8$ cm e $k = 0.43$ per i maschi. Come confermato dal valore di L_{∞} delle femmine e come osservato anche dalle taglie degli individui campionati in mare, le femmine di razza stellata risultano raggiungere delle taglie maggiori rispetto ai maschi. Inoltre, l'età alla quale le femmine raggiungono la LT_{50} è risultata successiva (3 anni) rispetto ai maschi (2 anni). Dall'analisi della distribuzione spaziale degli individui maturi ed immaturi di *R. asterias* è inoltre stato messo in evidenza che gli individui maturi vivono a profondità maggiori rispetto ai giovanili, risultando

dunque segregati spazialmente, ad eccezione della stagione riproduttiva in cui gli adulti ritornano sotto-costa come riportato dalla letteratura scientifica.

In questo lavoro si è cercato dunque di fornire informazioni demografiche e biologiche per questa specie al fine di colmare alcune lacune informative a favore della sua conservazione. Difatti, nessuna popolazione di pesci cartilaginei sarà in grado di rimanere vitale nel tempo, in assenza di adeguati piani di conservazione e adeguate misure di gestione, a causa delle peculiari caratteristiche biologiche e riproduttive (strategia K) di queste specie.

ABSTRACT

Elasmobranchs play a crucial role in marine ecosystems, acting as apex predators and mesopredators. The decline of their populations can have devastating effects on trophic networks, compromising the health of marine environments. This thesis aimed at investigating the life-history traits (*e.g.* age and growth, reproductive cycle, size at sexual maturity (TL_{50}), spatial distribution of mature *vs.* immature individuals) of an endemic skate species in the Mediterranean basin, the starry skate (*Raja asterias*). Accurate and precise knowledge of the species' life cycle traits, on a local scale, is of key importance to adopt appropriate conservation management measures. Given the spatial and bathymetric distribution of the starry

skate, it is frequently caught as *bycatch* in different fishing activities. Samples were collected in the northern-central Adriatic Sea during commercial or scientific fishing trips involving different fishing gears (trawl, rapido trawl, trammel net, and gillnet) used over different spatial and temporal scales. To investigate the progression of the reproductive cycle, the gonads of 289 male and female individuals were macroscopically analyzed. The analysis of size at firstmaturity ($TL_{50M} = 36.0$ cm; $TL_{50F} = 42.5$ cm) revealed that males reach sexual maturity at a smaller size than females. For age determination, the vertebrae of 133 individuals were analyzed by counting growth rings. Four different treatments (*i.e.* whole vertebra untreated, whole vertebra burned, sectioned vertebra untreated, and sectioned vertebra burned) were tested on the vertebrae collected from the post-cranial region. The results showed that the most precise and accurate method, with the lowest APE (2.43) and ACV (3.44) values, was the sectioned vertebra burned technique. Age estimates indicated a wider age range for females (0+ to 5 years) compared to males (0+ to 4 years), with the resulting estimated growth curve parameters being $L_{\infty F} = 70.0$ cm and $k = 0.31$ for females, and $L_{\infty M} = 56.8$ cm and $k = 0.43$ for males. As confirmed by the L_{∞} value for females and as observed in the sizes of sampled individuals, starry skates reach larger sizes than males. Additionally, the age at which females reach TL_{50} was later (3 years) compared to

males (2 years). Also, the spatial distribution analysis of mature and immature *R. asterias* highlighted that mature individuals live at greater depths than juveniles, thus resulting in spatial segregation, except during the reproductive season when they return to shallow waters, as reported in scientific literature.

This study aimed to provide demographic and biological data for this species to fill knowledge gaps and support its conservation. Indeed, no population of cartilaginous fish will remain vital over time without the adoption of appropriate conservation plans and management measures, due to the unique biological and reproductive characteristics (K-strategy) of these species.

1. INTRODUZIONE

1.1 Tassonomia e distribuzione dei condroitti

I Condroitti sono una classe di pesci cartilaginei che comprende 1170 specie distribuite in tutti i mari del mondo, con 60 specie d'acqua dolce. All'interno dei Condroitti si distinguono due diverse classi, gli Elasmobranchi e gli Holocephali, di cui fanno parte le chimere. Gli Elasmobranchi comprendono 1154 specie e sono divisi in due infraclassi: Batoidea e Selachi. L'infraclassa Batoidea racchiude 4 ordini, tra cui l'ordine Rajiformes, al cui interno troviamo la famiglia Rajidae. Recenti analisi filogenetiche hanno mostrato come l'ordine dei Rajiformes derivi da un gruppo di squaloidei che si sono adattati alla vita bentonica (Stiassny et al., 1996; Serena et al., 2010) (Tabella 1) (Figura 1).

I condroitti hanno evoluto delle caratteristiche morfo-funzionali, fisiologiche e comportamentali che si sono conservate nel tempo e da più di 400 milioni di anni hanno conquistato efficacemente diverse tipologie di ecosistemi marini (Camhi et al., 2007). Gli elasmobranchi popolano le acque di tutto il mondo, la maggior parte delle specie ($\approx 55\%$) vive sulle piattaforme continentali, dal piano mesolitorale, incluse baie ed estuari, fino a circa 200 metri di profondità, ma si trovano specie anche oltre i 2000 metri (Cailliet et al., 2005).

La famiglia Rajidae ha un'alta diversità di specie (>250 specie) e si trova in tutte le acque marine del mondo, da habitat bentonici poco profondi alle piane abissali (McEachran e Miyake, 1990; Valsecchi et al., 2005).

Il Mar Mediterraneo, sebbene sia un mare semi-chiuso, è considerato un hot-spot per la biodiversità degli elasmobranchi (Bradai et al., 2012; Dulvy et al., 2014; Colloca et al., 2017), ospitando 87 specie (circa il 7% del totale): 49 appartenenti ai Selachii e 38 ai Batoidea. Di queste 87 specie di pesci cartilaginei, molte conducono vita pelagica; alcune di loro sono ampiamente distribuite sia nel bacino orientale sia nel bacino occidentale; altre sono presenti solo in aree ristrette o addirittura sono rarissime. Una settantina di queste specie frequenta regolarmente i mari italiani (Abdulla, 2004; Ferretti et al., 2008a; Mancusi et al., 2020).

Per quanto riguarda la famiglia Rajidae, nel Mar Mediterraneo sono presenti 42 generi e 16 probabili specie valide, di cui tre specie endemiche: *Leucoraja melitensis*, *Raja polystigma* e *Raja asterias* (Serena et al., 2010). Secondo Meléndez et al. (2017), cinque specie di batoidei potrebbero essere invece considerate endemiche del bacino: oltre alle tre menzionate sopra anche la razza ruvida (*Raja radula*) e il diavolo di mare (*Mobula mobular*).

Tabella 1. Divisione in ordini del Parvphylum dei Chondrichthyes (Elbert & Dando 2022).

Parvphylum	Classe	Infraclasse	Ordine
Chondrichthyes	Holocephali		Chimeriformes
	Neoselachii	Batoidea	Rajiformes
			Myliobatiformes
			Torpediniformes
			Rhinopristiformes
		Selachii	Hexanchiformes
			Echinorhiniformes
			Squaliformes
			Pristiophoriformes
			Squatiniiformes
			Heterodontiformes
			Orectolobiformes
			Carcharhiniformes
			Lamniformes

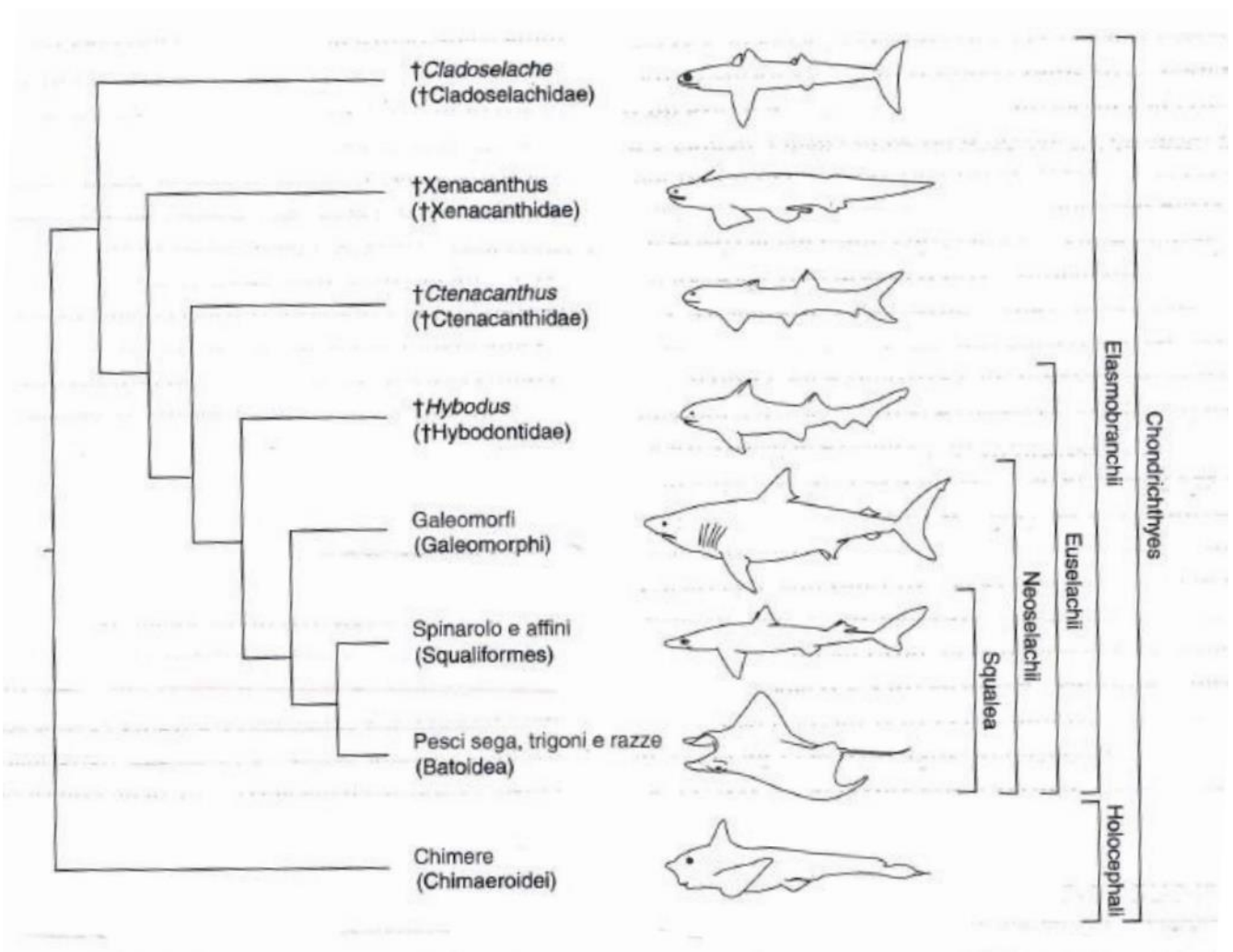


Figura 1. Filogenesi di pesci cartilaginei rappresentativi, fossili e attuali (Chondrichthyes) (Liem et al. 2001).

1.2 Principali minacce alla conservazione dei Condroitti

Negli ultimi decenni la conservazione dei pesci cartilaginei o Condroitti a livello globale e in particolare in Mediterraneo, è messa a serio rischio da diversi fattori

e attività antropiche, prima fra tutti la pesca, che agiscono in sinergia (Gallagher et al., 2012). Si stima che a livello mondiale la produzione globale totale della pesca da cattura, sia stata di 92.3 milioni di tonnellate nel 2022, di cui 11.3 milioni di tonnellate da acque interne, e 81 milioni di tonnellate dalla cattura marina (SOFIA, 2024). Secondo il rapporto “Lo Stato Mondiale della Pesca e dell’Acquacoltura 2024” (SOFIA), la percentuale di stock marini pescati entro livelli biologicamente sostenibili è scesa al 62.3% nel 2021, il 2.3% in meno rispetto al 2019. Se ponderati in base al livello di produzione, si stima che il 76.9% degli sbarchi del 2021 da stock monitorati dalla FAO provenissero da stock biologicamente sostenibili (SOFIA). Secondo il rapporto FAO – GFCM precedentemente citato e che comprende anche dati sulla pesca eccessiva in Mediterraneo, la percentuale di stock sovrasfruttati in quest’area è scesa sotto il 60% per la prima volta, seguendo una tendenza decrescente iniziata dieci anni fa (SOFIA). La Macroregione Mediterranea rileva trend positivi, ma deve evidenziare che il settore resta sotto stress. Infatti, sebbene lo sfruttamento eccessivo degli stock ittici sia diminuito, la pressione di pesca nel Mediterraneo è ancora al doppio del livello considerato sostenibile (SoFMi, 2023). La IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione delle Natura), in una recente pubblicazione riporta che settantaquattro specie di squali sono a rischio estinzione

(IUCN, 2022). In particolare, un quarto delle specie di pesci cartilaginei (249 su 1041, di cui 74 squali e 107 razze) rientrano tra quelle minacciate secondo la Lista Rossa della IUCN, il più completo inventario del rischio di estinzione delle specie a livello globale. Oltre la metà delle specie di squali e razze del Mediterraneo è a rischio estinzione (Bradai et al., 2012; Frisk et al., 2005). Nonostante le misure adottate negli ultimi decenni a livello regionale per la salvaguarda di questi abitanti del mare, almeno il 53% delle specie di squali, razze e chimere native del Mediterraneo è a rischio scomparsa, circa 46 su 85 note, numero che si riduce a 40 su 73 se si considera che per 12 specie non abbiamo sufficienti informazioni per valutarne lo stato di conservazione (Bradai et al., 2012).

La crescente richiesta dei mercati e il fatto che a livello globale la pesca diretta verso altre specie commerciali ha raggiunto per molti stock ittici livelli non più sostenibili, hanno fatto sì che molte specie di Condroitti siano attualmente soggette ad un sovrasfruttamento che mette in serio pericolo la loro conservazione (Dulvy et al., 2014).

Le caratteristiche biologiche o life history dei condroitti, l'intensa attività di pesca professionale, la pesca ricreativa e artigianale, il commercio di specie per acquari, la perdita di habitat, l'inquinamento e la degradazione dell'ambiente

contribuiscono alla perdita di abbondanza e di biodiversità dei condroitti in Mediterraneo, oltre che a una riduzione dell'ampiezza dei loro areali di distribuzione (Cailliet et al. 2005; Ferretti et al., 2008).

1.2.1 Caratteristiche biologiche dei condroitti

I condroitti, presentano prevalentemente strategie di tipo K, contrariamente ai pesci ossei che sono per lo più r-strateghi (Cailliet et al. 2005). Infatti, i teleostei producono annualmente decine di milioni di piccole uova sebbene solo pochi giovanili raggiungano la maturità sessuale, il reclutamento nella popolazione degli adulti è ampiamente indipendente dalla dimensione dello stock dei riproduttori e fortemente dipendente da variabili ambientali. A differenza dei teleostei, il reclutamento dei pesci cartilaginei è strettamente correlato con il numero di femmine mature in riproduzione (Rago et al., 1998; Wourms, 1977; Coll et al., 2013), sebbene alcuni fattori densità dipendenti possano influenzare la dimensione dello stock di elasmobranchi (Musick et al. 1993; Van Der Elst, 1979; Gedamke et al., 2007). Generalmente gli elasmobranchi hanno lenti tassi di accrescimento, raggiungono tardivamente la maturità sessuale, hanno bassa fecondità e produttività, un lungo periodo di gestazione, un lungo ciclo vitale ed un'elevata capacità di sopravvivenza di tutte le classi di età (Dulvy et al., 2014; Frisk et al., 2005; Marongiu 2014, Bargione et al., 2019). Queste caratteristiche, che si sono

mantenute per 400 milioni di anni, sono vincenti in un ambiente in cui gli unici predatori naturali sono squali più grandi. Solo pochi giovani capaci di raggiungere la maturità sono sufficienti per mantenere livelli di popolazione adeguati in condizioni naturali. Tuttavia, queste caratteristiche riproduttive di tipo K, combinate con la tendenza di molte specie a formare aggregazioni per età, sesso e fase riproduttiva, comportano gravi conseguenze per la conservazione di queste specie, soprattutto in caso di alti livelli di attività di pesca (Cailliet et al. 2005; Dulvy et al., 2008; Finucci et al., 2018).

Buona parte delle strategie di gestione della pesca si basano sulle caratteristiche riproduttive tipiche dei pesci teleostei. Questo implica che man mano che gli individui maturi di elasmobranchi vengono pescati, il numero di giovanili che supporteranno le future generazioni, diminuirà, limitando la futura produttività della pesca e la capacità delle popolazioni di elasmobranchi di riprendersi dalla pesca eccessiva (Cailliet et al. 2005). Di conseguenza, per garantire la sostenibilità della pesca degli elasmobranchi (squali e razze), è necessario un approccio gestionale molto diverso rispetto a quello attualmente impiegato per i teleostei (Stevens, 2000).

Tuttavia, sebbene la maggior parte degli elasmobranchi abbia tempi di accrescimento lenti e un basso potenziale riproduttivo, alcuni squali e razze, soprattutto quelli di più piccole dimensioni, non hanno delle caratteristiche biologiche così estreme. In generale gli elasmobranchi di piccola dimensione raggiungono prima la maturità sessuale, hanno un ciclo di vita più breve e tassi di accrescimento delle popolazioni più elevati (Cortés, 2000). Le specie più resilienti allo sfruttamento sono quelle di più piccola taglia, generalmente ovipare, che vivono sotto costa e che hanno evoluto tempi generazionali più brevi come forma di adattamento all'elevata pressione predatoria (Smith et al., 1998; Carrier et al., 2022). Queste specie potrebbero essere in grado di sostenere l'attività di pesca professionale se correttamente e attentamente gestite e regolate da piani di gestione (Walker, 1998; Carrier et al., 2022). Al contrario, le specie più longeve e di più grandi dimensioni hanno minore capacità di sostenere una condizione di sfruttamento e di recuperare in seguito a deplezione (Smith et al., 1998; Carrier et al., 2022). Dunque, per queste specie la pesca deve essere cautamente regolamentata per la loro conservazione nel tempo (Camhi et al. 1998; Carrier et al., 2022).

1.2.2 Degradazione dell'ambiente marino

La perdita di habitat, la degradazione ambientale e l'inquinamento influenzano negativamente la riproduzione e la sopravvivenza di tutti gli elasmobranchi, alterando il funzionamento degli ecosistemi. L'aumento della pressione di pesca a partire dalla seconda metà del ventesimo secolo e l'aumento dell'antropizzazione delle coste hanno causato, e tuttora causano, la degradazione dell'ambiente marino, contribuendo a rappresentare una minaccia per le popolazioni di elasmobranchi in Mediterraneo (Camhi et al. 1998; Leonetti et al., 2020). In particolare, la degradazione degli habitat costieri causa la perdita di quelle che vengono definite *aree di nursery* e *aree di mating*, molte specie infatti, si riproducono e passano i loro primi anni di vita in zone ad acque più basse, fondamentali da individuare per far sì che possano essere protetti i momenti più delicati ed importanti della vita di queste specie (Barbato et al., 2023). Inoltre, in quanto top e meso-predator, gli elasmobranchi possono bioaccumulare diverse sostanze inquinanti (Abdulla 2004). Il Mar Mediterraneo è inquinato da metalli pesanti, pesticidi e altri prodotti e alcuni studi hanno dimostrato come alcuni squali, come lo spinarolo (*Squalus acantias*) (Linneo, 1758), contengano elevati livelli di mercurio (Abdulla 2004). Concentrazioni elevate di Bifenili Policlorurati (PCB) e Pesticidi Organoclorurati (DDT) sono stati ritrovati nel fegato di due

specie di squalo in Mediterraneo, la verdesca (*Prionace glauca*) (Linneo 1758) e lo zigrino (*Dalatias licha*) (Bonnaterre 1788), ma più in generale, in squali appartenenti agli alti livelli delle catene trofiche (Carchariniformes e Lamniformes) (Storelli et al., 2005; Tiktak et al., 2020). Dunque, la degradazione e perdita degli habitat e il bioaccumulo di sostanze chimiche inquinanti influenzano la salute e la produttività delle popolazioni di elasmobranchi e l'insieme delle dinamiche che regolano il funzionamento delle reti trofiche. In particolare, quelle specie che hanno areali di distribuzione ristretti e popolazioni di piccole dimensioni sono le più sensibili e vulnerabili a questi fattori, oltre ad essere le meno studiate (Thorson, 1982; Dulvy et al., 2014; Carrier et al., 2022).

1.2.3 Interazione elasmobranchi e pesca

In Mediterraneo l'intensa attività di pesca, che si estende dalla piattaforma continentale alla parte superiore della scarpata, fino a 800 metri di profondità, interagisce, in genere indirettamente, con gli elasmobranchi che sono prevalentemente catturati accidentalmente (bycatch). Con il termine “**Bycatch**” si definisce la cattura involontaria o accidentale di specie non target durante l'attività di pesca, ma questo termine si riferisce anche a individui sotto taglia o “rovinati” e quindi di scarso valore commerciale (Fordham, 2006). Si, stima che circa 100.000 squali vengano catturati accidentalmente ogni anno in Mediterraneo

(Bradai et al., 2012). Lungo la regione costiera mediterranea operano la grande e piccola pesca, con un impatto ingente sul declino degli elasmobranchi (Ferretti et al., 2008). Gli elasmobranchi, infatti, sono catturati accidentalmente sia attraverso diversi attrezzi impiegati nella pesca professionale (reti da posta, reti a circuizione, palangari di fondo e di superficie, reti a strascico), ma anche la piccola pesca artigianale e ricreativa, insieme all'attività di pesca oceanica, contribuiscono in buona parte al bycatch degli elasmobranchi (OCEANA 2007; Romanelli et al., 2007).

In Mediterraneo i grandi squali sono diminuiti drammaticamente negli ultimi due secoli. Solamente per 5 delle 20 specie di grandi predatori vi sono dati sufficienti per poter essere monitorate e tutte presentano una diminuzione che va dal >96% a oltre il >99.99%, sono quindi classificate come “gravemente minacciate” (CR =critically endangered) secondo la IUCN (Ferretti et al., 2008). Nel bacino Mediterraneo i principali paesi che pescano pesci cartilaginei sono la Turchia, Tunisia, Grecia, Italia e Spagna; le specie più comunemente catturate lungo le aree costiere appartengono ai generi *Mustelus*, *Scylorhinus*, *Squalus*, *Mylobatis* e *Dasyatis* e alla famiglia *Rajidae* (Ferrà et al., 2016; Garibaldi 2010; Porcu et al., 2014; Walker, 1998). In passato in Italia esistevano attività di pesca mirate alla cattura degli elasmobranchi. Oggi questi organismi sono per lo più catturati

accidentalmente in attività di pesca che mirano a target differenti (Relini et al. 2010).

Il bycatch è molto comune in numerose attività di pesca, in particolare gli attrezzi utilizzati in superficie, come i palangari derivanti catturano elasmobranchi pelagici (verdesche e squalo volpe), mentre gli attrezzi utilizzati sul fondo, come reti a strascico e reti da posta, catturano elasmobranchi demersali (Ferrà et al., 2016; Garibaldi 2010). Ciò può portare a una diminuzione degli stock di condroitti in seguito ad eccessivo bycatch, anche quando le specie target si trovano entro livelli di pesca sostenibili (Musick et al., 2000). Nel 1994 la FAO aveva stimato che circa 27 milioni di tonnellate di “prodotti marini” non venivano sbarcati e spesso questa porzione era rappresentata proprio da elasmobranchi catturati accidentalmente e rigettati in mare (Bradaï et al., 2012). Con il termine “**Discard**” si definisce quella parte della cattura che è rigettata in mare perché non viene venduta al mercato o perché ne è proibito lo sbarco in seguito al superamento dei limiti volumetrici o per regolamenti dell’assegnazione di quota (OCEANA 2007). Grazie alla Politica Comune della Pesca (PCP), riformata con il **Regolamento (UE) n. 1380/2013** si è introdotto l’obbligo di sbarco per tutte le specie pescate (“*landing obligation*”) nell’Unione Europea. Questa riforma implementata nel 2015, e che ha visto piena attuazione dal 2019, ha lo scopo di ridurre la pratica del

rigetto in mare, che comporta lo spreco di pesce non utilizzato, danneggia la sostenibilità degli stock ittici e modifica la composizione delle catene trofiche (Catchpole et al., 2017). L'obbligo di sbarco permette anche di valutare in maniera più completa la reale quantità di elasmobranchi pescati e di raccogliere informazioni utili su queste specie così vulnerabili e difficili da studiare (Bargnesi et al., 2020).

Uno studio riporta che gli elasmobranchi rappresentano l'1-2% dello sbarcato totale ufficiale in Mediterraneo, circa 7.000 tonnellate all'anno (Bradai et al., 2012). Limitare il bycatch è la grande sfida che molte marinerie ed enti di ricerca si sono poste come obiettivo nel breve tempo, data la fondamentale importanza che queste specie ricoprono all'interno dell'ecosistema marino e consapevoli dei danni che può causare una loro estinzione anche su scala locale (Ferretti & Myers 2006).

1.2.4 Commercializzazione degli elasmobranchi

Il valore economico degli elasmobranchi è poco elevato se confrontato con quello dei pesci ossei e molluschi commercializzati in Mediterraneo, ma poiché squali e razze sono solitamente commercializzati senza la pelle oppure in tranci o filetti, capita spesso che specie come la verdesca o lo squalo mako possano essere

vendute come pesce spada (*Xiphias gladius*) (Bloch, 1786), data la somiglianza delle carni (Ferrito et al., 2019; Garibaldi, 2010). Uno studio recente ha rilevato che ben 32 degli 80 campioni prelevati da venditori al dettaglio e grossisti di diverse tipologie, e venduti come pesce spada, erano in realtà carne di verdesca e squalo mako (Cashion et al., 2019). Stando alla Guardia costiera italiana, lo squalo venduto come pesce spada rappresenta una delle tre frodi alimentari più comuni in Italia. Attraverso le analisi del DNA, si è inoltre scoperto che alcune specie di squali vengono etichettate come specie diverse: il 56% dei campioni analizzati in un mercato greco è risultato classificato in modo incorretto, incluse alcune specie in pericolo e protette vendute (illegalmente) ai consumatori (Pazartzi et al., 2019).

A partire dagli anni '80 del secolo scorso, la *shark fisheries* si è espansa enormemente, sia in numero di individui catturati che in dimensioni del fenomeno, per l'aumento di richiesta di pinne di squalo, il cosiddetto “*shark finning*”, per la carne e la cartilagine (Abdulla 2004). Nonostante questo fenomeno sia in continuo aumento, buona parte della *shark fisheries* è ancora oggi poco monitorata e regolamentata (Abdulla 2004). Questa pratica è molto dannosa e rappresenta un enorme spreco perché prevede la rimozione delle pinne di squali (circa il 2 – 5% del peso) che poi vengono gettati in mare, ancora vivi e destinati a morire. Il “*finning*” causa la morte di decine di milioni di squali, minacciando direttamente

le specie rare e vulnerabili e impattando indirettamente su altre specie commerciali che risentono della rimozione dei predatori apicali dalle reti alimentari. Questa pratica è però, vietata in Europa ed in Mediterraneo con il **Regolamento CE n. 1185/2003** (GFCM).

Lo squalene, presente nel fegato degli elasmobranchi, viene utilizzato nell'industria farmaceutica come adiuvante nei vaccini e nella cosmetica (Mendes et al., 2022). Dal sangue degli squali si estraggono sostanze simili all'eparina (con proprietà anticoagulanti) che le rendono adatte nella prevenzione di molte malattie cardiovascolari (Musick 2005). La cartilagine degli elasmobranchi, insieme ad altre parti del corpo come cervello, stomaco e pelle, ridotta in polvere, creme o capsule, viene utilizzata in diverse preparazioni farmaceutiche (Musick 2005).

1.3 Normative e misure comunitarie

La pesca degli elasmobranchi (squali e razze) nell'Unione Europea è regolata da una serie di piani normativi e regolamenti per proteggere queste specie vulnerabili. I principali strumenti normativi europei che regolano la pesca agli elasmobranchi sono i seguenti:

- **Regolamento (UE) n. 1380/2013 sulla Politica Comune della Pesca (PCP)**, la PCP fornisce il quadro generale per la gestione della pesca

nell'UE, promuovendo la sostenibilità a lungo termine degli stock ittici, compresi gli elasmobranchi. Il regolamento incoraggia la protezione degli ecosistemi marini e l'adozione di misure per garantire che la pesca di specie vulnerabili sia regolata in modo sostenibile (**Eur-Lex**).

- **Regolamento (CE) n. 1185/2003 sul divieto del finning**, questo regolamento vieta la pratica del “*shark finning*” (rimozione delle pinne di squalo e scarto del resto del corpo) nelle acque europee. Tutti gli squali pescati devono essere sbarcati con le pinne attaccate al corpo, una misura fondamentale per prevenire lo sfruttamento eccessivo degli squali (**Eur-Lex**).
- **Piano d'Azione dell'UE per la Conservazione e la Gestione degli Squali (2009)**, l'Unione Europea ha adottato un Piano d'Azione per migliorare la protezione degli squali e delle razze (**DG MARE**). Gli obiettivi includono:
 - La riduzione della mortalità accidentale degli elasmobranchi nella pesca.
 - Il miglioramento della raccolta di dati e della ricerca scientifica sulle specie.

- L'introduzione di misure di gestione per limitare le catture.
- **Regolamenti sulle quote di catture (TAC e contingenti)**, ogni anno l'UE stabilisce **Totali Ammissibili di Cattura (TAC)** per varie specie, inclusi alcuni elasmobranchi. Per alcune specie di squali e razze, è stata introdotta una politica di "**zero catture**", ovvero il divieto totale di catturarli, come nel caso dello squalo spinarolo (*Squalus acanthias*) (Linneo, 1758) e di altre specie minacciate (**ICCAT**).
- **Regolamento (UE) n. 2016/2336 relativo alla pesca con reti a strascico nel Mar Mediterraneo**, questo regolamento stabilisce restrizioni specifiche sull'uso delle reti a strascico nel **Mar Mediterraneo**, con l'obiettivo di proteggere gli ecosistemi vulnerabili, tra cui gli elasmobranchi. Impone limiti di profondità e zone vietate alla pesca, riducendo così la cattura accidentale di specie sensibili (**Eur-Lex**).
- **Convenzione CITES e Regolamento (CE) n. 338/97**, l'UE ha ratificato la **Convenzione sul Commercio Internazionale delle Specie Minacciate di Estinzione (CITES)**, e alcune specie di elasmobranchi sono elencate negli allegati della CITES, il che significa che il loro commercio è strettamente

regolamentato o vietato. Il regolamento (CE) n. 338/97 attua le disposizioni della CITES nell'Unione Europea (**Eur-Lex**).

- **Normative specifiche regionali (es. ICCAT e GFCM)**, l'Unione Europea è membro dell'ICCAT (Commissione Internazionale per la Conservazione dei Tunnidi dell'Atlantico) e del GFCM (Commissione Generale per la Pesca nel Mediterraneo), che adottano misure di gestione specifiche per gli elasmobranchi nelle loro rispettive aree di competenza. Queste includono limiti di cattura, misure di protezione per le specie vulnerabili e la protezione di habitat critici (**ICCAT e GFCM**).
- **Misure per la protezione delle specie minacciate**, l'UE ha stabilito misure per la protezione di specie di elasmobranchi classificate come **minacciate** o **in pericolo** dall'IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura). Alcune specie, come lo squalo angelo (*Squatina squatina*) (Linnaeus, 1758), godono di protezione integrale e non possono essere catturate o commercializzate (**DG MARE**).

1.4 La specie *Raja asterias*

1.4.1 Distribuzione

La razza stellata (*Raja asterias*) (Delaroche, 1809), è una specie di medie dimensioni che appartiene alla famiglia *Rajidae* e rappresenta una delle specie di batoidei più caratteristiche dell'Atlantico orientale e del Mar Mediterraneo, con probabile esclusione del Mar Nero (Ferrà et al., 2016; Fischer et al. 1987, Relini et al. 2000; Serena, 2006; Barone et al., 2007; Serena et al., 2010). Inoltre, la sua presenza è stata registrata lungo la costa atlantica del nord del Marocco e nel sud del Portogallo (Whitehead et al. 1984; Serena et al., 2005). La specie se pur diffusa in tutto il bacino mediterraneo risulta però meno comune nella parte orientale. In precedenza, la specie era registrata solo nella parte meridionale dell'Adriatico (Jardas, 1984; Sviben et al., 2019); oggi invece la sua distribuzione comprende l'intero Mare Adriatico, in particolare la parte occidentale (Jardas et al., 2008; Sviben et al., 2019) (Figura 2). La specie sembra essere presente in due forme geograficamente e geneticamente distinte nel Mediterraneo centrale, una adriatica e una tirrenica/ligure, senza alcuna evidenza di flusso genico tra i due stock (Valsecchi et al., 2005). Questa specie abita acque costiere (fino a circa 100 m di profondità) (Stehmann e Bürkel, 1984; Valsecchi et al., 2005), ed è possibile che la discontinuità della piattaforma continentale impedisca a *R. asterias* di

dispersersi su lunghe distanze, migliorando così la formazione di stock differenziati. La sequenza relativamente alta tra i due aplotipi, ciascuno caratteristico di uno dei due stock, suggerirebbe un isolamento a lungo termine tra i due stock (Valsecchi et al., 2005). *Raja asterias* vive in acque costiere su fondali fangosi o sabbiosi e, anche se può essere avvistata da 2 a 200 m, è presente soprattutto a profondità comprese tra 20 e 50 m (Navarro et al., 2013; Fatimetou et al., 2016; Ferrà et al., 2016). In seguito all'accoppiamento, nei mesi primaverili, si sposta invece a profondità di circa 25 m (Serena et al., 2010).

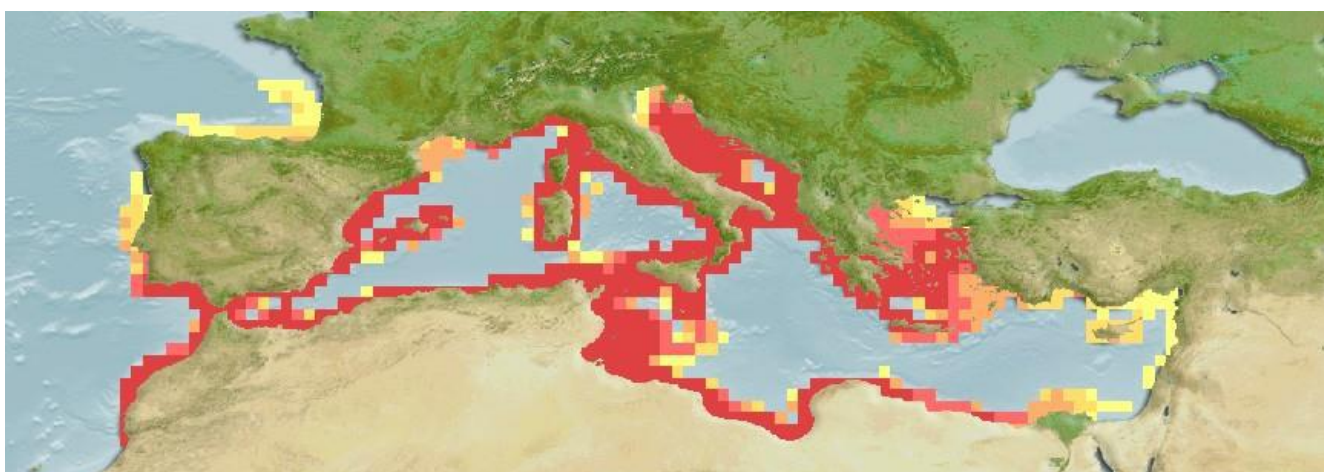


Figura 2. Distribuzione di *Raja asterias* (Fonte: www.fishbase.in).

1.4.2 Morfologia

La struttura scheletrica delle razze prevede tre porzioni distinte: la regione cefalica, la regione toracica e la regione caudale (Figura 3). La prima regione comprende le strutture vitali del neurocranio e della cartilagine rostrale di

importanza tassonomica come, ad esempio, la cartilagine di Meckel. Gli archi branchiali e il cinto pettorale sono allocati nella regione toracica. Il cinto pelvico rimane a cavallo tra la seconda e la terza regione caudale (Serena et al., 2010).

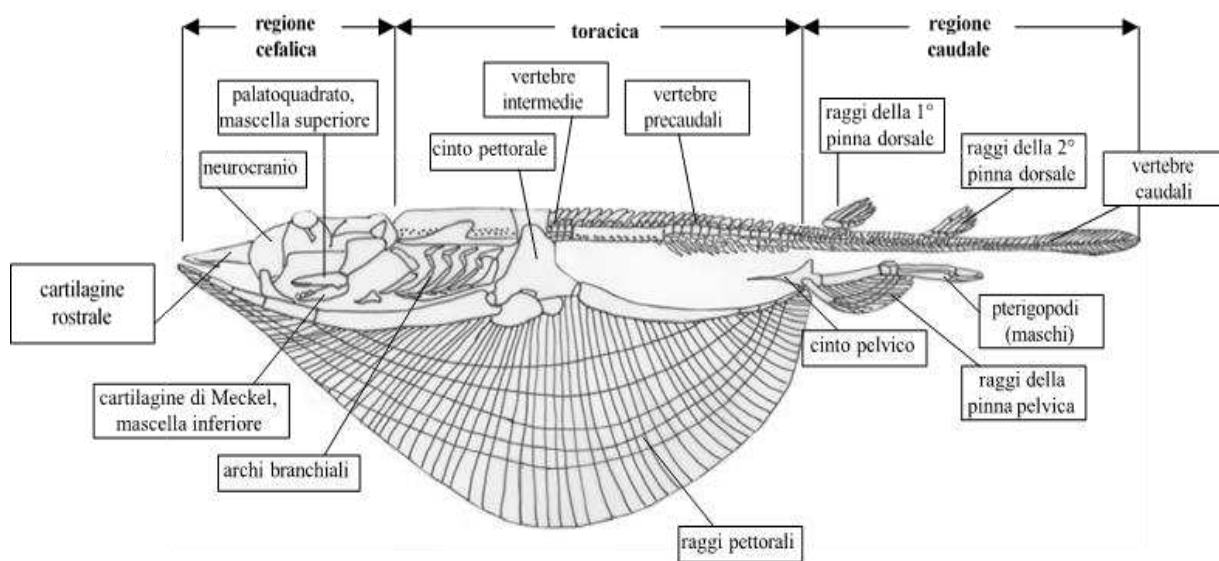


Figura 3. Schema generale di un batoideo (Da Hamlett, 1999, modificato da Serena et al., 2010).

Tutte le razze presentano un corpo depresso dorso-ventralmente differenziabile in un disco più largo che lungo che termina con un rostro e una coda allungata. Sul lato dorsale sono presenti gli occhi e gli spiracoli, sul lato ventrale sono presenti 5 paia di branchie, la bocca e le narici (Figura 4). Le razze nuotano grazie alle ampie pinne pettorali che si muovono dall'alto verso il basso. La pinna anale è assente. Nei maschi dalle pinne ventrali bilobate si sviluppano due pterigopodi, gli organi sessuali esterni. La superficie dorsale può essere ricoperta da spinule, che

costituiscono una sorta di zigirino, o da spine; alcune volte sono presenti grosse spine molto robuste che possono disporsi anche sul lato ventrale (Figura 5).

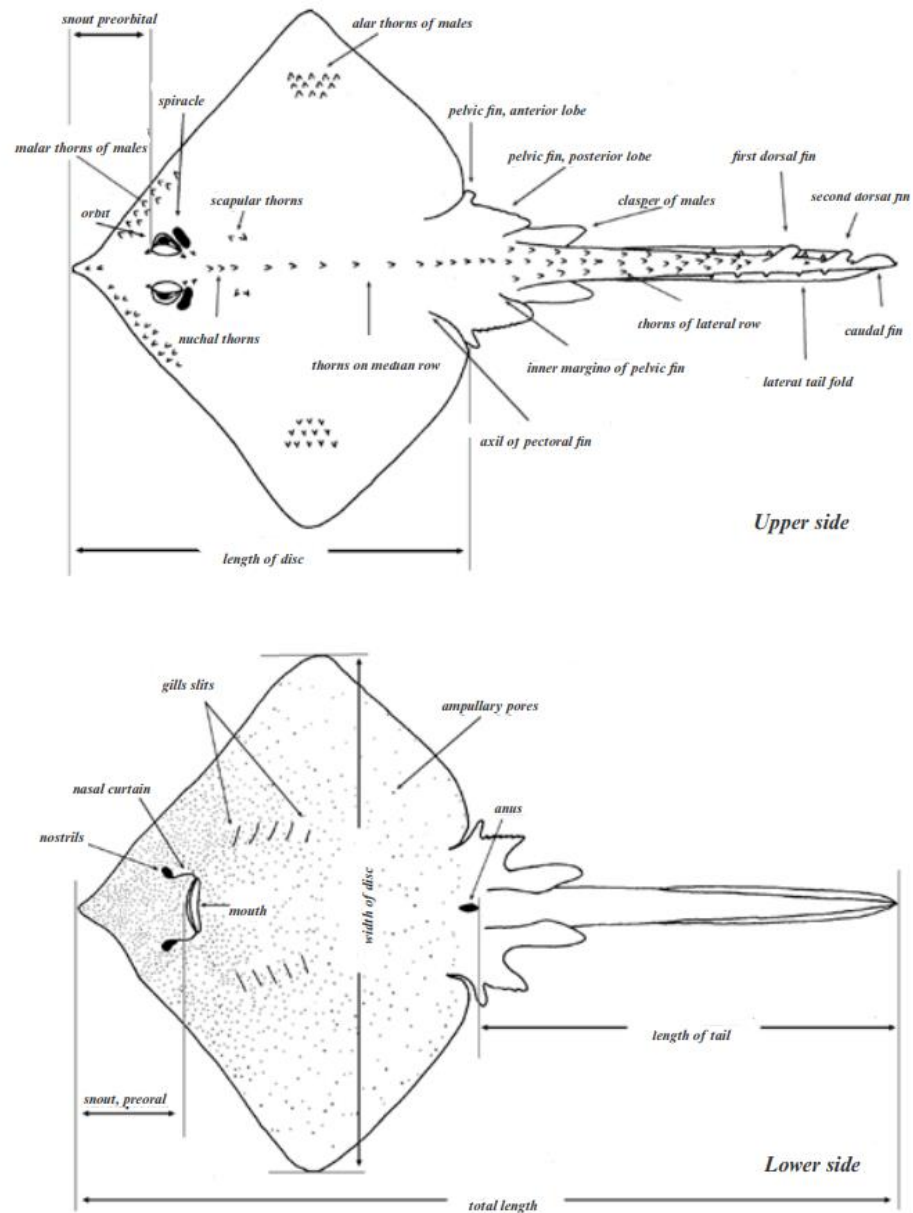


Figura 4. Schema del lato dorsale (in alto) e del lato ventrale (in basso) di una razza (Fonte: Serena et al., 2010).



Figura 5. Esempio di una spina presente sul dorso di *R. clavata* (Fonte: Serena et al., 2006).

La presenza di queste spine sul corpo varia in funzione dell'accrescimento, dell'età e della maturità sessuale. La colorazione è molto diversa anche all'interno della stessa specie e i disegni sul dorso possono essere altrettanto vari. Il lato ventrale è solitamente chiaro nelle specie costiere, mentre può essere scuro nelle specie che vivono in zona di scarpata o nel piano batiale.

Raja asterias si distingue per le particolari marcature dorsali a forma di stelle, da cui deriva il nome comune (Serena et al. 2010; Notarbartolo di Sciara et al. 1998).

La razza stellata è di taglia media, presenta un muso moderatamente allungato e smussato con un rostro poco pronunciato, ma rigido e duro come buona parte dei membri della famiglia dei Rajidae. La coda è poco più lunga del disco e gli individui adulti possono raggiungere una lunghezza di circa 70-80 cm, con una

larghezza che può arrivare fino al 70% della lunghezza totale (Serena et al. 2010) (Figura 6). La superficie dorsale è liscia nei giovani e spinosa negli adulti, presentano, infatti, una fila mediana di $\approx 50/70$ spine ravvicinate dalla nuca alla prima pinna dorsale (Carrier et al. 2022; Ferrà et al., 2016). Gli occhi presentano spine in diverse posizioni, ed in particolare i maschi adulti hanno anche spine alari e malari (Elbert & Dando 2022) (Tabella 2).

Tabella 2. Tabella riassuntiva del numero e della posizione delle spine attorno agli occhi di *Raja asterias*.

Numero spine	Posizione spine
1-3	Pre-orbitali
1	Post-orbitali
1-4	Nucali
1-2	Scapolari

La superficie ventrale è liscia a parte l'apice del muso (Hamlett et al. 1999; Ferrà et al., 2016; Romanelli et al., 2007) (Figura 7).

La colorazione dorsale di questo pesce cartilagineo è bruno-giallognola. Presenta numerosi puntini scuri e macchie simmetriche con centro chiaro circondate da macchie scure irregolari. Il lato ventrale è biancastro, ad eccezione dei margini

rosati delle pinne pettorali (Hamlett et al. 1999; Elbert & Dando 2022; IUCN)
(Figura 6 e Figura 7).



Figura 6. Figura. Immagine di *Raja asterias*, visione dorsale.



Figura 7. Visione del lato ventrale di *Raja asterias*.

1.4.3 Comportamento

Raja asterias, come altre specie di razze, adotta comportamenti peculiari legati all' habitat bentonico in cui vive e alla sua strategia alimentare e riproduttiva (Serena et al. 2005). Vive su fondi mobili, sabbiosi, fangosi e detritici, dove si distingue per la sua capacità di mimetizzarsi con il substrato marino, sia per proteggersi dai predatori, sia per avvicinarsi alle prede senza farsi notare. Questo comportamento di riposo passivo viene alternato a momenti di attiva ricerca del cibo (Compagno et al. 2013; Yemişken et al., 2018). Questa specie tende a essere una specie solitaria, con interazioni sociali limitate a momenti specifici, come la riproduzione. Non mostra un comportamento altamente territoriale, ma si è osservato che alcuni individui possono mantenere una certa distanza tra loro sul fondale, evitando sovrapposizioni nei territori di caccia per ridurre la competizione (Ferrà et al., 2016; Romanelli et al., 2007). Questa specie non compie grandi migrazioni stagionali, preferendo rimanere in aree costiere dove trova sia cibo che condizioni di habitat favorevoli. Tuttavia, esiste una relazione diretta tra le dimensioni degli individui e la profondità a cui si trovano: le forme giovanili frequentano i bassi fondali (7-10 metri), mentre gli adulti guadagnano progressivamente profondità sempre maggiori (Abella et al. 1997; Catalano et al., 2022).

Come strategia difensiva può alzare e irrigidire le spine dorsali presenti sulla parte centrale della coda, rendendosi meno appetibile ai potenziali predatori. In situazioni di estremo pericolo, può compiere rapidi movimenti ondulatori con le pinne pettorali, spostandosi velocemente per evitare di essere catturata (Abella & Serena, 2005; Ferrà et al., 2016; Romanelli et al., 2007).

1.4.4 Caratteristiche del ciclo biologico

Le razze sono gonocoriche e presentano un complesso comportamento di corteggiamento e accoppiamento. La riproduzione prevede una fecondazione interna: durante l'accoppiamento il maschio trattiene la femmina con le pinne pettorali e tramite gli pterigopodi trasferisce lo sperma all'interno di quest'ultima (Romanelli et al., 2007). Le razze sono specie ovipare, le uova sono protette da un guscio corneo prodotto dalla ghiandola nidamentale, tipica degli elasmobranchi. Dalle uova, dopo circa 5-6 mesi, nasce un individuo giovanile di 8 centimetri di lunghezza totale, già autosufficiente. La morfologia della capsula ovarica varia in base alla specie, ma in generale è rettangolare, presenta quattro appendici cave disposte agli angoli, per permettere la respirazione dell'embrione, è ricoperta da una sostanza gelatinosa ed è spesso dotata di molti filamenti che ne permettono l'adesione al fondale, aiutando l'uovo a fissarsi al substrato e proteggendolo dai movimenti delle correnti e dai predatori (Ferrà et al., 2016) (Figura 8). Inoltre, le

uova sono deposte a gruppi in luoghi riparati e spesso vengono semi sepolte nel sedimento.

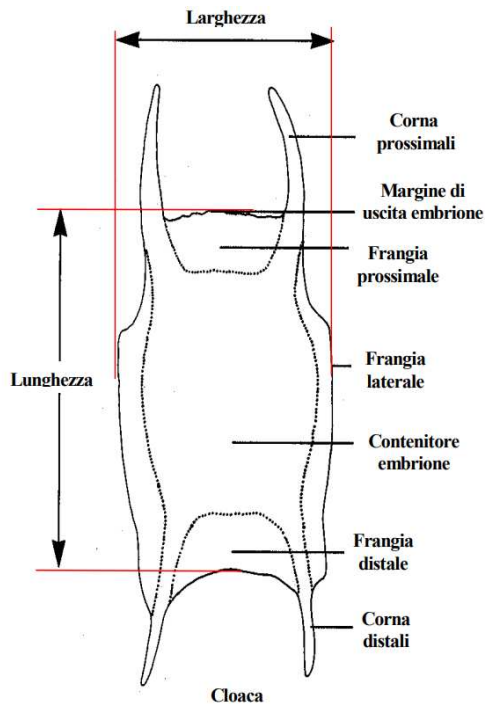


Figura 8. Schema generico di una capsula ovarica di razza (a sinistra) e capsula ovarica di *R. asterias* (a destra) (Serena et al., 2008).

La modalità riproduttiva evolutasi nella famiglia Rajidae può essere definita come oviparità lecitotrofica singola, in cui l'intero sviluppo embrionale è supportato unicamente dal vitello e la deposizione prevede che venga deposto un uovo per volta da ciascun ovidotto, avvolto in una capsula rigida. Questa modalità si è evoluta negli elasmobranchi di piccole dimensioni; i batoidei sono infatti caratterizzati dall'avere una forma del disco che limita lo spazio celomico e la

capacità uterina, avrebbero quindi una fecondità limitata nel caso in cui fossero vivipari. Nelle razze la deposizione può essere annuale o semestrale. In generale la produzione di uova avviene durante tutto l'anno, sebbene in alcuni momenti la percentuale di femmine mature sia maggiore (Serena et al., 2010). Per la determinazione dello stadio di maturità è essenziale tenere in conto aspetti differenti in base ai sessi. Nelle femmine è necessario osservare lo stadio di sviluppo degli oociti, dell'ovario, degli ovidotti e della ghiandola dell'ovidotto e nei maschi lo stadio di sviluppo dei testicoli, dei dotti deferenti, la consistenza degli pterigopodi e dello scheletro.

Raja asterias si accoppia in primavera quando gli individui maturi si incontrano a profondità di circa 25 metri e producono tra le 40 e le 60 uova o capsule (Ferrà et al., 2016). Il ciclo vitale è mostrato in Figura 9. Le capsule ovigere sono lunghe 6-7 cm e larghe 3 cm e vengono deposte principalmente in estate ed autunno a 30-40 m di profondità. Lo sviluppo embrionale dura 5-6 mesi, quindi la schiusa avviene tra marzo e luglio (Serena et al., 2010). Risultati analoghi per quanto

riguarda il periodo di deposizione delle uova sono stati osservati da Capapé nelle coste tunisine (1977).

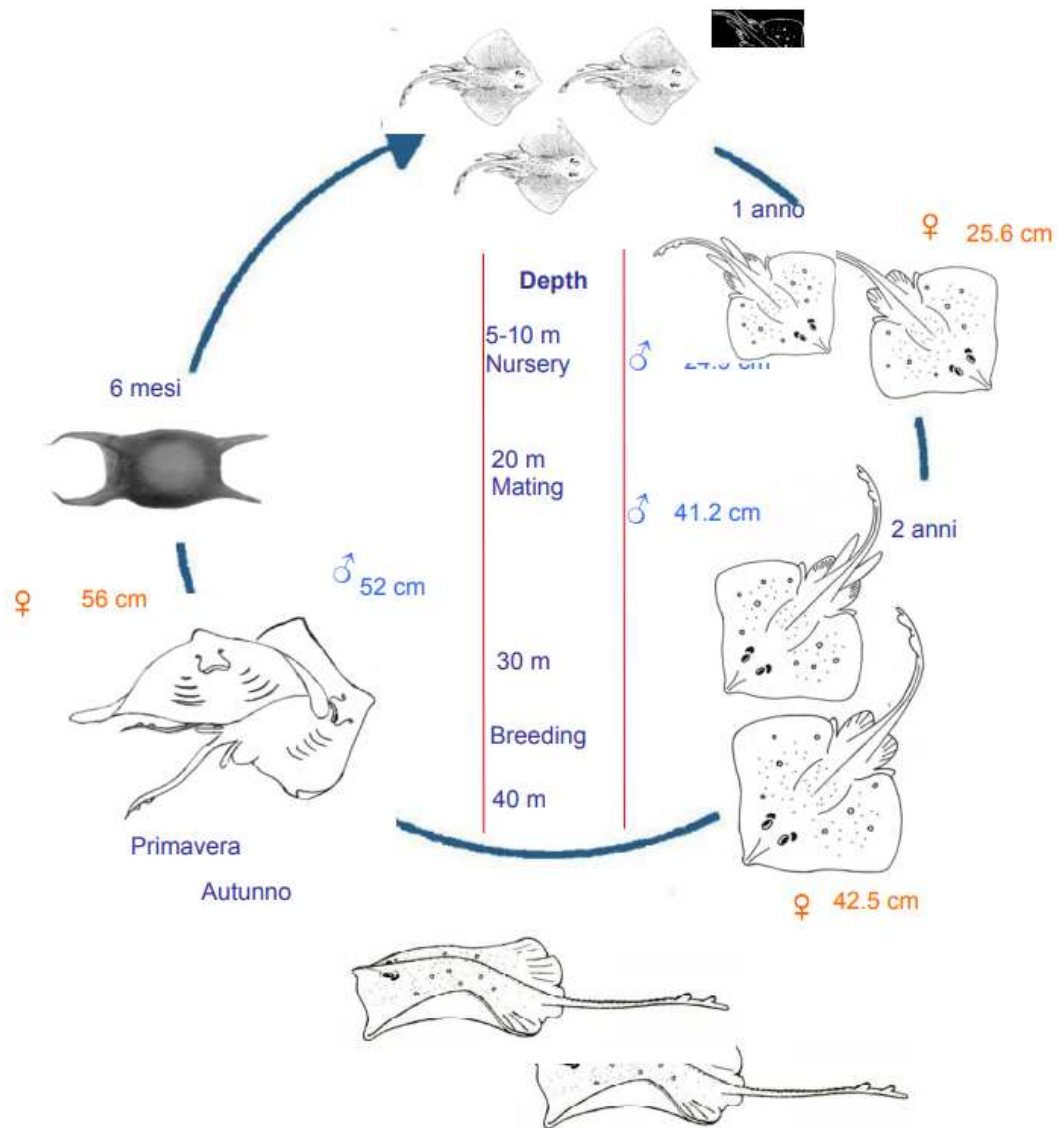


Figura 9. Ciclo vitale di *Raja asterias* (M. Barone e F. Serena) (Serena et al., 2008).

Alla nascita gli individui sono di circa 8 centimetri, ma le catture che generalmente vengono registrate riguardano individui delle classi intermedie, ovvero tra i 40 e i 50 centimetri, motivo per cui si sa ancora poco su quelli che sono gli stadi precoci e tardivi di questa specie (Scacco et al., 2024). La specie raggiunge la maturità sessuale a 3-4 anni di età e la L_{50} (ovvero la lunghezza alla quale il 50% degli individui ha raggiunto la maturità sessuale) è di 50-2 centimetri di lunghezza totale per i maschi e tra 56 e 57 centimetri per le femmine, a seconda dell'area di studio (Romanelli et al., 2007; Serena et al. 2005). In uno studio pubblicato nel 2016 e svolto in Medio-Alto Adriatico sono state trovati maschi maturi di circa 44.2 centimetri e femmine di 50.5 centimetri, a dimostrazione del fatto che probabilmente, in questa zona la taglia di prima maturità sessuale potrebbe essere minore (Ferrà et al., 2016). Un valore minore di L_{50} , osservato in Adriatico, potrebbe essere correlato ad un'elevata pressione di pesca nella zona, come già riscontrato in altre aree in uno studio del 2013 (Coll et al., 2013).

1.4.5 Accrescimento

Le informazioni riguardanti i tratti del ciclo vitale delle specie impattate direttamente o meno dalla pesca sono necessarie per lo sviluppo di eventuali piani di gestione e di conservazione di queste specie. In quest'ottica una determinazione quanto più precisa e accurata dell'età degli organismi è fondamentale. Una

determinazione imprecisa dell'età può portare ad un'errata stima delle dinamiche di popolazione e condurre così a seri errori gestionali culminanti nel sovrasfruttamento dello stock (Hoenig and Gruber, 1990; Hoff & Musick, 1990; Musick, 1999; Campana, 2001; Bellodi, 2015, Bargione et al., 2019).

Per i pesci ossei a questo scopo vengono analizzati gli otoliti, gli ossicini dell'orecchio, e in misura minore le scaglie, con la conta delle bande di accrescimento presenti. I pesci cartilaginei non hanno otoliti, per la stima della loro età si è valutato un insieme di strutture molte diverse fra loro, come le spine delle pinne dorsali (Bargione et al. 2019; Sion et al., 2002; Irvine et al., 2006), le spine delle pinne caudali (Gallagher et al., 2006; Serra-Pereira et al., 2008) e gli archi neurali (McFarlane, et al., 2002). Le strutture più utilizzate sono però le vertebre, talvolta utilizzate interamente (MacNeil & Campana, 2002), ma più frequentemente sezionate (e.g. Fahy et al., 1991; Gallagher et al., 2005; Licandeo et al., 2006; Yigin & Ismen, 2010; Duman & Başusta, 2013, Fisher et al., 2013; Porcu et al., 2015; Bellodi, 2015; Bellodi et al., 2023, 2024; Scacco et al., 2024).

Le vertebre dei pesci cartilaginei sono costituite da caratteristici anelli che testimoniano la crescita dell'individuo (Figura 10).

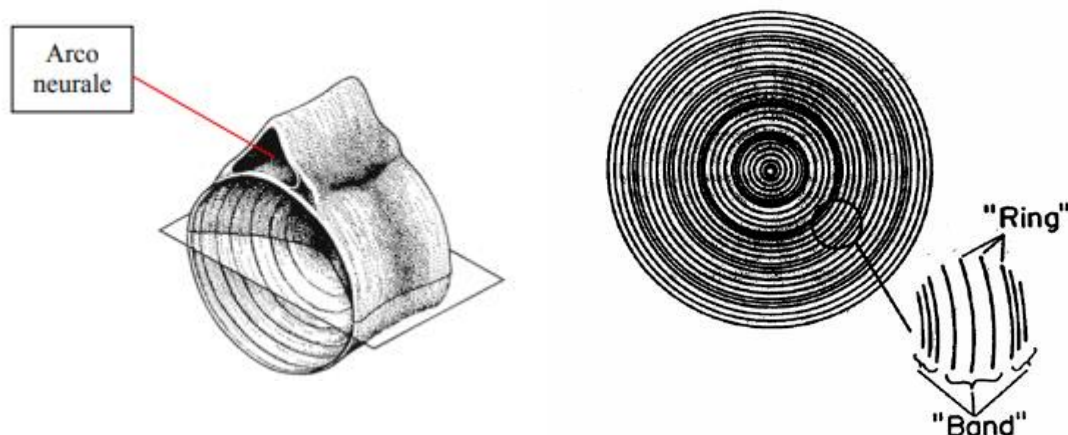


Figura 10. A sinistra, esempio di vertebra con arco neurale di un pesce cartilagineo con il piano longitudinale passante per il centro vertebrale. A destra, schema di una sezione trasversale di un centro vertebrale di pesce cartilagineo che mostra una “banda” costituita da diversi “anelli” (Fonte: Serena et al., 2008; Serena et al., 2010 da Cailliet et al., 1983).

Molti studi intrapresi sugli anelli di crescita nelle vertebre hanno rivelato che la loro formazione è determinata da fenomeni stagionali (La Marca, 1966; Serena et al., 2010). L'insieme dei diversi anelli di accrescimento presenti nel corpo vertebrale formano delle caratteristiche “bande” e all'alternarsi di una banda traslucida e di una opaca costituisce l'*annulus*, consentendo di stimare l'età dell'individuo in anni. Le bande possono essere opache e traslucide, spesso definite anche bande chiare e bande scure, rispettivamente. Tuttavia, quest'ultima definizione non è completamente appropriata, poiché la banda opaca (scura) appare chiara se osservata con luce riflessa, mentre appare effettivamente scura se osservata con luce trasmessa. Allo stesso modo la banda traslucida (chiara) appare

scura se osservata con luce riflessa, mentre appare chiara solo se osservata con luce trasmessa (Serena et al., 2010). La banda traslucida si forma durante periodi di condizioni sfavorevoli (basse temperature, minore disponibilità di cibo, ecc.) per la crescita dell'individuo. Al contrario, la banda opaca si forma nei periodi di condizioni favorevoli, durante i quali la crescita è più veloce (Panfili et al., 2002; Serena et al., 2010). Nelle specie di acque temperate la banda traslucida corrisponderebbe al periodo invernale, durante il quale le basse temperature e la scarsità di nutrimento sfavorirebbero la crescita. La banda opaca, invece, corrisponderebbe al periodo estivo, quando il metabolismo è più accelerato (Serena et al., 2010). Tuttavia, sulle vertebre si possono formare anche zone che non hanno una periodicità definita e che si possono classificare in due tipologie fondamentali: *a)* zone discontinue (non complete come traccia) ed irregolari e *b)* zone continue e molto marcate. Entrambe si definiscono come false zone o *checks*, ma mentre le prime sono deposte in corrispondenza di eventi inusuali corrispondenti a periodi di stress, come la carenza di cibo o basse temperature, le seconde riflettono momenti critici dello sviluppo ontogenetico (per esempio la schiusa o la riproduzione) (anelli di spawning) (Meekan et al., 1999; Landa e Pineiro, 2000; Serena et al., 2010), durante il periodo prenatale, o nei cambi nutrizionali (Abdel- Aziz, 1992; Bellodi et al., 2023; Scacco et al., 2024). Nel

corpo vertebrale si distinguono spesso anche falsi anelli che possono essere molto numerosi e difficili da riconoscere, creando difficoltà nella lettura degli anelli annuali di crescita che in certi casi fornisce un risultato poco attendibile.

Uno studio effettuato su *R. asterias* mostra l'alternanza di una banda opaca ed una traslucida nella sezione longitudinale della vertebra, costituite essenzialmente da cartilagine mineralizzata (fosfato di calcio). Attraverso la microscopia a scansione entrambe le bande hanno mostrato lacune condrocitiche, ampie e multiple nel caso delle traslucide, e piccole e singole per le opache (Serena et al., 2010).

Gli studi fino ad ora condotti su età e accrescimento della razza stellata hanno messo in evidenza che è una specie che può raggiungere la lunghezza massima di 80 centimetri ed un'età massima di 10 anni (Elbert & Dando 2022; Scacco et al., 2024).

1.4.6 Alimentazione e predazione

La dieta della razza stellata è costituita principalmente da pesci e crostacei, anche se occasionalmente sono stati ritrovati cefalopodi all'interno dello stomaco, predati principalmente durante l'autunno e l'inverno, quando l'animale può spendere le sue energie nella cattura di specie rapide (Fanelli et al., 2023; Serena et al. 2007). Alcuni studi hanno evidenziato una ripartizione della risorsa tra sessi. La ripartizione delle risorse tra maschi e femmine può essere spiegata, non solo

dalle differenze di fabbisogno energetico (le femmine mature producono due cicli di uova all'anno e quindi hanno bisogno di grandi quantità di energia), ma anche dalle differenze nella dentatura (Yemişken et al., 2017) (Figura 11). Infatti, i maschi hanno denti più appuntiti rispetto alle femmine, le quali presentano denti a forma di placca, utili per frantumare prede più dure (come bivalvi, gasteropodi e granchi). I denti più affilati e cuspidati nei maschi, al contrario, sembrerebbero facilitare la cattura dei pesci (Fanelli et al., 2023). Lo sviluppo della dentatura nelle razze è stato inoltre correlato al comportamento riproduttivo dei maschi durante la copula, che tendono a trattenere le femmine (Kajiura & Tricas, 1996). Inoltre, si può affermare che, durante i periodi di accoppiamento, questa specie tende ad adottare una dieta più generalista, mentre nel resto dell'anno tende a selezionare prede che forniscono più calorie e lipidi per garantire la formazione del tuorlo delle uova (Fanelli et al., 2023).



Figura 11. Mascelle maschili e femminili di *Raja asterias* (Serena et al., 2010).

1.4.7 Ecologia

Le razze e gli squali costituiscono una componente chiave dell'ecosistema bentonico marino per il loro ruolo nel mantenimento della struttura e del funzionamento delle reti alimentari (Libralato et al. 2006, Baum & Worm 2009; Barría et., 2015; Colloca et al., 2017). Le loro caratteristiche da specie K, come la longevità, la crescita lenta, la bassa fecondità e il tardivo raggiungimento della maturità sessuale, li rendono molto sensibili a cambiamenti dell'ecosistema, allo sfruttamento della pesca e il degrado dell'habitat, ed il ripristino di popolazioni sovrasfruttate è abbastanza difficile (Stevens et al., 2000; Myers & Worm 2003; Ferretti et al., 2010; Tserpes et al., 2013; Dulvy et al. 2014; Barría et al., 2015).

Per tali ragioni, squali e razze possono essere considerati buoni indicatori della salute degli ecosistemi (Stevens et al. 2000, Baum & Worm 2009; Barría et al., 2015).

L'elevata diversità delle strategie alimentari rende l'ecologia degli elasmobranchi particolarmente complessa da comprendere (Cortes, 1999; Yemiskén et al., 2018).

La diminuzione della popolazione di elasmobranchi top e meso-predator, responsabili dei controlli top-down delle reti trofiche, può modificare a cascata (*cascade-effect*) le comunità marine e gli ecosistemi, determinando, ad esempio, l'aumento delle loro prede (Baum & Worm 2009, Barría et al., 2015).

Nello studio di Navarro et al., (2013), che ha avuto come focus razze e squali del Mar Catalano, le razze hanno mostrato una posizione trofica leggermente superiore rispetto agli squali demersali. Tale risultato è in linea con quanto osservato nel Mare del Nord e nel Mare Adriatico Centrale, dove il gruppo di razze demersali mostrava un livello trofico di 4.16 e quello degli squali demersali era di 4.09 (Coll et al. 2007, Navarro et al., 2013).

1.4.7 Pesca

Attualmente, *R. asterias*, è elencata come specie a rischio minimo (Least Concern) dalla IUCN, ma in molte aree del Mediterraneo, le popolazioni di questa specie

sono sottoposte a forte pressione (IUCN, 2022). Data la sua distribuzione spaziale e batiale, spesso gli adulti di razza stellata rappresentano il bycatch di attività di pesca a strascico, mentre i giovanili vengono spesso catturati nei tramagli (Ferrà et al., 2016). Inoltre, la specie è catturata accidentalmente dalla pesca col “rapido” che mira ai pesci piatti, come sogliole (*Solea solea*) (Linneo, 1758) e rombi (*Scophthalmus rhombus*) (Linneo, 1758) (Catalano et al., 2022). La pesca non solo è un problema per la cattura diretta degli individui, ma anche perché, soprattutto lo strascico, distrugge l’habitat in cui questa specie vive e può causare il distacco delle uova che spesso vengono tirate su con le reti (Romanelli et al., 2007).

In uno studio del 2007, i dati ottenuti dalla pesca con “rapido” hanno evidenziato che le catture di *Raja asterias* sono significativamente superiori rispetto a quelle ottenute con le reti a strascico. Inoltre, le catture di razze sono particolarmente consistenti durante i periodi primaverili ed estivi. Tuttavia, è importante notare che la maggior parte delle razze catturate durante le diverse stagioni risulta sessualmente immatura, il che solleva preoccupazioni riguardo alla sostenibilità della pesca (Romanelli et al., 2007).

Gli stessi autori hanno rilevato che, durante le operazioni di pesca commerciale effettuate con reti sia “rapido” che “volantina”, molte delle razze catturate, con

entrambi gli attrezzi, erano già morte prima di essere scaricate sul ponte. Solo il 10-15% delle razze con un peso superiore a 0.50 kg risultava ancora vivo al termine di ciascuna cala, sebbene con livelli di vitalità molto bassi (Romanelli et al., 2007). Questa osservazione contraddice l'ipotesi di alcuni autori, i quali sostenevano che una grande frazione di razze non commerciabili sopravvivevano quando rigettate in mare (Abella & Serena, 2005). Tali risultati sono particolarmente allarmanti quando si considera che le reti vengono trainate per due ore o più.

È fondamentale che l'intensità di pesca esercitata sulla popolazione di *R. asterias* e le catture commerciali correlate siano costantemente monitorati, in conformità alle normative dell'Unione Europea. Attualmente, altre specie di razze delle acque italiane sono sottoposte a monitoraggio secondo il Regolamento CE n. 1581/2004 (Commissione Europea, 2004). Questo approccio garantirebbe una gestione sostenibile delle risorse marine e contribuirebbe alla conservazione delle popolazioni di *R. asterias* nel lungo termine.

1.5 Obiettivi

Nota la sensibilità all'attività di pesca degli elasmobranchi per le loro caratteristiche biologiche, l'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato quello di valutare lo stato di conservazione della razza stellata (*Raja asterias*) in alto-medio Adriatico, attraverso la caratterizzazione dei tratti del ciclo biologico della specie. Al tal fine si è stimata l'età della specie, determinata attraverso la lettura delle vertebre (intere e sezionate) degli individui, unitamente ad altri parametri quali la distribuzione di taglia, la sex ratio, e la taglia di maturità sessuale. Inoltre, al fine di valutare i pattern di distribuzione degli individui maturi e immaturi di *R. asterias*, sono state elaborate delle mappe di distribuzione in funzione del loro stadio di maturità. Complessivamente, per poter adottare adeguate azioni di protezione e conservazione della specie, in vista di un suo possibile declino a causa della pesca eccessiva, risulta di primaria importanza avere una conoscenza precisa ed accurata sui tratti biologici della specie su diverse scale spaziali e temporali e sui suoi pattern di distribuzione.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Campionamento Biologico

2.1.1. Area di pesca

I campioni di razza stellata (*R. asterias*) sono stati collezionati in alto-medio Adriatico tra novembre 2019 e marzo 2024 in occasione sia di pesche commerciali che di pesche non commerciali (nell'ambito di survey scientifici e differenti progetti di ricerca) (vedasi mappa in Figura 12).

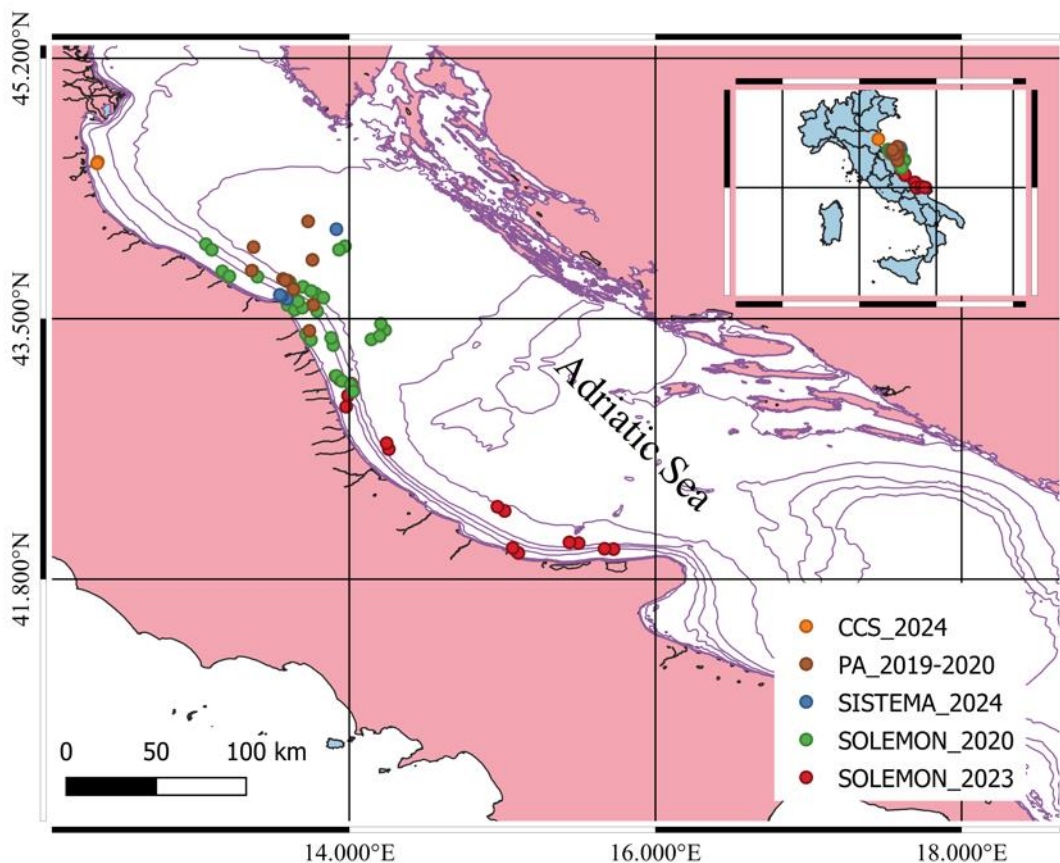


Figura 12. Area di campionamento, alto- medio Adriatico.

2.1.2. Metodologie di pesca

Pescate commerciali (M/P Airone Bianco II)

Tra novembre 2019 e novembre 2020 un totale di 158 razze è stato campionato a bordo della motopesca commerciale Airone Bianco II della marineria di Ancona (Figura 13). Il peschereccio ha una lunghezza fuori tutto (LFT) di 24,5 m, una stazza di 91,5 GT e una potenza motrice di 474 Kw. Questo peschereccio, costruito nel 2004, possiede oltre alla licenza per lo strascico anche quella per le volanti. Effettua attività di pesca durante tutto l'anno, per un totale di ca. 130 giornate. In inverno opera intorno alla zona delle Barbare a 30 miglia nautiche (mn) dalla costa; in primavera a largo del Monte Conero a una distanza maggiore di 30-50 mn, in estate fuori Porto Recanati a 50 mn, e in autunno fuori Senigallia a 15-35 mn dalla costa. Le principali specie target sono pesci demersali (merluzzi, triglie), cefalopodi (calamari, seppie, totani) e crostacei (scampi). Le razze stellate sono catturate accidentalmente.



Figura 13. Motopesca Airone Bianco II (00an04053) della marineria di Ancona.

Airone Bianco II opera con rete a strascico, un attrezzo da traino con forma di grosso imbuto. La parte anteriore è costituita da due braccia lunghe all'incirca quanto il resto del corpo della rete. Questo è formato da una parte superiore detta “cielo” e da una inferiore detta “tassello”. L'ingresso della rete, detto bocca, è costituito da una lima superiore detta “lima dei sugheri”, sulla quale sono armati dei galleggianti, e da una lima inferiore detta “lima dei piombi” sulla quale sono armati dei piombi (Figura 14).

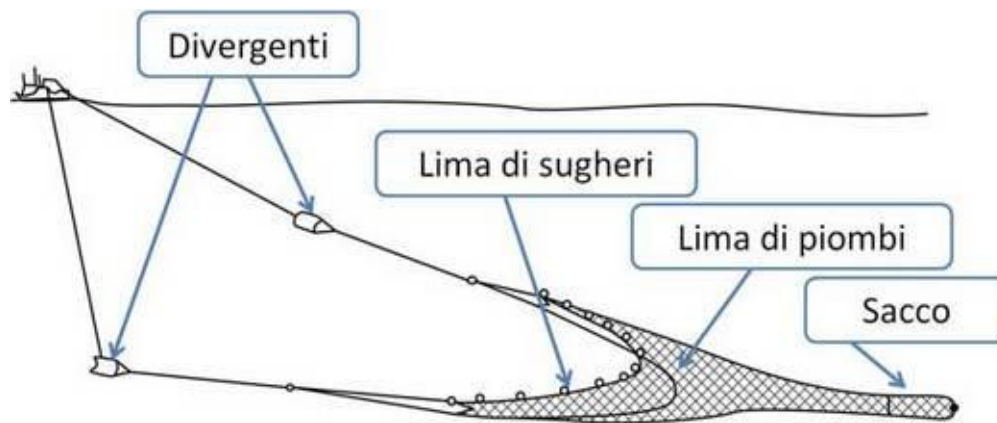


Figura 14. Immagine di una rete a strascico (Fonte: Bombace e Lucchetti, 2011).

La rete a strascico utilizzata dal motopeschereccio Airone Bianco II ha una lunghezza totale di 70 m e un'altezza massima (bocca della rete) di 1,4 m. La dimensione della maglia quadrata al sacco è di 40 mm; la lunghezza della lima dei piombi è di 42,9 m e quella della lima da sughero di 27 m. La lima da sughero è armata con 30 galleggianti da 4 litri ciascuno.

Durante le uscite di pesca annuali, l'ora di uscita è normalmente alle 03:00 del mattino e l'ora di rientro generalmente dopo 24 ore. Ad ogni uscita, il peschereccio effettua 8 cale, ciascuna della durata di 2 ore circa.

2.1.3 Pescate non commerciali

Survey scientifici (SOLEMON)

Nel dicembre 2020 e nel novembre 2023, un totale di 91 e 27 razze, rispettivamente, sono state raccolte in occasione del survey scientifico denominato SOLEMON (*SOLE MONitoring*). Il progetto SoleMon è un monitoraggio sperimentale di pesca a strascico, effettuata con rete di tipo “rapido”, che fornisce dati di tipo “fishery independent”, utili per la gestione sostenibile delle risorse marine sfruttate dalla pesca in tutto il bacino Adriatico. La specie target del progetto è la sogliola comune (*Solea solea*; Linneo, 1758), sebbene durante l’attività di pesca con il rapido vengano catturate anche molte altre specie bentoniche, inclusa la razza stellata. Gli individui di razza campionati durante le cale ricadenti all’interno dell’area alto - medio adriatica (Geographical Sub-Area – GSA - 17) sono stati presi in considerazione per il presente lavoro di tesi.

L’imbarcazione utilizzata per svolgere il survey dal 2007 al 2023 è stata la nave da ricerca Gino Dalla Porta con una lunghezza fuori tutto (LFT) di 35.7 m, una stazza di 285 GT e una potenza motrice di 810 Kw (Figura 15).



Figura 15. Nave oceanografica G. Dalla porta, utilizzata nel progetto Solemon.

Il progetto SOLEMON opera utilizzando il rapido, uno strumento da pesca escogitato appositamente per la cattura di pesci piatti in generale e in particolare la sogliola. Il nome “rapido” trae origine dal fatto che questi attrezzi vengono trainati a velocità sostenute (6 – 7 nodi, contro i 3 – 4 nodi dello strascico). Il rapido è costituito da una bocca fissa rettangolare (apertura orizzontale di circa 3 – 4 m, apertura verticale di circa 20 cm) rappresentata da un’intelaiatura in ferro cui è fissata la rete, e il cui avanzamento sul fondale è agevolato da slitte metalliche montate sulla parte inferiore dell’armatura. La rete, in nylon e senza nodo, è lunga all’incirca 8 m. La rete in prossimità della bocca è realizzata con un filo molto

spesso, per evitare che l'ingresso di pietre, materiale vario, frammenti di conchiglie ecc., possa logorare e causare la rottura della rete. Analogamente agli altri attrezzi al traino, la parte terminale della rete è costituita da un "sacco" a maglia più stretta, in cui si concentra tutto il pescato (Figura 16). Inoltre, le novità più importanti introdotte dal rapido sono rappresentate dal "depressore" e dal "rastrello". Il depressore è una tavola in legno fissata sulla parete superiore del telaio che ha la funzione di far aderire lo strumento al fondo durante le fasi di pesca, mentre il rastrello forma la parte inferiore dell'armatura ed è costituito da denti ricurvi in avanti metallici che sporgono in basso dal piano di base dell'intelaiatura di circa 2 – 3 cm. I denti ricurvi penetrano nel fondale, stimolando meccanicamente gli organismi bentonici infossati a sollevarsi e quindi ad essere catturati dal rapido nel suo avanzamento.

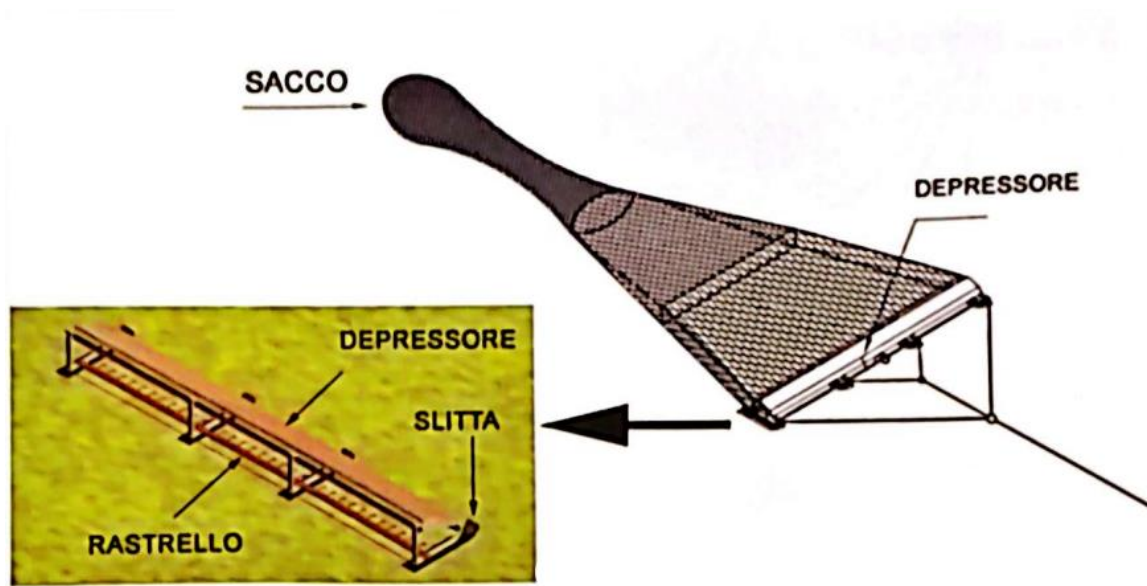


Figura 16. Schema esemplificativo di un rapido (Fonte: Bombace e Lucchetti, 2011).

Progetti di ricerca (CCS e SISTEMA)

Tra gennaio e marzo 2024 un totale di 10 e 42 razze sono state campionate durante pescate non commerciali nell'ambito dei progetti CCS e SISTEMA, rispettivamente. Entrambi i progetti utilizzano imbarcazioni della piccola pesca che operano con le reti da posta.

Le reti da posta sono quelle destinate a recingere o a sbarrare spazi acquei, allo scopo di intercettare e fare ammagliare pesci, crostacei e molluschi che vi incappano. Esse si dividono in reti fisse e reti derivanti, con le prime che si caratterizzano per essere ancorate al fondo marino, mentre le seconde sono lasciate all'azione dei venti e delle correnti. I campioni per il presente lavoro di tesi sono

stati catturati con reti da posta fissa che a sua volta si suddividono in 3 categorie: tremagli, reti da imbrocco e reti incastellate.

1) *Il tremaglio* è costituito da tre pezze di rete fissate insieme in parallelo su un unico relinga: i due pannelli esterni sono a maglia più grande mentre il pannello mediano è quello a maglia più piccola (Figura 17). Il tremaglio è la tipica rete che attua la cattura per insaccamento, il pesce attraversa il pannello di rete esterna a maglia più grande, incontra il pannello di rete intermedio a maglia più piccola e nel tentativo di fuggire si agita, rimanendo intrappolato in una sorta di sacchetto.

2) *Le reti da imbrocco* sono reti da posta costituite da un unico pannello di rete montato su due lime (da sugheri e da piombi). A seconda del numero e della spinta dei galleggianti, la rete rimane più o meno tesa in acqua (Figura 18). Nel caso in cui la spinta sia elevata, la rete va a costituire un vero e proprio muro di sbarramento e la cattura sarà attuata principalmente per ammagliamento o per imbrocco, poiché le maglie rimangono ben aperte. In caso contrario (pochi galleggianti e debole spinta verso l'alto), la rete rimarrà più schiacciata sul fondo e fluttuerà maggiormente in acqua, attuando anche una cattura per impigliamento.

3) Per le *reti incastellate* si ha la combinazione delle due tipologie precedenti.

Infatti, la parte inferiore è costituita da un tremaglio, mentre la parte superiore, attaccata al tremaglio sottostante per mezzo di una lima intermedia, è formata da una rete ad imbrocco, sulla quale è montata una lima di galleggianti (Figura 19).

TRAMAGLIO

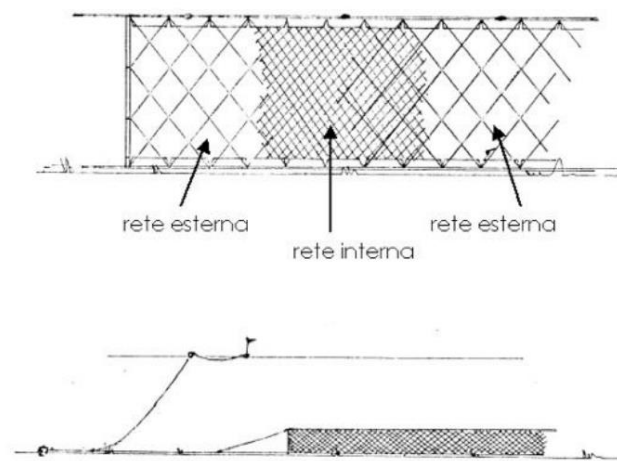


Figura 17. Immagine di un tremaglio (Fonte: Bombace e Lucchetti, 2011).

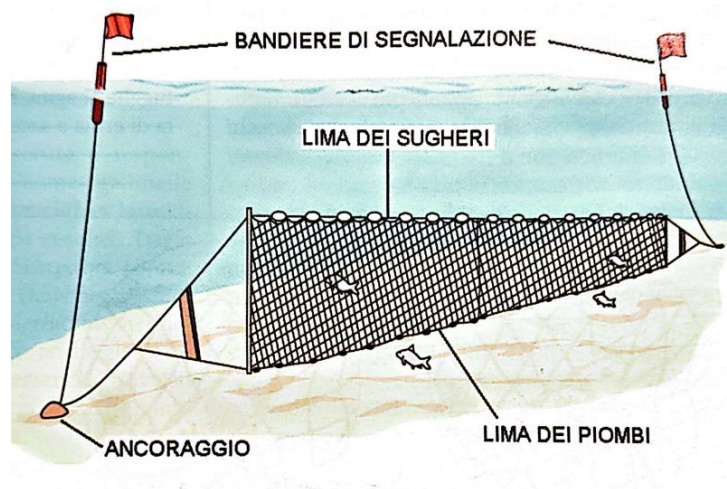


Figura 18. Immagine di una rete da imbrocco (Fonte: Bombace e Lucchetti, 2011).

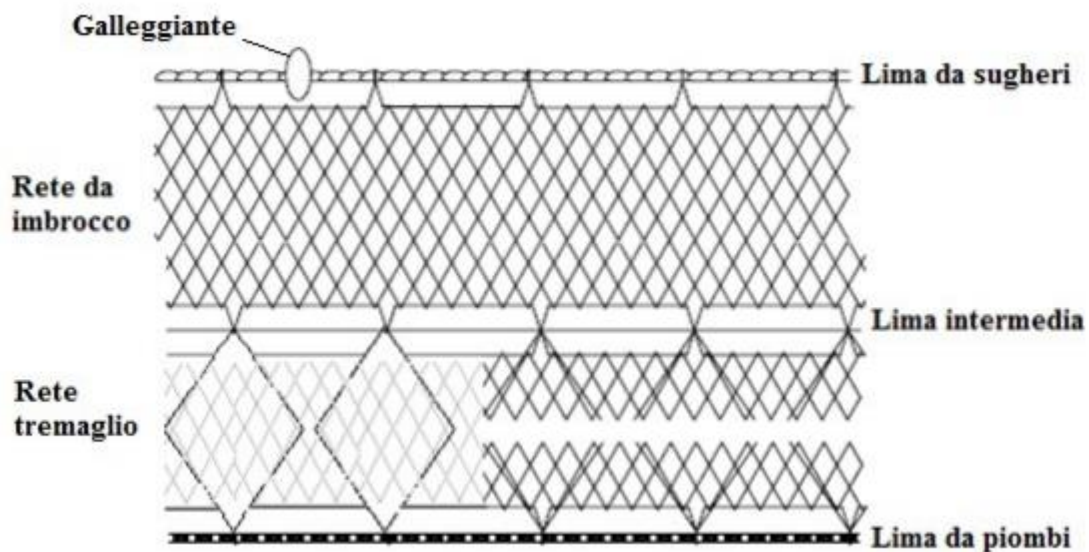


Figura 19. Immagine di una rete incastellata (Fonte: Bombace e Lucchetti, 2011).

Progetto SISTEMA

Il progetto SISTEMA è un progetto territoriale dedicato alla tutela, promozione e valorizzazione degli ecosistemi terra-mare nell'area della città di Ancona e del

Parco del Conero. In particolare, le attività del CNR IRBIM nell'ambito del progetto sono volte a incentivare la piccola pesca ad adottare pratiche e mezzi da pesca meno impattanti sull'ambiente. Durante le attività di pesca sperimentale in mare viene utilizzata una rete a imbocco con lunghezza del calo di 500 m, altezza di 2-3 m, apertura di maglia 34-36mm, e la rete è costituita di nylon di diametro 0.22-0.23 mm. L'attrezzo è calato in mare il pomeriggio e risalato la mattina del giorno seguente (tempo di pesca: 16.00-9.15 h);

Progetto CCS (Capture and Carbon Storage)

Lo scopo del progetto CCS è quello di caratterizzare il popolamento ittico nell'area interessata dalla presenza del sito di stoccaggio ENI (Porto Corsini Mare Ovest).

Il sito è situato a circa 3000 metri sotto il fondale e si vuole andare a verificare eventuali variazioni nella fauna presente indotte dalla fuoriuscita di CO₂ (CNR IRBIM, Ancona). Durante le attività di pesca sperimentale in mare viene utilizzata un tremaglio le cui caratteristiche sono:

- Pannello interno: monofilamento di poliammide, altezza 6 m, apertura di maglia stirata 72 mm, diametro del filo 0.18 mm, rapporto di armamento 0.35;
- Pannello esterno: monofilamento di poliammide, altezza 3 m, apertura di maglia stirata 400 mm, diametro del filo 0.30 mm, rapporto di armamento 0.50;
- Lima dei galleggianti: poliammide, diametro della lima 7 mm; un galleggiante con spinta 55 g ogni metro;
- Lima dei piombi: 120 g/m.

L'attrezzo viene calato in mare al tramonto e risalpato all'alba del giorno seguente.

In Tabella 3 vengono riassunti i periodi di campionamento, metodo e attrezzo da pesca utilizzati e le caratteristiche tecniche delle imbarcazioni coinvolte.

Tabella 3. Caratteristiche delle imbarcazioni utilizzate nei diversi progetti che hanno portato alla raccolta dei campioni.

GSA	Progetto	Anno	Mese	M/P	Porto	Pot (kW)	LFT (m)	GT (t)	Tecnica di pesca
17	Survey SoleMon	2020	Dicembre	G. Dalla Porta	Ancona	810	35.7	285	Rapido
17	Survey SoleMon	2023	Novembre	G. Dalla Porta	Ancona	810	35.7	285	Rapido
17	Progetto autofinanziato (pescate commerciali)	2019/2020	Dicembre 2019 - ottobre 2020	Airone Bianco II	Ancona	333	24.16	91	Strascico
17	Progetto CCS	2024	Marzo	-	Ancona/Ravenna	-	-	-	Tremaglio
17	Progetto SISTEMA	2023/2024	Dicembre - Marzo	-	Ancona	-	-	-	Imbrocco

2.2 Analisi di laboratorio

2.2.1. Misure morfometriche

I campioni di razza prelevati in mare nell'ambito delle diverse campagne di pesca commerciali e non descritte sopra, sono stati successivamente processati freschi nei laboratori del CNR-IRBIM di Ancona entro 24 h dalla cattura. Si è *in primis* proceduto a rilevare le misure biometriche della specie quali la lunghezza totale (LT), la larghezza (DW) e la lunghezza del disco (DL) misurate con un ittiometro con precisione 0.1 cm. Inoltre, per i soli individui maschi è stata rilevata anche la

lunghezza dello pterigopodio destro per mezzo di un calibro con precisione 0.1 mm. Il peso umido di ciascun individuo è stato misurato con una con precisione al grammo (Figura 20 e Figura 21). Il sesso degli individui è stato inoltre determinato basandosi sulla presenza/assenza degli pterigopodi, organi copulatori maschili.

A ciascun individuo campionato è stato assegnato un codice progressivo (codice RA + numero progressivo) per condurre successivamente i vari tipi di analisi.

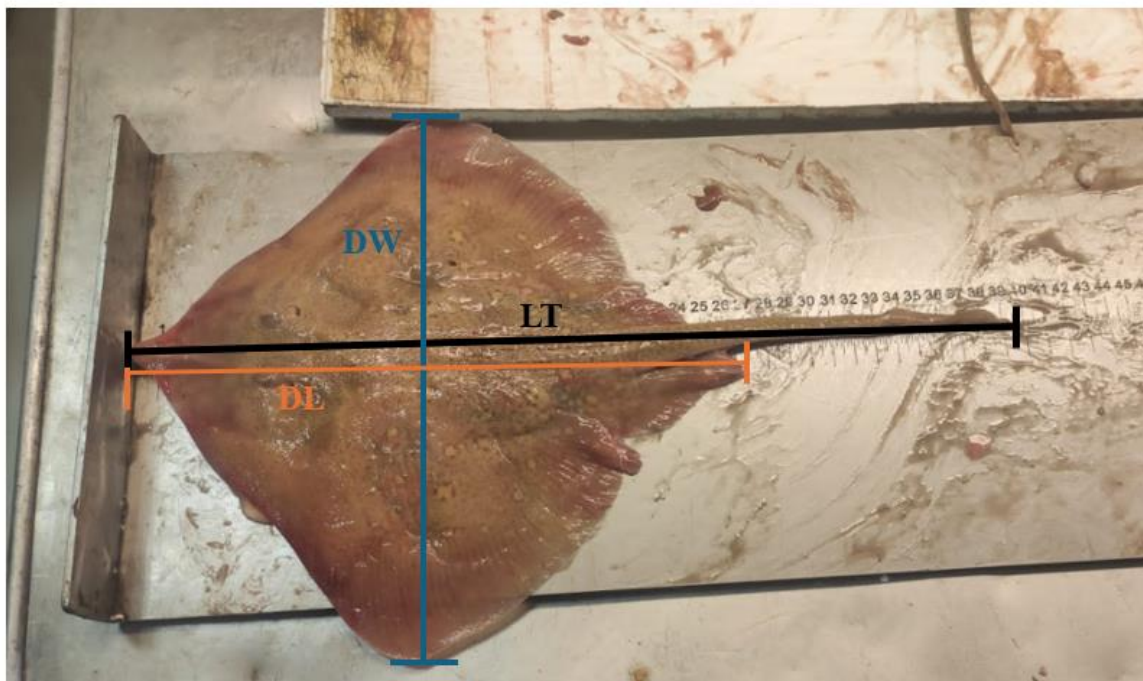


Figura 20. Misurazione della Lunghezza Totale (TL), Larghezza Disco (DW) e Lunghezza Disco (DL) con ittiometro.



Figura 21. Analisi di laboratorio per il rilevamento delle biometrie degli individui di *R. asterias*.

2.2.2. Analisi del ciclo riproduttivo

Per la determinazione macroscopica degli stadi di maturità, gli individui sono stati aperti ventralmente (Figura 22) e lo stadio di maturità è stato valutato seguendo la scala proposta dalla SIBM “Standardizzazione delle metodiche di determinazione specifica e valutazione degli stocks delle razze” (Serena et al., 2008). Ciò ha permesso di individuare gli individui maschi o femmine nei diversi stadi di maturità: immaturo – stadio 1, in maturazione – stadio 2, in riproduzione – stadio

3a, in estrusione – stadio 3b, in riposo/inattivo – stadio 4 (vedasi Tabella 4) (Figura 23).

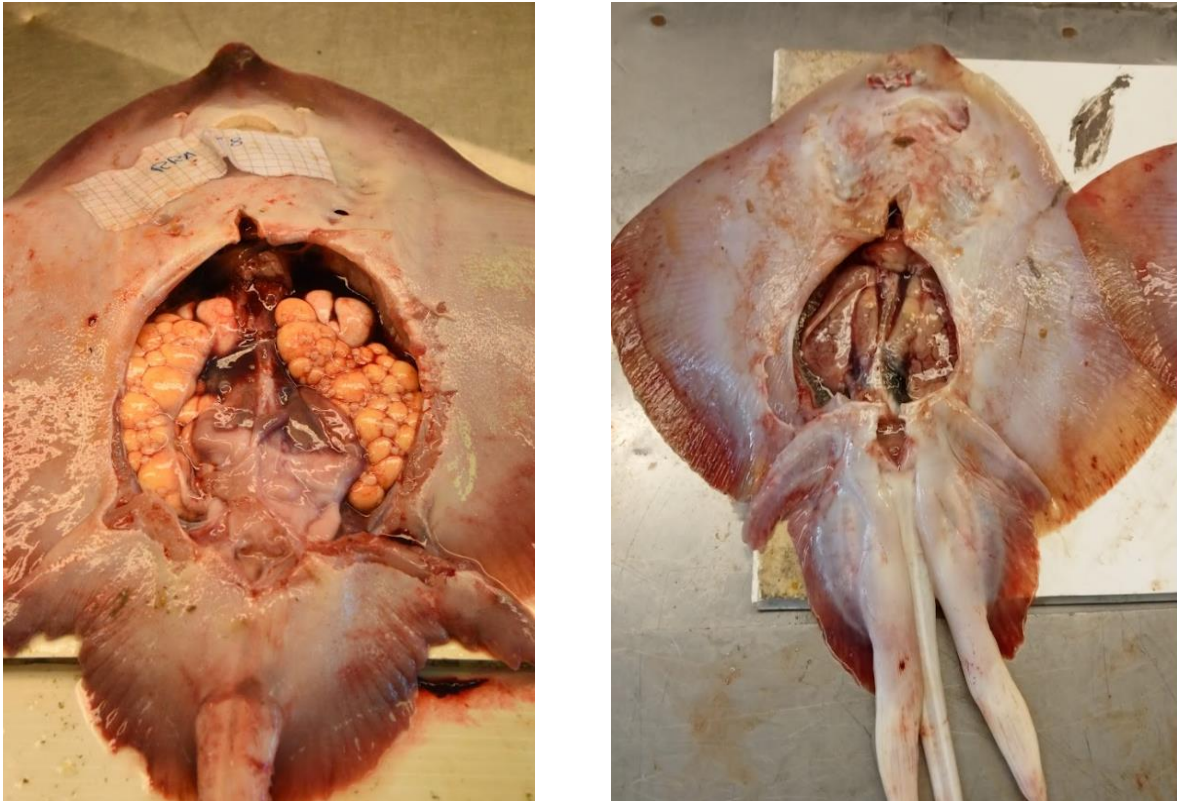


Figura 22. Esempio di individuo femmina (a sinistra) e maschio (a Destra) di *Raja asterias* aperti ventralmente per la determinazione macroscopica degli stadi di maturità.

Tabella 4. Scala di maturità per le razze mediterranee proposta dalla SIBIM (Serena et al., 2008).

SESSO	ASPETTO DELLE GONADI	STADIO DI MATURITA'	STADIO
F	L'ovaio è appena discernibile con piccole uova isodiametriche. La parte distale delle tube uterine è a parete spessa e di colore biancastro. Le ghiandole nidamentali sono meno evidenti.	IMMATURO	1
M	Gli pterigopodi sono piccoli e flaccidi e non raggiungono il bordo posteriore delle pinne pelviche. I dotti spermatici non sono differenziati. I testicoli sono piccoli e stretti.		
F	Uova in fase di maturazione, di colore biancastro e/o giallo, sono visibili nelle ovaie. La parte distale delle tube uterine (utero) è ben sviluppata ma vuota. Le ghiandole nidamentali sono piccole.	IN MATURAZIONE	2
M	Gli pterigopodi sono più grandi, ma lo scheletro è ancora flessibile. Si estendono fino al bordo posteriore delle pinne pelviche. I dotti spermatici sono ben sviluppati e iniziano eventualmente a deviare.		
F	Le ovaie contengono uova di colore giallo (uova con tuorlo). Le ghiandole nidamentali sono ingrandite e le tube uterine sono distese.	MATURO	3 a
M	Gli pterigopodi si estendono ben oltre il bordo posteriore della pinna pelvica e la loro struttura interna è generalmente dura e ossificata. I testicoli sono notevolmente ingranditi. I dotti spermatici meandriiformi si snodano per quasi tutta la loro lunghezza.		
F	Le pareti delle ovaie sono trasparenti. Gli oociti di dimensioni diverse, bianchi o gialli. Le ghiandole nidamentali sono grandi. Le capsule delle uova sono più o meno formate nelle tube uterine (fase di estrusione).	MATURO/IN FASE DI ESTRUSIONE	3 b
M	Gli pterigopodi sono più lunghi delle punte dei lobi posteriori delle pinne pelviche, lo scheletro è indurito con le cartilagini assiali indurite e appuntite. I dotti spermatici sono ben sviluppati. Lo sperma fluisce sotto pressione dalla cloaca (fase attiva).		

F	Le pareti delle ovaie sono trasparenti. Gli oociti di dimensioni diverse, bianchi o gialli. Le tube uterine appaiono notevolmente ingrandite, collassate e vuote. Il diametro delle ghiandole nidamentali in regressione.	INATTIVITA'/RIPOSO	4
M	Gli pterigopodi sono più lunghi delle punte dei lobi posteriori delle pinne pelviche, lo scheletro è indurito con le cartilagini assiali ancora indurite. I dotti spermatici sono vuoti e flaccidi.		

FEMMINE	Stadio maturità	MASCHI
Macroscopico		Pterigopodi Macroscopico
	I	 
	II	
	IIIa	 
	IIIb	 

Figura 23. Determinazione macroscopica del sesso e degli stadi di maturità. A sinistra come compare l'apparato femminile durante le fasi di sviluppo gonadico, a destra quello maschile (Serena et al., 2008).

Nelle femmine, l'ovario, inizialmente bianco latte e appiattito dorso-ventralmente, contiene oociti appena visibili e di aspetto granuloso. In seguito, l'ovario si accresce e gli oociti iniziano a differenziarsi in diverse dimensioni, pur rimanendo bianchi. Alla maturità, la parete ovarica diventa trasparente e oociti, di dimensioni maggiori e di colore giallo, riempiono interamente l'ovario, che perde la sua forma appiattita. Contemporaneamente negli ovidutti avviene il differenziamento della ghiandola nidamentale, la cui dimensione aumenta con lo sviluppo, raggiunge il massimo prima dell'ovulazione per poi subire fasi di regressione seguite dai successivi aumenti di dimensioni durante il ciclo riproduttivo. Alla maturità negli ovidutti sono presenti le capsule ovigere e, negli individui che hanno appena deposto, gli ovidutti risultano dilatati e altamente vascolarizzati; anche il seno urogenitale è molto allargato (Figura 24) (Serena et al., 2008).

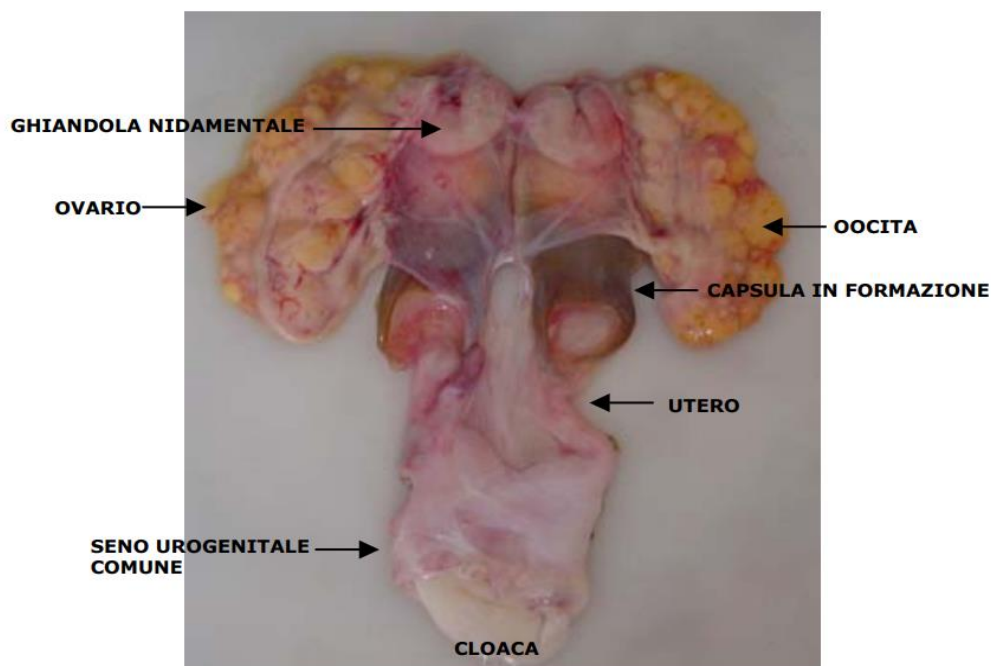


Figura 24. Esempio di apparato sessuale femminile di una specie di razza ovipara (Serena et al. 2008).

Nei maschi durante lo sviluppo sessuale, si osserva la crescita degli pterigopodi, l'organo copulatore maschile, e il cambiamento nella consistenza del loro scheletro cartilagineo, che diventa sempre meno flessibile; nella fase finale dello sviluppo le estremità diventano piuttosto appuntite. A livello dei testicoli la regione germinale, non visibile ad occhio nudo, è localizzata sulla superficie ventrale, le ampolle seminifere si sviluppano in senso radiale e migrano verso la superficie dorsale. Inizialmente il testicolo non è occupato interamente dalle ampolle seminifere che sul lato dorsale sono circondate da un margine bianco latte; al raggiungimento della maturità il testicolo, di colore rosato, è interamente pieno

di ampolle seminifere. Anche i dotti deferenti si differenziano durante lo sviluppo: prima sottili e ben aderenti ai testicoli, si ingrossano progressivamente e alla maturità mostrano formazioni spiraliformi che rappresentano il passaggio degli spermatozoi (Figura 25) (Serena et al., 2008).

Nelle razze, come in tutti i pesci cartilaginei, il differenziamento dei testicoli precede in genere quello degli pterigopodi. La semplice osservazione degli organi copulatori esterni potrebbe pertanto indurre in inganno ed essere insufficiente per determinare lo stadio maturativo dell'esemplare. Inoltre, nel caso in cui l'individuo sia a riposo, al completo sviluppo degli pterigopodi corrisponde uno stadio in cui i testicoli sono piccoli e vuoti. La mancata osservazione di questa caratteristica determinerebbe, anche in questo caso, l'errata assegnazione dello stadio maturativo.

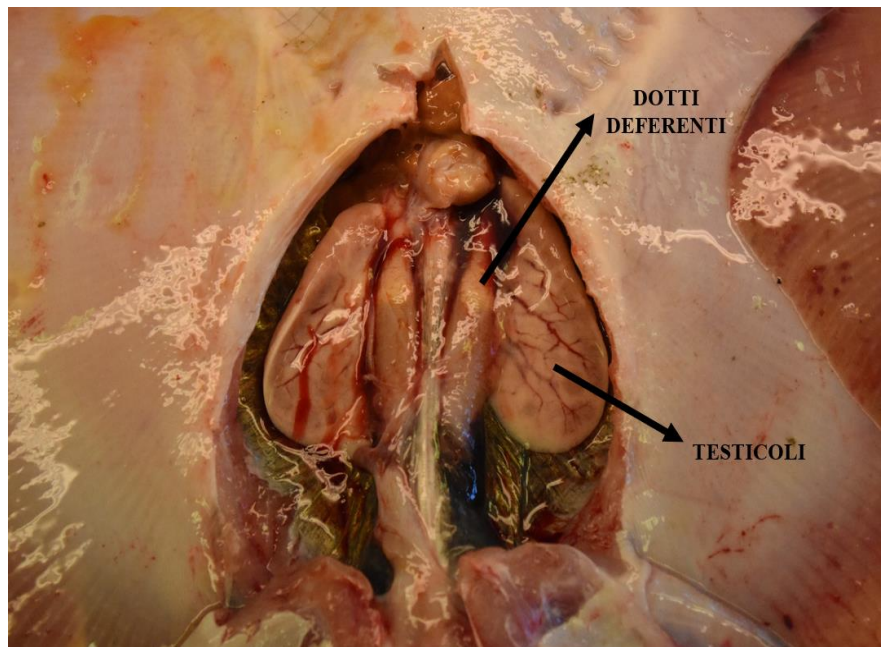


Figura 25. Gonade maschile di un individuo di *Raja asterias*.

Quindi nelle razze per la determinazione del corretto stadio di maturità occorre osservare lo stadio di sviluppo degli oociti, dell'ovario, degli ovidutti e della ghiandola nidamentale nelle femmine, e quello dei testicoli, dei dotti deferenti, la consistenza degli pterigopodi e del loro scheletro nei maschi.

Quando possibile, la gonade è stata estratta e pesata per calcolare successivamente l'indice gonado-somatico in relazione allo stadio di maturità. Negli individui femmina, inoltre, qualora possibile è stato rilevato, con l'utilizzo di un calibro (precisione a 0.1 mm), anche il diametro maggiore e minore della ghiandola nidamentale e il diametro degli ovociti di minore e maggiore dimensione.

2.2.3. Determinazione dell'età

Per la successiva determinazione dell'età, sono state rimosse le vertebre dalla regione post-craniale e toracica, in quanto queste aree contengono vertebre di maggiori dimensioni, particolarmente idonee per la determinazione dell'età come descritto da Bellodi et al., 2023; Carbonara et al., 2020; Gallagher et al., 2004; Goldman, 2005; Scacco et al., 2024. Una sezione di circa 10 cm (con almeno 10 vertebre per individuo) è stata conservata a -22°C fino al processamento. Per la stima dell'età si è selezionato un sub-campione su cui effettuare la lettura delle vertebre, in base alla taglia e alle diverse aree campionate.

Per ogni individuo analizzato, durante il processamento, la sezione della colonna vertebrale contenente le vertebre è stata scongelata all'interno di un becker contenente acqua bollente per circa 30 minuti. Questa procedura è stata adottata per ammorbidire la componente tissutale ancora aderente alle pareti delle vertebre, facilitandone successivamente l'eliminazione mediante l'uso di un bisturi (Bellodi, 2014; Bellodi et al., 2023; Scacco et al., 2024) (Figura 26).



Figura 26. Porzioni di colonna vertebrale di diversi individui, immerse in acqua bollente per ammorbidire ed eliminare l'eccesso di tessuti aderenti alle vertebre.

Dopo la rimozione manuale della materia organica, le vertebre sono state separate mantenendo l'ordine progressivo, e si è proceduto con la rimozione dell'arco neurale ed emale (Figura 27 e Figura 28). Un campione di circa 10 vertebre per ogni individuo è stato pulito per garantire un numero sufficiente di vertebre da utilizzare per la determinazione dell'età (Figura 29). Ogni singola vertebra è stata immersa in una soluzione al 5% di Ipoclorito di Sodio (NaClO) per 35 minuti, successivamente sciacquata in acqua distillata e lasciata asciugare all'aria per 48 ore come descritto in Bellodi et al., 2023; Carbonara et al., 2020; Kadri et al., 2013; Scacco et al., 2024.

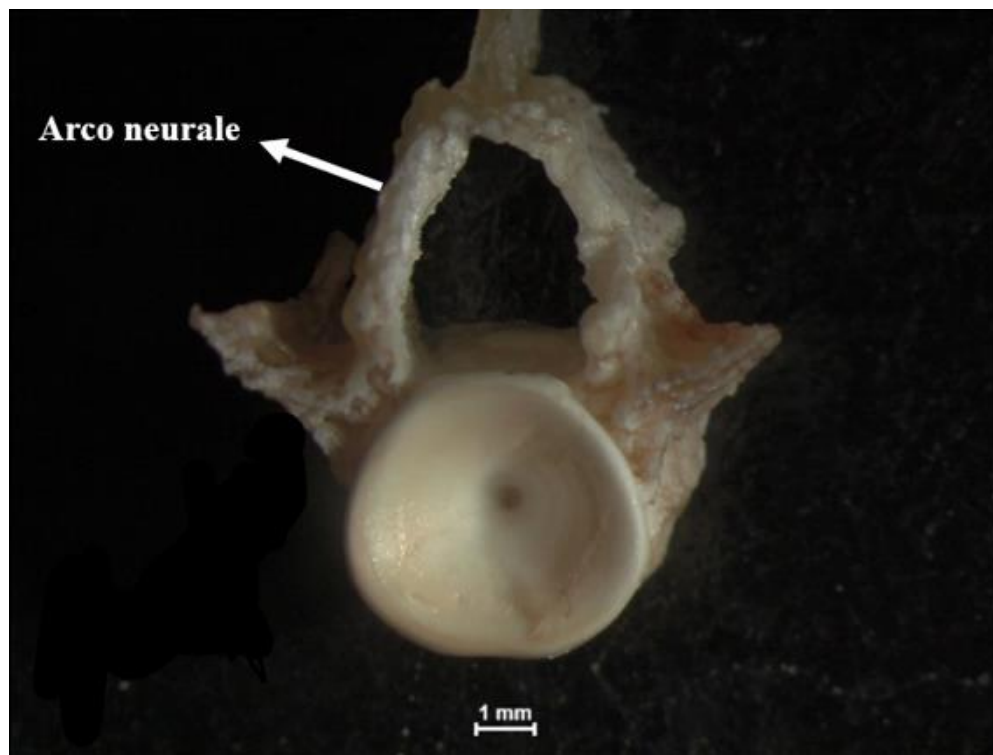


Figura 27. Vertebra intera di *Raja asterias* con l'arco neurale ancora presente.

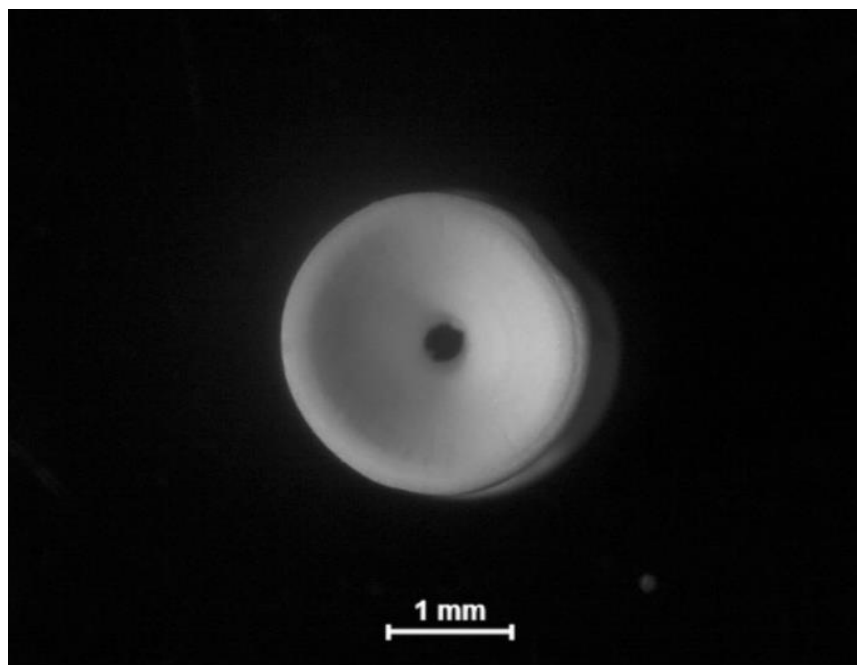


Figura 28. Vertebra di *Raja asterias* dopo la rimozione dell'arco neurale.



Figura 29. Vertebre di tre individui di *Raja asterias*, pulite, sciacquate, e messe ad asciugare in aria per 48 ore.

Per la determinazione dell'età di ciascun individuo sono state utilizzate quattro tecniche diverse: 1) vertebra intera non trattata, 2) vertebra intera bruciata, 3) vertebra sezionata longitudinalmente non trattata e 4) vertebra sezionata longitudinalmente e *bruciata* (Figura 30). Per la stima dell'età, la lettura delle vertebre non trattate, è stata precedentemente utilizzata per *R. asterias* da numerosi autori (Bellodi et al., 2023; Campana et al., 2014; Scacco et al., 2024), mentre la tecnica della bruciatura è testata per la prima volta nel presente lavoro di tesi.

Per ogni individuo, ai fini delle analisi, sono state utilizzate le due vertebre di maggiori dimensioni. Una di questa, non trattata, è stata osservata direttamente allo stereo-microscopio supportato da un'analisi di immagine (LAS Image Analysis-Leica) che ha permesso di fotografare le singole vertebre. Le immagini acquisite sono state successivamente esaminate per il conteggio degli anelli di crescita, ai fini della determinazione dell'età.

La seconda vertebra intera è stata invece trattata mediante bruciatura in muffola a 350° per 5 minuti, prima di procedere all'acquisizione dell'immagine per la determinazione dell'età (Figura 31 e Figura 32).

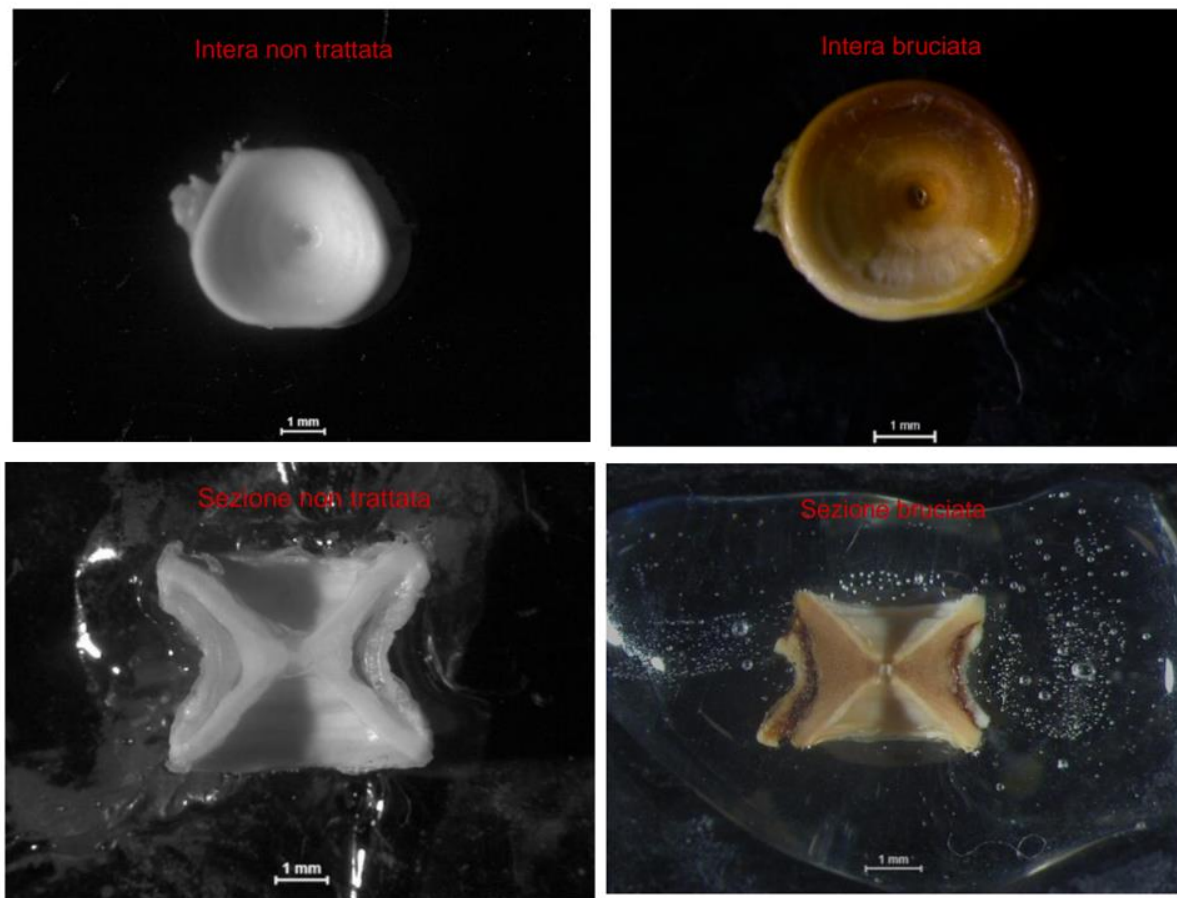


Figura 30. Le immagini mostrano le vertebre trattate secondo le 4 tecniche diverse utilizzate 1) vertebra intera non trattata, 2) vertebra intera bruciata, 3) vertebra sezionata longitudinalmente non trattata, e 4) vertebra sezionata longitudinalmente e bruciata.



Figura 31. Muffola utilizzata per la bruciatura delle vertebre di *Raja asterias*.



Figura 32. Vertebre di *Raja asterias* dopo il trattamento di bruciatura in muffola, disposte su un supporto in acciaio con 20 cellette, ciascuna contenente le vertebre di individui differenti.

Per la determinazione dell'età mediante la tecnica di sezionamento longitudinale delle vertebre, sono state analizzate quelle intere (vertebra non trattata e bruciata) precedentemente fotografate. Il processo di sezionamento è iniziato con il fissaggio delle vertebre su un vetrino utilizzando una resina epossidica, posizionando la porzione contenente l'arco neurale verso il basso. Il sezionamento longitudinale è stato eseguito mediante l'utilizzo di macchine metallografiche (lapidelli) con piatti rotativi a motore su cui era montato un panno abrasivo a granulometria di 1000 micron. Successivamente, la superficie è stata lucidata con un ulteriore lapidello montante un panno da lucidatura, a granulometria 0.05 micron, imbevuto di Allumina n.3 per ottenere una lucidatura metallografica finale (Figura 33).



Figura 33. Lapidelli utilizzati in laboratorio per il sezionamento longitudinale delle vertebre di *Raja asterias*. Sulla sx dell'immagine lapidello con il panno abrasivo da 1000 micron, sulla dx lapidello montante il panno per la lucidatura finale.

Le vertebre sezionate, sia quelle non trattate che quelle bruciate, sono state poi osservate e fotografate alle stereo-microscopio utilizzando il programma di analisi di immagine.

Ogni immagine acquisita – 4 immagini per ciascun individuo corrispondenti ai 4 tipi di trattamenti di vertebra ciascuno - è stata successivamente modificata, apportando variazioni nella saturazione, esposizione, tonalità e livelli di colore, al fine di facilitare la lettura delle vertebre per la stima dell'età. Dove possibile, è stato identificato l'anello di nascita, definito “Birthmark (BM)” e misurata la distanza tra il centro vertebrale e la deposizione del BM, al fine di stabilire una

distanza media standard alla quale viene deposto questo anello. In particolare, il “Birthmark” è una banda presente sulla vertebra che si forma durante la fase embrionale (circa 4 – 5 mesi) all’interno delle capsule ovigere; questo marker naturale distingue il primo anello di crescita, separandolo dagli anelli successivi. Tale procedura ha facilitato la lettura di quelle vertebre in cui il BM appariva poco chiaro o non evidente come descritto in Campana et al., 2014 (Figura 34).

Considerata la deposizione stagionale delle bande di crescita nelle vertebre dei pesci cartilaginei, l’alternanza tra una banda traslucida e una banda opaca ha permesso di identificare gli *annuli* per il conteggio degli anelli di crescita di ciascun individuo. Inoltre, ciascuna vertebra è stata letta due volte dallo stesso operatore a distanza di due settimane, al fine di calcolare degli indici di precisione delle letture.

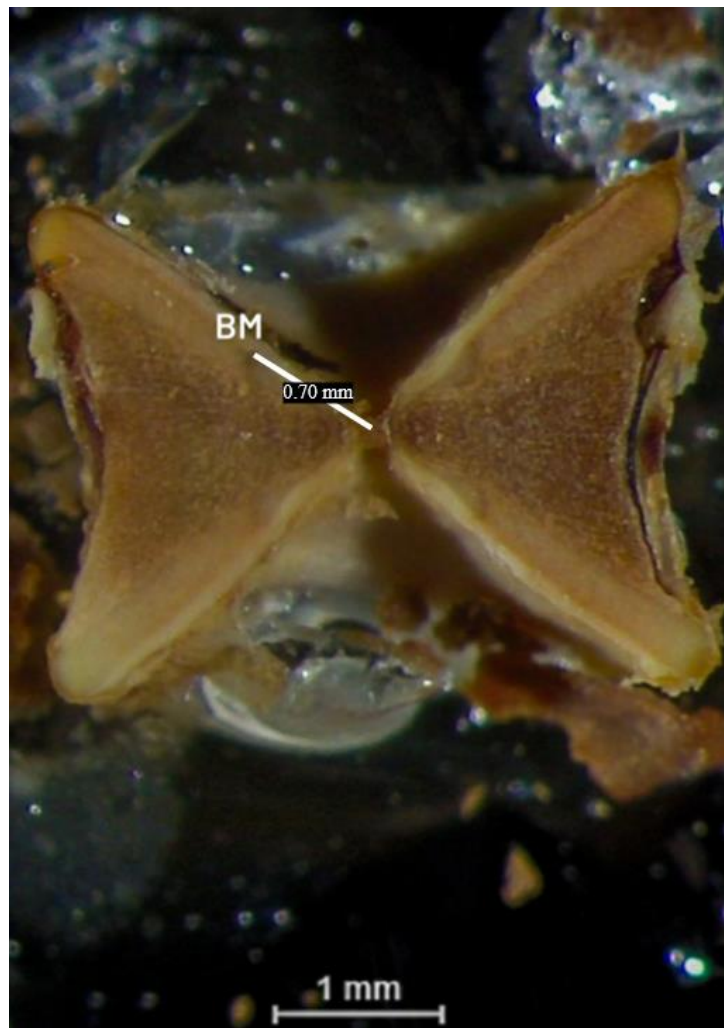


Figura 34. Sezione longitudinale di vertebra bruciata di *Raja asterias* in cui si evidenzia il Birth Mark (BM) e la sua distanza dal centro vertebrale pari a 0.7 mm.

2.3. Elaborazione dati

2.3.1. Sex ratio

Il rapporto tra i sessi (sex ratio), è stato calcolato con la seguente formula:

$$Sex\ Ratio = \frac{N\ femmine}{N\ maschi} \times 100$$

Dove:

$N_{femmine}$ = numero totale di individui femmina;

N_{maschi} = numero totale di individui maschi.

Per verificare se statisticamente il rapporto tra i sessi è pari a 1:1, è stato applicato il “Test χ^2 di adattamento”.

2.3.2. Regressione lunghezza – peso (RLP)

Nei pesci con il progredire del tempo e dell’età, la taglia aumenta, dapprima rapidamente, poi lentamente, fino ad un punto (asintoto) in cui con il passare del tempo la taglia non cresce più. Un modello utile per descrivere la relazione tra la lunghezza ed il peso è rappresentato dalla funzione potenza (Bagenal 1978):

$$P = aLT^b$$

Dove P è il peso, LT è la lunghezza totale e a e b sono i parametri della relazione. “ a ” è il cosiddetto “fattore” di condizione, mentre “ b ” rappresenta l’indice di allometria, cioè il coefficiente di crescita relativa tra il peso e la lunghezza. Se $b = 3$ l’accrescimento è di tipo isometrico e risulta, quindi, perfettamente proporzionale nelle tre dimensioni dello spazio: gli esemplari di piccole dimensioni presentano la stessa forma e condizione di quelli più grandi. Se il parametro b risulta diverso da 3 allora l’accrescimento è di tipo allometrico. In particolare, se $b > 3$ gli esemplari più grandi hanno avuto un incremento in altezza e larghezza maggiore rispetto alla lunghezza (allometria positiva); questo si può verificare o a causa di un notevole cambiamento ontogenetico nella forma del corpo con il crescere della taglia, oppure, più comunemente, perché gli esemplari di maggiori dimensioni presentano una forma più tozza rispetto agli esemplari più piccoli. Al contrario, se $b < 3$ gli individui più grandi hanno cambiato la forma del loro corpo divenendo più allungati rispetto a quelli più piccoli (allometria negativa).

In questo studio è stata determinata la curva relativa alla relazione esistente tra la lunghezza ed il peso degli esemplari di razza catturati, considerando anche eventuali differenze tra maschi e femmine.

2.3.3. Fattore di condizione

Il fattore di condizione è un parametro originato dalla relazione lunghezza-peso, che fornisce informazioni sullo stato di benessere di un esemplare o di una popolazione. Questo fattore si basa sull'assunto che, a parità di lunghezza, organismi con un peso maggiore si trovano in uno stato di benessere, in condizioni fisiologiche, migliore rispetto ad un secondo organismo che pesa meno.

Per questa analisi è stato applicato il Fattore di Condizione Relativo (p) (Le Cren, 1951), che è limitato a gruppi di individui appartenenti alla stessa popolazione e si ottiene comparando il peso osservato ($P_{Oss.}$, g) dell'individuo rispetto al peso atteso ($P_{Att.}$, g):

$$p = P_{Oss.} / P_{Att.}$$

Il peso atteso è stato calcolato applicando l'equazione della relazione lunghezza-peso stimata come sopra descritto.

I valori finali ottenuti possono essere: $p=1$, quando il peso osservato è uguale a quello atteso e pertanto l'individuo si trova in una condizione fisica di normopeso; $p>1$, quando il peso osservato è maggiore di quello atteso e quindi l'individuo è in sovrappeso, mentre se $p<1$ il peso atteso è maggiore rispetto a quello osservato e il pesce si trova sottopeso.

2.3.4. Regressione lunghezza totale – lunghezza e larghezza del disco

La relazione che intercorre tra la taglia (LT) degli individui sia maschi che femmine e la loro larghezza (DW) e lunghezza (DL) del disco è stata investigata utilizzando una regressione lineare attraverso l'utilizzo della seguente formula:

$$y = ax + b$$

Dove:

y = taglia dell'individuo;

x = larghezza/lunghezza del disco;

a = coefficiente angolare;

b = intercetta.

2.3.5. Taglia di prima maturità (L_{50})

Stabilito lo stadio di maturità sessuale per tutti gli individui maschi e femmine (usando i parametri della Tabella 4) e correlato con la lunghezza totale dell'individuo, viene determinata la taglia di prima maturità per il 50% degli individui (L_{50}). La curva logistica, funzione che meglio plotta i dati, è stata elaborata attraverso l'utilizzo del software PAST 3.0 (Paleontological Statistics) (Hammer *et al.* 2001), considerando come maturi tutti gli individui in stadio di maturità 3 o superiore.

L_{50} si calcola attraverso l'utilizzo della seguente formula:

$$y = \frac{a}{(1 + b \exp - cx)}$$

Dove:

y = frequenza di individui maturi per classe di taglia;

x = taglia degli individui;

exp = base dei logaritmi neperiani = 2,71828 (numero di Eulero);

a, b, c = 3 parametri della curva elaborati dal software.

2.3.6. Indice Gonado-Somatico (IGS)

L'IGS è stato calcolato sia per i maschi che per le femmine come segue:

$$IGS = \frac{\text{Peso Gonade}}{\text{Peso Individuo}} \times 100$$

Considerata la presenza di più stagioni riproduttive all'interno dell'anno, l'indice è stato calcolato non tenendo in considerazione la stagionalità ma lo stadio di maturità sessuale come descritto in Ferrà et al., (2016) e Romanelli et al., (2007).

2.3.7. Indici di precisione

Per verificare la precisione delle letture effettuate per la determinazione dell'età sono stati calcolati due indici statistici: la percentuale di errore medio (APE o average percentage error) e il coefficiente di variazione medio (ACV, average coefficient of variation) (Campana, 2001).

L'APE si calcola:

$$APE_j = 100\% \times \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \frac{|x_{ij} - x_j|}{X_j}$$

Dove:

x_{ij} = età i -esima attribuita all'individuo j -esimo;

X_j = valore medio dell'età dell'individuo j -esimo;

R = numero di letture per ciascun individuo;

Da cui si ricava l' APE_{medio} per l'intera popolazione:

$$APE_{medio} = 100 \times \sum_{j=1}^n APE_j$$

Dove:

APE_j = valore APE per l'individuo j esimo;

n = numero totale degli individui dell'intera popolazione.

Il Coefficiente di Variazione o CV_j si calcola:

$$CV_j = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j}$$

Dove:

X_{ij} = i -esima età attribuita all'individuo j esimo;

X_j = valore medio dell'età dell'individuo j esimo;

R = numero di letture per ciascun individuo.

Da cui si ricava il ACV per l'intera popolazione:

$$ACV = 100 \times \sum_{j=1}^n CV_j$$

Dove:

CV_j = valore di CV dell'individuo j esimo;

n = numero totale degli individui dell'intera popolazione.

Gli indici ACV e APE indicano una precisione delle letture per la determinazione dell'età sufficientemente buona quando il loro valore è inferiore al 7.6% e al 5.5% rispettivamente (Basusta et al., 2017; Campana, 2001; Kadri et al., 2013).

2.3.8. Accrescimento teorico in lunghezza (VBGF)

La funzione di von Bertalanffy (VBGF – von Bertalanffy Growth Function) (von Bertalanffy, 1938) è la più usata in campo ittologico poiché include la crescita indeterminata dei pesci. Le attuali tecniche di stima della VBGF usano metodi di regressione non lineare o di massima verosimiglianza per calcolare la relazione deterministica tra lunghezza ed età, assumendo che tutta la varianza tra il modello ed i dati sia dovuta all'eterogeneità nei dati iniziali (Quinn & Deriso 1999). Questa varianza descrive la variazione naturale nelle lunghezze raggiunte alle varie età, attribuibile ai processi di accrescimento individuale.

L'equazione di von Bertalanffy è la funzione di crescita più comunemente utilizzata per descrivere l'accrescimento dei condroitti:

$$L(t) = L_{\infty} - (L_{\infty} - L_0) \times e^{-kt}$$

Dove $L(t)$ è la lunghezza totale all'età t , L_{∞} è la lunghezza asintotica che rappresenta la massima lunghezza media teorica; k è il coefficiente di crescita, che rappresenta quanto velocemente un pesce raggiunge la lunghezza asintotica; e L_0 è la dimensione alla nascita, che rappresenta il punto di inizio della curva di crescita, corrispondente alla lunghezza teorica alla nascita. La scelta di utilizzare L_0 invece di t_0 , è stata considerata biologicamente significativa (Cailliet e Goldman 2004) a causa di lunghi periodi di gestazione.

I parametri di crescita stimati per gli individui di sesso maschile e femminile sono stati calcolati considerando la lunghezza alla nascita di 8 cm per *R. asterias* (Camhi et al., 2007; Scacco et al., 2024). I parametri della funzione sono stati stimati separatamente per ciascun sesso e per il campione totale utilizzando il pacchetto software PAST 3.0 (Hammer et al., 2001). Il test del rapporto di verosimiglianza Kimura (1980) è stato eseguito per rilevare differenze dei parametri nella crescita tra sessi.

2.3.9. Analisi della distribuzione degli individui

Al fine di valutare eventuali differenze nel pattern della distribuzione degli individui di *R. asterias* in funzione dello stadio di maturità, ovvero immaturi (individui in stadi 1 e 2) vs maturi (individui in stadio 3a, 3b e 4), sono state

elaborate delle mappe attraverso l'utilizzo del software QGIS versione 3.10.10
(www.qgis.org).

3. RISULTATI

3.1. Misure morfometriche

3.1.1. Distribuzione di frequenza

Un totale di 289 individui (136 femmine e 153 maschi) sono stati campionati tra dicembre 2019 e marzo 2024 nell'ambito delle diverse campagne di pesca commerciali e non, condotte in alto-medio Adriatico. Il range di taglia dell'intera popolazione campionata è compresa tra 16.0 e 59.0 cm LT (Figura 35), se pur la distribuzione di taglia per ciascun sesso e cumulativa mostri un range di taglia maggiore per le femmine (17.0 – 59.0 cm LT) rispetto ai maschi (16.0 – 50.5 cm LT) (Figura 36). Dal confronto delle distribuzioni di frequenza per sesso, il Test non parametrico di Kolmogorov-Smirnov (Press et al, 1988), ha evidenziato che esiste una differenza statisticamente significativa tra le due distribuzioni ($D=0.69$, $gdl=2$, $p < 0.05$), in quanto le femmine mostrano un range di taglia maggiore dei maschi, evidenziando un dimorfismo sessuale per taglia della specie.

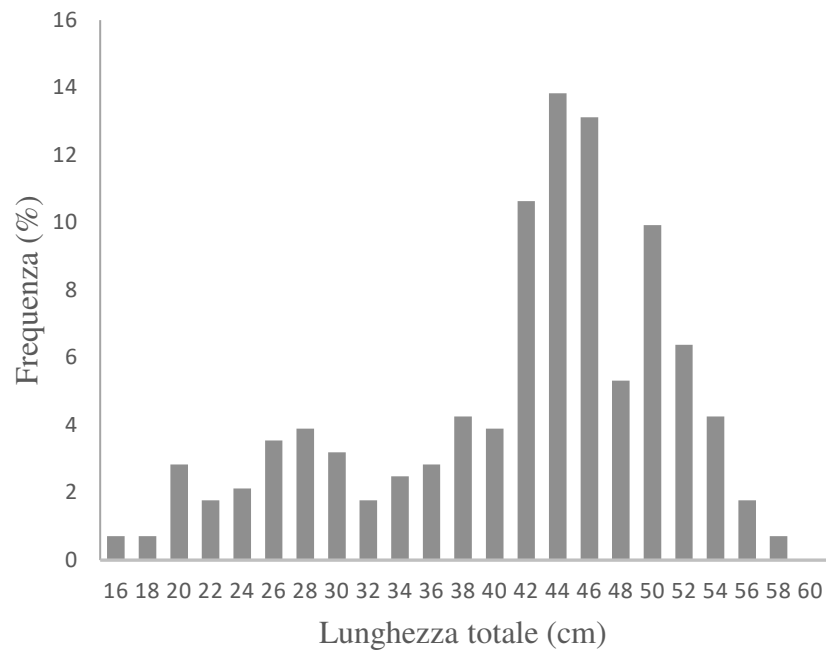


Figura 35. Distribuzione della frequenza della popolazione campionata di *Raja asterias*.

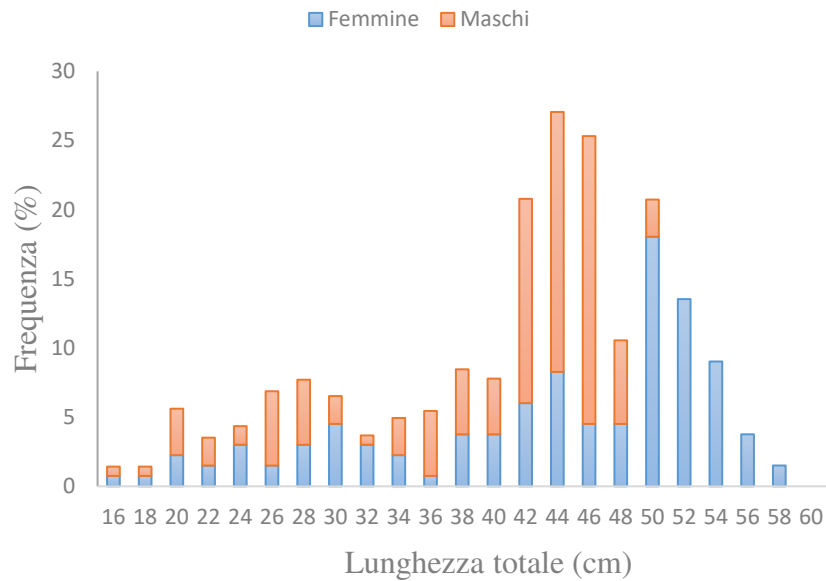


Figura 36. Distribuzione di frequenza cumulativa suddivisa per sesso della popolazione campionata di *Raja asterias*.

3.1.2. Sex ratio

La sex ratio è stata calcolata sul totale degli individui campionati (136 femmine e 153 maschi) (Figura 37). Il “Test χ^2 di adattamento” ha indicato che non esiste una differenza significativa nel rapporto tra i due sessi che è pari a 1:1 ($\chi^2 = 0.9078$, gdl =1, $p > 0.05$).

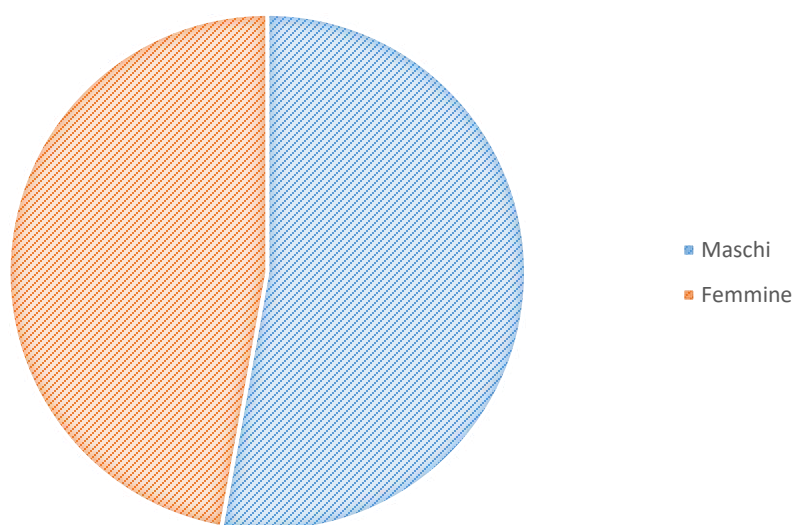


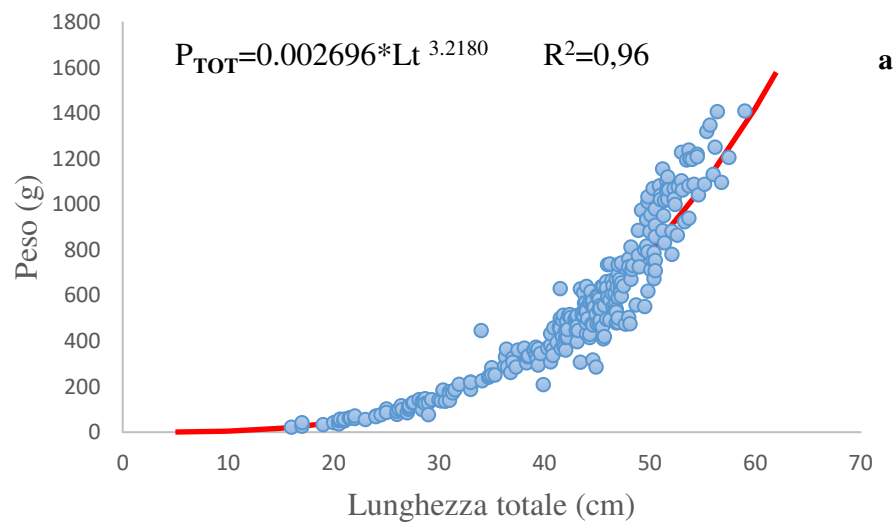
Figura 37. Rapporto tra i sessi della popolazione campionata di *Raja asterias*.

3.1.3. Regressione lunghezza-peso

I dati di lunghezza totale (LT, cm) e peso totale (PT, g) sono stati utilizzati per valutare la relazione lunghezza-peso. Questa relazione permette di valutare l'accrescimento relativo di una popolazione e di valutarne eventuali differenze in funzione di parametri variabili come il sesso e lo stadio maturativo delle gonadi.

In pratica dà informazioni sul cambiamento nella forma del corpo degli organismi durante il ciclo vitale della specie o in diverse condizioni ambientali.

Il modello che meglio si adatta a rappresentare questa relazione è dato da una funzione esponenziale e i dati sperimentali e le funzioni che ne descrivono la relazione per l'intera popolazione e per ciascun sesso sono riportati in Figura 38 a, b, c.



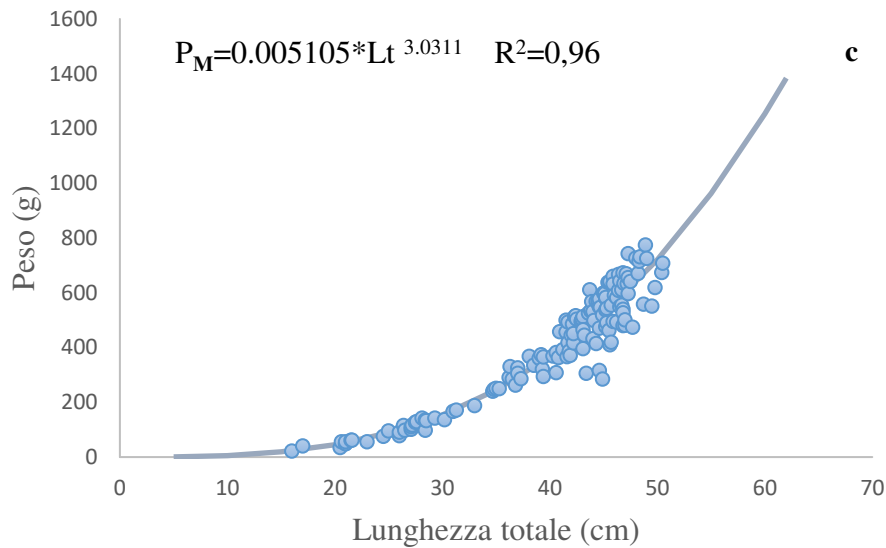
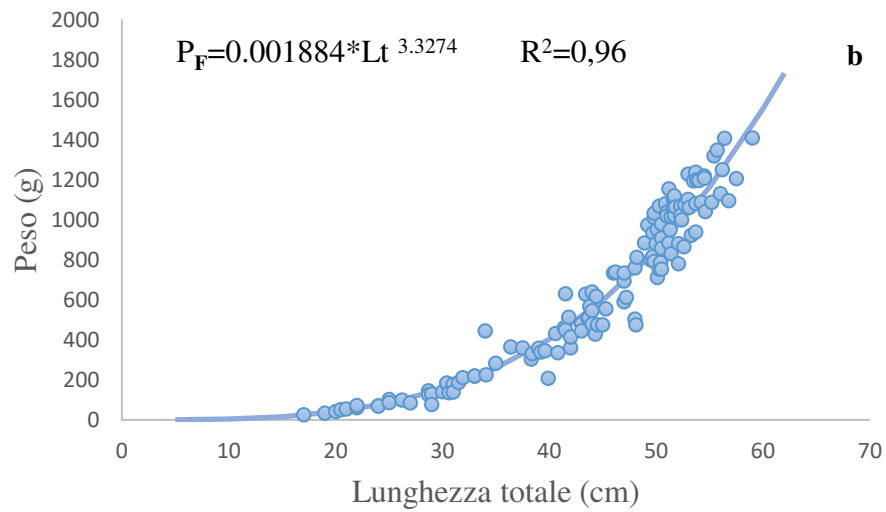


Figura 38. Relazione lunghezza-peso della popolazione campionata di *Raja asterias*. a) entrambi i sessi; b) femmine; c) maschi.

Dal Test T di Student, eseguito per verificare l'isometria/allometria nella relazione lunghezza-peso, risulta che le relazione taglia-peso degli individui di sesso

femminile (Test T di Student. $T = 6,34$ gdl= 132, $p < 0.05$) e maschile (Test T di Student. $T = 0.65$, gdl= 147, $p = 0.05$) è caratterizzata da una allometria positiva (cioè $b > 3$) (Figura 38b) per le femmine, e da una isometria (cioè $b = 3$) (Figura 38c) per i maschi.

Tramite il Test di Fisher, sono stati comparati tra loro gli indici di allometria (b) dei maschi e delle femmine. Dai risultati ottenuti possiamo affermare che i valori dell'indice di allometria b , calcolati nei maschi e nelle femmine, differiscono significativamente l'uno dall'altro (Test di Fisher, $F = 17,68$ gdl= 1 e 275, $p < 0.01$), evidenziando un accrescimento ponderale differente, a conferma dell'esistenza di un dimorfismo sessuale per la specie anche nella relazione tra lunghezza e peso.

3.1.4. Fattore di condizione

L'analisi del fattore di condizione è stata eseguita separatamente per individui femmine e maschi (Figura 39 a,b). I risultati mostrano che gli individui di *Raja asterias*, in entrambi i sessi, presentano condizioni fisiche varie, dal sottopeso al sovrappeso, senza alcuna apparente dipendenza dalla taglia.

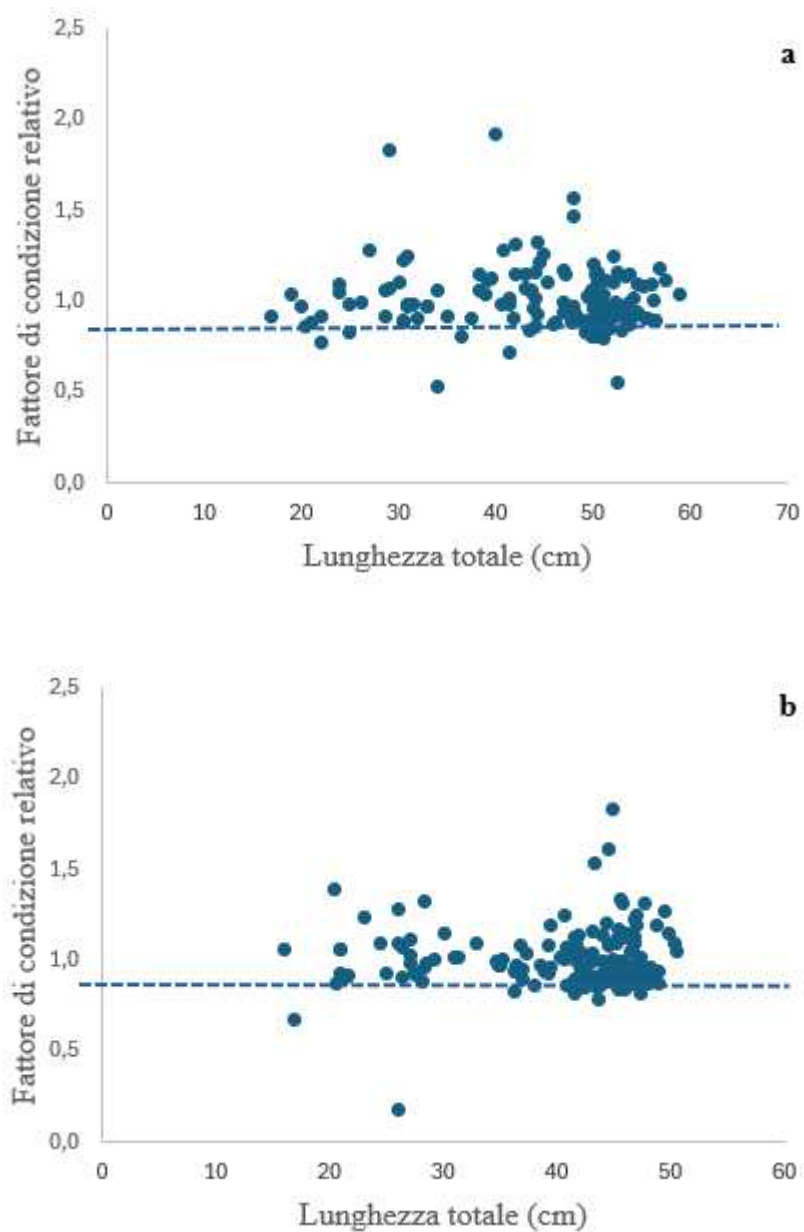


Figura 39. Fattore di condizione relativo alla popolazione campionata di *Raja asterias* suddivisa tra *a*) = femmine; e *b*) = maschi.

3.1.5. Regressione Lunghezza totale – lunghezza disco e larghezza disco

I dati di lunghezza totale (TL, in cm) sono stati utilizzati per valutare la relazione che intercorre tra la lunghezza del disco (DL, in cm) e la larghezza del disco (DW, in cm) sia negli individui femmine che maschi. La risultante relazione lineare che intercorre tra LT-DL e LT-DW sia negli individui maschi che femmine di *R. asterias* è riportata nelle equazioni seguenti e nelle Figura 40 e Figura 41.

LT-DL nei maschi: $y = 0.61167x - 14.562$ $R^2 = 0,6928$

LT-DL nelle femmine: $y = 0.56742x - 3.8667$ $R^2 = 0.7591$

LT-DW nei maschi: $y = 0.60134x + 25.873$ $R^2 = 0.8725$

LT-DW nelle femmine: $y = 0.67862x + 9.025$ $R^2 = 0.9698$

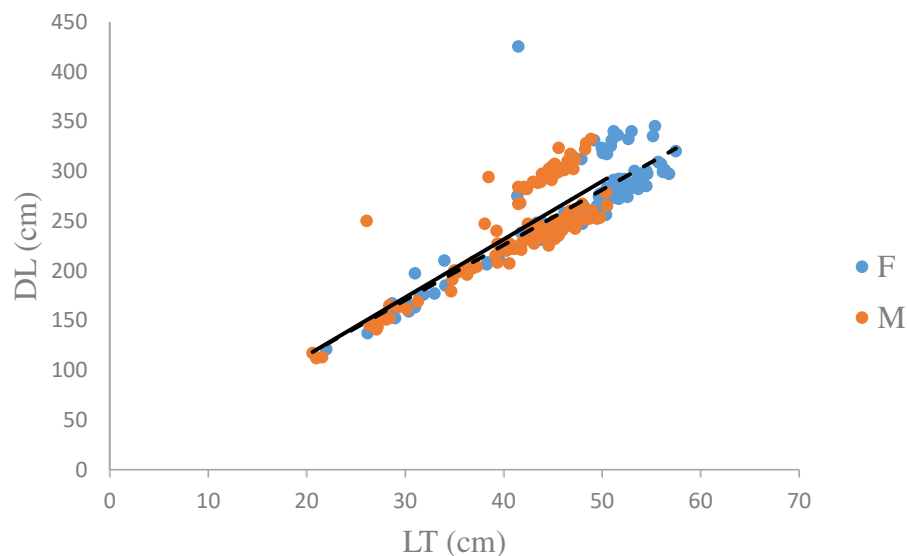


Figura 40. Relazione LT - DL degli individui maschi e femmina di *Raja asterias*.

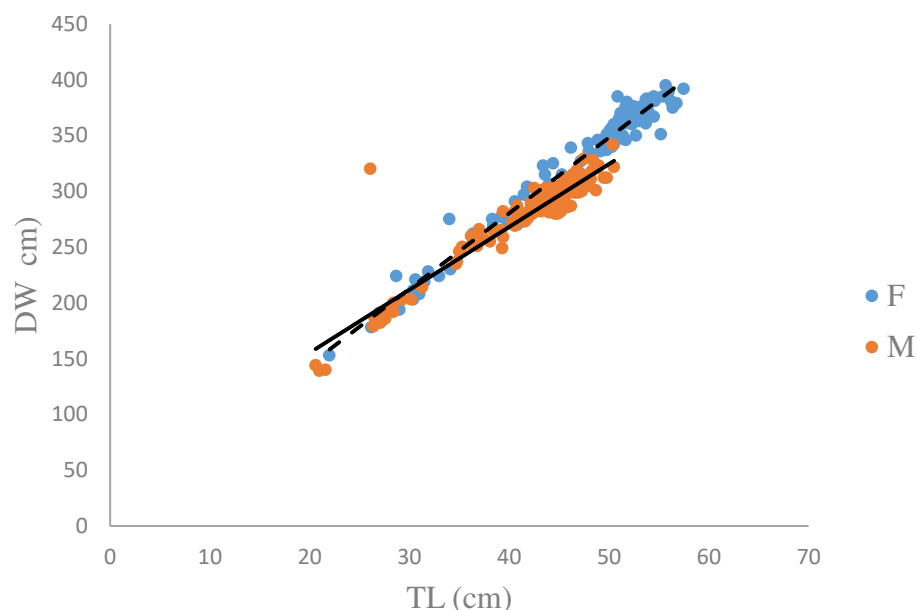


Figura 41. Relazione LT - DL degli individui maschi e femmina di *Raja asterias*.

Dai grafici si evince che a parità di taglia, tra individui maschi e femmine la DL non differisce tra i due sessi, al contrario la DW risulta essere maggiore nelle femmine rispetto ai maschi, come confermato dall'analisi della regressione lunghezza peso tra i due sessi, ad evidenziare un ulteriore elemento di dimorfismo sessuale nei parametri morfometrici della specie.

3.2. Studio del ciclo riproduttivo

3.2.1. Analisi macroscopica degli stadi di maturità

Tutti i 289 individui campionati durante i periodi di campionamento sono stati analizzati per la determinazione macroscopica degli stadi di maturità. Il numero di

individui maschi e femmine per ciascuno stadio di maturità osservato e il mese di riferimento, sono riportati in Tabella 5. Dalla tabella, inoltre, si evince che tutti gli stadi di maturità sono stati rinvenuti per ciascun sesso, se pur in numeri diversi, durante i periodi di campionamento considerati.

Tabella 5. Numero di individui maschi e femmina campionati in ciascun stadio di maturità nei diversi mesi degli anni oggetto di studio.

Stadio di Maturità	N ind	Mese
F1	27	gennaio, febbraio, marzo, luglio, settembre, ottobre, novembre
F2	61	gennaio, febbraio, marzo, settembre, ottobre, dicembre
F3A	29	gennaio, febbraio, marzo, aprile
F3B	14	aprile, maggio, Settembre
F4	5	ottobre, novembre, dicembre
M1	24	luglio, settembre, ottobre, novembre, dicembre
M2	34	gennaio, settembre, ottobre, novembre, dicembre
M3A	55	gennaio, marzo, aprile, maggio, settembre, ottobre, novembre, dicembre
M3B	39	febbraio, marzo, maggio, dicembre
M4	1	dicembre

Sulla base dei diversi stadi di maturità campionati per individui maschi e femmine, si è inoltre implementato con fotografie scattate durante questo lavoro (Figura 42), lo schema fotografico descrittivo degli stadi di maturità a livello macroscopico suddivisi per sesso, precedentemente mostrato nella Figura 23 del capitolo Materiali e Metodi e presente in Serena et al., (2008).

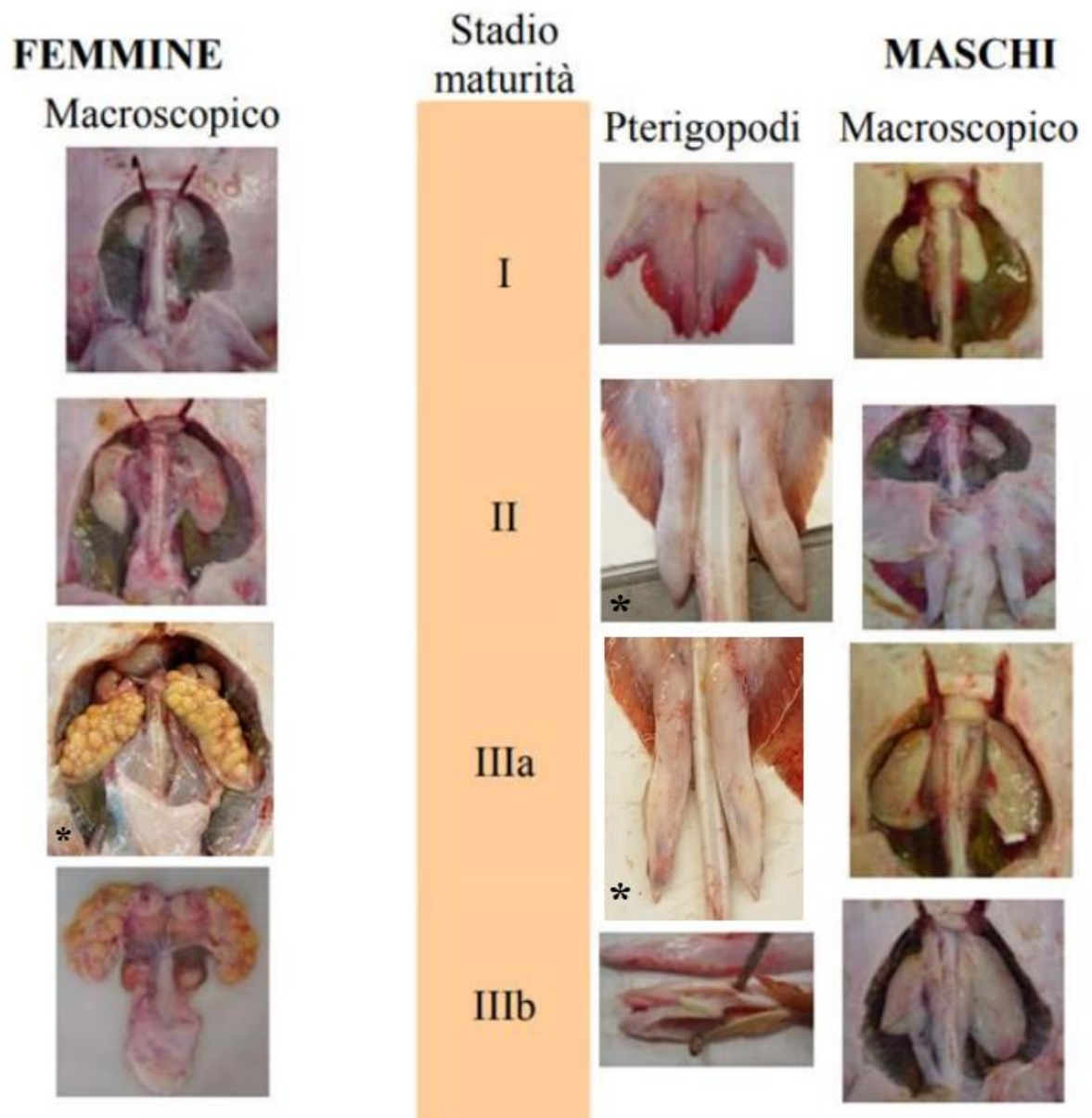


Figura 42. Schema riassuntivo dei diversi stadi di maturità macroscopica maschili e femminili. Le immagini recanti “*” sono state realizzate durante questo studio, le restanti erano già presenti in Serena et al., 2008.

In un totale di 11 individui femmine in stadio 3a è stata misurata la larghezza (diametro maggiore) della ghiandola nidamentale, la cui dimensione era compresa

tra 18 e 28.5 mm (in media $\pm$ deviazione standard, 23.35 ± 3.26 mm) e la sua altezza (diametro minore) che era compresa tra 7.8 e 26.5 mm (17.35 ± 6.43 mm). Il diametro degli ovociti misurati in questo stadio era in media pari a 14.23 ± 4.75 mm, mentre la grandezza del più piccolo e più grande ovocita misurato era pari a 6.6 e 22.0 mm, rispettivamente (Figura 43).

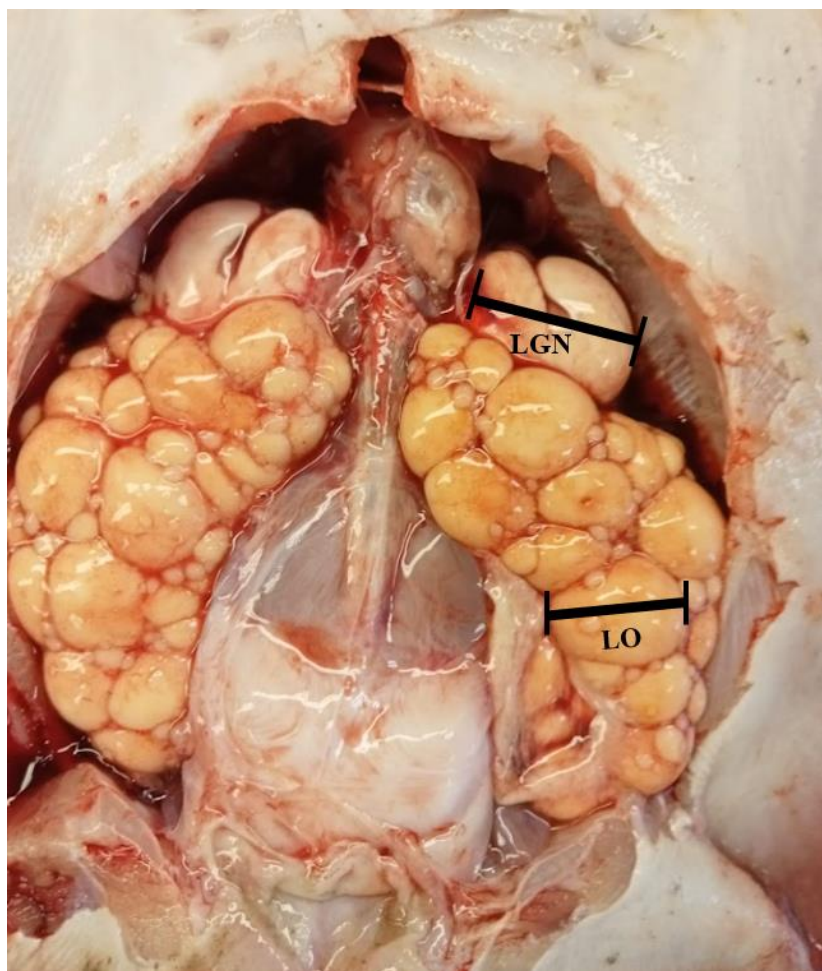


Figura 43. Individuo di sesso femminile nel quale sono evidenziate le due misure rilevate, ovvero la Larghezza della Ghiandola Nidamentale (LGN) e la Larghezza dell'Ovocita (LO).

In un totale di 37 individui maschi (4 in stadio 2, 22 in stadio 3a e 11 in stadio 3b) sono state rilevate la lunghezza dello pterigopodio destro (LPT) e la distanza del lobo posteriore della pinna pelvica con l'estremità distale dello pterigopodio destro (DRP). I risultati mostrano che LPT era in media pari a 75.2 ± 5.2 mm, 129.9 ± 5.1 mm e 138.4 ± 7.6 mm negli stadi di maturità 2, 3a e 3b, rispettivamente. Similmente, come per LPT, si è osservato un incremento di DRP con il progredire dello stadio di maturità sessuale, difatti in media è risultato pari a 17.2 ± 5.8 mm, 51.7 ± 4.3 mm e 55.2 ± 3.4 mm negli stadi di maturità 2, 3a e 3b, rispettivamente.

3.2.2. Taglia di prima maturità (L_{50})

Dai valori ottenuti per i parametri a , b e c , per maschi e femmine è stato calcolato il valore di lunghezza totale al quale il 50% delle femmine e dei maschi risulta sessualmente maturo. L_{50} è risultato pari a 42.5 cm per le femmine (Figura 44) e 36 cm per i maschi (Figura 45). I maschi raggiungono quindi la maturità sessuale ad una taglia inferiore rispetto alle femmine.

La lunghezza di prima maturità sessuale viene calcolata dall'elaborazione di una curva (logistica) che fitta al meglio tutti i dati di frequenza in funzione della classe di taglia. Nella zona di flesso della curva è presente un punto in cui il valore della

coordinata sull'asse delle ordinate è pari al 50%, a questa corrisponde un valore x sull'asse delle ascisse equivalente alla taglia di prima maturità (L_{50}).

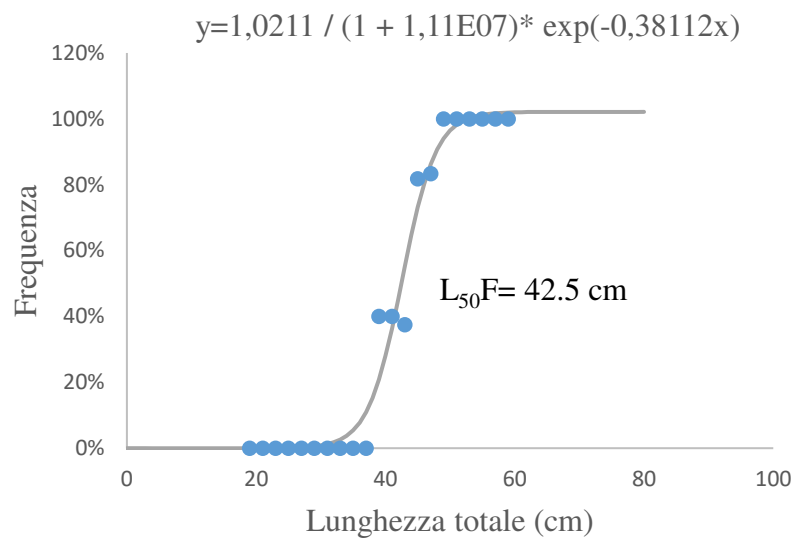


Figura 44. Curva logistica degli individui femmine.

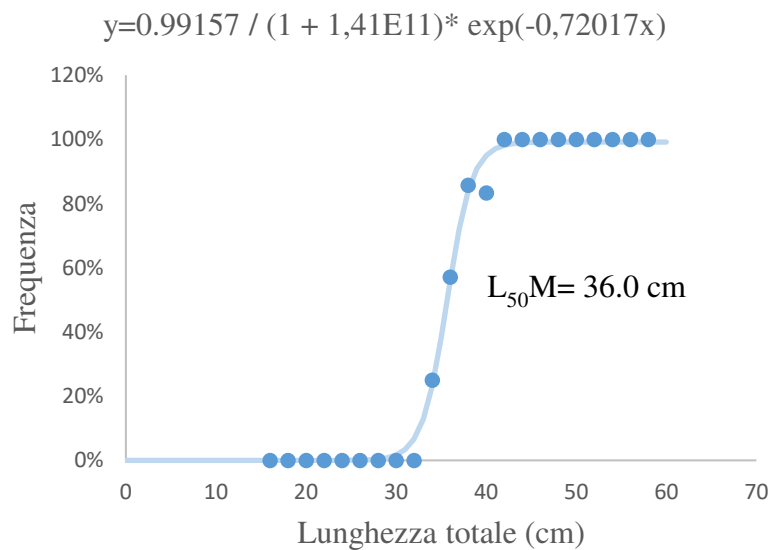


Figura 45. Curva logistica degli individui maschi.

3.2.3. IGS calcolato per stadio di maturità

Per un totale di 52 individui è stato possibile estrarre e pesare la gonade. Di questi, 15 erano femmine (una in stadio F1, una in stadio F2 e 13 in stadio F3a) e 37 erano maschi (quattro in stadio M2, 22 in stadio M3a e 11 in stadio M3b). In Figura 46 e Figura 47 sono riportati i grafici relativi all'indice IGS in funzione del diverso stadio di maturità stimato a livello macroscopico.

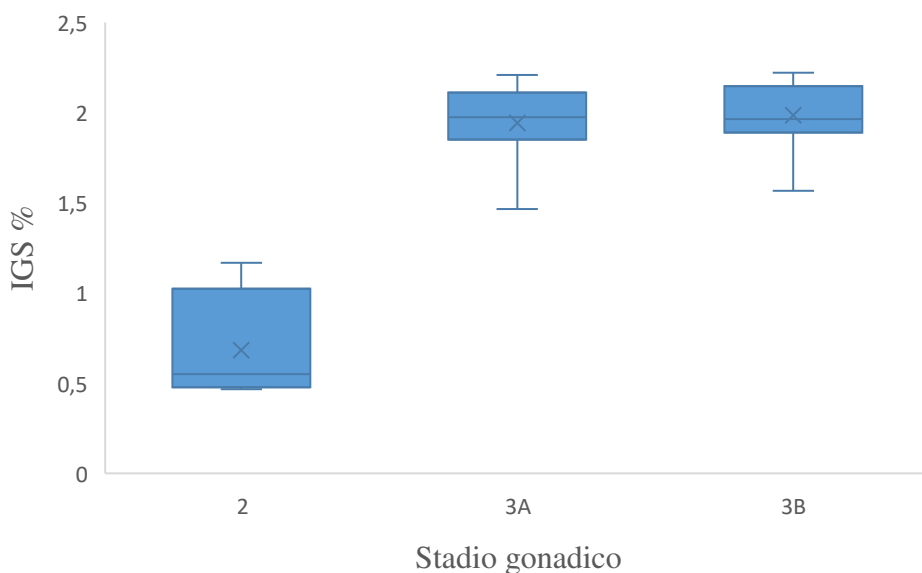


Figura 46. Diagramma Box-Wisker dell'indice gonado-somatico IGS per stadio di maturità stimato a livello macroscopico degli individui maschi della popolazione campionata di *Raja asterias*. Legenda: IGS = indice gonado somatico; — = mediana; X = media; = media $\pm$ ES (errore standard).

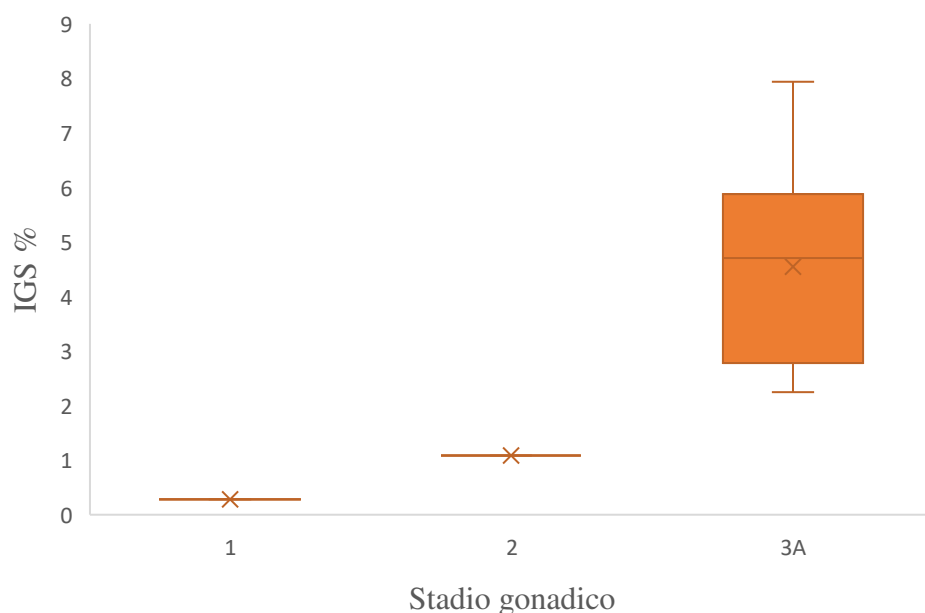


Figura 47. Diagramma Box-Wisker dell'indice gonado somatico IGS per stadio di maturità stimato a livello macroscopico degli individui femmine della popolazione campionata di *Raja asterias*. Legenda: IGS = indice gonado somatico; — = mediana; X = media; = media $\pm$ ES (errore standard).

L'aumento del valore di IGS con il progredire dello stadio di maturità stimato a livello macroscopico della gonade suggerisce un maggior investimento energetico della specie negli stadi di maturità più avanzati.

3.3. Determinazione dell'età

3.3.1. Accrescimento teorico in lunghezza

L'età è stata stimata per 133 individui (74 femmine + 59 maschi) pescati tra marzo e dicembre 2020, comprendente l'intero range di taglia della popolazione campionata nel corso del presente studio. In particolare, gli individui selezionati

per la determinazione dell'età sono stati quelli pescati esclusivamente in medio adriatico durante uscite di pesca commerciale a strascico a bordo dell'Airone Bianco II (N ind. tot selezionati = 87), e durante il survey SOLEMON 2020 condotto con l'utilizzo di rapidi (N ind. tot selezionati = 46). Sulla base del valore degli indici di APE e ACV calcolati per ciascuna delle 4 tecniche utilizzate per la determinazione dell'età di *R. asterias* (vertebre intere non trattate e trattate (bruciate), vertebre sezionate non trattate e trattate (bruciate)), è risultato che solamente la tecnica con le vertebre sezionate e bruciate fornisce delle stime di età con un'elevata percentuale di *agreement* tra le letture (>91.0%) e bassi valori degli indici al di sotto dei valori di riferimento riportati in letteratura (Basusta et al., 2017; Campana 2001; Kadri et al., 2013) (Figura 48). Per questo motivo è stata scelta come l'unica tecnica con cui presentare i dati di età-lunghezza suddivisi per sesso degli individui della specie. Complessivamente, dalla lettura delle vertebre sezionate previamente bruciate è stata determinata l'età degli individui della popolazione campionata compresa tra 0 e 5 anni. Le femmine campionate hanno mostrato un'età massima di 5 anni e una taglia massima pari a 59.0 cm, mentre per i maschi l'età massima stimata è pari a 4 anni con una taglia massima di 46.0 cm.

Tabella 6. Valori degli indici di precisione APE e ACV, e % di *agreement* tra le letture, calcolati per ciascuna delle 4 tecniche utilizzate per la determinazione dell'età degli individui di *Raja asterias*.

Indici di precisione			
	ACV	APE	% <i>agreement</i>
vertebre intere NT	11,07	7,83	65,0
vertebre sezioni NT	5,79	4,09	87,3
vertebre intere BR	8,75	6,19	75,0
vertebre sezioni BR	3,44	2,43	91,2

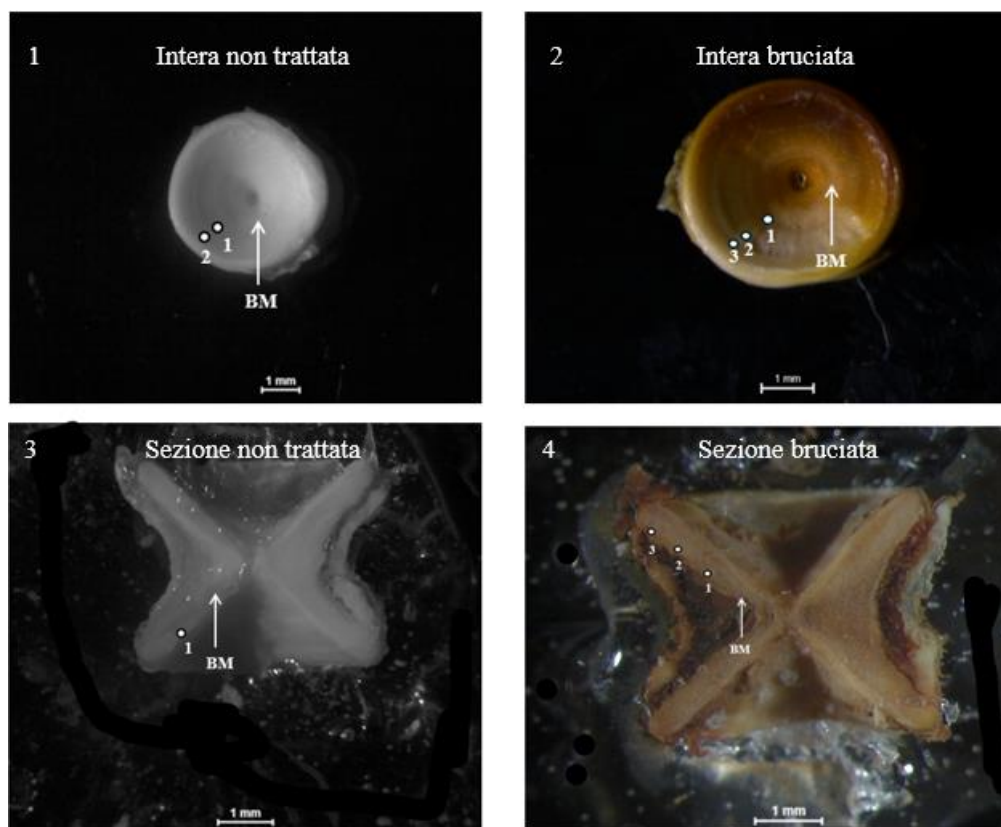


Figura 48. Immagine che mostra il confronto delle letture dell'età sulla vertebra dello stesso individuo di *Raja asterias* (RA_96) nei quattro trattamenti utilizzati. 1) Vertebra intera NT; 2) Vertebra intera BR; 3) Vertebra sezionata NT; 4) Vertebra sezionata BR.

L'equazione di von Bertalanffy è stata utilizzata per descrivere l'accrescimento degli esemplari, utilizzando i dati della lunghezza totale (LT) in funzione dell'età.

I parametri di crescita stimati per l'intera popolazione campionata e per gli individui di sesso maschile e femminile, ai quali è stato applicato il test di verosimiglianza Kimura per confrontare i parametri di crescita tra i sessi, sono riportati in Tabella 7. Le relative curve di crescita sono invece rappresentate in Figura 49. Applicando il test del rapporto di verosimiglianza, le femmine raggiungono una taglia asintotica (L_{∞}) significativamente maggiore rispetto ai maschi ($\chi^2 = 5.441$, $p < 0.05$), mentre i due sessi non mostrano differenze significative nei valori di k ($\chi^2 = 3.725$, $p = 0.05$). Considerando entrambi i parametri di crescita (L_{∞} e k) nel loro complesso, si osserva però una differenza altamente significativa nel pattern di accrescimento tra maschi e femmine ($\chi^2 = 10.426$, $p < 0.05$), difatti i due sessi sono descritti da due curve di crescita differenti (Figura 49).

Infine, nelle femmine il valore di L_{50} di 42.5 cm è raggiunto a un'età di circa 3 anni, mentre nei maschi l' L_{50} di 36.0 cm è raggiunta a un'età di circa 2 anni. Da questi valori di età-lunghezza di prima maturità differenti si evince come le

femmine raggiungano più tardivamente la taglia di maturità sessuale, a indicare un dimorfismo sessuale tra gli individui maschi e femmine nell' L_{50} .

Parametri	Femmine		Maschi		RSS	χ^2	df	P
	L_{∞}	K	L_{∞}	k				
Ipotesi								
Indipendenti	70.05	0.31	56.86	0.43	1165			
Ipotesi 0: = L_{∞} ; = k;	67.50	0.32	67.50	0.32	1267	10.426	2	**
Ipotesi 0: = L_{∞}	66.07	0.34	66.07	0.32	1217	5.441	1	*
Ipotesi 0: = k	66.34	0.34	63.57	0.34	1200	3.725	1	ns

Tabella 7. Test del rapporto di verosimiglianza che confronta le stime dei parametri di crescita di von Bertalanffy per entrambi i sessi di *Raja asterias*. Le statistiche si basano su tre ipotesi nulle, assumendo che ciascun parametro o tutti, non differiscano tra i sessi. RSS = somma residua dei quadrati.; df = gradi di libertà; * significativo in $\alpha = 0,05$, **; significativo in $\alpha = 0,01$.

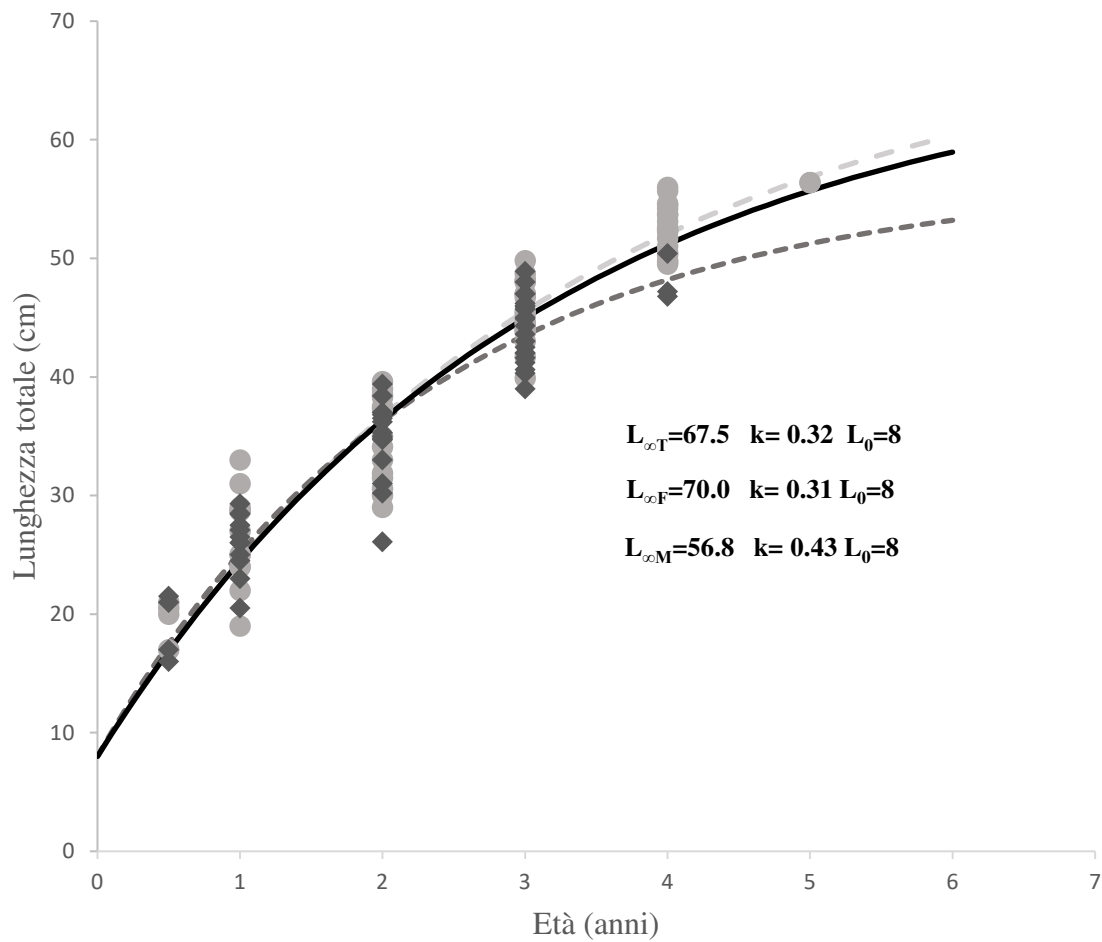


Figura 49. Curva di accrescimento di von Bertalanffy della popolazione totale campionata. La linea continua in nero rappresenta la curva di crescita per il totale della popolazione. Gli individui maschi rappresentati con rombi grigio scuro e le femmine con palline grigio chiaro.

3.3.2. Regressione Lunghezza totale individuo – raggio vertebra

Attraverso l'analisi della misura del raggio delle vertebre rimosse dalla regione post-craniale e toracica, è stato possibile studiare la relazione che intercorre tra il raggio della vertebra (R) e la lunghezza (LT) degli individui di *R. asterias*.

L'equazione del modello della regressione lineare per l'intera popolazione è risultata la seguente:

$$LT = 0.0559x - 0.3625$$

L'analisi della regressione lunghezza-raggio ha messo in evidenza una correlazione positiva tra la lunghezza totale dell'individuo e il raggio delle vertebre negli individui della popolazione ($r^2 = 0.93$) (Figura 50).

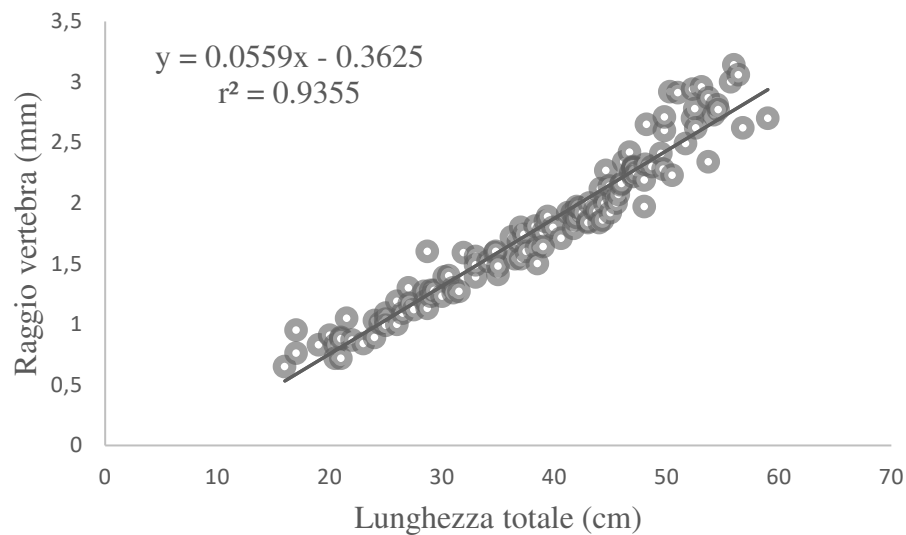


Figura 50. Regressione lineare tra la lunghezza totale LT (cm) e il raggio della vertebra r (mm) di *Raja asterias*.

3.4. Analisi della distribuzione degli individui

Le mappe di distribuzione degli individui campionati sono state elaborate attraverso l'utilizzo del software QGIS versione 3.10.10 in funzione dello stadio di maturità degli individui (maturi vs immaturi) (Figura 55). Per gli individui

immaturi, sia maschi che femmine, i risultati mostrano come i giovani individui di razza stellata siano distribuiti esclusivamente nelle zone più costiere, entro la batimetrica dei 50 m di profondità (Figura 51 e Figura 52). Al contrario, gli individui maturi, sia maschi che femmine, sono stati rinvenuti sia nelle zone sotto costa che a largo, entro la batimetrica degli 80 m di profondità (Figura 53 e Figura 54).

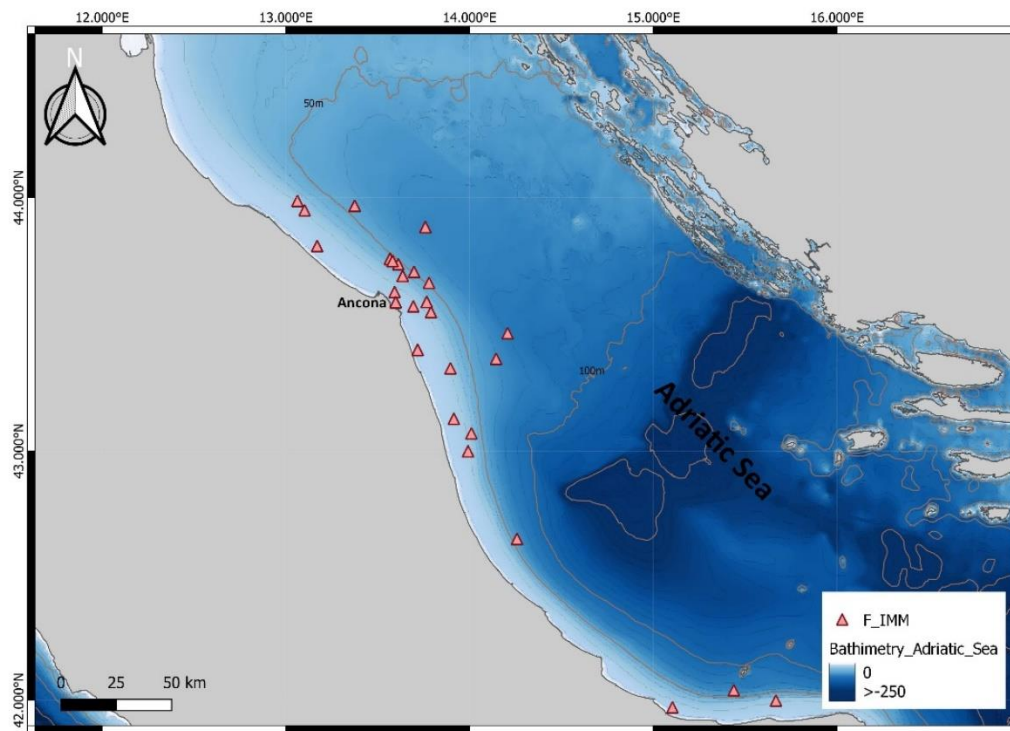


Figura 51. Mappa della distribuzione spaziale e batimetrica degli individui femmine immature, di *Raja asterias*.

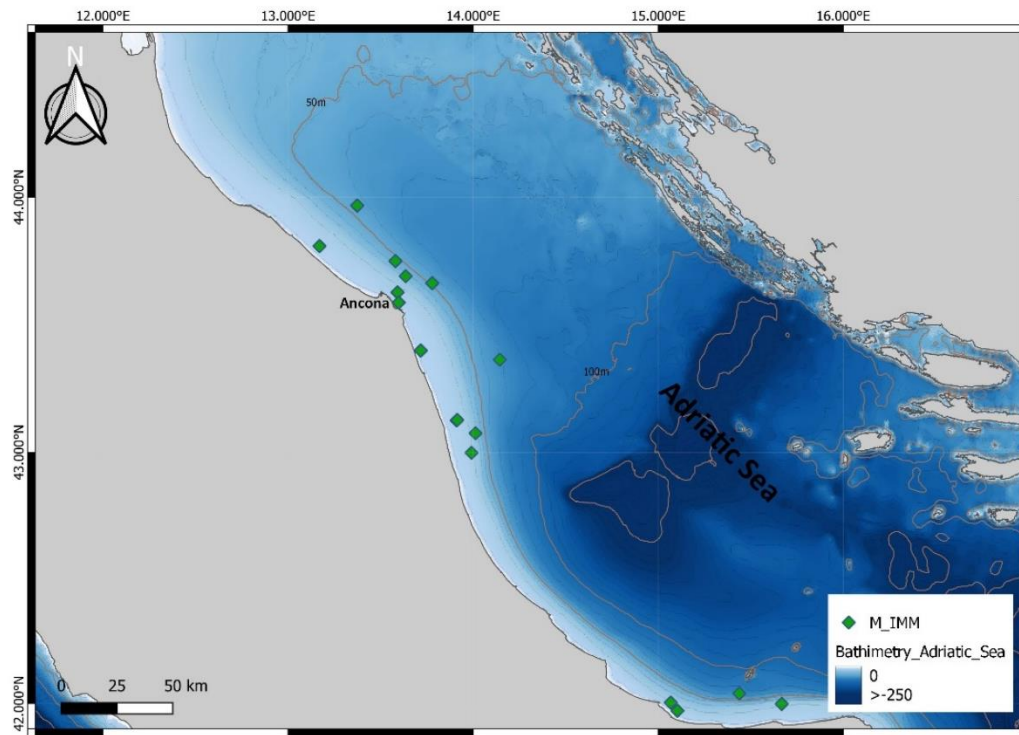


Figura 52. Mappa della distribuzione spaziale e batimetrica degli individui maschi immaturi, di *Raja asterias*.

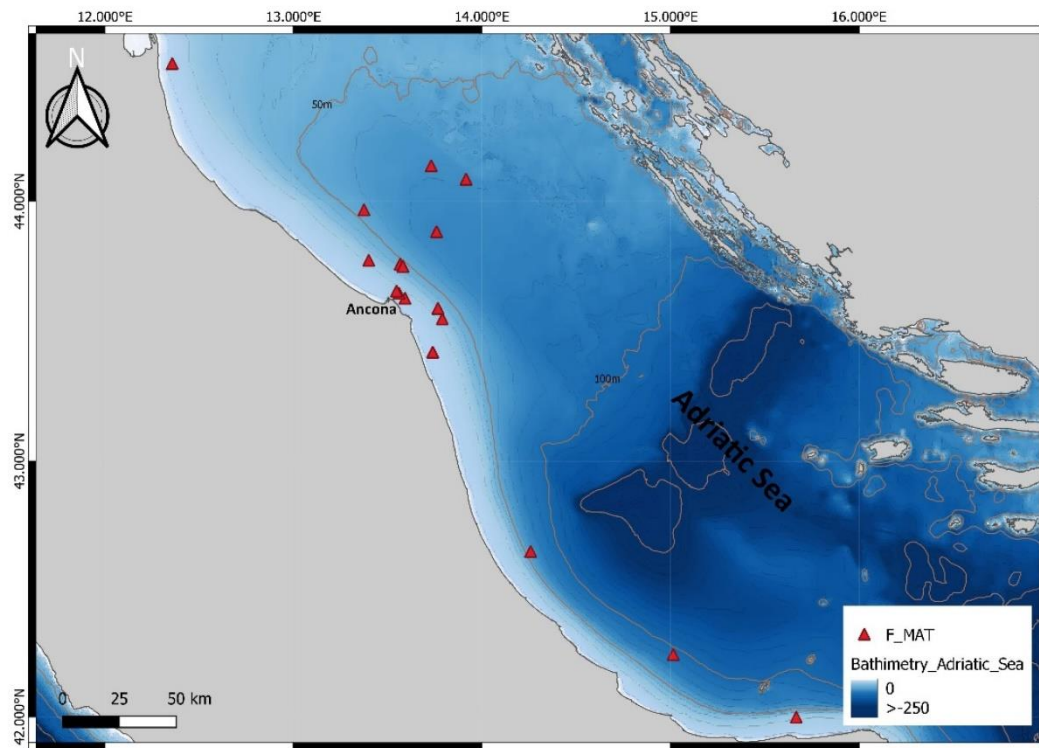


Figura 53. Mappa della distribuzione spaziale e batimetrica degli individui femmine mature, di *Raja asterias*.

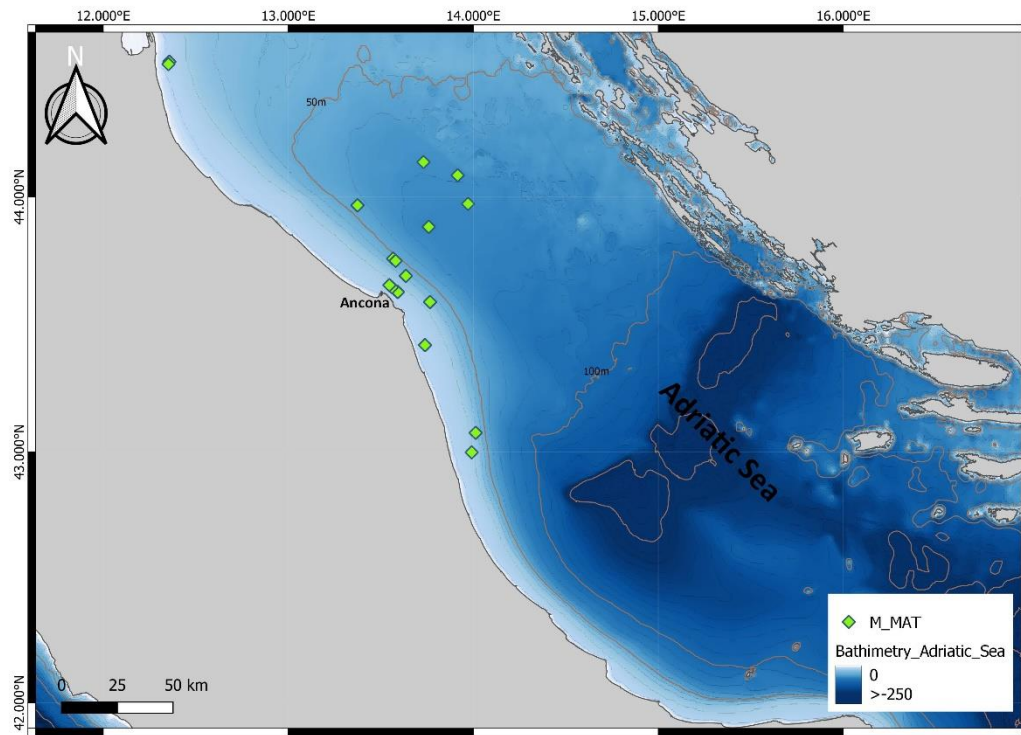


Figura 54. Mappa della distribuzione spaziale e batimetrica degli individui maschi maturi, di *Raja asterias*.

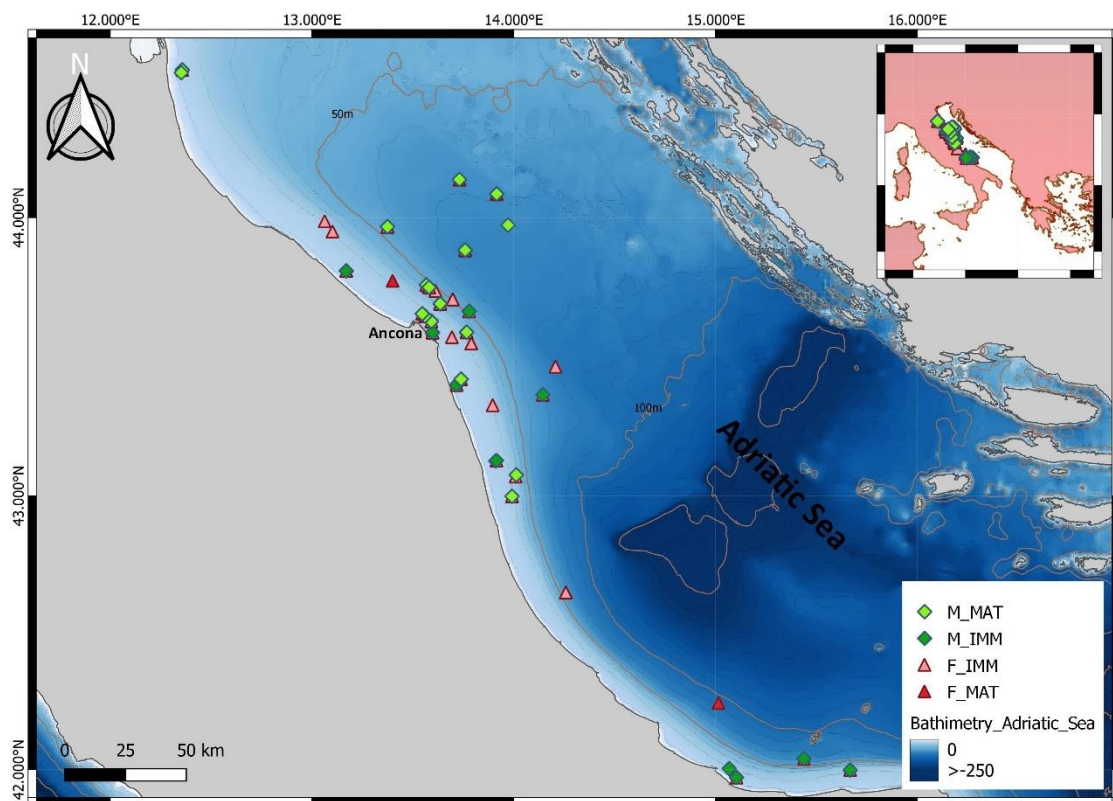


Figura 55.. Mappa della distribuzione spaziale e batimetrica degli individui maschi e femmine, maturi e immaturi, di *Raja asterias*.

4. DISCUSSIONE

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo quello di caratterizzare alcuni tratti del ciclo biologico della razza stellata (*Raja asterias*) in alto-medio Adriatico, considerato che tale specie è oggetto di pesca e nota la suscettibilità all'attività di pesca dei condroitti. Per poter garantire la conservazione della specie, al momento classificata dalla IUCN come “Least Concern”, ma in declino in diverse aree del Mediterraneo (Coll et al., 2013), adottando adeguate misure di protezione e mitigazione, risulta di vitale importanza però avere una conoscenza precisa ed accurata delle caratteristiche biologiche della specie su diverse scale spaziali e temporali.

In questo studio le razze sono state collezionate tramite reti a strascico, rapidi e reti da posta nel periodo novembre 2019 – marzo 2024, includendo individui di taglia compresa tra 16.0 e 59.0 cm LT. Altri autori riportano, in altri mari italiani, range di taglia simili, con una taglia massima campionata molto simile a quella rinvenuta nel presente lavoro, e una taglia minima generalmente più bassa. Nello specifico, per l'alto-medio Adriatico è riportato un range di 8.5 – 56.0 cm LT Ferrà et al. (2016), e di 16.0 - 59.0 cm (Fanelli et al., 2023), mentre per il Tirreno i range di taglia degli individui campionati variavano tra 14.1 – 60.0 cm LT (Romanelli

et al., 2007) e 20.5 – 59.0 cm LT (Geraci et al., 2021), e nel Mar Catalano tra 9.0 – 62.0 cm LT (Coll et al., 2013). Solamente in Adriatico meridionale Porcu et al. (2022) hanno rinvenuto una taglia massima campionata di *R. asterias* maggiore, con range di taglia compreso tra 8.8 – 69.6 cm LT.

Nella maggior parte degli studi qui riportati, la più piccola taglia campionata in mare per questa specie risulta essere di 8.5 cm (Ferrà et al., 2016), a supporto di quanto già affermato da altri autori (Camhi et al., 2007; Romanelli et al., 2007; Scacco et al., 2024), che riportano mediamente una taglia alla nascita (L_0) di 8.0 cm. Difatti nel presente lavoro tale valore di L_0 è stato impostato poi come parametro fisso nell'equazione della curva di crescita di VBGF. Nel presente studio è stato inoltre riscontrato che la taglia massima campionata in mare per *R. asterias* differisce in funzione del sesso, difatti le femmine sono risultate raggiungere taglie maggiori rispetto ai maschi, come osservato anche da diversi altri autori in diverse zone del Mediterraneo (Coll et al., 2013; Fanelli et al., 2023; Geraci et al., 2021; Romanelli et al., 2007) ad indicare un dimorfismo sessuale nelle distribuzioni di frequenza degli individui di questa specie.

La sex ratio della popolazione campionata in questo lavoro rispecchia valori già ottenuti per l'alto-medio Adriatico (1.04:1) (Ferrà et al., 2016) e in altre aree del

Mediterraneo, come ad esempio nel Canale di Sicilia (1.13:1) (Geraci et al., 2021).

Questa informazione suggerisce che la sex ratio sia bilanciata tra le diverse popolazioni presenti in aree geografiche differenti (Scacco et al., 2024).

L'analisi della regressione lunghezza-peso ha evidenziato una crescita isometrica ($b = 3$) per gli individui maschi della popolazione di *R. asterias*, mentre la crescita è risultata allometrica positiva ($b > 3$) per le femmine. Quest'ultimo dato suggerisce un incremento in peso maggiore rispetto alla lunghezza per gli esemplari più grandi e quindi un chiaro dimorfismo sessuale esistente tra i maschi e le femmine di *R. asterias*. Difatti, tale caratteristica è stata precedentemente osservata anche in altri studi condotti in Mediterraneo (Geraci et al., 2021; Serena, 2010). L'accrescimento di tipo isometrico è quello che comunemente caratterizza la maggior parte delle famiglie di elasmobranchi in Mediterraneo, mentre l'accrescimento di tipo allometrico positivo è spesso associato a variazioni stagionali nel peso dell'animale, con una grossa influenza del peso delle gonadi e del fegato sul peso totale dell'individuo (Froese et al., 2006). *Raja asterias* essendo una specie ovipara necessita di grandi quantità di vitellogenina accumulate nel fegato, tali da incidere sul peso degli individui femmina (Casto et al., 2000; Tsikliras & Dimarchopoulou, 2021; Martino et al., 2021).

L'analisi della regressione lunghezza totale – larghezza del disco tra i due sessi, ha messo in evidenza che a parità di taglia degli individui, le femmine hanno un disco più largo rispetto ai maschi, tratto invece non evidenziato nella relazione lunghezza totale – lunghezza disco condotta congiuntamente. La maggiore larghezza del disco riscontrata nelle femmine potrebbe essere probabilmente legata a esigenze riproduttive, come la deposizione delle uova e la capacità di accumulare riserve energetiche. A tal fine le femmine necessitano di maggiore spazio nella cavità addominale, mentre i maschi mantengono una morfologia più snella, forse per favorire l'agilità durante il corteggiamento e la copula (Camhi et al., 2004; McCully et al., 2012; Serena et al., 2010; Wearmouth et al., 2008).

L'analisi del fattore di condizione di questa specie, ha evidenziato che le condizioni fisiche degli individui maschi e femmine campionati sono varie (ovvero normopeso, sottopeso o sovrappeso) senza mostrare un particolare trend in relazione alla lunghezza totale degli individui. Questi risultati sono spiegabili considerando che la dieta di *R. asterias* può subire fluttuazioni stagionali in base a quello che è il fabbisogno energetico. Difatti, durante i periodi di accoppiamento questa specie tende a adottare una dieta più generalista, mentre nel resto dell'anno tende a selezionare prede che forniscono più calorie e lipidi per preparare il

sistema riproduttivo alla formazione e successiva deposizione delle uova (Fanelli et al., 2023; Fatimetou & Younes, 2016; Serena et al., 2010).

Lo studio del ciclo riproduttivo tramite l'analisi macroscopica delle gonadi degli individui di *R. asterias* ha permesso di identificare la totalità degli stadi di maturazione di maschi e femmine, seppur con percentuali differenti, visto e considerato l'esteso periodo di campionamento (novembre 2019 – marzo 2024) analizzato e la diversità di attrezzi da pesca utilizzati per il campionamento (rapido, strascico, tremaglio e imbrocco) operanti a diverse profondità, distanza dalla costa e in diversi periodi dell'anno. Individui maturi, con gonadi in diverse fasi di sviluppo, sono stati campionati in tutti i mesi dell'anno data la possibilità di una deposizione sia annuale che semestrale per gli individui della specie (Ferrà et al., 2016; Romanelli et al., 2007; Serena et al., 2010). Al contrario, poco frequente era la presenza di individui in fase di *resting*, come già riscontrato in altri lavori e anche per altre specie di razze (ad es., *Raja brachyura*) (Ferrà et al., 2016; Porcu et al., 2014; Romanelli et al., 2007; Serena et al., 2010).

La taglia di prima maturità (L_{50}) calcolata per gli individui maschi e femmina di *R. asterias* nel seguente lavoro è pari a 36.0 cm e 42.5 cm, rispettivamente, da cui si evince che le femmine raggiungono la maturità sessuale ad una taglia maggiore

rispetto ai maschi, come già precedentemente osservato da diversi autori (Barone et al., 2007; Ferrà et al., 2016; Porcu et al., 2014; Romanelli et al., 2007; Serena et al., 2010). Difatti, studi diversi riportano per i maschi una taglia di prima maturità compresa tra 50 - 52 cm LT, e per le femmine tra 56 - 57 cm TL, a seconda delle aree campionate (Barone et al., 2007; Romanelli et al., 2007; Serena et al., 2005). I valori osservati in questo studio, sono però nettamente inferiori a quelli sopra riportati dagli altri autori, mentre sono maggiormente in accordo con le dimensioni di taglia di prima maturità riportate da Porcu et al. (2022) per il Mare Adriatico meridionale (41.4 cm maschi e 49.2 cm femmine) e da Ferrà et al. (2016) (44.2 cm maschi e 50.5 cm femmine) per l'Adriatico settentrionale. I valori inferiori di L_{50} riscontrati nel presente lavoro potrebbero essere correlati a condizioni sfavorevoli di crescita degli individui della specie, come alla maggiore pressione di pesca a cui le popolazioni sono sottoposte. Ciò è stato difatti già rilevato in altre aree sia per la stessa specie (Coll et al., 2013; Porcu et al., 2022), che, nel Mare Adriatico, per specie differenti (ad es., *Raja clavata*) (Krstulović-Šifner et al., 2009) (Tabella 8). Inoltre, la diversità genetica di *R. asterias* potrebbe aiutare a spiegare le variazioni morfometriche della specie tra aree geografiche diverse (Catalano et al., 2022). Una riduzione della taglia di maturità sessuale ha però effetti negativi sull'ecologia della specie, questo perché individui più piccoli

producono un numero inferiore di uova rispetto agli individui più grandi, compromettendo la capacità di rinnovamento della popolazione (Bellodi et al., 2023; Serrat et al., 2023). Inoltre, cambiamenti nella taglia di maturità possono modificare le interazioni ecologiche, influenzando la rete trofica, dove la specie occupa una posizione intermedia (mesopredatore) e di fondamentale importanza per il funzionamento dell'intera rete trofica (Coll et al., 2013; Fanelli et al., 2023).

Tabella 8. Taglia di prima maturità (L_{50}) e taglia dei più piccoli individui maturi campionati di *Raja asterias* nelle diverse aree geografiche del Mediterraneo.

AREA	L_{50} (cm)		Bibliografia
	Maschi	Femmine	
Alto-medio Adriatico	36.0	42.5	Presente studio
Adriatico meridionale	41.4	49.2	(Porcu et al., 2022)
Mar Ligure	51.7	56.1	(Barone et al., 2007)
Mar Tirreno, Lazio	50.5	56.5	(Romanelli et al., 2007)
Mare Catalano	51.0	50.0	(Coll et al., 2013)
Mediterraneo	52.0	56.0	(Serena et al., 2010)
Alto-medio Adriatico	44.2	50.5	(Ferrà et al., 2016)

Nel presente studio l'Indice gonado somatico (IGS), è stato calcolato per i due sessi, come già precedentemente descritto per *Squalus acanthias* da Bargione et al. (2019), in funzione dello stadio di maturità e non della stagionalità, al contrario

di quanto condotto invece da Fanelli et al. (2023), nelle stesse aree del bacino Adriatico. Difatti, considerata la strategia riproduttiva della specie – ovipara con più stagioni riproduttive all'interno dell'anno (Serena et al., 2010; Yemişken et al., 2017) – l'IGS è stato calcolato in funzione dello stadio di maturità sessuale (Ferrà et al., 2016; Romanelli et al., 2007). I risultati ottenuti hanno confermato che con il progredire dello stadio di maturità, ovvero quando le uova iniziano la maturazione nell'utero con la vitellogenesi e l'accumulo del tuorlo nelle femmine (Relini et al., 2008; Serena et al., 2010), e con lo sviluppo dei testicoli per essere pronti alla riproduzione nei maschi, si ha un aumento dell'IGS, ad indicare un maggior investimento energetico della specie per la riproduzione negli stadi di maturità più avanzati (Camhi et al., 2004; Serena et al., 2010).

Nel presente lavoro, ai fini della determinazione dell'età, la tecnica delle vertebre bruciate e sezionate ha mostrato i più bassi valori di APE e ACV, risultando dunque la migliore tra quelle quattro testate. La colorazione tramite Safranina O, seppur considerata in bibliografia la migliore tecnica di colorazione per evidenziare le bande di accrescimento in *R. asterias* (Basusta et al., 2017), ha mostrato valori di APE e ACV, di 7.2 e 10.6 rispettivamente, ben al di sopra dei limiti proposti da diversi autori (Basusta et al., 2017; Campana, 2001; Kadri et al., 2013), per cui non è stata considerata come una tecnica riproducibile e affidabile

da adottare. Lo stesso risultato si è ottenuto con le tecniche di bruciatura delle vertebre intere, e le tecniche di lettura di vertebre non trattate intere e sezionate, che non hanno portato ad una migliore risoluzione della lettura e degli anelli, e quindi non sono state considerate per l'elaborazione della curva di crescita della specie.

La curva di crescita di *R. asterias* è stata elaborata plottando i dati di età-lunghezza ottenuti con la tecnica delle vertebre bruciate e sezionate per gli individui dell'intera popolazione, e per i maschi e le femmine, separatamente. Come precedentemente accennato e riportato in bibliografia, la taglia alla nascita (L_0) è stata fissata a 8.0 cm (Ferrà et al., 2016; Romanelli et al., 2007). I parametri della curva di crescita ottenuti per l'intera popolazione di *R. asterias* ($L_{\infty P} = 67.5$ cm; $k_P = 0.32$) sono confrontabili con i parametri di crescita dell'intera popolazione di razza stellata calcolati in Mar Ligure da Serena et al., (2005) ($L_{\infty} = 67.45$; $k = 0.45$), e nel Tirreno centrale da Bono et al. (2007) ($L_{\infty} = 67.45$; $k = 0.454$) e Scacco et al. (2024) ($L_{\infty} = 69.9$; $k = 0.40$). Difatti tutti gli studi mostrano una taglia asintotica per la specie di ca. 68.0 cm LT e un coefficiente di crescita (k) di ca. 0.4 ad indicare un accrescimento lento della razza stellata. Invece, dal confronto del valore di k con altre specie, come *R. clavata*, *R. brachyura* e *R. miraletus*, si evidenzia come *R. asterias* presenti una crescita più rapida rispetto alle altre specie

di Rajiformes (Tabella 9), ed in particolare rispetto a *R. miraletus*, considerabile come suo analogo dal punto di vista ecologico nelle aree dove è presente (Camhi et al., s.d.; Ferrà et al., 2016; Follesa et al., 2010; Kadri et al., 2012; Serena et al., 2010). Tale caratteristica di *R. asterias* è un vantaggio se si considera la forte pressione di pesca alla quale la specie è sottoposta nelle diverse aree del bacino Adriatico e non solo.

Tabella 9. Tabella riassuntiva dei parametri di crescita (L_{∞} e k) ottenuti dall'elaborazione delle curve di VBGF per quattro specie di Rajiformes in Mediterraneo. P = popolazione, F = femmine, M = maschi.

	$L_{\infty P}$	K_P	$L_{\infty F}$	K_F	$L_{\infty M}$	K_M	Bibliografia
<i>R. asterias</i>	67.5	0.32	70.0	0.31	56.8	0.43	Presente studio
<i>R. asterias</i>	69.9	0.40					(Scacco et al., 2024)
<i>R. clavata</i>	114.2	0.11					(Kadri et al., 2014)
<i>R. clavata</i>	128.0	0.11					(Serena et al., 2010)
<i>R. brachyura</i>	111.3	0.10					(Porcu et al., 2014)
<i>R. miraletus</i>	69.2	0.18					(Kadri et al., 2012)
<i>R. miraletus</i>			91.92	0.17	67.0	0.22	(Abdel-Aziz 1992)

Nel presente lavoro, le curve di crescita sono state elaborate anche separatamente per i maschi ($L_{\infty M} = 56.8$; $k_M = 0.43$) e le femmine ($L_{\infty F} = 70.0$; $k_F = 0.31$) di razza stellata ed hanno portato a stime di età comprese tra 0+ e 4 anni per i maschi, e 0+ e 5 anni di età per le femmine, ad indicare che le femmine raggiungono delle età e delle taglie superiori rispetto ai maschi, come confermato anche dal valore di

L_{∞} , sebbene i valori di k indichino comunque un accrescimento lento per entrambi i sessi. Un solo studio presente in bibliografia ha elaborato le curve di crescita della specie in funzione del sesso, non riscontrando però alcuna differenza significativa nel pattern di crescita tra maschi e femmine (Serena e Abella, 1999). Tuttavia, negli altri lavori disponibili, gli autori hanno elaborato le curve di accrescimento considerando l'intera popolazione della razza stellata. Alcuni di essi hanno evidenziato stime di età comprese tra 0+ e 6 anni (Bono et al., 2007; Serena e Abella 1999), similmente a quanto osservato in questo lavoro di tesi, altri invece riportano range di età ben superiori per *R. asterias* compresi tra 0+ e 10 anni (Scacco et al., 2024; Serena 2008), queste differenze nelle stime dell'età potrebbero essere attribuite alle differenti taglie massime degli individui campionati in mare. Inoltre, le differenze nelle stime di età riscontrate tra i diversi autori potrebbero essere dovute anche alla diversa pressione di pesca tra le aree considerate (Bastardie et al., 2017; Lotze et al., 2011), alle diversità genetica della specie in funzione dell'area (Catalano et al., 2022), e alle diverse condizioni ambientali tra aree geografiche diverse (Blondel et al., 2011). Di conseguenza tutti questi fattori possono andare a incidere differentemente sui pattern di crescita della specie, e su altri tratti biologici come, ad esempio, la taglia e l'età alla quale viene raggiunta la maturità sessuale nella specie (Ferrà et al., 2016; Geraci et al., 2021;

Romanelli et al., 2007). Nel presente lavoro è stato riscontrato che le femmine raggiungono la maturità sessuale ad un'età maggiore rispetto ai maschi, ovvero a ca. 3 anni rispetto ai 2 anni alla quale è raggiunta l'età nei maschi. Come già sopra menzionato una potenziale riduzione della taglia/età di maturità sessuale ha degli effetti negativi sull'ecologia della specie (Bellodi et al., 2023; Serrat et al., 2023) e sul funzionamento della rete trofica (Coll et al., 2013; Fanelli et al., 2023). Per questo motivo risulta di primaria importanza conoscere oltre agli aspetti biologici della specie oggetto di studio anche i tratti comportamentali quali segregazione degli individui in funzione della taglia, maturità e/o sesso (Ferrà et al., 2016), per comprendere su che frazione della popolazione vanno ad insistere le diverse attività di pesca al fine di elaborare corrette misure gestionali e di conservazione. Ad esempio, restrizioni alla pesca in acque troppo poco profonde potrebbero aiutare a limitare le catture accessorie (bycatch) di individui non ancora riproduttivi. Difatti, come osservato nel presente lavoro, dall'analisi spaziale degli individui di *R. asterias* in funzione dello stadio di maturità (ad es., maturi vs. immaturi), è emerso che gli individui giovanili, che non hanno ancora raggiunto la maturità sessuale, si concentrano quasi esclusivamente sotto costa, entro la batimetrica dei 50 m e raramente oltre, mentre gli individui adulti e maturi raggiungono le zone del largo e vivono a maggiori profondità, entro la batimetrica

degli 80 m. Questi risultati sono stati confermati anche dallo studio di Ferrà et al., (2016) che riporta l'esistenza di una chiara segregazione spaziale tra individui maturi e immaturi, in alto-medio Adriatico, con i primi che si concentrano a profondità maggiori di 45 m, mentre i secondi vengono pescati entro i primi 30. Questa segregazione spaziale è stata dimostrata anche in altre aree del Mediterraneo (Porcu et al., 2022; Romanelli et al., 2007; Serena et al., 2010) e può essere spiegata come il risultato di una combinazione di fattori come la disponibilità di prede, il rischio di predazione, la temperatura, la salinità, la carenza di ossigeno, le dinamiche idrodinamiche locali e il tipo di substrato (Gibson, 1994). Inoltre, la presenza di individui adulti anche sotto costa, specialmente tra i mesi di ottobre e marzo, potrebbe trovare spiegazione nella migrazione riproduttiva, in acque più riparate e meno profonde, compiuta dagli individui adulti di *R. asterias* (Abella & Serena, 2005; Barone et al., 2007; Camhi et al., 2004; Ferrà et al., 2016; Gibson, 1994; Romanelli et al., 2007), come riscontrato in altri studi sulla biologia di questa specie (Clark et al., 2003; Mancusi et al., 2007; Serena et al., 2005).

5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo quello di investigare alcuni tratti del ciclo biologico della razza stellata (*R. asterias*) in alto medio-Adriatico. I campionamenti sono avvenuti all'interno di un arco temporale molto ampio, con attrezzi da pesca differenti (strascico, rapido, reti da posta) operanti in diverse zone (sotto costa e a largo) dell'alto medio Adriatico, per questo motivo si è ritenuto che gli individui campionati fossero sufficientemente rappresentativi della struttura della popolazione presente in mare. Le analisi condotte hanno messo in evidenza che esiste un dimorfismo sessuale tra gli individui maschi e femmine della popolazione per alcuni parametri morfometrici (range di taglia, regressione LT-peso e LT-larghezza del disco), taglia ed età di prima maturità, e range di età, ad evidenziare che l'elaborazione di corrette misure gestionali da adottare per la salvaguardia della specie non possono derivare dalle stime di tali parametri mediati per l'intera popolazione, ma devono tenere presente le differenze esistenti tra i due sessi nei principali tratti biologici della specie, adottando quindi un approccio il più conservativo possibile.

Nonostante il trend di incremento nelle catture di *R. asterias* osservate in alto-medio Adriatico (Ferrà et al., 2016), risulta di fondamentale importanza attuare

dei monitoraggi costanti per valutare lo stato della risorsa presente in mare, noti i tratti del suo ciclo biologico e le elevate pressioni di pesca alle quale la specie è soggetta nel bacino Adriatico. Difatti la distribuzione batiale e spaziale di *R. asterias* rende la specie soggetta a *bycatch* di numerose attività di pesca. L'osservata riduzione della taglia di prima maturità sessuale, e il ridotto numero di individui di età e taglie grandi è un chiaro esempio di come questa specie sia sottoposta a forti pressioni. Per questo motivo, è fondamentale che la pressione di pesca esercitata sulla popolazione di *R. asterias* e le catture commerciali correlate siano costantemente monitorate e registrate, in conformità alle normative dell'Unione Europea. Attualmente, altre specie di razze delle acque dei mari italiani sono sottoposte a monitoraggio secondo il Regolamento CE n. 1581/2004 (Commissione Europea, 2004). Un monitoraggio attento delle catture, correlato al rilevamento dei dati biologici della specie, garantirebbe una gestione sostenibile delle risorse marine e contribuirebbe alla conservazione delle popolazioni di *R. asterias* nel lungo termine. Per proteggere al meglio questa specie è necessario implementare studi sulla individuazione di aree di *nursery*, in modo da proteggere questi ecosistemi, fondamentali per il successo riproduttivo. Una volta definite queste aree riproduttive, sono necessarie azioni di protezione per mitigare l'impatto negativo della pesca. Ad esempio, la restrizione della pesca attraverso il

divieto stagionale di strascico nei periodi in cui le femmine depongono le uova (dall'estate all'inizio dell'autunno) e l'introduzione di restrizioni all'ancoraggio per proteggere le uova (Biton-Porsmoguer & Lloret, 2020) potrebbero essere misure locali efficaci per la conservazione della popolazione di razze stellate (Catalano et al., 2022). Studi volti ad investigare l'impatto causato dall'interazione dell'attrezzo da pesca (strascico, rapido, reti da posta, ecc.) con la specie oggetto di studio in funzione della stagionalità, delle caratteristiche comportamentali della specie, e dell'area esaminata risulterebbero di vitale importanza per comprendere la suscettibilità di una specie ad uno specifico attrezzo da pesca (Li Veli et al., 2024). Inoltre, come nel presente lavoro, fornire informazioni demografiche comparabili per queste specie con un metodo facilmente replicabile contribuirà a colmare le lacune informative e a favorire la loro conservazione. Nessuna popolazione di pesci cartilaginei sarà in grado di rimanere vitale nel tempo, in assenza di adeguati piani di conservazione e adeguate misure di gestione, a causa delle peculiari caratteristiche biologiche e riproduttive (strategia k) di queste specie.

6. BIBLIOGRAFIA

- Abdulla, A. (2004). *Status and Conservation of Sharks in the Mediterranean Sea*.
- Abella, A. J., & Serena, F. (2005). Comparison of Elasmobranch Catches from Research Trawl Surveys and Commercial Landings at Port of Viareggio, Italy, in the Last Decade. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35, 345–356. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m526>
- ABELLA A., AUTERI R., BAINO R., LAZZERETTI A., RIGHINI P., SERENA F., SILVESTRI R., VOLIANI A., ZUCCHI A., 1997. Reclutamento di forme giovanili nella fascia costiera toscana. *Biol. Mar. Mediterr*, 4 (1): 172-181.
- Agger, P., et al. "Manual of fisheries science part 2-methods of resource investigation and their application." (1974).
- Al-Qartoubi, Ibrahim A., et al. "Circle hook versus J-hook: A case study of the Sultanate of Oman." *Journal of Agricultural and Marine Sciences [JAMS]* 23 (2018): 29-39.
- Afonso, André S., et al. "Shark bycatch and mortality and hook bite-offs in pelagic longlines: interactions between hook types and leader materials." *Fisheries Research* 131 (2012): 9-14.

- Arcidiacono, F. "La pesca del pesce vacca (*Hexanchus griseus* L.) nella marina di Riposto." *Bollettino di pesca, piscicoltura e idrobiologia* 7.4 (1931): 608-612.
- Bagenal, Timothy. "Methods for assessment of fish production in fresh waters-3." (1978).
- Baino, R., et al. "Catch composition and abundance of elasmobranchs based on the MEDITS program." *Rapp Comm Int Mer Médit* 36 (2001): 234.
- Barausse, A., Correale, V., Curkovic, A., Finotto, L., Riginella, E., Visentin, E., & Mazzoldi, C. (2014). The role of fisheries and the environment in driving the decline of elasmobranchs in the northern Adriatic Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 71(7), 1593–1603. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst222>
- Barbato, M., Zampieri, C., D'Acunto, S., Pennino, M. G., Barausse, A., & Mazzoldi, C. (2023). Too young to die: Mapping nursery areas for early juveniles of the endangered sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*) to inform conservation in the Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ecology*, 60(10), 2223–2234. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14494>
- Bargnesi, F., Lucrezi, S., & Ferretti, F. (2020). Opportunities from citizen science for shark conservation, with a focus on the Mediterranean Sea. *The*

European Zoological Journal, 87(1), 20–34.

<https://doi.org/10.1080/24750263.2019.1709574>

- Barone, M., et al. "Gametogenesis and maturity stages scale of *Raja asterias* Delaroche, 1809 (Chondrichthyes, Rajidae) from the South Ligurian Sea." *Biodiversity in Enclosed Seas and Artificial Marine Habitats: Proceedings of the 39th European Marine Biology Symposium, held in Genoa, Italy, 21–24 July 2004*. Springer Netherlands, 2007.
- Barone, M., De Ranieri, S., Fabiani, O., Pirone, A., & Serena, F. (2007). Gametogenesis and maturity stages scale of *Raja asterias* Delaroche, 1809 (Chondrichthyes, Rajidae) from the South Ligurian Sea. *Hydrobiologia*, 580(1), 245–254. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0448-x>
- Bastardie, Francois, et al. "Spatial planning for fisheries in the Northern Adriatic: Working toward viable and sustainable fishing." *Ecosphere* 8.2 (2017): e01696.
- Başusta, Nuri, Asiye Başusta, and Elif ÖZGÜR ÖZBEK. "Cartilaginous fishes and fisheries in the Mediterranean coast of Turkey." *The Turkish part of the Mediterranean Sea* (2016): 248-274.

- Basusta, N., Demirhan, S. A., Cicek, E., & Basusta, A. (2017). [No title found]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(1).
https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_1_06

- Bellodi, A., Carbonara, P., MacKenzie, K. M., Agus, B., Bekaert, K., Greenway, E. S. I., Follesa, M. C., Madia, M., Massaro, A., Palmisano, M., Romano, C., Sinopoli, M., Ferragut-Perello, F., & Mahé, K. (2023). Measurement of the Growth of the Main Commercial Rays (*Raja clavata*, *Raja brachyura*, *Torpedo marmorata*, *Dipturus oxyrinchus*) in European Waters Using Intercalibration Methods. *Biology*, 13(1), 20.
<https://doi.org/10.3390/biology13010020>

- Bellodi, A., Di Crescenzo, S., Carbonara, P., Crobe, V., Ferrari, A., Mulas, A., Porcu, C., Follesa, M. C., & Cannas, R. (2024). Updating knowledge on the Critically Endangered white skate *Rostroraja alba* (Lacepède, 1803) through the first record in North-East Sardinian coastal waters. *Mediterranean Marine Science*, 25(2), 484–491.
<https://doi.org/10.12681/mms.37524>

- Blondel, Jacques. *The Mediterranean region: biological diversity in space and time*. Oxford University Press, 2010.

- Biton-Porsmoguer, S., & Lloret, J. (2020). *Potential impacts of bottom trawling on species of skates (Rajiformes: Rajidae): the case of the Gulf of Cádiz and the Western Mediterranean.* Cybium. <https://doi.org/10.26028/CYBIUM/2020-443-006>
- Bombace, Giovanni, and Alessandro Lucchetti. *Elementi di biologia della pesca.* Edagricole, 2011.
- Bonanomi, S., Pulcinella, J., Fortuna, C. M., Moro, F., & Sala, A. (2018). Elasmobranch bycatch in the Italian Adriatic pelagic trawl fishery. *PLOS ONE*, 13(1), e0191647. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191647>
- Bonanomi, Sara, et al. "Fisheries bycatch of chondrichthyes." *Chondrichthyes–Multidisciplinary approach* (2017): 39-62.
- Bono, L., et al. "Studio sull'accrescimento di Raja asterias (Delaroche, 1809) (Chondrichthyes, Rajidae) attraverso l'analisi delle vertebre." *BIOLOGIA MARINA MEDITERRANEA* 12.1 (2005): 470-474.
- Bradai, M. N., Saidi, B., & Enajjar, S. (2012). *Elasmobranchs of the Mediterranean and Black Sea: Status, ecology and biology ; bibliographic analysis.* Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Brčić, Jure, et al. "Selective characteristics of a shark-excluding grid device in a Mediterranean trawl." *Fisheries Research* 172 (2015): 352-360.
- Brewer, David, et al. "An assessment of bycatch reduction devices in a tropical Australian prawn trawl fishery." *Fisheries Research* 36.2-3 (1998): 195-215.
- Cailliet, G. M., Musick, J. A., Simpfendorfer, C. A., & Stevens, J. D. (2005). *Chapter 3 Ecology and Life History Characteristics of Chondrichthyan Fish*.
- Camhi, M., Fowler, S., Musick, J., Bräutigam, A., & Fordham, S. (1998). *Sharks and their Relatives*.
- Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology*, 59(2), 197–242. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb00127.x>
- Campana, Steven E. "Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: a technical manual." *General Fisheries Commission for the Mediterranean. Studies and Reviews* 94 (2014): I.

- Carbonara, P., Bellodi, A., Palmisano, M., Mulas, A., Porcu, C., Zupa, W., Donnalioia, M., Carlucci, R., Sion, L., & Follesa, M. C. (2020). Growth and Age Validation of the Thornback Ray (*Raja clavata* Linnaeus, 1758) in the South Adriatic Sea (Central Mediterranean). *Frontiers in Marine Science*, 7, 586094. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.586094>

- Carrier, Jeffrey C., et al., eds. "Biology of sharks and their relatives." (2022).

- Cashion, M. S., Bailly, N., & Pauly, D. (2019). Official catch data underrepresent shark and ray taxa caught in Mediterranean and Black Sea fisheries. *Marine Policy*, 105, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.041>

- Castro, José I. "The biology of the nurse shark, *Ginglymostoma cirratum*, off the Florida east coast and the Bahama Islands." *Environmental Biology of Fishes* 58 (2000): 1-22.

- Catalano, G., Crobe, V., Ferrari, A., Baino, R., Massi, D., Titone, A., Mancusi, C., Serena, F., Cannas, R., Carugati, L., Hemida, F., Manfredi, C., Melis, R., Scarcella, G., Sion, L., Stagioni, M., Tinti, F., & Cariani, A. (2022). Strongly structured populations and reproductive habitat

fragmentation increase the vulnerability of the Mediterranean starry ray *RAJA ASTERIAS* (Elasmobranchii, Rajidae). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 32(1), 66–84.
<https://doi.org/10.1002/aqc.3739>

- Catchpole, T. L., Ribeiro-Santos, A., Mangi, S. C., Hedley, C., & Gray, T. S. (2017). The challenges of the landing obligation in EU fisheries. *Marine Policy*, 82, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.00>.
- Cavanagh, Rachel D., and Claudine Gibson. *Overview of the conservation status of cartilaginous fishes (Chondrichthyans) in the Mediterranean Sea*. No. 3. Iucn, 2007.
- Chosid, David M., et al. "Development and observations of a spiny dogfish *Squalus acanthias* reduction device in a raised footrope silver hake *Merluccius bilinearis* trawl." *Fisheries Research* 114 (2012): 66-75.
- Compagno, Leonard. *Sharks of the World-a Fully Illustrated Guide*. Wild Nature Press, 2013.
- Cook, Katrina V., et al. "A synthesis to understand responses to capture stressors among fish discarded from commercial fisheries and options for mitigating their severity." *Fish and Fisheries* 20.1 (2019): 25-43.

- Coll, M., Navarro, J., & Palomera, I. (2013). Ecological role, fishing impact, and management options for the recovery of a Mediterranean endemic skate by means of food web models. *Biological Conservation*, 157, 108–120. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.029>
- Colloca, Francesco, Giuseppe Scarcella, and Simone Libralato. "Recent trends and impacts of fisheries exploitation on Mediterranean stocks and ecosystems." *Frontiers in Marine Science* 4 (2017): 244.
- Cortés, E. (2000). *Life History Patterns and Correlations in Sharks. Reviews in Fisheries Science*, 8(4), 299–344. <https://doi.org/10.1080/10408340308951115>
- Dulvy, N. K., Baum, J. K., Clarke, S., Compagno, L. J. V., Cortés, E., Domingo, A., Fordham, S., Fowler, S., Francis, M. P., Gibson, C., Martínez, J., Musick, J. A., Soldo, A., Stevens, J. D., & Valenti, S. (2008). You can swim but you can't hide: The global status and conservation of oceanic pelagic sharks and rays. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(5), 459–482. <https://doi.org/10.1002/aqc.975>
- Dulvy, N. K., Fowler, S. L., Musick, J. A., Cavanagh, R. D., Kyne, P. M., Harrison, L. R., Carlson, J. K., Davidson, L. N., Fordham, S. V., Francis, M. P., Pollock, C. M., Simpfendorfer, C. A., Burgess, G. H., Carpenter, K.

- E., Compagno, L. J., Ebert, D. A., Gibson, C., Heupel, M. R., Livingstone, S. R., ... White, W. T. (2014). Extinction risk and conservation of the world's sharks and rays. *eLife*, 3, e00590. <https://doi.org/10.7554/eLife.00590>
- Dulvy, N. K., Pacoureau, N., Rigby, C. L., Pollom, R. A., Jabado, R. W., Ebert, D. A., Finucci, B., Pollock, C. M., Cheok, J., Derrick, D. H., Herman, K. B., Sherman, C. S., VanderWright, W. J., Lawson, J. M., Walls, R. H. L., Carlson, J. K., Charvet, P., Bineesh, K. K., Fernando, D., ... Simpfendorfer, C. A. (2021). Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. *Current Biology*, 31(21), 4773-4787.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062>
 - Elbert & Dando 2022, Squali, razze e chimere del Mediterraneo e d'Europa. Novembre 2022.
 - Fanelli, E., Da Ros, Z., Martino, I., Azzurro, E., Bargione, G., Donato, F., & Lucchetti, A. (2023). Crowding in the middle of marine food webs: A focus on *Raja asterias* and other mediterranean batoids. *Marine Environmental Research*, 183, 105830. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105830>

- Fatimetou, M. K., & Younes, S. (s.d.). *Diet of Raja asterias (Delaroche, 1809) caught along the Mediterranean part of the Moroccan coast (Northern Morocco)*.
- Fauconnet, L., Morato, T., Das, D., Catarino, D., Fontes, J., Giacomello, E., & Afonso, P. (2024). First assessment of circle hooks as bycatch mitigation measure for deep-water sharks on longline fisheries. *Fisheries Research*, 270, 106877. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2023.106877>
- Fergusson, I. K. (1996). Distribution and Autecology of the White Shark in the Eastern North Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. In *Great White Sharks* (pp. 321–345). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012415031-7/50031-8>
- Ferrà, C., Fabi, G., Polidori, P., Tasseti, A. N., Leoni, S., Pellini, G., & Scarcella, G. (2016). *Raja asterias* population assessment in FAO GFCM GSA17 area. *Mediterranean Marine Science*, 17(3), 651. <https://doi.org/10.12681/mms.1657>
- Ferretti, F., & Myers, R. A. (2006). *BY-CATCH OF SHARKS IN THE MEDITERRANEAN SEA: AVAILABLE MITIGATION TOOLS*.
- Ferretti, F., Myers, R. A., Serena, F., & Lotze, H. K. (2008). Loss of Large Predatory Sharks from the Mediterranean Sea: *Large Sharks in the*

- Mediterranean. Conservation Biology*, 22(4), 952–964.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00938.x>
- Ferrito, V., Raffa, A., Rossitto, L., Federico, C., Saccone, S., & Pappalardo, A. M. (2019). Swordfish or Shark Slice? A Rapid Response by COIBar–RFLP. *Foods*, 8(11), 537. <https://doi.org/10.3390/foods8110537>
 - Finucci, B., Dunn, M. R., Jones, E. G., & Handling editor: Valerio Bartolino. (2018). Aggregations and associations in deep-sea chondrichthyans. *ICES Journal of Marine Science*, 75(5), 1613–1626. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy03>.
 - Fischer, William, M. Schneider, and M-L. Bauchot. "Fiches FAO d'identification des especes pour les besoins de la pêche. Méditerranée et Mer Noire (Zone De Pêche 37), Révision 1, Volume 2." (1987).
 - Fordham, S. V. (2006). *Revealing Europe's impact on shark populations*.
 - Froese, Rainer. "Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations." *Journal of applied ichthyology* 22.4 (2006): 241-253.
 - Frisk, M. G., Miller, T. J., & Dulvy, N. K. (2005). Life Histories and Vulnerability to Exploitation of Elasmobranchs: Inferences from Elasticity,

- Perturbation and Phylogenetic Analyses. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35, 27–45. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m514>
- Fromentin, J.-M., & Farrugio, H. (2005). *RESULTS OF THE 2003 OBSERVER PROGRAM ON BOARD THE FRENCH PURSE SEINER TARGETING ATLANTIC BLUEFIN TUNA IN THE MEDITERRANEAN SEA*.
 - Gallagher, A. J., Kyne, P. M., & Hammerschlag, N. (2012). Ecological risk assessment and its application to elasmobranch conservation and management. *Journal of Fish Biology*, 80(5), 1727–1748. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03235.x>
 - Gallagher, M. J., Nolan, C. P., & Jeal, F. (2004). Age, Growth and Maturity of the Commercial Ray Species from the Irish Sea. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 35, 47–66. <https://doi.org/10.2960/J.v35.m527>
 - Garibaldi, F. (s.d.). *BY-CATCH IN THE MESOPELAGIC SWORDFISH LONGLINE FISHERY IN THE LIGURIAN SEA (WESTERN MEDITERRANEAN)*. 4.
 - Garner, S. B., Patterson, W. F., & Porch, C. E. (2017). Experimental assessment of circle vs. J hook performance and selectivity in the northern

- Gulf of Mexico recreational reef fish fishery. *ICES Journal of Marine Science*, 74(5), 1437–1447. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx001>
- Gedamke, T., Hoenig, J. M., Musick, J. A., DuPaul, W. D., & Gruber, S. H. (2007). Using Demographic Models to Determine Intrinsic Rate of Increase and Sustainable Fishing for Elasmobranchs: Pitfalls, Advances, and Applications. *North American Journal of Fisheries Management*, 27(2), 605–618. <https://doi.org/10.1577/M05-157.1>
 - Geraci, M. L., Ragonese, S., Scannella, D., Falsone, F., Gancitano, V., Mifsud, J., Gambin, M., Said, A., & Vitale, S. (2021). Batoid Abundances, Spatial Distribution, and Life History Traits in the Strait of Sicily (Central Mediterranean Sea): Bridging a Knowledge Gap through Three Decades of Survey. *Animals*, 11(8), 2189. <https://doi.org/10.3390/ani11082189>
 - Gibson, Robin N. "Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes." *Netherlands Journal of Sea Research* 32.2 (1994): 191-206.
 - Gilman, E., Chaloupka, M., Swimmer, Y., & Piovano, S. (2016). A cross-taxa assessment of pelagic longline by-catch mitigation measures: Conflicts and mutual benefits to elasmobranchs. *Fish and Fisheries*, 17(3), 748–784. <https://doi.org/10.1111/faf.12143>

- Gilman, E., Clarke, S., Brothers, N., Alfaro-Shigueto, J., Mandelman, J., Mangel, J., Petersen, S., Piovano, S., Thomson, N., Dalzell, P., Donoso, M., Goren, M., & Werner, T. (2008). Shark interactions in pelagic longline fisheries. *Marine Policy*, 32(1), 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.05.001>
- Gilman, Eric, et al. "Effect of pelagic longline bait type on species selectivity: a global synthesis of evidence." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 30.3 (2020): 535-551
- Gilman, Eric, et al. "A cross-taxa assessment of pelagic longline by-catch mitigation measures: conflicts and mutual benefits to elasmobranchs." *Fish and Fisheries* 17.3 (2016): 748-784.
- Giovos, I., Aga Spyridopoulou, R. N., Doumpas, N., Glaus, K., Kleitou, P., Kazlari, Z., Katsada, D., Loukovitis, D., Mantzouni, I., Papapetrou, M., Papastamatiou, Y. P., & Moutopoulos, D. K. (2021). Approaching the “real” state of elasmobranch fisheries and trade: A case study from the Mediterranean. *Ocean & Coastal Management*, 211, 105743.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105743>
- Goldman, K. J. (2004). 6. *Age and growth of elasmobranch fishes.*

- Guida all'identificazione delle specie vulnerabili oggetto di catture accidentali della pesca nel Mediterraneo (IUCN).
- Hamlett, William C., ed. *Sharks, skates, and rays: the biology of elasmobranch fishes*. JHU Press, 1999.
- Hamilton, Sheryl, and G. Barry Baker. "Technical mitigation to reduce marine mammal bycatch and entanglement in commercial fishing gear: lessons learnt and future directions." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 29 (2019): 223-247.
- Hammer, Øyvind, Harper, David A.T., and Paul D. Ryan, 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, issue 1, art. 4: 9pp., 178kb.
- Hart, Nathan S., and Shaun P. Collin. "Sharks senses and shark repellents." *Integrative zoology* 10.1 (2015): 38-64.
- Jordan, Laura K., et al. "Linking sensory biology and fisheries bycatch reduction in elasmobranch fishes: a review with new directions for research." *Conservation Physiology* 1.1 (2013): cot002.
- IUCN, Lista Rossa IUCN dei vertebrati italiani 2022

- Kadri, H., Marouani, S., Bradai, M. N., & Bouaïn, A. (2013). Age, growth and reproductive biology of the rough skate, *Raja radula* (Chondrichthyes: Rajidae), off the Gulf of Gabes (southern Tunisia, central Mediterranean). *Marine and Freshwater Research*, 64(6), 540.
<https://doi.org/10.1071/MF12218>

- Kadri, H., Marouani, S., Saïdi, B., Bradai, M. N., Bouaïn, A., & Morize, E. (2014). Age, growth, sexual maturity and reproduction of the thornback ray, *Raja clavata* (L.), of the Gulf of Gabès (south-central Mediterranean Sea). *Marine Biology Research*, 10(4), 416–425.
<https://doi.org/10.1080/17451000.2013.797584>

- Kadri, H., Marouani, S., Saïdi, B., Bradai, M. N., Ghorbel, M., Bouaïn, A., & Morize, E. (2012). Age, growth and reproduction of *Raja miraletus* (Linnaeus, 1758) (Chondrichthyes: Rajidae) of the Gulf of Gabès (Tunisia, Central Mediterranean Sea). *Marine Biology Research*, 8(4), 388–396.
<https://doi.org/10.1080/17451000.2011.619546>

- KIMURA¹, DANIEL K. "Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve." *Fishery bulletin* 77.4 (1979): 765.

- Kajiura, S. M., & Tricas, T. C. (1996). Seasonal Dynamics of Dental Sexual Dimorphism in the Atlantic Stingray *Dasyatis Sabina*. *Journal of Experimental Biology*, 199(10), 2297–2306.
<https://doi.org/10.1242/jeb.199.10.2297>
- Kalmijn, Ad J. "Electro-perception in sharks and rays." *Nature* 212.5067 (1966): 1232-1233.
- Kimura, D. K., 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin* 77 (4), 765-776.
- KrstulovićŠifner, Svjetlana, et al. "Long-term changes in distribution and demographic composition of thornback ray, *Raja clavata*, in the northern and central Adriatic Sea." *Journal of Applied Ichthyology* 25 (2009): 40-46.
- Kumar, KV Aneesh, P. Pravin, and B. Meenakumari. "Bait, bait loss, and depredation in pelagic longline fisheries—A Review." *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 24.4 (2016): 295-304.
- Le Cren, Eric D. "The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)." *The Journal of Animal Ecology* (1951): 201-219.

- Leonetti, F. L., Sperone, E., Travaglini, A., Mojetta, A. R., Signore, M., Psomadakis, P. N., Dinkel, T. M., & Bottaro, M. (2020). Filling the Gap and Improving Conservation: How IUCN Red Lists and Historical Scientific Data Can Shed More Light on Threatened Sharks in the Italian Seas. *Diversity*, 12(10), 389. <https://doi.org/10.3390/d12100389>
- Lloret, J., Biton-Porsmoguer, S., Carreño, A., Di Franco, A., Sahyoun, R., Melià, P., Claudet, J., Sève, C., Ligas, A., Belharet, M., Calò, A., Carbonara, P., Coll, M., Corrales, X., Lembo, G., Sartor, P., Bitetto, I., Vilas, D., Piroddi, C., ... Font, T. (2020). Recreational and small-scale fisheries may pose a threat to vulnerable species in coastal and offshore waters of the western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 77(6), 2255–2264. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz071>
- Lloret, J., Cowx, I. G., Cabral, H., Castro, M., Font, T., Gonçalves, J. M. S., Gordo, A., Hoefnagel, E., Matic-Skoko, S., Mikkelsen, E., Morales-Nin, B., Moutopoulos, D. K., Muñoz, M., dos Santos, M. N., Pintassilgo, P., Pita, C., Stergiou, K. I., Ünal, V., Veiga, P., & Erzini, K. (2018). Small-scale coastal fisheries in European Seas are not what they were: Ecological, social and economic changes. *Marine Policy*, 98, 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.007>

- Løkkeborg, Svein, et al. "Towards more efficient longline fisheries: fish feeding behaviour, bait characteristics and development of alternative baits." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24 (2014): 985-1003.
- Lotze, Heike K., Marta Coll, and Jennifer A. Dunne. "Historical changes in marine resources, food-web structure and ecosystem functioning in the Adriatic Sea, Mediterranean." *Ecosystems* 14 (2011): 198-222.
- Lucas, Sol, and Per Berggren. "A systematic review of sensory deterrents for bycatch mitigation of marine megafauna." *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 33.1 (2023): 1-33.
- Mancusi, C., Baino, R., Fortuna, C., De Sola, L. G., Morey, G., Bradai, M. N., Kallianotis, A., Soldo, A., Hemida, F., Saad, A. A., Dimech, M., Peristeraki, P., Bariche, M., Clò, S., De Sabata, E., Castellano, L., Garibaldi, F., Lanteri, L., Tinti, F., ... Serena, F. (2020). MEDLEM database, a data collection on large Elasmobranchs in the Mediterranean and Black seas. *Mediterranean Marine Science*. <https://doi.org/10.12681/mms.21148>
- Mancusi, C., Clò, S., Affronte, M., Bradai, M. N., Hemida, F., Serena, F., Soldo, A., & Vacchi, M. (2005). *On the presence of basking shark (Cetorhinus maximus) in the Mediterranean Sea*.

- Mandelman, John W., et al. "Strategies to reduce fisheries bycatch mortality in chondrichthyans." *Biology of Sharks and their Relatives*. CRC Press, 2022. 737-766.
- Marshall, Heather, et al. "At-vessel and post-release mortality of the dusky (*Carcharhinus obscurus*) and sandbar (*C. plumbeus*) sharks after longline capture." *Fisheries Research* 172 (2015): 373-384.
- McCully, S. R., Scott, F., & Ellis, J. R. (2012). Lengths at maturity and conversion factors for skates (*Rajidae*) around the British Isles, with an analysis of data in the literature. *ICES Journal of Marine Science*, 69(10), 1812–1822. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss150>
- Mendes, A., Azevedo-Silva, J., & Fernandes, J. C. (2022). From Sharks to Yeasts: Squalene in the Development of Vaccine Adjuvants. *Pharmaceuticals*, 15(3), 265. <https://doi.org/10.3390/ph15030265>
- Musick, J. A. (2005). *Shark Utilization*.
- Musick, John A., and Michael R. Heithaus. *Biology of sharks and their relatives*. Taylor & Francis, 2012.
- Notarbartolo di Sciara, Giuseppe, and Irene Bianchi. *Guida degli squali e delle razze del Mediterraneo*. F. Muzzio, 1998.

- Nunes, Diogo M., et al. "Survivorship of species caught in a longline tuna fishery in the western equatorial Atlantic Ocean." *Latin american journal of aquatic research* 47.5 (2019): 798-807.
- O'Connell, C. P., Andreotti, S., Rutzen, M., Meÿer, M., & He, P. (2014). The use of permanent magnets to reduce elasmobranch encounter with a simulated beach net. 2. The great white shark (*Carcharodon carcharias*). *Ocean & Coastal Management*, 97, 20–28.
<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.11.006>
- O'Neill, Finbarr G., et al. "Discard avoidance by improving fishing gear selectivity: Helping the fishing industry help itself." *The European landing obligation: reducing discards in complex, multi-species and multi-jurisdictional fisheries* (2019): 279-296.
- Panfili, Jacques, et al. *Manual of fish sclerochronology*. Ifremer-IRD coedition, 2002.
- Pauly, D., and J. L. Munro. "Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates." *Fishbyte* 2.1 (1984): 1-21.
- Pazartzi, T., Siaperopoulou, S., Gubili, C., Maradidou, S., Loukovitis, D., Chatzispyrou, A., Griffiths, A. M., Minos, G., & Imsiridou, A. (2019). High levels of mislabeling in shark meat – Investigating patterns of species

- utilization with DNA barcoding in Greek retailers. *Food Control*, 98, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.019>
- Persefoni Megalofonou, Constantinos Yannopoulos, Dimitrios Damalas, & et. Al. (2005, ottobre). *Incidental catch and estimated discards of pelagic sharks from the swordfish and tuna fisheries in the Mediterranean Sea*.
 - Piaggio, C. "Metodi ed usi di pesca nelle acque del circondario marittimo di Santa Margherita Ligure." *Bollettino di Pesca, Piscicoltura e Idrobiologia* 3 (1927): 3-41.
 - Poisson, F., Mitsunaga, Y., Kojima, T., Torisawa, S., Séret, B., Demarcq, H., Banègue, A., & Groul, J. M. (2015). Satellite Tagging of Blue Sharks (*Prionace glauca*) in the Gulf of Lions: Depth Behaviour, Temperature Experience and Movements – Preliminary Results. In H.-J. Ceccaldi, Y. Hénocque, Y. Koike, T. Komatsu, G. Stora, & M.-H.
 - Poisson, Francois, et al. "Good practices to reduce the mortality of sharks and rays caught incidentally by the tropical tuna purse seiners." *EU FP7 project 210496* (2012).
 - Poisson, Francois, et al. *Survival rate of silky sharks (Carcharhinus falciformis) caught incidentally onboard French tropical purse seiners*. IOTC-2011-WPEB07-28, 2011.

- Poisson, François, et al. "Mortality rate of silky sharks (*Carcharhinus falciformis*) caught in the tropical tuna purse seine fishery in the Indian Ocean." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 71.6 (2014): 795-798.
- PhD_Thesis_Marongiu 2014
- PhD_Thesis_Bargione 2019
- Porcu, C., Bellodi, A., Cannas, R., Marongiu, M. F., Mulas, A., & Follesa, M. C. (2014). Life-history traits of a commercial ray, *Raja brachyura* from the central western Mediterranean Sea. *Mediterranean Marine Science*, 16(1), 90. <https://doi.org/10.12681/mms.898>
- Pranovi, F., Anelli Monti, M., Caccin, A., Colla, S., & Zucchetta, M. (2016). Recreational fishing on the West coast of the Northern Adriatic Sea (Western Mediterranean) and its possible ecological implications. *Regional Studies in Marine Science*, 3, 273–278. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2015.11.013>
- Press, William H., and Saul A. Teukolsky. "Kolmogorov-Smirnov test for two-dimensional data." *Comput. Phys* 2.74 (1988): 10-1063.
- Quinn, T. J. "Quantitative fish dynamics." *University of Oxford* 560 (1999).

- Rago, P. J., Sosebee, K. A., Brodziak, J. K. T., Murawski, S. A., & Anderson, E. D. (1998). Implications of recent increases in catches on the dynamics of Northwest Atlantic spiny dogfish (*Squalus acanthias*). *Fisheries Research*.
- Relini, G., Carpentieri P., Murenu, M., 2008. Manuale di istruzione Medits. Medist Instruction Manual. (Rev. 5). Biol. Mar. Mediterr. 15, 1-79.
- Romanelli, M., Colasante, A., Scacco, U., Consalvo, I., Finoia, M. G., & Vacchi, M. (2007). Commercial catches, reproduction and feeding habits of *Raja asterias* (Chondrichthyes: Rajidae) in a coastal area of the Tyrrhenian Sea (Italy, northern Mediterranean). *ACTA ADRIATICA*.
- Ryland, J. S., and T. O. Ajayi. "Growth and population dynamics of three *Raja* species (Batoidei) in Carmarthen Bay, British Isles." *ICES Journal of Marine Science* 41.2 (1984): 111-120.
- Sanecki, G. M., & Green, K. (2005). A technique for using hair tubes beneath the snowpack to detect winter-active small mammals in the subnivean space. *European Journal of Wildlife Research*, 51(1), 41–47.
<https://doi.org/10.1007/s10344-004-0069-5>

- Santos, Miguel, Pedro Lino, and Rui Coelho. "Effects of leader material on catches of shallow pelagic longline fisheries in the southwest Indian Ocean." *Fishery Bulletin* 115 (2017): 219-232.
- Scacco, U., Battistoni, A., Garibaldi, F., Raicevich, S., Rondinini, C., Serena, F., Tunesi, L., Vacchi, M., & Fortibuoni, T. (2024). Tracking IUCN extinction risk at sub-regional scale: Lessons from comparing Italian Red List assessments for cartilaginous species within a decade (2013–2022). *Frontiers in Fish Science*, 2, 1356358. <https://doi.org/10.3389/frish.2024.1356358>
- Serena, Fabrizio. *Field identification guide to the sharks and rays of the Mediterranean and Black Sea*. Food & Agriculture Org., 2005
- Serena, F., et al. "Reproductive biology, growth and feeding habits of *Raja asterias* Delaroche, 1809, from the north Tyrrhenian and south Ligurian sea (Italy), with some notes on trends in landings." (2005).
- Serena, F., C. Mancusi, and M. Barone. "Field identification guide to the skates (Rajidae) of the Mediterranean Sea. Guidelines for data collection and analysis." *Biologia Marina Mediterranea* 17.2 (2010): 204.
- Serena, F., et al. "Standardizzazione delle metodiche di determinazione specifica e valutazione degli stocks delle razze." *Societa Italiana di*

Biologia Marina—Comitato Necton e Pesca Gruppo Nazionale Risorse Demersali. Grosseto, Italy (2006).

- Shepherd, Travis D., and Ransom A. Myers. "Direct and indirect fishery effects on small coastal elasmobranchs in the northern Gulf of Mexico." *Ecology letters* 8.10 (2005): 1095-1104.
- Smith, S. E., Au, D. W., & Show, C. (1998). Intrinsic rebound potentials of 26 species of Pacific sharks. *Marine and Freshwater Research*, 49(7), 663.
<https://doi.org/10.1071/MF97135>
- Stehmann, M. F. W., et al. "Rajidae. Fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean." (1984): 163-196.
- Stevens, J. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 476–494.
<https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.072>.
- Stevens, J., et al. "Lamna nasus (Mediterranean subpopulation)." *2007 IUCN red list of threatened species* (2006).
- Stobutzki, Ilona C., et al. "Sustainability of elasmobranchs caught as bycatch in a tropical prawn (shrimp) trawl fishery." (2002).

- Storelli, M. M., Storelli, A., & Marcotrigiano, G. O. (2005). Concentrations and hazard assessment of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in shark liver from the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 50(8), 850–855. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.02.023>
- Sepulveda, C. A., et al. "Post-release survivorship studies on common thresher sharks (*Alopias vulpinus*) captured in the southern California recreational fishery." *Fisheries Research* 161 (2015): 102-108.
- Tsikliras, A. C., & Dimarchopoulou, D. (2021). Filling in knowledge gaps: Length–weight relations of 46 uncommon sharks and rays (Elasmobranchii) in the Mediterranean Sea. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 51(3), 249–255. <https://doi.org/10.3897/aiep.51.65858>
- Tusseau-Vuillemin (A c. Di), *Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems* (pp. 367–368). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13878-7_4
- Thorson, T. B. (1982). The Impact of Commercial Exploitation on Sawfish and Shark Populations in Lake Nicaragua. *Fisheries*, 7(2), 2–10. [https://doi.org/10.1577/15488446\(1982\)007<0002:TIOCEO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/15488446(1982)007<0002:TIOCEO>2.0.CO;2)

- Van Der Elst, R. P. (1979). A proliferation of small sharks in the shore-based Natal sport fishery. *Environmental Biology of Fishes*, 4(4), 349–362.
<https://doi.org/10.1007/BF00005524>
- Villalobos-Segura, E., Marramà, G., Carnevale, G., Claeson, K. M., Underwood, C. J., Naylor, G. J. P., & Kriwet, J. (2022). The Phylogeny of Rays and Skates (Chondrichthyes: Elasmobranchii) Based on Morphological Characters Revisited. *Diversity*, 14(6), 456.
<https://doi.org/10.3390/d14060456>
- Von Bertalanffy, Ludwig. "A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II)." *Human biology* 10.2 (1938): 181-213.
- Walker, T. I. (1998). Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Marine and Freshwater Research*, 49(7), 553. <https://doi.org/10.1071/MF98017>
- Ward, Peter, Ransom A. Myers, and Wade Blanchard. "Fish lost at sea: the effect of soak time on pelagic longline catches." (2004).
- Wearmouth, Victoria J., and David W. Sims. "Sexual segregation in marine fish, reptiles, birds and mammals: behaviour patterns, mechanisms and conservation implications." *Advances in marine biology* 54 (2008): 107-170.

- Wourms, J. P. (1977). Reproduction and Development in Chondrichthyan Fishes. *American Zoologist*, 17(2), 379–410.
<https://doi.org/10.1093/icb/17.2.379>
- Yemişken, E., Forero, M. G., Megalofonou, P., Eryilmaz, L., & Navarro, J. (2018). Feeding habits of three Batoids in the Levantine Sea (north-eastern Mediterranean Sea) based on stomach content and isotopic data. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(1), 89–96.
<https://doi.org/10.1017/S002531541700073>
- Yemisken, Emre, et al. "Trophic partitioning between abundant demersal sharks coexisting in the North Aegean Sea." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 99.5 (2019): 1213-1219.
- Ungaro, N., et al. "Prime informazioni sulle taglie maturative di *Raja clavata* Linnaeus, 1758 e *Raja asterias* Delaroche, 1809 nell basso Adriatico." *Biologia Marina Mediterranea* 12.1 (2005): 598-601.
- Vacchi, M., and F. Serena. "Chondrichthyes." *Checklist della flora e della fauna dei mari italiani. Parte II. Biologia Marina Mediterranea* 17 (2010): 642-648.

- Vasapollo, Claudio, et al. "Bottom trawl catch comparison in the Mediterranean Sea: Flexible Turtle Excluder Device (TED) vs traditional gear." *PloS one* 14.12 (2019): e0216023.

7. SITOGRAFIA

- <https://www.iucn.it/categorie.php>
- <https://www.iucn.it/pdf/Lista-Rossa-vertebratiitaliani-2022.pdf>
- <https://www.iccat.int/en/ResProgs.html>
- www.medsharks.org
- <https://www.sharktrust.org/greateggcasehunt>
- <https://www.elifeproject.eu/il-progetto/>
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/progetti-mare/life-prometheus>
- [EU Shark Action Plan](#)
- [Regolamenti TAC e contingenti](#)
- [Regolamento \(UE\) n. 2016/2336](#)
- [Regolamento \(CE\) n. 338/97](#)
- [GFCM](#)
- [Regolamento \(CE\) n. 1185/2003](#)

- Regolamento (UE) n. 1380/2013
- <https://www.iucn.it/pdf/Lista-Rossa-vertebratiitaliani-2022.pdf>
- <https://www.fao.org/gfcm/data/maps/gsas/en/>