



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA

Biologia e Biochimica dell'Uomo e dell'Ambiente

Ciclo XXVII

APPLICAZIONE DELLE CHIAVI ETÀ LUNGHEZZA ALLO STOCK
ASSESSMENT PER L'IDENTIFICAZIONE DI LINEE GESTIONALI
IDONEE ALLA TUTELA DI ALCUNI RAIDI MEDITERRANEI
BIO/07

Presentata da

Bellodi Andrea

Coordinatore Dottorato

Prof. Emanuele Sanna

Tutor

Prof.ssa Anna Maria Deiana

Esame finale anno accademico 2013 – 2014

La presente tesi è stata prodotta durante la frequenza del corso di dottorato in Biologia e Biochimica dell'Uomo e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Cagliari, a.a. 2013/2014 – XXVII ciclo, con il supporto di una borsa di studio finanziata con le risorse del P.O.R. SARDEGNA F.S.E. 2007-2013 - Obiettivo competitività regionale e occupazione, Asse IV Capitale umano, Linea di Attività I.3.1 “Finanziamento di corsi di dottorato finalizzati alla formazione di capitale umano altamente specializzato, in particolare per i settori dell'ICT, delle nanotecnologie e delle biotecnologie, dell'energia e dello sviluppo sostenibile, dell'agroalimentare e dei materiali tradizionali”.

A mio padre e mia madre

Sommario

1	
1. Abstract	1
2. Introduzione	3
3. Area di studio e disegno di campionamento	8
3.1 Area di studio	8
3.2 Metodo di campionamento	9
4. Sistematica e biologia	11
4.1 <i>Raja brachyura</i>	11
4.2 <i>Dipturus oxyrinchus</i>	15
4.3 <i>Raja polystigma</i>	19
5. Analisi dell'accrescimento	23
5.1 Introduzione.....	23
5.2 Materiali e Metodi.....	26
5.2.1 Metodi diretti	26
5.2.2 Metodi Indiretti	33
5.2.3 Confronto tra metodi diretti e metodi indiretti.....	35
5.3 Risultati Metodi Diretti	36
5.3.1 <i>Raja brachyura</i>	36
5.3.2 <i>Dipturus oxyrinchus</i>	51
5.3.3 <i>Raja polystigma</i>	66
5.4 Risultati Metodi Indiretti	86
5.4.1 <i>Raja brachyura</i>	86
5.4.2 <i>Dipturus oxyrinchus</i>	89
5.4.3 <i>Raja polystigma</i>	92
5.5 Confronto tra Metodi di Accrescimento Diretti e Indiretti.....	95
5.5.1 <i>Raja brachyura</i>	95
5.5.2 <i>Dipturus oxyrinchus</i>	97
5.5.3 <i>Raja polystigma</i>	99
5.6 Discussione.....	101
6. Stock Assessment	106

6.1	Introduzione.....	106
6.2	Materiali e Metodi.....	109
6.3	Risultati	113
6.3.1	PSA (Productivity & Susceptibility Analysis) e tasso di vulnerabilità.	113
6.3.2	<i>Raja brachyura</i>	115
6.3.3	<i>Dipturus oxyrinchus</i>	123
6.3.4	<i>Raja polystigma</i>	133
6.4	Discussione.....	143
7.	Conclusioni	148
8.	Bibliografia	152
9.	Ringraziamenti	

1. Abstract

Elasmobranchs, due to their K-selected life strategy, represent a taxonomic group particularly susceptible to fishing mortality (Cahmi *et al.*, 1998).

Although the increasing number of studies that shows a global collapse of their populations (Dulvy & Reynolds, 2002; Baum *et al.*, 2003; Cortés, *et al.*, 2002, 2006; Dulvy *et al.*, 2010), our knowledge about this organisms life-cycle seems surprisingly still scarce (Frisk *et al.*, 2010; Cortés *et al.*, 2012). Among elasmobranchs the Rajidae family is generally identified as one of the most vulnerable and impacted (Dulvy & Reynolds, 2002). Given the wide-ranging decline in terms of abundance, diversity and distribution observed, the skates stocks appear even in more critical condition in the Mediterranean sea (Walker *et al.*, 2005).

For this reason the need for management plans seems clear. However this kind of measures necessitate a precise evaluation of the population's condition, through a stock assessment process. Nevertheless such analysis require a huge amount of data regarding some peculiar aspects of the studied species life-cycle, and among these, especially growth parameters. This necessity often represented a problem for stock assessment studies. Indeed the estimation of age and growth for elasmobranchs is considered generally more challenging than in teleosts (Campana, 2014).

Therefore the first step of this work was represented by the estimation of age and growth, through *annuli* counts in the vertebral centra of the three selected skates species: *Raja brachyura*, *Raja polystigma*, *Dipturus oxyrinchus*. Four different models were applied on length at age data: the common von Bertalanffy growth function, the Exponential, and finally the Gompertz and the Logistic functions. According to the Akaike's Information Criterion, the classical von Bertalanffy growth function, showed the best fitting to the observed data for *R. brachyura* (L_{∞} = 1113.4 mm, k = 0.10 e t_0 = -1.19). On the other hand the growth of the other two species resulted better described by the S-shaped functions, respectively the Gompertz model for *D. oxyrinchus* (L_{∞} = 1275.5 mm, k = 0.14 and

Inflection Point = 3.97), and the Logistic model for *R. polystigma* (L_{∞} = 691.49 mm, k = 0.26 and Inflection Point = 4.03).

The obtained growth parameter were employed in several analysis for stock assessment. Those analysis revealed a general high exploitation level for Sardinian skates populations. Indeed both species *R. brachyura* and *R. polystigma* seemed to be in an overfishing condition. These results, in addition with what already reported for other two raids, *R. asterias* and *R. clavata*, in the GFCM workshop on the stock assessment of selected species of elasmobranchs (GFCM:SAC14/ 2012/Inf.16) confirmed the critical situation of these organisms in the Mediterranean sea. *D. oxyrinchus*, instead, showed a healthy stock state not subjected to overexploitation. This result was also confirmed by the biomass and abundance trends, which proved to be stable for the entire time period investigated by MEDITS, in agreement with what reported by Follesa *et al.* (2013) in Sardinia and Relini *et al.* (2010) for the Italian coasts.

In conclusion, this work represents a first step towards a better understanding of the growth and the life cycle of the Rajidae family in the Mediterranean Sea, these knowledge were then applied to the stock assessment of these organisms in order to provide several advices for a conscious and correct management of their fragile populations.

2. *Introduzione*

I Chondrichthyes rappresentano un gruppo monofiletico estremamente antico, la cui origine viene fatta risalire ad oltre 400 milioni di anni fa. I più antichi resti fossili attribuibili con certezza a pesci cartilaginei sono risalenti al Devoniano, chiamato anche età dei pesci a causa del boom evolutivo degli organismi marini (Ebert *et al.*, 2013b), e compresi quindi nell' arco di tempo che va da 408,5 a 362,5 milioni di anni fa (Grogan & Lund, 2004).

La classe dei condroitti oggi viene suddivisa in due sottoclassi: quella degli Holocephalii che comprende le chimere, e quella degli Elasmobranchi che include gli squali e i batoidi (Compagno, 2001; Nelson, 2006). Le antiche origini e l'alto grado di conservazione nel corso dei secoli fanno sì che a questi organismi sia attribuito un successo evolutivo tanto grande da avergli fatto superare indenni alcune delle più grandi estinzioni di massa sino ed arrivare ai nostri tempi pressoché invariati (Compagno, 2001; Grogan e Lund, 2004).

Un tale livello di adattamento agli habitat occupati non garantisce però una altrettanto grande resistenza alla pressione antropica. La particolare strategia vitale caratterizzata da bassi tassi di accrescimento, maturità sessuale tardiva e una bassa fecondità rende questi organismi estremamente suscettibili alla mortalità da pesca, specialmente se comparati alla maggior parte dei teleostei (Cahmi *et al.*, 1998). Tali caratteristiche conferiscono infatti alle popolazioni naturali di questi animali un grado di resilienza intrinseco e una capacità di crescita piuttosto ridotte (Hoenig & Gruber, 1990). Per questo motivo, in via generale, le popolazioni di squali e razze di tutto il mondo sembrano essere in grado di sostenere solamente modesti livelli di sfruttamento senza che questo porti ad una forte riduzione o addirittura al collasso dello stock (Cahmi *et al.*, 1998, Musick, 1999; Musick, 2005); il loro eventuale declino si è mostrato inoltre più rapido della maggior parte dei pesci ossei, per di più, dati i bassi livelli di resilienza, lo status quo delle popolazioni di queste specie si è rivelato ben più difficile da ristabilire anche in caso di totale cessazione della causa dello stress (Sminkey & Musick, 1995). Un esempio di ciò può essere dato dalla popolazione californiana di *Galeorhinus galeus* L. 1758, la cui

abbondanza, dopo oltre 50 anni di protezione, non è ancora tornata ai livelli originali (Musick, 2005).

Nonostante siano relativamente poche le specie per cui esistono dei sistemi di pesca mirati la maggiore minaccia per questi organismi rimane la mortalità da pesca dovuta alle marinerie che hanno come target altre specie di elevato valore commerciale e per le quali rappresentano un'importante porzione del by-catch (Bonfil, 1994).

Un gruppo particolarmente suscettibile a questo tipo di stress è rappresentato dai batoidi che, a causa della loro morfologia, della natura spesso gregaria e soprattutto del ruolo ecologico che ricoprono, rappresentano uno dei gruppi maggiormente oggetto dell'attività registrata da quasi tutti gli attrezzi di pesca che vanno ad interessare le specie demersali, quali ad esempio palamiti, reti da posta ed ovviamente lo strascico sia costiero che profondo (Ellis *et al.*, 2010).

All'interno di questo gruppo la famiglia Rajidae, che comprende gli organismi comunemente conosciuti come razze, risulta essere sicuramente la più diffusa ed una delle maggiormente colpite (Dulvy & Reynolds, 2002). Segnali di declino di queste specie arrivano infatti da tutto il globo, ad esempio il raide di grandi dimensioni *Dipturus laevis* (Mitchill, 1818) è stato recentemente riconosciuto come localmente estinto o fortemente minacciato lungo le coste dell'Atlantico occidentale dal New England al Canada (Casey & Myers, 1998). Ancora, un congenerico di questa specie *D. batis* L. 1758, originariamente diffuso in tutta la costa del nord-est Atlantico, è considerato ora estremamente raro ed addirittura localmente estinto nel mare irlandese (Dulvy *et al.*, 2000; Dulvy & Reynolds, 2002, Iglesias *et al.*, 2010). Inoltre in accordo con Dulvy *et al.*, (2000) molte altre specie di raidi di grandi dimensioni potrebbero essere potenzialmente a rischio di estinzione.

La situazione nel Mediterraneo non sembra differire molto e diverse specie mostrano trend di cattura negativi, come nel caso di *Dipturus oxyrinchus* L. 1758, la cui popolazione è stata osservata in forte decremento in alcune aree del bacino, come ad esempio nel Golfo del Leone (Adelbert, 1997) ed in Adriatico (Jukic-Peladic *et al.*, 2001), sebbene nei mari italiani sia sembrata relativamente stabile nel corso degli anni (Relini *et al.*, 2010; Follesa *et al.*, 2013). In maniera più generale il declino in abbondanza, diversità e range di distribuzione delle specie appartenenti a alla famiglia Rajidae potrebbe essere addirittura più critica che nel resto del mondo (Walker *et al.*, 2005).

Tutti questi segnali di stress delle popolazioni di raidi pongono in luce la necessità di monitorare ed eventualmente stilare piani gestionali atti a proteggere questi organismi al fine di recuperare lo stato originale degli stock. Dato il loro valore commerciale solitamente ridotto, tale impellenza potrebbe non essere percepita dall'opinione pubblica o dalle amministrazioni con la dovuta urgenza. Bisogna ricordare però che a causa del ruolo ecologico che questi animali usualmente esercitano all'apice delle catene alimentari, risultano determinanti nella regolazione dell'abbondanza delle specie presenti ai livelli trofici inferiori. La rimozione dei predatori all'apice delle reti trofiche, può infatti causare non solo scompensi alle popolazioni delle loro principali prede ma anche apportare effetti di secondo o terzo grado sulle specie a loro non direttamente collegate, andando così a minare interi ecosistemi e di conseguenza anche le specie target di alto valore economico (Stevens *et al.*, 2000; Schindler *et al.*, 2002).

Alcune misure gestionali di livello internazionale sono già state adottate come ad esempio UNEP-MAP RAC/SPA (2010). Tali provvedimenti sono però spesso non totalmente efficaci perché troppo generali o perché sottoscritti da pochi paesi (Cavanagh & Gibson, 2007).

Per salvaguardare in maniera efficace una qualsiasi popolazione è necessario decidere quali azioni sia necessario intraprendere soltanto dopo un'attenta valutazione del suo stato di salute o sfruttamento attraverso un processo rigoroso denominato stock assessment e definito come "l'utilizzo di vari calcoli matematici e statistici per poter ottenere predizioni quantitative delle reazioni delle popolazioni ad alternative scelte gestionali" (Hilborn & Walters, 1992).

Tali metodiche necessitano però di una grande quantità di dati sia di carattere biologico, riguardanti il ciclo vitale della specie esaminata, e sia di dati inerenti l'abbondanza, le catture e la struttura per età della popolazione. I parametri del ciclo vitale essenziali a tale scopo sono rappresentate dall'età e dall'accrescimento oltre che dalle conoscenze sulla biologia riproduttiva.

A questo livello però si trova già un primo ostacolo. Infatti lo studio dell'età e dell'accrescimento degli elasmobranchi presenta di per se notevoli difficoltà legate per lo più all'assenza di strutture dure come gli otoliti e al livello generalmente basso di calcificazione delle altre strutture dure utilizzate per la stima dell'età. Come conseguenza

di tali difficoltà, le nostre conoscenze su tali aspetti del loro ciclo vitale sono molto inferiori a quelle riguardanti i teleostei (Campana, 2014).

Risulta inoltre spesso difficile ottenere delle informazioni complete sulle catture, infatti non essendo oggetto di una pesca mirata, per tantissime specie vengono sbarcati e commercializzati solamente gli individui di grossa taglia, mentre gli altri vengono scartati e quindi ributtati in mare, spesso già morti. Pur essendo, nella maggior parte dei casi, specie accessorie, i raidi presentano inoltre ulteriori problemi nella classificazione sistematica, infatti numerose specie risultano di sovente molto simili tra di loro e difficilmente distinguibili dagli operatori della pesca, e quindi vengono registrate sotto il nome generico di “razza” (Dulvy *et al.*, 2000).

L’insieme di tutti questi fattori comporta che, per penuria d’informazioni adeguate, la maggior parte degli stock di raidi, ed in generale di elasmobranchi, non sia stato ancora valutato o sia stato valutato in maniera non adeguata (Bonfil, 1994; Cavanagh & Gibson, 2007). Questa situazione risulta essere particolarmente veritiera nel Mediterraneo, dove fino ad oggi sono stati compiuti solo pochi studi riguardanti l’età e l’accrescimento di questi organismi (e.g. Kadri *et al.*, 2012 su *Raja miraletus* L. 1758; Kadri *et al.*, 2014 su *Rostroraja alba* Lacepède 1803; Yigin & Ismen, 2010 su *D. oxyrinchus*), mentre quasi nulli risultano i dati di stock assessment benché qualche analisi preliminare sia stata compiuta in acque italiane sulle specie *Raja clavata* L. 1758 e *Raja asterias* Delaroche 1809, da Abella *et al.*, (2008; 2011) e su *R. clavata* da Fiorentino *et al.*, (2011).

In questo lavoro si è pensato di sfruttare la notevole biodiversità ed abbondanza di raidi presenti nelle acque sarde (Follesa *et al.*, 2003) al fine di dare un contributo conoscitivo su particolari aspetti del ciclo vitale della famiglia Rajidae nel mar Mediterraneo. Per fare questo sono stati compiuti studi sull’età e l’accrescimento di alcuni raidi attraverso conta diretta degli annuli nei centri vertebrali, si è cercato inoltre di corroborare tale analisi attraverso il confronto delle curve di crescita ottenute con quelle ricavata da un’analisi indiretta della progressione modale. I parametri di accrescimento prodotti, insieme ad altre informazioni, sono stati poi utilizzati per valutarne lo stato degli stock attraverso le metodologie di stock assessment tradizionali unite a particolari metodiche dell’assessment delle cosiddette data-poor fisheries.

A tale scopo sono state selezionate tre diverse specie. La prima è rappresentata da *Raja brachyura* Lafont 1873, selezionata a causa delle grandi dimensioni massime raggiungibili, per le abitudini costiere e per il suo valore commerciale medio alto. Sebbene per questa specie siano reperibili alcune informazioni riguardanti l'accrescimento di popolazioni atlantiche (Holden, 1972; Fahy *et al.*, 1991; Gallagher *et al.*, 2005; Serra-Pereira *et al.*, 2005), nel Mediterraneo, probabilmente a causa della bassa abbondanza (Serena, 2005), non sono stati svolti studi a riguardo ad eccezione di quello recentemente pubblicato da Porcu *et al.* (2015). Tuttavia contrariamente a quanto affermato in bibliografia (Serena 2005), dati recenti indicano come le coste della Sardegna e della Sicilia rappresentino delle zone dove questa specie è relativamente abbondante (Follesa *et al.* 2003, 2010; Ragonese *et al.* 2003, Catalano *et al.* 2007).

La seconda specie scelta è il raide di grandi dimensioni *D. oxyrinchus*, selezionato oltre che con la motivazione di monitorare una specie che non presenta alcun valore commerciale e mostra una distribuzione prevalentemente batiale, anche a causa dei segnali di impoverimento delle popolazioni di questa specie provenienti da altre regioni del Mediterraneo (Adelbert, 1997; Jukic-Peladic *et al.*, 2001).

Infine, è stata inclusa nell'analisi *Raja polystigma* Regan, 1923, una specie di piccole dimensioni, endemica del bacino del Mediterraneo. Questa piccola razza è stata scelta perché, nonostante le sue peculiari caratteristiche ecologiche (come già riportato, è presente unicamente all'interno del bacino) la rendano estremamente importante e nonostante essa venga talvolta commercializzata, le conoscenze sulle sue caratteristiche biologiche e sullo stato della sua popolazione risultano estremamente scarse. Inoltre questa specie è caratterizzata da una distribuzione batimetrica intermedia tra quelle degli altri raidi considerati, abitando i fondali fangosi a profondità prevalentemente comprese tra 100 e 400 m (Serena, 2005). Questo può essere utile ad investigare l'effetto della pesca nell'intero range da essa sfruttato.

3. Area di studio e disegno di campionamento

3.1 AREA DI STUDIO

Tutti i campioni analizzati in questo lavoro sono stati raccolti nelle acque circostanti la Sardegna (Fig. 3.1). L'isola, data la sua particolare posizione geografica al centro del bacino occidentale del Mediterraneo e le sue caratteristiche geomorfologiche che permettono una grande estensione delle superfici sfruttabili, rappresenta un'area di particolare interesse per le attività legate alla pesca (Cau *et al.*, 1994).

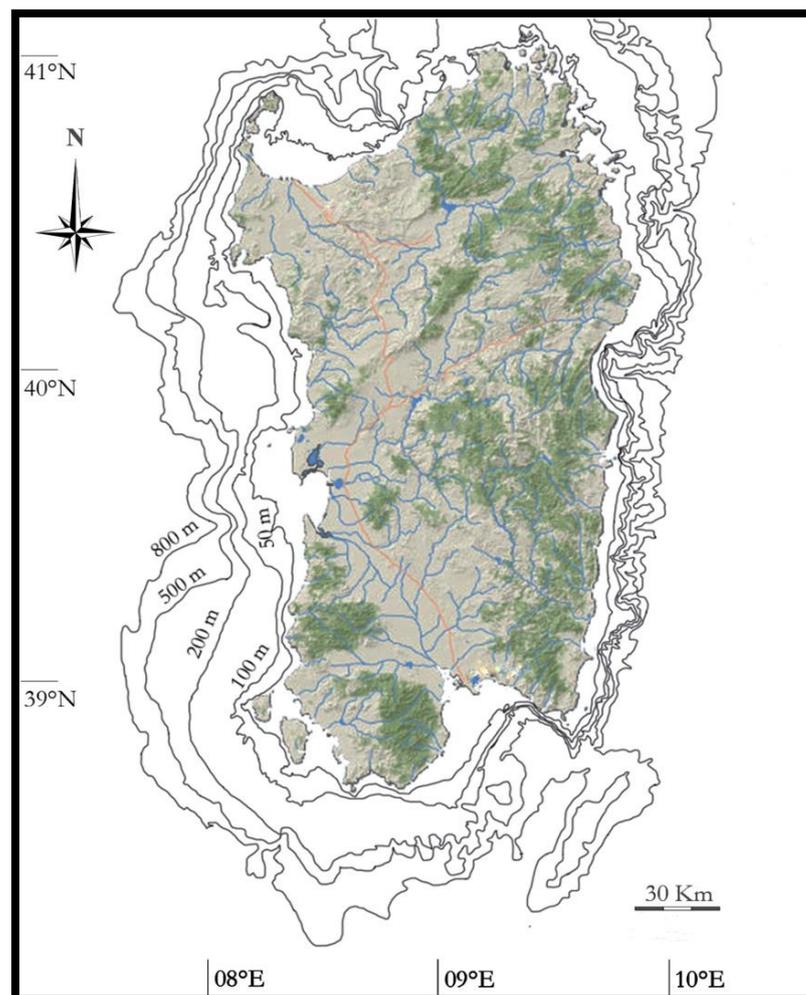


Fig. 3.1 – Area di studio

La superficie totale è stimata circa 27000 km² di cui 23700 km² risultano fruibili alla pesca (a profondità comprese tra 0 e 800 m). La dislocazione delle superfici strascicabili lungo le coste non è però omogenea. Nella regione del Golfo di Cagliari e nella costa occidentale infatti, la piattaforma continentale si estende fino ai 100, 150 m con un pendio poco marcato. Questa condizione rende queste aree particolarmente adatte alla pesca.

Lungo la costa orientale al contrario la piattaforma e la scarpata continentale rappresentano la continuazione della conformazione orografica dell'entroterra, caratterizzata da scogliere alte e ripide intervallate da strette insenature. La platea continentale, ad eccezione di alcuni tratti, risulta pertanto piuttosto ridotta e a fondi irregolari inframezzati da ripidi canyon. Le condizioni geomorfologiche così variabili della Sardegna la rendono un luogo particolarmente ricco in termini di biodiversità.

3.2 METODO DI CAMPIONAMENTO

I campioni utilizzati in questa tesi sono stati catturati attraverso la pesca a strascico. Quest'attrezzo prevede l'utilizzo di una rete che esercita la sua capacità di cattura quando attivamente trainata da un natante. In questo lavoro sono stati utilizzati gli esemplari catturati attraverso le campagne sperimentali MEDITS e GRUND.

La campagna di ricerca MED.I.T.S. (Mediterranean International Trawl Survey) finanziata dall'Unione Europea, ha lo scopo di produrre informazioni utili per la valutazione dello stato delle specie demersali del Mediterraneo al fine di garantirne uno sfruttamento razionale e sostenibile (Bertrand *et al.*, 2002). Tutti i paesi partecipanti utilizzano un protocollo comune che prevede tra le altre cose una rete standardizzata. La MEDITS viene effettuata annualmente nel periodo tardo primaverile-estivo in tutte le aree strascicabili sopra la piattaforma e la scarpata continentale da 10 a 800 m di profondità. Il disegno di campionamento è di tipo random stratificato (per profondità: 50, 100, 200, 500 e 800 m). Le cale sono effettuate solo nelle ore diurne e hanno durata fissata

a 30 minuti per quelle effettuate al di sotto dei 200 m e 60 minuti per quelle a profondità maggiori.

La campagna GRU.N.D. (GRUppo Nazionale Demersali) è una campagna sperimentale effettuata a livello nazionale con lo scopo di aumentare le conoscenze sullo stato di sfruttamento delle specie oggetto della pesca a strascico, nonché delle loro caratteristiche biologiche ed ecologiche al fine di una loro gestione razionale. Nata nel 1985 con la legge 41/82 e sostenuta dalla Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura del MiPAF, è terminata nel 2008. Lo schema di campionamento scelto, tranne che nel triennio compreso tra il 1990 ed il 1993 in cui sono stati utilizzati i transetti, è stato anche in questo caso quello casuale stratificato con posizionamento delle singole cale proporzionale ai singoli strati batimetrici dell'area indagata. Le imbarcazioni utilizzate sono state quelle appartenenti alle marinerie locali, con l'utilizzo però della loro consueta rete commerciale di cui sono state in precedenza registrate le misure. Le cale sono state effettuate nei mesi autunnali o invernali nelle ore diurne ma, al contrario di quanto stabilito per la MEDITS, queste hanno avuto sempre un'ora di durata indipendentemente dallo strato batimetrico.

4. *Sistemática e biología*

4.1 *Raja brachyura*



Regno	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Classe	Chondrichthyes
Ordine	Rajiformes
Famiglia	Rajidae
Genere	<i>Raja</i>
Specie	<i>Raja brachyura</i> (Lafont, 1873)

Raja brachyura è nota col nome di “Razza bianca”, internazionalmente “Blonde Ray”, o “Razza coda corta”, date le diverse proporzioni tra disco e coda, con quest’ ultima decisamente più tozza e ridotta rispetto agli altri esponenti della famiglia Rajidae.

Questa specie raggiunge solitamente dimensioni notevoli potendo superare il metro di lunghezza. La massima lunghezza totale (LT) registrata è di circa 1200 mm (Stehmann and Burkel 1984), anche se solitamente la maggior parte degli individui osservati oscillano tra i 400 e i 1000 millimetri.

Il muso si presenta corto e ottuso con angoli smussati, nella mascella superiore, in ambo i sessi, sono presenti 60-90 file di denti piccoli e acuti. Il disco è romboidale con apici delle pettorali acuti, e margini ondulati.

La parte dorsale del disco è liscia negli individui giovanili, mentre gli adulti talvolta sviluppano alcuni denticoli dermali. Sono presenti poche spine sopraorbitali; nei giovani e nelle femmine adulte è evidente una fila mediana, continua, di 40-45 spine che parte dalla nuca sino ad arrivare alla prima pinna dorsale; nei maschi invece questa è interrotta a livello toracico (Whitehead *et al.*, 1986), cosicché rimangono poche spine sulla nuca, una fila lungo la coda e altre tra le due pinne dorsali. Gli individui di grosse dimensioni sviluppano una fila di robuste spine ricurve nei margini della coda. La parte superiore del disco è di colore ocre o bruno-grigiastro, caratterizzata da piccoli spot neri diffusi fino al margine estremo delle ali e delle pinne pelviche. Risultano spesso presenti anche diverse macchie pallide, larghe e circolari, appaiate simmetricamente su entrambe le ali, ciascuna circondata da spot neri ravvicinati. Il ventre è tendenzialmente bianco e sfuma in un color grigio pallido nei margini delle ali e a quelli posteriori delle pinne pelviche.

R. brachyura è una specie ovipara, le femmine depongono circa 30 capsule, nel periodo tra Febbraio e Agosto (Porcu *et al.* 2015; Serena *et al.* 2010; Shark Trust 2008; Walker and Hislop 1998); i piccoli nascono dopo 7 mesi, e sono lunghi 160-180 mm (Ebert *et al.*, 2013) intorno ai 200 mm secondo altri autori (Hoff, 2008). Le capsule hanno forma rettangolare e dimensioni medie di circa 120 mm in lunghezza, escluse le corna, e larghezza 80 mm (Stehmann and Burkel 1984), con larghe chiglia laterali e superficie leggermente striata; le corna anteriori sono misurano circa il doppio delle posteriori. Queste possono essere confuse con le capsule di *Raja clavata*, anche se le ultime risultano leggermente più piccole. In Atlantico è stata riportata da diversi autori una taglia di prima

maturità compresa tra 850 e 920 mm, in termini di lunghezza totale, per maschi e femmine, corrispondenti circa a 8-10 anni di età (Gallagher *et al.*, 2005; Walker *et al.*, 1998; Shark Trust 2008). Si pensa che raggiunga un'età massima intorno ai 15 anni (Gallagher *et al.*, 2005). Nei mari sardi la taglia di prima maturità è risultata essere di 850 mm e 746 mm (LT) per femmine e maschi rispettivamente (Porcu *et al.* 2015).

L'alimentazione sembra essere decisamente stenofaga, le prede più spesso rinvenute tra i contenuti stomacali dei giovanili risultano i crostacei, in particolar modo Misidiacei e Anfipodi del genere Gammaridea. La dieta varia con lo sviluppo ontogenetico, i crostacei vengono infatti sostituiti dai teleostei (Mulas *et al.* 2009). Dagli studi compiuti su quest'aspetto della biologia di *R. brachyura* sono inoltre emersi alti livelli di competizione intraspecifica, e bassi livelli di competizione interspecifica (Mulas *et al.* 2009).

Questa razza ha un valore commerciale decisamente alto rispetto ad altri esponenti dello stesso genere, in Mediterraneo rientra nel by catch della pesca semi industriale (Spagna) e artigianale (Grecia e Marocco) praticata con reti da strascico, tramaglio e palamiti (Bauchot 1987). In Atlantico è talvolta una specie bersaglio nelle aree dove risulta abbondante, ma normalmente fa parte del by-catch della pesca demersale (Gibson *et al.*, 2006).

Distribuzione geografica e batimetrica

R. brachyura è una specie bentonica-demersale, si rinviene su fondali sabbiosi e fangosi a partire dalla zona costiera alla parte superiore della scarpata continentale, per lo più a profondità inferiori a 150 metri (Serena 2005).

Risulta presente in Oceano Atlantico, sia nel versante Nord-Est fino al Marocco e Madeira che nel versante Nord lungo le coste di Francia, Irlanda e Gran Bretagna (incluse le Shetlands). Sono riportate qualche segnalazione in Norvegia, e una distribuzione irregolare nel Mare del Nord. La specie è presente anche nel bacino Ovest del

Mediterraneo, inclusi Spagna, Francia, Italia, Tunisia, Algeria e Marocco (Bauchot 1987, Bertrand *et al.* 2000, Bairo *et al.* 2001, Bertozzi *et al.*, 2003). E' stata riportata una segnalazione dubbia nel Mar Egeo (Serena 2005).

R. brachyura sembra essere relativamente rara in Mediterraneo (Serena *et al.* 2005), anche se le ultime osservazioni (Follesa *et al.* 2003, 2010; Ragonese *et al.* 2003, Catalano *et al.* 2007) indicano come le coste della Sardegna e della Sicilia rappresentino delle zone dove questa specie è relativamente abbondante.

E' stato osservato, come per molte altre specie di elasmobranchi, che le aree prossime alla costa vengono utilizzate come nursery, e ciò è testimoniato dalla frequente rinvenimento di giovanili vicino alla spiaggia (Farias *et al.*,2005).

4.2 *Dipturus oxyrinchus*

Regno	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Classe	Chondrichthyes
Ordine	Rajiformes
Famiglia	Rajidae
Genere	<i>Dipturus</i>
Specie	<i>Dipturus oxyrinchus</i> (Linnaeus, 1758)

Dipturus oxyrinchus è comunemente conosciuta come “Razza monaca” o “Razza a muso lungo” (Longnosed Skate), il rostro infatti si presenta molto allungato ed appuntito. Questa caratteristica morfologica distingue il genere *Dipturus* dagli altri rajdi.

Il disco, di forma romboidale, risulta essere essenzialmente formato da due ampie pinne pettorali caratterizzate da margini anteriori concavi e terminanti in degli apici piuttosto acuti. La coda lunga più o meno quanto il corpo.

Il dorso è quasi del tutto liscio nei giovanili, ad eccezione di una o due spine preorbitali di solito presenti dalla nascita. Alcune robuste spine si sviluppano negli adulti disposte lungo la linea mediana della coda, fino ad arrivare all'origine della prima dorsale, in numero di 4-11. Tra le due pinne dorsali invece non è presente alcuna spina. Altre due file di spine accessorie corrono lungo i margini laterali della coda. Negli esemplari maschi si ritrovano due zone fortemente spinulose anche sulle pinne pettorali situate vicino agli apici. Il ventre allo stesso modo risulta liscio negli individui giovani mentre, con l'accrescimento, sviluppa gradualmente numerosi denticoli dermici che si estendono fino alle pinne pettorali.

La colorazione del dorso è brunastra chiara nei giovani, vira sul bruno scuro o grigia negli adulti, con presenza di macchie più chiare. Sulle ali possono risultare visibili uno o due ocelli, anche se solitamente questi non sono ben definiti. Il ventre si presenta simile al dorso nei giovanili, tendente ad un color grigio-bluastrò chiaro negli adulti, con evidenti spot neri corrispondenti allo sbocco dei canali mucipari.

La bocca è piccola e arcuata, sono presenti 38-50 file di denti nella mascella inferiore e 35-42 in quella superiore, disposti in serie verticali. Proprio a livello dentale si nota un certo dimorfismo sessuale, similmente a quanto riportato per diversi altri rajdi (Feduccia & Slaughter, 1974). I maschi maturi infatti possiedono i denti centrali di ambedue le arcate formati da una base allargata su cui sorge una punta lunga, acuta e uncinata, volta verso l'interno. Questi svolgono un ruolo fondamentale durante l'accoppiamento, aiutando l'animale a tenere fermo il partner. Al contrario, nelle femmine la dentatura è uniforme in entrambe le arcate. Nei giovani di ambo i sessi, la dentatura è sempre liscia e senza punte.

D. oxyrinchus è una delle più grandi specie di razze presenti in Mediterraneo, potendo raggiungere infatti dimensioni notevoli. Si stima che possa arrivare anche ai 1500 mm di lunghezza totale (LT) (Stehmann and Burkel 1984; Hiscock *et al.*, 2004), anche se solitamente gli individui catturati hanno di solito dimensioni inferiori.

La taglia di prima maturità riportata in bibliografia risulta essere di circa 900 mm (LT) per quanto riguarda le femmine e circa 800 mm (LT) per i maschi (Stehmann, 1990).

Durante il periodo di deposizione, esteso tra Febbraio a Maggio (Serena, 2005) le femmine producono poche capsule ovigere, anche se di notevoli dimensioni (Whitehead *et al.*, 1986; Hiscock *et al.*, 2004).

Le capsule si presentano rigide, oblunghe e di dimensioni comprese tra i 100-150 mm di lunghezza (Serena, 2005) con brevi corna appuntite agli angoli. L'intera struttura esternamente risulta estremamente fibrose in modo da garantire una migliore adesione al substrato fangoso sul quale vengono solitamente deposte.

Per l'individuo più piccolo trovato è stata riportata una misura di 170 mm (LT), quindi la lunghezza alla nascita è verosimilmente di poco inferiore (Ungaro *et al.*, 2007).

Gli studi effettuati sulla dieta identificano, in base livello trofico calcolato, *D. oxyrinchus* come un mesopredatore che occupa i livelli più alti degli ecosistemi in cui vive (Kadri *et al.*, 2010; Yigin & Ismen, 2010; Mulas *et al.*, 2015). L'alimentazione di questa specie si basa essenzialmente e di pesci e di diverse specie di invertebrati bentonici, soprattutto Molluschi, Policheti, e Crostacei. Tra questi ultimi, in particolar modo Decapodi, Misidiacei ed Eufasiacei, sono le prede più importanti. I giovanili si nutrono prevalentemente di Misidiacei, e tra di essi *Lophogaster typicus* risulta la preda più frequente. Nella dieta degli adulti invece, i Crostacei vengono sostituiti dai Molluschi, principalmente Cefalopodi (Mulas *et al.*, 2015).

Distribuzione geografica e batimetrica

D. oxyrinchus è una specie bento-demersale, rinvenuta solitamente su fondali sabbiosi, sabbiosi-rocciosi, e fangosi a partire dai 90 fino ad oltre 900 metri di profondità, ma è più comune intorno ai 200. Durante la campagna MEDITS viene catturata comunemente tra i 200-500 metri (Baino *et al.* 2001). Recentemente si è ipotizzato però che questa specie non sia uniformemente distribuita lungo tutto il suo ampio range batimetrico, Bellodi *et al.* (2013) hanno osservato, nelle acque circostanti la Sardegna, come gli individui sessualmente maturi occupino gli strati più costieri (inferiori ai 200 m di profondità) nei quali avviene l'accoppiamento. Le femmine una volta fecondate migrano più in profondità per deporre (oltre i 500 m). I giovanili con lo sviluppo tendono, invece a compiere la migrazione inversa in maniera graduale.

La specie è presente nella parte nord orientale dell'Oceano Atlantico (Norvegia, Isole Faroe, Shetlands), nel Mare del Nord, nella parte sud dell'Atlantico (coste Europee e fino al Marocco), Isole Canarie e Madeira, nel Mar Mediterraneo (bacino orientale e occidentale) dove appare abbastanza abbondante, ma non nel Mar Nero. In Mediterraneo ci sono dubbi relativi alle identificazioni storiche, dovuti alla probabile confusione con *Dipturus batis*, nonostante le differenze morfologiche e di colorazione (Ragonese *et al.* 2003).

4.3 *Raja polystigma*



Regno	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Classe	Chondrichthyes
Ordine	Rajiformes
Famiglia	Rajidae
Genere	<i>Raja</i>
Specie	<i>Raja polystigma</i> (Regan, 1923)

Raja polystigma è una razza di piccole dimensioni endemica del Mediterraneo (Serena, 2005). Conosciuta localmente come “Razza polistimma” e internazionalmente come “Speckled Ray” questa specie non supera i 600 mm di lunghezza totale (LT) (Bauchot, 1987; Stehmann and Burkel 1984; Serena, 2005), anche se le dimensioni medie alle quali viene solitamente rinvenuta si attestano tra i 400 e i 500 mm (LT) (Bauchot, 1987; Serena, 2005).

Il disco, di forma romboidale, si sviluppa maggiormente in larghezza che in lunghezza. Le ali presentano margini anteriori sinuosi anche se piuttosto rettilinei. Le pettorali terminano in due apici acuti.

Il dorso è uniformemente liscio eccezion' fatta per una lieve spinulosità presente sul rostro e sulla parte anteriore del disco. La coda, lunga circa quanto il disco, porta una singola fila di spine mediane (22-28 in numero) che si originano alla base e terminano all'altezza della prima pinna dorsale (Serena, 2005). Possono essere talvolta presenti alcune spine disposte in fila ai margini laterali della coda, mentre tra le due dorsali la pelle è sempre liscia e presenta una singola spina (Serena, 2005). Il lato ventrale è sempre liscio.

La colorazione del lato dorsale risulta estremamente variabile da individuo a individuo. Il dorso si presenta brunastro o grigio-brunastro, con numerosi spot neri di dimensioni e forme variabili. La densità e la sfumatura di questi ultimi ancora una volta appare essere estremamente mutevole tra i diversi esemplari, benché in nessun caso essi si estendono fino ai margini delle pinne pettorali. Sulle ogni singola ala può essere presente un ocello più o meno definito, formato da un esteso spot giallognolo circondato da un anello nero ed uno chiaro in successione. Talvolta gli esemplari di questa specie possiedono un secondo ocello accessorio meno definito. Il lato ventrale si presenta solitamente biancastro o grigio chiaro.

La bocca è breve ed arcuata, ciascuna arcata porta 58-60 file di piccoli denti appuntiti (Capapé, 2006)

Data l'estrema variabilità morfologica questa specie è sempre stata oggetto di confusione tassonomica, in particolar modo con la specie simile *Raja montagui* Fowler, 1910. E' stato ipotizzato che in passato, nei mari italiani, molti esemplari di *R. polystigma* siano stati classificati erroneamente come appartenuti a quest'ultima specie, che ora

tramite le ultime analisi molecolari, è ritenuta assente nei nostri mari (Serena, 2014). In ogni caso gli esemplari pescati in Sardegna ed utilizzati in questo studio sono stati identificati morfologicamente e geneticamente come *R. polystigma*.

Come tutti gli altri esponenti della stessa famiglia anche questa specie è ovipara. Durante in periodo riproduttivo, limitato ai mesi autunnali, le femmine depongono, su fondali sabbiosi e fangosi, dalle 20 ad oltre 62 capsule ovariche (Serena, 2005). Queste, sono di dimensioni ridotte, 35-46 mm in lunghezza, e si presentano rettangolari e oblunghe con quattro corna ben sviluppate alle estremità (Serena, 2005). Le capsule non sviluppano carene distinte.

La taglia di prima maturità sessuale viene raggiunta attorno ai 530 mm in termini di lunghezza totale, sia dai maschi che dalle femmine (Stehmann and Burkel 1984; Serena, 2005).

La dieta di questa specie è basata principalmente su piccoli crostacei come Anfipodi e Misidiacei, specialmente *L. typicus*, per quanto riguarda gli esemplari più giovani. Con lo sviluppo ontogenetico lo spettro alimentare invece cambia andando ad includere prede più mobili e di dimensioni maggiori come crostacei Decapodi, Cefalopodi, soprattutto Sepiolidi e Teleostei (Stehmann and Burkel 1984; Vannucci, 2005; Mulas *et al.*, 2010).

R. polystigma, attraverso pesca artigianale e a strascico, viene comunemente catturata e commercializzata lungo le coste del nord Africa occidentale (Bauchot, 1987). E' invece raramente presente nei mercati italiani ed europei, benché in Sardegna, rappresentando una cattura accessoria dello strascico e delle reti da posta, gli individui adulti vengono talvolta confusi e commercializzati come giovanili o subadulti di *R. brachyura*.

Distribuzione geografica e batimetrica

R. polystigma è una specie bentonico-demersale che abita i fondali molli, principalmente fangosi e sabbiosi a profondità comprese tra 20 e 633 m, anche se viene rinvenuta più comunemente tra i 100 e i 400 m (Serena, 2005; Ungaro *et al.*, 2009).

Endemica del Mediterraneo, questa specie risulta moderatamente diffusa in modo particolare nel bacino occidentale e nelle aree centro occidentali, soprattutto lungo le coste del Marocco, della Spagna, del sud della Francia, e delle isole maggiori come Sicilia, Sardegna e Corsica (Baino *et al.*, 2001; Ragonese *et al.*, 2003; Follesa *et al.*, 2003; Spedicato *et al.*, 2003; Serena, 2005). Rara in Adriatico e mar Ionio (Notarbartolo di Sciara & Bianchi, 1998). Assente nel mar Nero.

5. *Analisi dell'accrescimento*

5.1 INTRODUZIONE

La raccolta di informazioni riguardanti il ciclo vitale, sia degli organismi marini sfruttati direttamente dalle flotte commerciali che delle specie accessorie (by-catch) o comunque specie che costituiscono parte integrante di habitat impoveriti o depauperati dall'incessante attività di pesca, è diventata nel corso degli anni una necessità sempre più pressante nel contesto della biologia della pesca (Cailliet & Goldman, 2004). Tali informazioni sono infatti assolutamente necessarie allo sviluppo di qualsiasi piano di gestione o ripopolamento. I principali dati del ciclo vitale utilizzati in tal senso sono quelli riguardanti l'età e l'accrescimento oltre che quelli appartenenti della biologia riproduttiva della specie presa in esame (Walker, 1998; Ebert, *et al.*, 2008).

In particolare un accurata e precisa determinazione dell'età e dell'accrescimento di un organismo risultano essere di fondamentale importanza per gli studi sulla pesca. La conoscenza di tali parametri permette infatti di stimare altri dati essenziali per una corretta gestione delle risorse come, ad esempio, tassi di mortalità, longevità, tassi di cattura per età, produttività e lo stato di salute degli stock (Goldman, 2005). Una determinazione imprecisa dell'età può portare al contrario 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).

Età e accrescimento sono termini spesso usati insieme nel contesto biologico. Questo potrebbe portare erroneamente a pensare che siano sinonimi, mentre, come postulato da DeVries & Frie (1996), essi hanno in realtà due distinti e ben precisi significati. Per età infatti s'intende una descrizione quantitativa del tempo che un organismo ha vissuto. L'accrescimento invece è definito come la variazione, avvenuta in un dato lasso di tempo, delle dimensioni di un individuo, o di una sua parte del corpo.

L'età di un organismo marino viene solitamente stimata attraverso la conta, effettuata sulle strutture calcificate, delle bande di accrescimento opache, che rappresentano un periodo ad alto livello metabolico, solitamente estivo, e traslucide o ialine a basso livello di calcificazione, depositate solitamente nei mesi invernali. L'unione di una banda opaca e una ialina, definita *annulus*, segna solitamente il superamento di un anno di vita (Branstetter, 1987). Questo schema non è però applicabile a tutti gli organismi, è stato dimostrato infatti che alcune specie non riflettono questo pattern di deposizione (Natanson, 1993; Natanson & Cailliet, 1990). Per questo motivo è sempre bene tentare di validare (con metodi diretti) o corroborare (con metodi indiretti) l'ipotesi della deposizione annuale delle bande di crescita.

Le strutture calcificate principalmente utilizzate per la determinazione dell'età nei teleostei sono rappresentate da scaglie, raggi spiniformi e soprattutto otoliti. L'assenza di queste strutture insieme al basso livello di calcificazione dello scheletro cartilagineo rende la stima dell'età dei condroitti un processo spesso più lungo e complesso di quanto non sia per la maggior parte dei pesci ossei (Campana, 2014). Nel corso degli anni diversi tipi di strutture dure degli elasmobranchi sono state impiegate, come ad esempio le spine delle pinne dorsali (Ketchen, 1975; Sion *et al.*, 2002; Irvine *et al.*, 2006) e quelle caudali (Gallagher *et al.*, 2006; Serra-Pereira *et al.*, 2008) e gli archi neurali (McFarlane, *et al.*, 2002). In assoluto le strutture più comunemente utilizzate per l'ageing dei condroitti in bibliografia sono però rappresentate dai centri vertebrali, talvolta utilizzati in toto (MacNeil & Campana, 2002) o, come anche in questo studio, più comunemente 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).

Il passo successivo alla stima dell'età è rappresentato dalla costruzione delle curve di crescita i cui parametri saranno poi fondamentali per lo stock assessment. La maggior parte dei lavori pubblicati su questo argomento si basa esclusivamente sul modello classico di von Bertalanffy (1938) (Cailliet, *et al.*, 2006). Storicamente infatti solo pochi studi considerano modelli di crescita alternativi per lo studio dell'età e dell'accrescimento degli elasmobranchi (Fisher *et al.*, 2013). Tuttavia gli studi in cui sono stati applicati modelli multipli hanno spesso mostrato un migliore grado di fitting alle osservazioni effettuate ottenuto dalle curve alternative (Zeiner & Wolf, 1993; Neer & Thompson,

2005). Quest'ultima affermazione risulta particolarmente applicabile a specie come i batoidi, la cui crescita appare relativamente rapida durante le prime fasi di vita, andando poi a rallentare considerevolmente nelle fasi successive (Neer & Thompson, 2005; Fisher *et al.*, 2013).

In questo lavoro, per poter fornire delle informazioni il più precise possibili riguardanti l'età e l'accrescimento delle specie descritte in precedenza, si è scelto quindi di applicare quattro diversi modelli di crescita. Infine è stata compiuta un'analisi dell'accrescimento indiretta, con il metodo della progressione modale, allo scopo di tentare di corroborare le semplici stime dell'età ottenute tramite il conteggio diretto degli *annuli* con una robusta analisi accessoria (Campana, 2014).

5.2 MATERIALI E METODI

5.2.1 *Metodi diretti*

Raccolta e conservazione dei campioni.

Un totale di 169 esemplari di *R. brachyura*, 130 di *D. oxyrinchus* e 184 di *R. polystigma* sono stati catturati durante le campagne sperimentali di pesca a strascico MEDITS effettuate, tra il 2012 ed il 2013 dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari. Di ogni individuo è stata registrata la lunghezza totale (LT) in mm, il peso totale (PT) in grammi ed infine il sesso e il grado di maturità gonadica secondo le tabelle del MEDITS Handbook 2013 v.7. Dalla cavità toracica di ogni esemplare è stata estratta una sezione di almeno 10 vertebre, queste una volta rimosse sono state codificate e conservate a secco in freezer ad una temperatura di -18°C.

Preparazione dei centri vertebrali.

Prima di poter procedere all'inclusione è stato necessario pulire i centri vertebrali dagli eccessi di tessuto. Come prima cosa dalle vertebre, separate singolarmente, sono stati rimossi con l'aiuto di un bisturi gli archi emale e neurale, quindi queste sono state immerse in una soluzione al 5% di ipoclorito di sodio in modo da rimuovere i tessuti in eccesso (Goldman, 2005) (Fig. 5.2.1). Il tempo di immersione è risultato variabile tra 5 e 20 minuti in base alle dimensioni del centro vertebrale.

I campioni puliti sono stati quindi fotografati utilizzando uno stereomicroscopio (Zeiss Stemi 2000-C) con annessa fotocamera (Pixelink PL-A686C), in modo da poter misurare il raggio vertebrale (VR) in mm attraverso l'utilizzo del software tpsDIG2 (Rohlf, 2005) allo scopo di ottenere una relazione LT-VR utile durante la stima dell'età di campioni rovinati. Il test ANOVA è stato applicato, tramite il pacchetto STAGRAPHICS Centurion XVI (StatPoint Technologies, 2010), per evidenziare eventuali differenze statisticamente significative tra il rapporto LT-VR nei due sessi.



Fig. 5.2.1. Pulizia dei centri vertebrali (*R. brachyura*) e vertebre incluse in resina epossidica.

Una volta puliti i centri vertebrali sono stati lasciati asciugare per circa un'ora e quindi inclusi in resina epossidica bicomponente ad alta trasparenza (Struers Caldo-fix 2) (Fig. 5.2.1). I campioni inclusi sono stati poi montati su un vetrino porta-oggetti e limati attraverso una lappatrice (Struers DAP-V) utilizzando fogli abrasivi a granulometria progressivamente più fine (320, 500 e 800 grit) (Fig. 5.2.2) fino ad arrivare al *focus* della vertebra. Una volta arrivati a questo punto il blocchetto è stato scollato e ricolato al contrario in modo da limare il lato ancora non lavorato del campione. Questo processo ha permesso di ottenere delle sezioni trasversali dei centri vertebrali di uno spessore ottimale per la conta degli *annuli*, compreso tra i 0.3 e i 0.5 mm (Goldman, 2005).

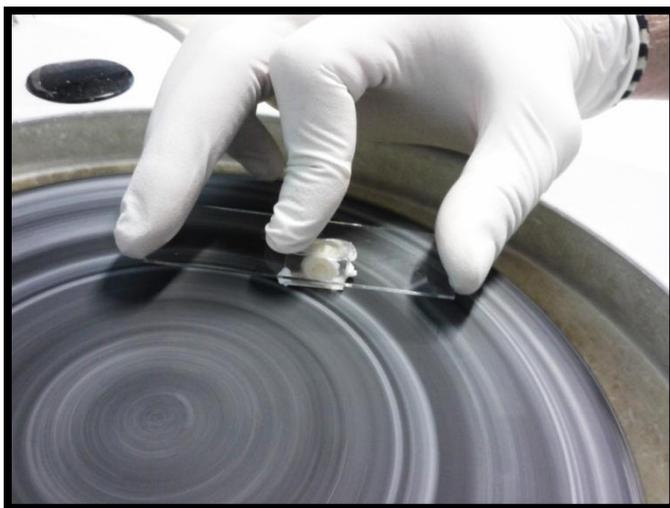


Fig. 5.2.2. Fase di levigatura (*R. brachyura*).

Trattamento dei centri vertebrali.

Talvolta si rende inoltre necessario, prima di poter procedere alla conta degli annuli, trattare i centri vertebrali in modo da aumentare il contrasto tra le bande. Nel tempo sono stati descritti da diversi numerosi metodi di colorazione dai costi, sia monetari sia in termini di tempo, molto variabili. Tali metodiche si sono rivelate spesso specie-specifiche (Goldman, 2004), per questo motivo nella presente tesi oltre all'osservazione dei centri non trattati, sono state testate tre delle tecniche più comunemente utilizzate.

Al fine di investigare quale delle principali metodiche di trattamento dei centri vertebrali consentisse una migliore visibilità delle bande di accrescimento è stato selezionato un subcampione di almeno dieci esemplari di sesso e dimensioni differenti, da ognuno di essi sono stati estratti quattro diversi centri vertebrali i quali sono stati poi trattati con quattro delle principali metodiche di trattamento. Le metodiche testate sono state:

- Rosso alizarina (LaMarca, 1966)
- Nitrato d'argento (Stevens, 1975; Caillet *et al.*, 1983; Kusher, *et al.*, 1992)
- Decalcificazione in EDTA (Gallagher & Nolan, 1999)
- Osservazione delle vertebre non trattate.

Acquisizione e post produzione delle immagini.

Le sezioni ottenute sono state poi fotografate singolarmente, su sfondo nero e con l'ausilio di acqua come liquido chiarificatore, attraverso l'attrezzatura precedentemente descritta. In accordo con quanto suggerito da Campana (2014) le immagini acquisite, prima di essere analizzate dai lettori, hanno subito un rapido processo di post produzione allo scopo di migliorarne il contrasto e la nitidezza (Fig. 5.2.3 a, b).

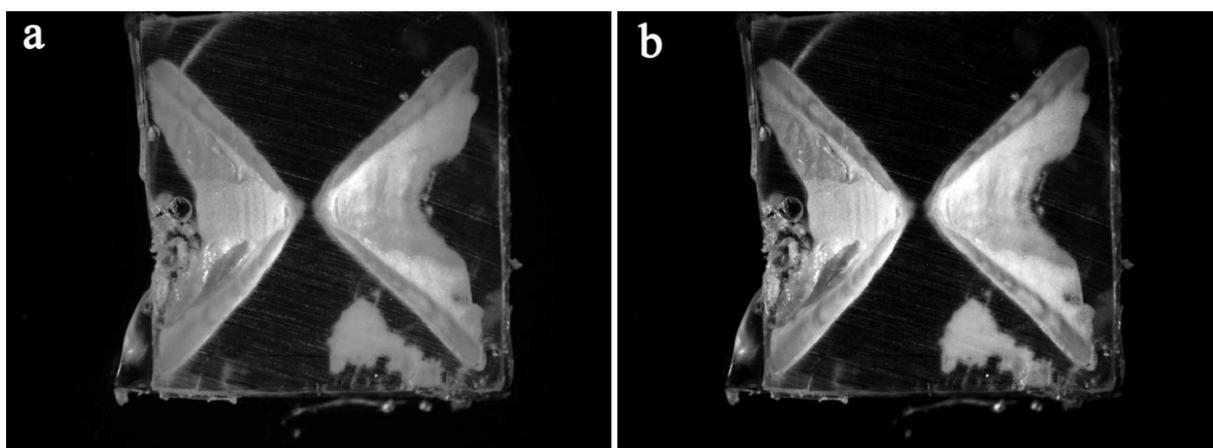


Fig. 5.2.3. Fotografia di un centro vertebrale (*D. oxyrinchus*) prima (a) e dopo (b) la post-produzione.

Determinazione dell'età.

Le sezioni sono state lette indipendentemente da due operatori senza alcuna informazione sul sesso o sulle dimensioni dell'animale al quale appartenevano. Le letture sono state ripetute due volte da ogni lettore con la possibilità di effettuare una terza replica qualora si fosse reso necessario per calibrare meglio l'analisi.

Il birth mark (segno di nascita BM) è stato definito come la prima chiara banda in corrispondenza di un cambiamento di angolo del *corpus calcareum* mentre gli *annuli* sono stati definiti come un paio di bande (ialina ed opaca) (Casey *et al.*, 1985; Sulikowski *et al.*, 2003).

Il grado di precisione e riproducibilità delle letture è stato valutato attraverso l'Index of Average Percent Error (IAPE) (Beamish & Founier, 1981), il coefficiente di variazione (%CV) (Chang, 1982) e la Percentuale di Accordo (PA) secondo le formule:

$$IAPE = \frac{1}{N} \sum \left(\frac{1}{R} \sum \frac{(|X_{ij} - X_j|)}{X_j} \right) \times 100$$

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

$$PA = \left(\frac{\text{No. agreed}}{\text{No. read}} \right) \times 100$$

dove N rappresenta il numero di campioni letti; R rappresenta il numero delle letture; X_{ij} è l' i -esima lettura del j -esimo individuo; X_j equivale all'età media calcolata per il j -esimo individuo. Per gli elasmobranchi, valori di CV pari a circa 10% sono di solito considerati accettabili dalla letteratura (Campana, 2001). Inoltre è stato calcolato il livello di Bias o soggettività delle letture attraverso l'utilizzo di un apposito workbook di Excel sviluppato da Eltink (2000).

Calcolo delle curve d accrescimento.

I dati di lunghezza-età ottenuti, per femmine e maschi, attraverso la conta delle bande di accrescimento sono stati confrontati tramite il test ANCOVA in modo da evidenziare eventuali differenze tra i due sessi (Gallagher *et al.*, 2005).

Gli stessi dati di lunghezza-età, per sessi combinati e maschi e femmine separatamente, son stati poi elaborati attraverso il software GROWTH II (Henderson & Seaby, 2006) con i quale sono stati applicati quattro modelli di accrescimento:

1. Von Bertalanffy Growth Function (VBGF)(von bertalanffy, 1938)

$$TL = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

2. Exponential Growth Function (EGF) (Fabens, 1965)

$$TL = L_{\infty} - (L_{\infty} - \beta)e^{[-(kt)]}$$

3. Gompertz Growth Function (GGF) (Winsor, 1932)

$$L_t = L_{\infty}e^{e^{-k(t-I)}}$$

4. Logistic Growth Function (LGF) (Richards, 1959)

$$L_t = \frac{L_{\infty}}{1 + e^{-k(t-I)}}$$

dove L_{∞} rappresenta la lunghezza massima teorica raggiungibile dalla specie; k è il coefficiente di crescita; t è l'età osservata; t_0 è l'ipotetica età di un individuo di lunghezza 0; β è pari a $(L_{\infty} - L_0) L_{\infty}^{-1}$ e L_0 rappresenta la lunghezza alla nascita; infine I è l'età al punto di flesso.

Per determinare quale fra i modelli utilizzati mostarsse un fitting migliore alle osservazioni effettuate è stato utilizzato l' Akaike's Information Criterion (*AIC*) (Akaike, 1974; Haddor, 2001) secondo la formula:

$$AIC = n \times \ln(MSE) + 2k$$

dove n è uguale al numero totale di campioni, MSE rappresenta lo scarto quadratico medio e k è pari al numero di parametri stimati nella funzione di crescita.

5.2.2 Metodi Indiretti

Per poter ottenere i parametri di accrescimento attraverso l'utilizzo di metodologie indirette sono stati utilizzati i dati relativi alle campagne sperimentali di pesca a strascico effettuate dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari MEDITS e GRUND, svoltesi rispettivamente tra il 2005 ed il 2013 e tra il 2005 e il 2008.

Durante questi campionamenti sono stati catturati un totale di 1640 esemplari di *R. brachyura*, 684 di *D. oxyrinchus* e 1583 di *R. polystigma*. Per ognuna di queste specie sono stati utilizzati i dati di lunghezza totale (LT in mm) separati per periodo di campionamento ed elaborati in modo da ottenere i tabulati di frequenza con classi di taglia di 50 mm per *R. brachyura* e *D. oxyrinchus* e, trattandosi di una specie che può raggiungere dimensioni notevolmente inferiori, da 20 mm per *R. polystigma*.

I risultati di taglia-frequenza ottenuti sono stati elaborati secondo il metodo di Bhattacharya (Bhattacharya, 1967), attraverso il software FISAT II – FAO ICLARM Stock Assessment Tools (Gayanilo, *et al.*, 2005), in questo modo è stato possibile scomporre le distribuzioni di frequenza in distribuzioni normali distinte, assumendo che ogni moda della distribuzione complessiva rappresenti una coorte (Fig. 5.2.4).

Questa metodica ha consentito di ottenere i valori medi e le varianze di ciascuna coorte di età

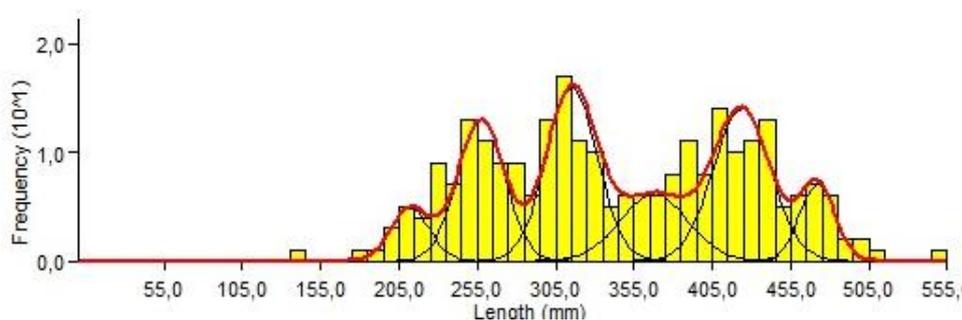


Fig. 5.2.4 Esempio di scomposizione modale di *R. polystigma* attraverso il software FISAT II

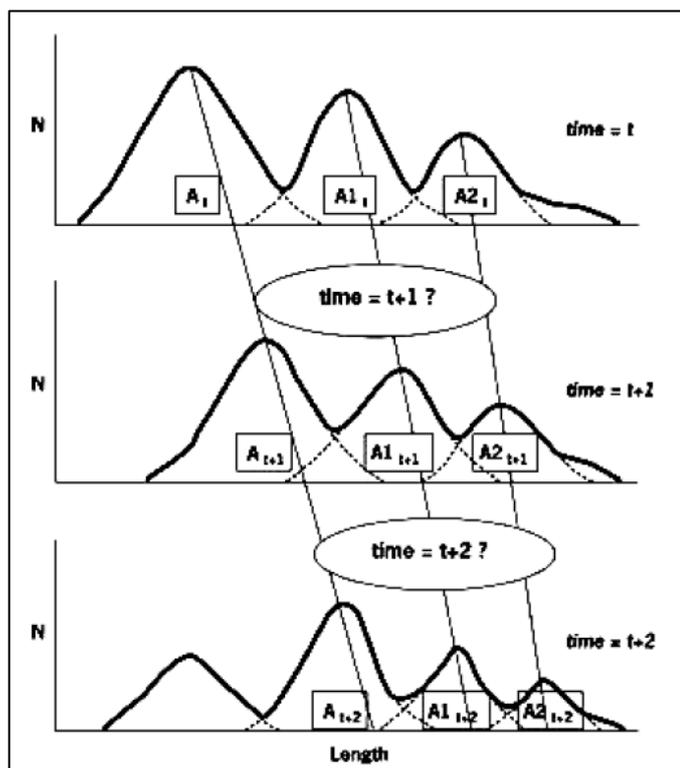


Fig. 5.2.5– Ipotetica distribuzione taglia-frequenza che mostra tre differenti gruppi di età in tre anni successivi (da Panfili *et al.*, 2002).

I risultati ottenuti sono stati utilizzati nell'analisi " Linking of Means" anch'essa contenuta nel pacchetto FISAT II che ha permesso di acquisire per ogni singola specie dei dati di età-lunghezza stimati tramite la progressione modale (Fig.5.2.4) i quali sono stati poi impiegati per il calcolo dei parametri di accrescimento e della relativa curva di von Bertalanffy (von Bertalanffy, 1938).

5.2.3 Confronto tra metodi diretti e metodi indiretti.

I risultati delle equazioni di von Bertalanffy ottenute per le diverse specie, tramite metodi diretti ed indiretti, sono stati confrontati in modo da poter verificare il grado di accordo tra di essi ed eventualmente, valutare se queste metodiche, mostrando risultati concordi si andassero a corroborare. L'analisi di scomposizione modale, effettuata per sessi combinati, ha potuto fornire esclusivamente una stima dell'accrescimento attraverso il modello di von Bertalanffy. I risultati ottenuti con questo esame sono stati pertanto rapportati unicamente agli stessi dati acquisiti attraverso la lettura diretta delle bande di crescita.

Per prima cosa il valore di Φ' (phi prime) (Pauly & Munro, 1984) è stato calcolato, secondo la formula $\Phi' = \text{Log}_{10}(k) + 2\text{Log}_{10}(L_{\infty})$, non solo come primo confronto tra i parametri di accrescimento ottenuti in questo lavoro, ma anche in modo da fornire dei dati di riferimento per eventuali ulteriori studi su quest'aspetto del ciclo vitale di queste specie.

Infine è stato condotto un test ANOVA sui dati di lunghezza media per età conseguiti attraverso le due metodiche. A questo è seguito il test di Kruskal-Wallis.

5.3 RISULTATI METODI DIRETTI

5.3.1 Raja brachyura

5.3.1.1 Analisi del campione utilizzato.

Per procedere all'analisi dell'età e dell'accrescimento di *R. brachyura* sono stati raccolti, tra il 2012 ed il 2013, 169 esemplari, 77 femmine e 92 maschi. Le dimensioni minime e massime degli esemplari sono risultate rispettivamente di 156 e 995 mm per le femmine (LT), e 154 e 955 mm (LT) per i maschi. Le classi di lunghezza maggiormente rappresentate nel campione sono risultate essere quelle comprese tra i 300 ed i 380 millimetri (LT). La minore rappresentatività nel campione esaminato di esemplari di grosse dimensioni è principalmente dovuta, oltre che all'effettiva minore rappresentatività di queste classi nella popolazione naturale anche alla difficoltà degli attrezzi da pesca principalmente utilizzati dalla marineria isolana (rete a strascico e tramaglione) a reperire esemplari di dimensioni maggiori di 500 mm di LT

5.3.1.2 Analisi di correlazione tra dimensioni corporee e diametro dei centri vertebrali.

E' stata effettuata l'analisi della regressione tra lunghezza totale degli individui (LT) e raggio dei centri vertebrali (RV) in modo da poter rivelare il tipo di relazione presente tra queste due misure morfometriche (Fig. 5.3.1). Maschi e femmine sono stati esaminati separatamente.

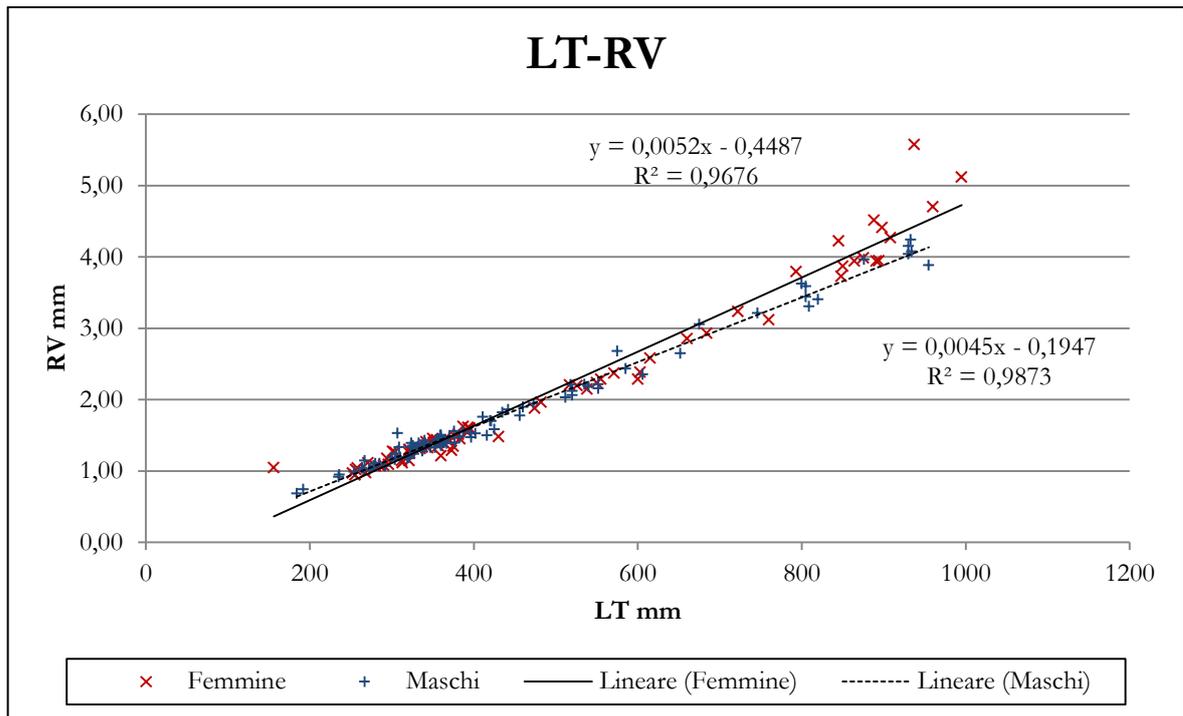


Fig. 5.3.1. Analisi della regressione tra raggio del centro vertebrale(RV) e lunghezza totale (LT) degli esemplari di sesso maschile e femminile di *R.brachyura*.

I risultati ottenuti mostrano come queste due misure morfometriche siano correlate tra di esse in maniera lineare in entrambi i sessi. Le rette di regressione calcolate per le femmine ($b=-0.4487$; $a=0.0052$; $R^2=0.9676$) e per i maschi ($b=-0.1947$; $a=0.0045$; $R^2=0.9676$) (FigX), hanno mostrato di essere significativamente differenti tra i due sessi (ANOVA, F -ratio= 2200.37; $P < 0.05$; $R^2=0.97$).

5.3.1.3 Trattamenti di colorazione dei centri vertebrali.

Un subcampione di 12 individui (6 maschi e 6 femmine) di taglie differenti, scelto in maniera random sul campione da esaminare, è stato selezionato per testare quale metodica di colorazione permettesse una migliore visibilità delle bande di accrescimento. Da ognuno di questi individui sono stati utilizzati quattro differenti centri vertebrali tra quelli disponibili. Di questi uno è stato utilizzato come controllo non trattato (Fig. 5.3.2) e i rimanenti tre sono stati trattati rispettivamente con Rosso Alizarina (Fig. 5.3.3), Nitrato d'Argento (Fig. 5.3.4) ed EDTA (Fig.5.3.5).

Nessuno di questi ultimi tre trattamenti ha però apportato benefici apprezzabili al conteggio e soprattutto alla visibilità delle bande di accrescimento. La decalcificazione in EDTA ha addirittura reso la distinzione di anelli traslucidi e opachi maggiormente complicata.

Per questo motivo le successive analisi per la stima dell'età di *R. brachyura* sono state condotte sui centri vertebrali non trattati.



Fig. 5.3.2 Sezione di un centro vertebrale di *R. brachyura* non trattata (unstained)



Fig. 5.3.3 Sezione di un centro vertebrale di *R. brachyura* colorata in Rosso Alizarina



Fig. 5.3.4 Sezione di un centro vertebrale di *R. brachyura* impregnata in Nitrato d'Argento

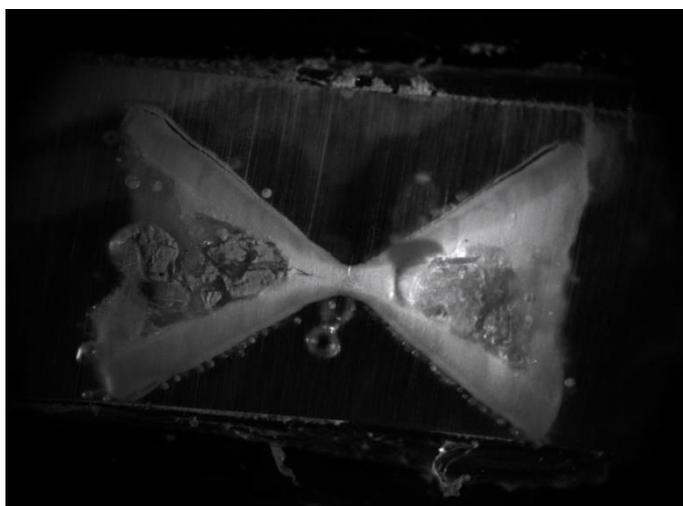


Fig. 5.3.5 Sezione di un centro vertebrale di *R. brachyura* decalcificata in EDTA

5.3.1.4 Precisione e riproducibilità delle letture.

Gli anelli di accrescimento osservati nei centri vertebrali di *R. brachyura* si sono dimostrati relativamente visibili e non particolarmente ambigui (Fig. 5.3.6). Il Birthmark (BM) è risultato essere sempre facilmente identificabile e solitamente associato ad una netta variazione di angolo nel *Corpus Calcereum* (Fig. 5.3.6). Delle 169 vertebre esaminate, dopo tre letture effettuate da ognuno dei due lettori, ne sono state scartate 30 (il 17.8%), poiché non è stato possibile per gli esaminatori raggiungere un accordo oggettivo. Dei rimanenti 139 campioni, 79 sono risultati maschi, di lunghezza totale compresa tra 184 e 955 mm ed età stimata tra 0 e 16 anni e 60 femmine di taglie incluse tra 252 e 908 mm (LT) ed età tra 1 e 15 anni.

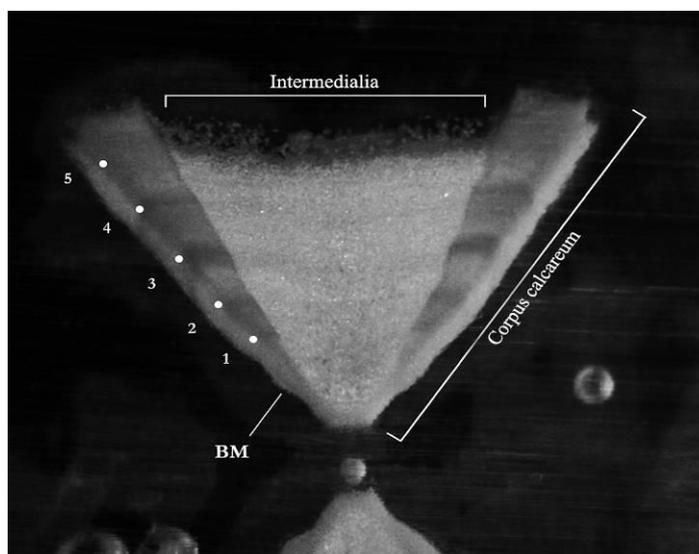


Fig. 5.3.6. Sezione vertebrale appartenente ad un esemplare di *R. brachyura* di 5 anni di età (LT= 517 mm) (BM, birthmark).

La stima dell'età, effettuata sull'intero campione, ha mostrato una buona riproducibilità ed in generale un alto grado di precisione come indicato dai bassi valori complessivi dell'Index of Average Percent Error e del Coefficiente di variazione, e dall'alta percentuale di accordo tra i due lettori (IAPE= 9.23%; %CV=12.7; PA= 79.8%).

Il grafico riportato in Figura 5.3.7, mostra l'andamento dei valori di %CV, PA e la deviazione standard per ogni singola classe di età. Come si evince da quest'ultimo il valore di %CV risulta essere decisamente influenzato dagli errori compiuti nell'interpretazione

degli anelli vertebrali di individui giovani (0-2 anni). Dai due anni in poi il valore tende infatti a diminuire, e raggiunge il minimo nell'attribuzione della classe di età corrispondente a 15 anni. Le età superiori, di 16 e 17 anni, non vengono tenute in considerazione nel grafico poiché, pur essendo state stimate, sono riferite a letture effettuate su un numero troppo esiguo di campioni.

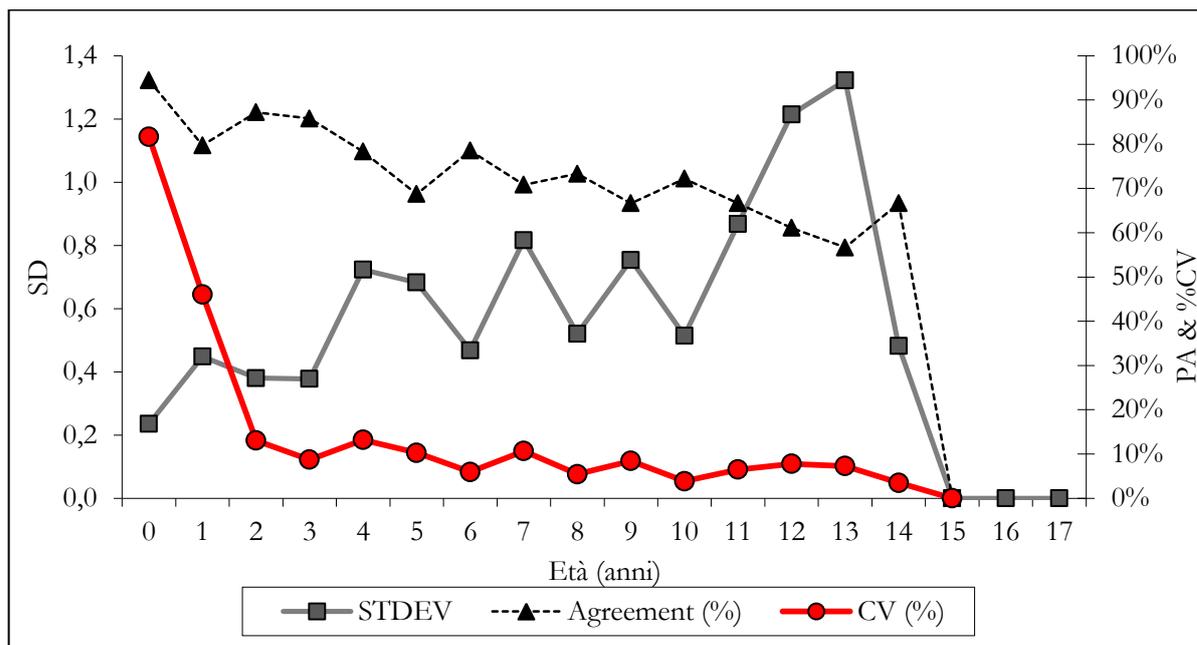


Fig. 5.3.7. Deviazione standard (SD), Percentuale di accordo (PA) e Coefficiente di variazione (%CV) in relazione all'età modale.

L' agreement tra i lettori (Fig. 5.3.7), al contrario, è risultato essere molto alto nella fascia di età 0, e piuttosto stabile fino all' età di 7 anni, ma il suo valore si è mostrato in calo nella stima dell' età degli esemplari di età compresa dagli 8 ai 15 anni. Ciò è da imputare principalmente alla maggiore difficoltà della stima dell'età degli individui più vecchi, dovuta alla formazione di anelli vertebrali molto ravvicinati, parzialmente sovrapposti. Una bassa percentuale di accordo, unita ad un coefficiente di variazione minimo, sta ad indicare però che pur non avendo seguito la stessa linea di pensiero, i lettori sono stati precisi ognuno nelle proprie letture, ovvero non hanno variato il proprio criterio nel corso del tempo.

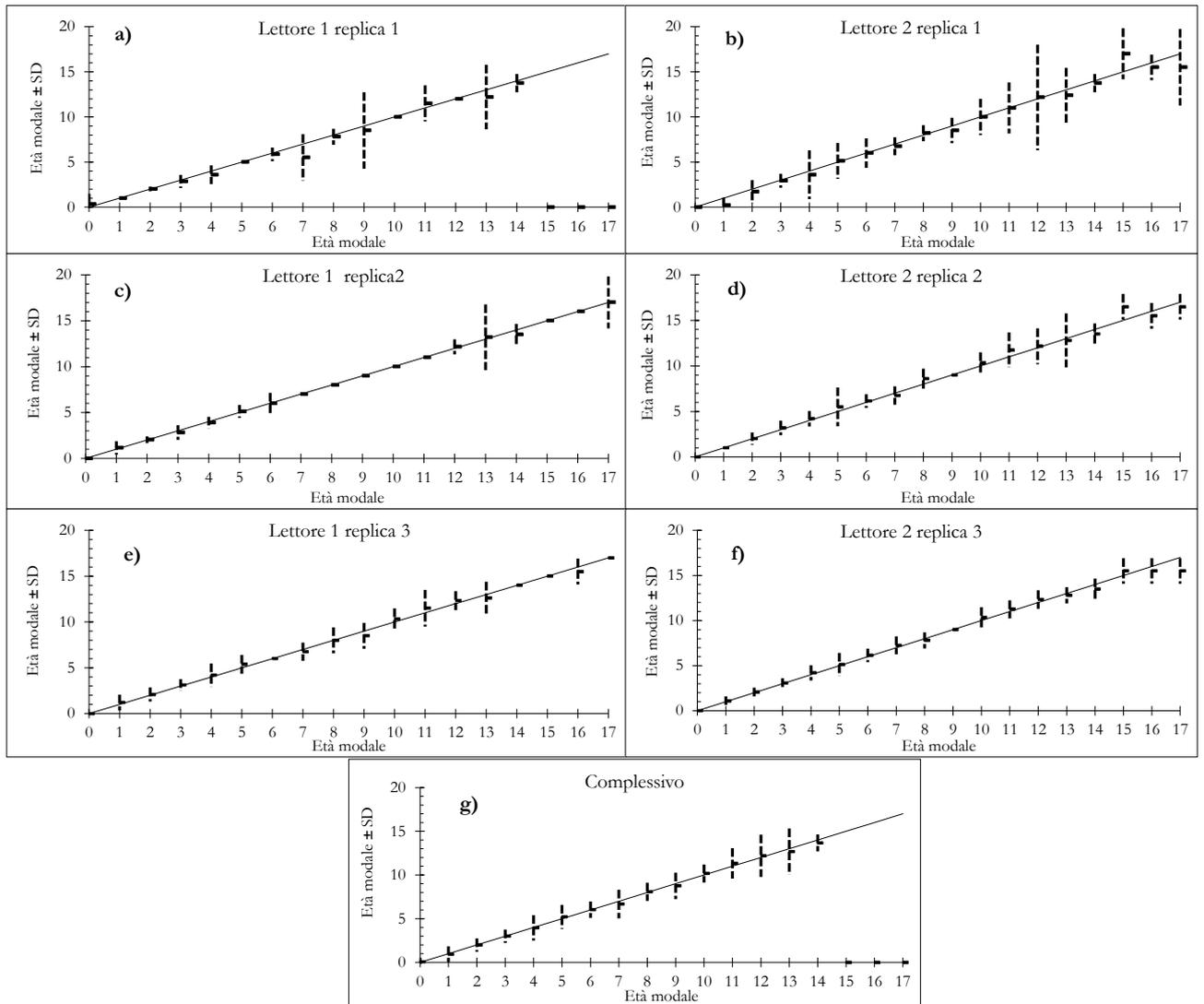


Fig. 5.3.8 Age-bias plot, l'età modale è messa a confronto con l'età modale ± 2 deviazione standard per ogni singola replica dei due lettori (lettore 1 grafici a, c, e; lettore 2 grafici b, d, f). Il grafico g riporta la media complessiva di ogni singola replica.

Nella figura 5.3.8 è riportato l'age-bias plot di ogni singola replica effettuata dai due operatori. Si può notare come i primi due grafici (Fig. 5.3.8 a, b), che rappresentano la prima replica effettuata dai due lettori, mostrino un grado di variabilità decisamente maggiore rispetto a quanto riscontrato nelle ripetizioni successive. Questo è probabilmente dovuto alla necessità dei due operatori di abituarsi meglio alla lettura degli anelli di accrescimento nei centri vertebrali di *R. brachyura*. Per questo motivo è stato scelto di effettuare un totale di sei repliche.

Le successive ripetizioni (Fig. 5.3.8 c, e; Fig. 5.3.8. d, f); rispettivamente per il lettore 1 e 2) hanno mostrato un grado di variabilità estremamente più preciso. Ciò ha permesso di ottenere una variabilità complessiva delle sei repliche piuttosto bassa (Fig. 5.3.8 g).

Si può inoltre notare dai grafici come la variabilità maggiore sia sempre stata riscontrata nella stima dell'età degli individui più grandi, ossia delle classi di età superiori ai 10 anni.

Il bias test, condotto per accertare che il metodo di lavoro non sia stato influenzato dalla soggettività, ha dato esito negativo ($z = - 0.226$).

5.3.1.5 Analisi dell'età e dell'accrescimento.

I valori di età-lunghezza ottenuti sono stati utilizzati per il calcolo delle curve di accrescimento. Prima di procedere però è stata svolta l'analisi della covarianza (ANCOVA) dei parametri di lunghezza ed età tra i due sessi. I risultati ottenuti (Tab. 5.3.1) hanno mostrato differenze statisticamente significative tra la lunghezza totale (LT) e l'età stimata tra i due sessi ($P < 0.0001$, con intervallo di confidenza del 95%).

Tab. 5.3.1 Analisi della covarianza tra i parametri di lunghezza ed età tra i due sessi

Fonte	GDL	Somma dei quadrati	Media dei quadrati	F	Pr > F
Modello	2	1442.605	721.302	1005.185	< 0.0001
Errore	135	96.874	0.718		
Totale corretto	137	1539.478			

L'accrescimento di *R. brachyura* è stato analizzato attraverso l'utilizzo di quattro modelli, l'equazione classica di von Bertalanffy (VBGF), l'equazione esponenziale ed le due curve di tipo sigmoide: la logistica e quella di Gompertz. I parametri di accrescimento ottenuti per sessi combinati e per maschi e femmine separatamente, sono mostrati nella tabella 5.3.2. La curva di accrescimento di von Bertalanffy (VBGF) ha presentato sempre i valori più bassi dell' Akaike's Information Criterion (*AIC*) (Tab. 5.3.2) dimostrando di essere il modello, tra i quattro utilizzati, che meglio si adatta alle letture dell'età compiute.

Le curve di accrescimento di von Bertalanffy sono graficamente riportate per sessi combinati (Fig. 5.3.9) e per femmine e maschi separatamente (Fig. 5.3.10. e Fig. 5.3.11 rispettivamente).

Tab. 5.3.2. Parametri di accrescimento di *R. brachyura* ottenuti, secondo i diversi modelli, per maschi, femmine e sessi combinati. L_{∞} = lunghezza massima teorica; k = tasso di accrescimento; t_0 = dimensioni teoriche all'età 0; Min size= taglia minima osservata; Inflection point= punto di flesso e AIC = Akaike's Information Criterion. I modelli che hanno mostrato un migliore fitting alle osservazioni sono riportati in grassetto.

		$L_{\infty} \pm$ S.E.	$k \pm$ S.E.	$t_0 \pm$ S.E.	Min size	Inflection point (anni) \pm S.E.	AIC
	VBGF	1113.4 \pm 7.45	0.10 \pm 0.014	-1.19 \pm 0.23	-	-	452.99
Combined sexes	Exponential	1113.4 \pm 7.45	0.10 \pm 0.014	-	12.1	-	457.86
	Gompertz	1129.6 \pm 0.94	0.13 \pm 0.06	-	-	3.67 \pm 0.98	1047.85
	Logistic	1071.1 \pm 1.11	0.219 \pm 0.03	-	-	5.66 \pm 0.011	1047.63
	VBGF	1111.4 \pm 10.5	0.10 \pm 0.02	-1.3 \pm 0.37	-	-	183.16
Females	Exponential	1111.4 \pm 10.5	0.10 \pm 0.02	-	13.1	-	188.95
	Gompertz	1144.5 \pm 2.22	0.13 \pm 0.08	-	-	4.01 \pm 0.98	397.91
	Logistic	1073.0 \pm 1.64	0.21 \pm 0.004	-	-	6.02 \pm 0.02	393.90
	VBGF	1088.1 \pm 10.4	0.11 \pm 0.021	-1.2 \pm 0.31	-	-	270.77
Males	Exponential	1088.1 \pm 10.4	0.11 \pm 0.021	-	12.1	-	278.38
	Gompertz	1060.9 \pm 1.08	0.15 \pm 0.09	-	-	3.20 \pm 1.1	594.27
	Logistic	1041.4 \pm 1.49	0.22 \pm 0.005	-	-	5.57 \pm 0.16	593.48

Le curve ottenute attraverso il modello esponenziale (Fig 5.3.12; 5.3.13; 5.3.14) sono risultate essere le seconde in termini di fitting alle osservazioni effettuate (Tab. 5.3.2). I modelli di accrescimento di tipo sigmode ossia quello di Gompertz e quello logistico (Fig. 5.3.15; 5.3.16; 5.3.17 e Fig. 5.3.18; 5.3.19; 5.3.20) hanno invece ottenuto valori di AIC decisamente superiori (Tab. 5.3.2), dimostrando di essere meno adatti alla descrizione dell'accrescimento di *R. brachyura* rispetto a quelli di tipo classico. E' interessante notare però come questi abbiano sempre attribuito un punto di flesso (Tab. 5.3.2) ad un'età nettamente inferiore nelle curve maschili rispetto a quanto riscontrato in quelle femminili. Questo fatto sta a significare che i maschi di questa specie presentano un periodo di accrescimento rapido decisamente più breve di quello delle femmine, in conseguenza del raggiungimento della maturità sessuale ad un'età inferiore.

Nella Tabella 5.3.3 è riportata la lunghezza media per età calcolata per *R. brachyura*.

Tab. 5.3.3 Lunghezza media ad una data età di *R. brachyura*.

MEAN LENGTH AT AGE			
Età (anni)	LT (mm)	Età (anni)	LT (mm)
0	215.74	11	911.44
1	301.25	12	913.41
2	371.25	13	1017.24
3	423.47	14	1025.59
4	455.31	15	1031.00
5	539.20	16	1078.64
6	542.52	17	1102.23
7	710.56	18	-
8	757.76	19	-
9	774.94	20	-
10	869.92		

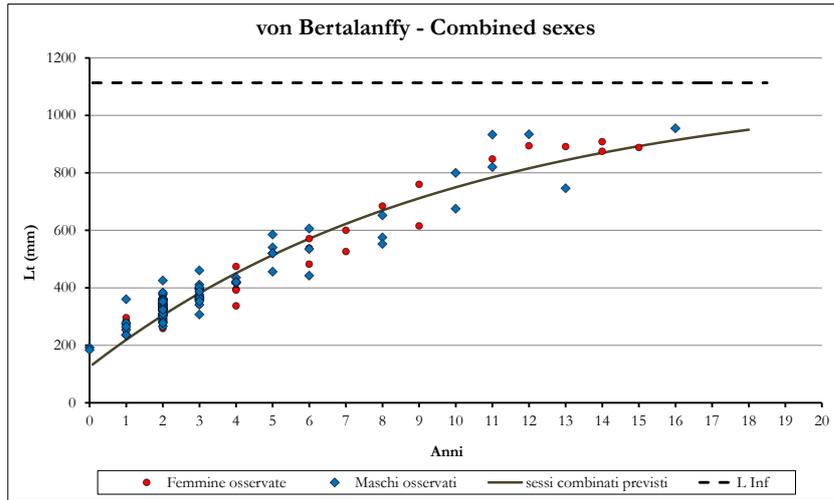


Fig. 5.3.9 Curva di accrescimento di von Bertalanffy di *R. brachyura* per sessi combinati

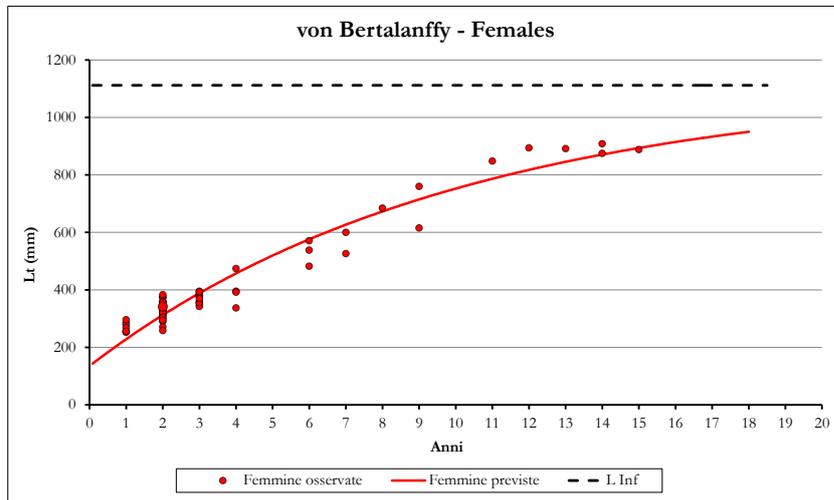


Fig. 5.3.10 Curva di accrescimento di von Bertalanffy delle femmine di *R. brachyura*

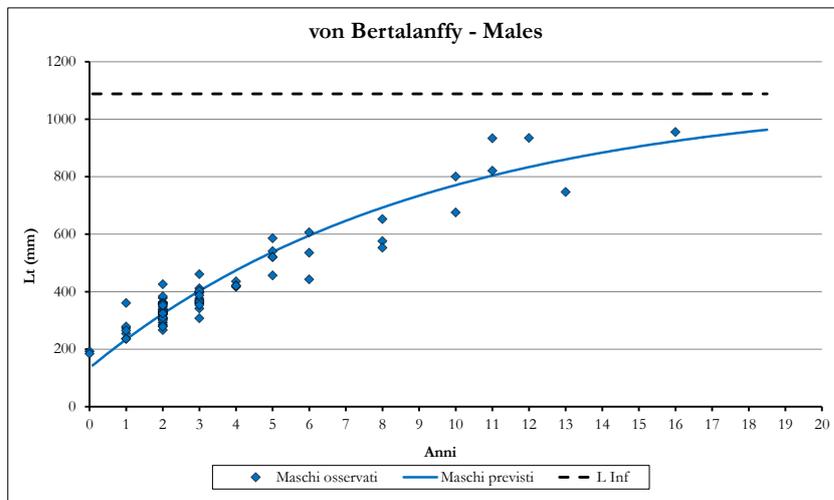


Fig. 5.3.11 Curva di accrescimento di von Bertalanffy dei maschi di *R. brachyura*

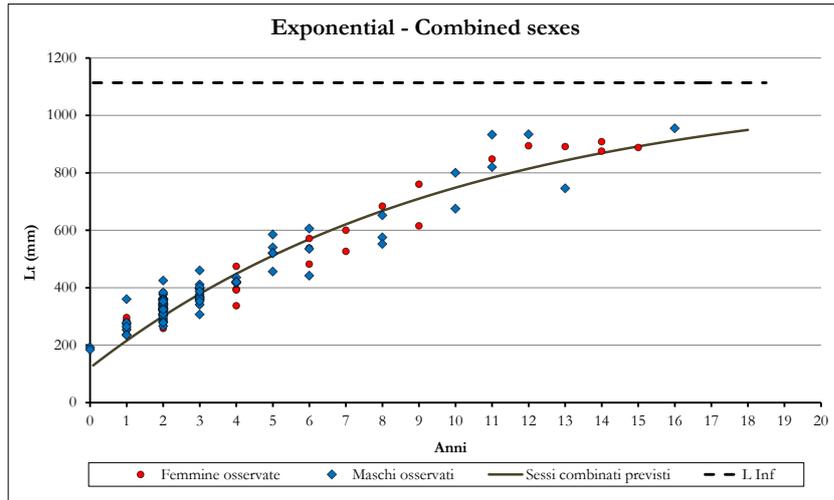


Fig. 5.3.12 Curva di accrescimento esponenziale di *R. brachyura* per sessi combinati

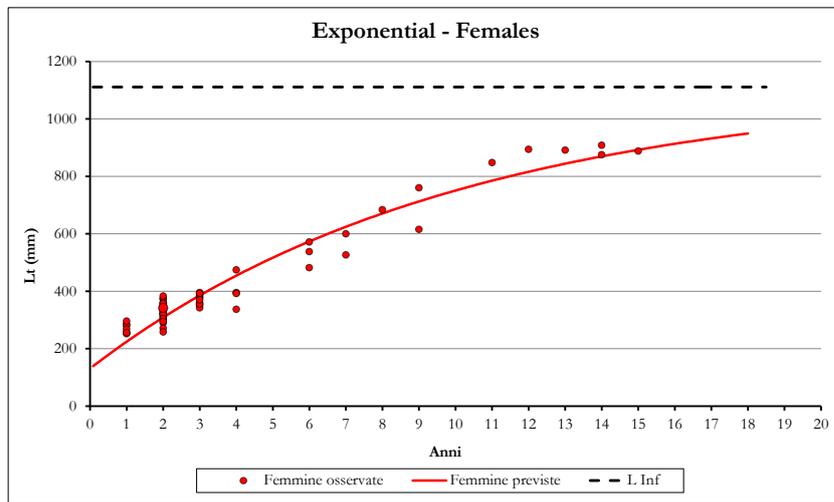


Fig. 5.3.13 Curva di accrescimento esponenziale delle femmine di *R. brachyura*

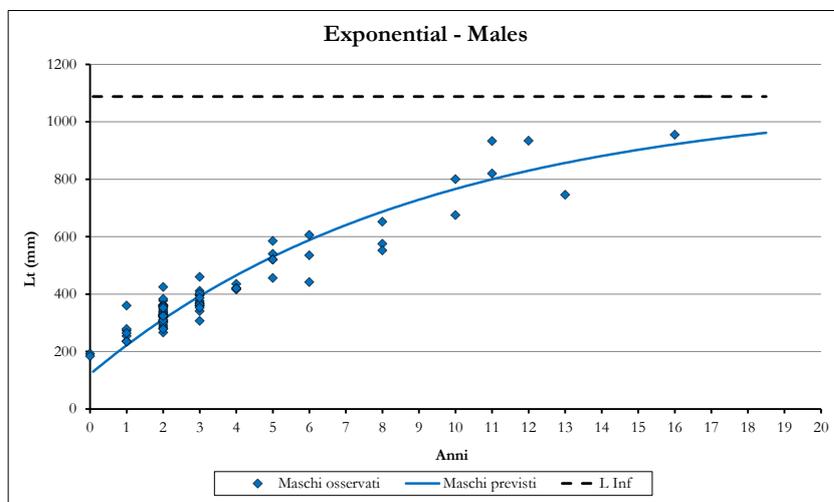


Fig. 5.3.14 Curva di accrescimento esponenziale dei maschi di *R. brachyura*

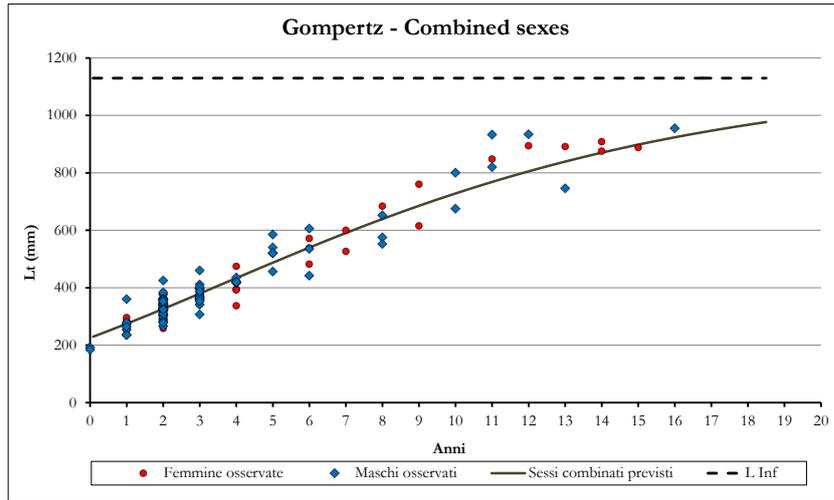


Fig. 5.3.15 Curva di accrescimento di Gompertz di *R. brachyura* per sessi combinati

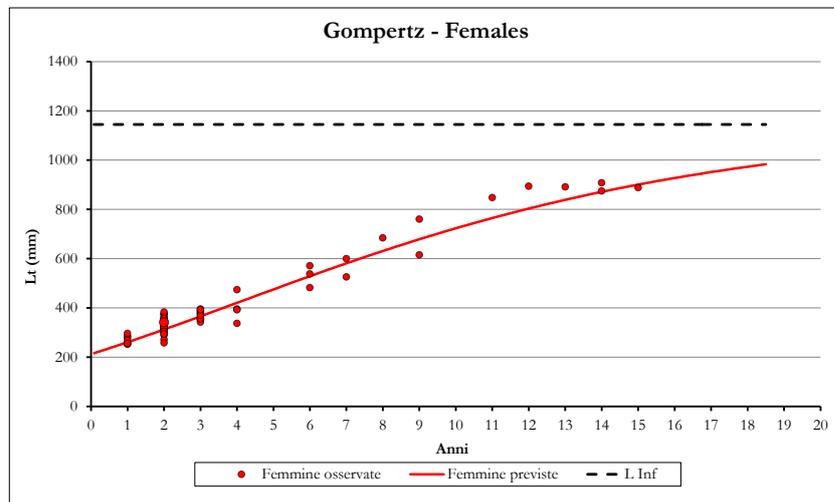


Fig. 5.3.16 Curva di accrescimento di Gompertz delle femmine di *R. brachyura*

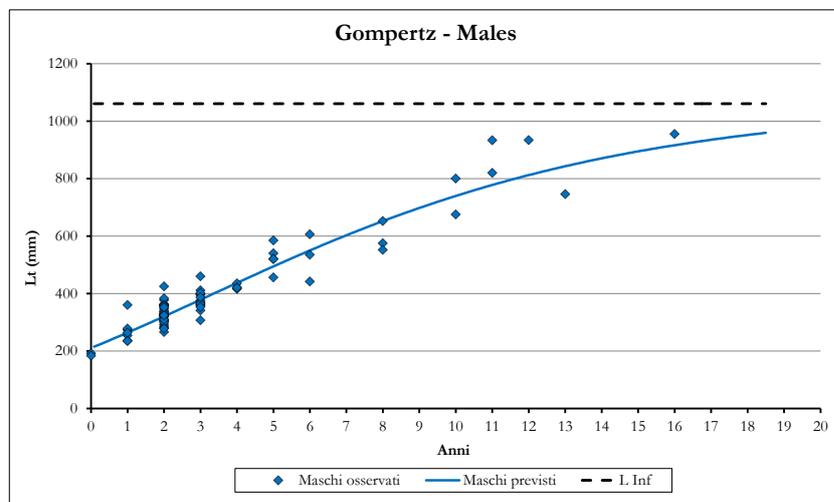


Fig. 5.3.17 Curva di accrescimento di Gompertz dei maschi di *R. brachyura*

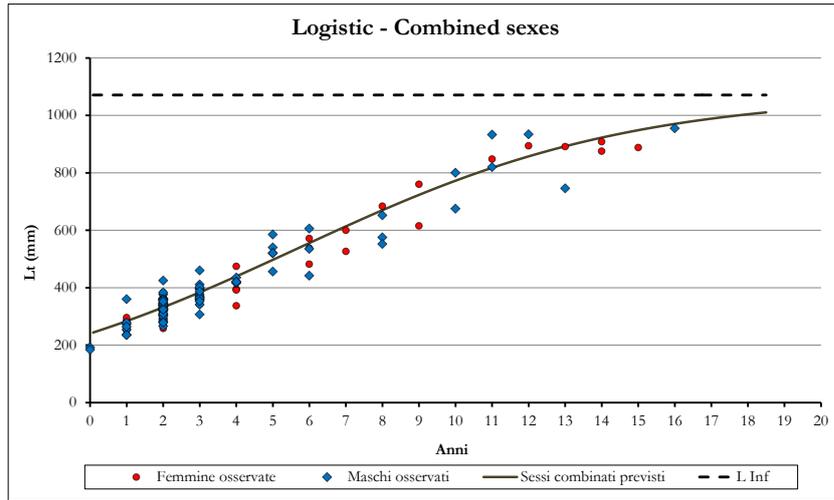


Fig. 5.3.18 Curva di accrescimento logistica di *R. brachyura* per sessi combinati

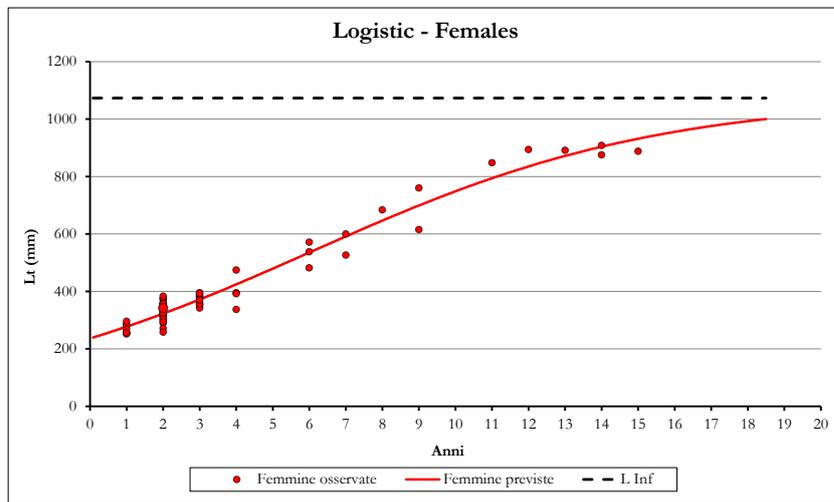


Fig. 5.3.19 Curva di accrescimento logistica delle femmine di *R. brachyura*

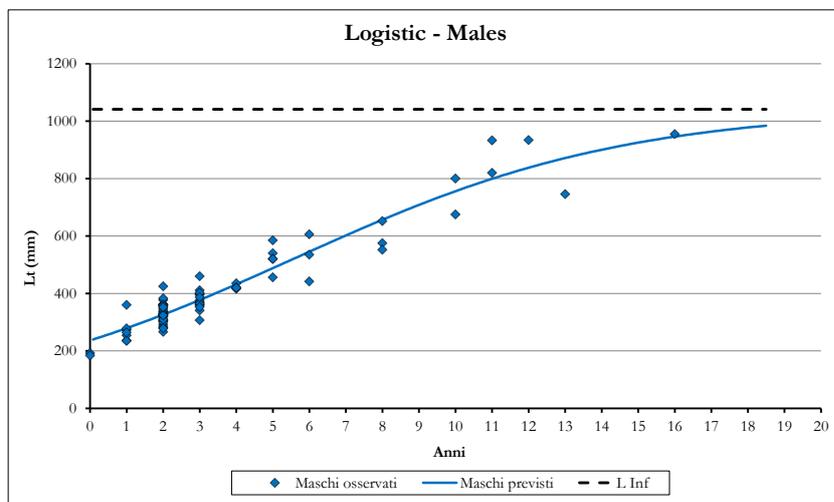


Fig. 5.3.20 Curva di accrescimento logistica dei maschi di *R. brachyura*

5.3.2 *Dipturus oxyrinchus*

5.3.2.1 Analisi del campione utilizzato.

L'analisi dell'età e dell'accrescimento di *D. oxyrinchus* è stata condotta su un campione composto da 130 individui, di cui 76 femmine e 54 maschi, catturati tra il 2012 ed il 2013. Le dimensioni minime e massime registrate sono state rispettivamente di 162 e 1156 mm per le femmine (LT), e 171 e 970 mm (LT) per i maschi. La classe di lunghezza modale del campione totale è rappresentata dagli individui di medie dimensioni (470 mm in LT).

Questo particolare campionamento, sbilanciato a favore degli esemplari femminili, è dovuto al fatto che i maschi, oltre ad essere stati catturati in minor numero per effetto della sex ratio della popolazione naturale nettamente a favore delle femmine, non hanno mai riportato taglie superiori ai 1000 mm in lunghezza totale.

5.3.2.2 Analisi di correlazione tra dimensioni corporee e diametro dei centri vertebrali.

Come riportato in precedenza per *R. brachyura* anche per *D. oxyrinchus* per poter rivelare il tipo di relazione presente tra la lunghezza totale degli individui (LT) e raggio dei centri vertebrali (RV) è stata svolta un'analisi della regressione (Fig. 5.3.21). Maschi e femmine sono stati esaminati separatamente.

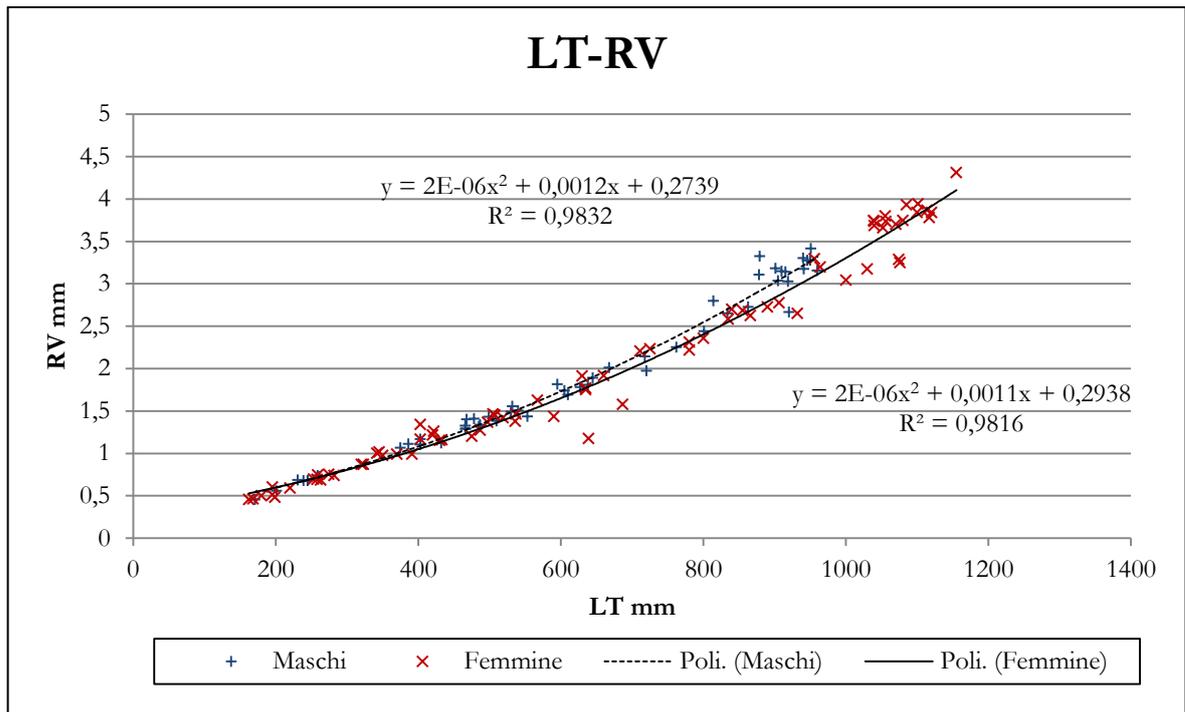


Fig. 5.3.21. Analisi della regressione tra raggio del centro vertebrale (RV) e lunghezza totale (LT) degli esemplari di sesso maschile e femminile di *D. oxyrinchus*.

A differenza di quanto osservato in *R. brachyura* i risultati ottenuti mostrano come queste due misure morfometriche in *D. oxyrinchus* non siano correlate tra di esse in maniera lineare bensì tramite una relazione di tipo polinomiale. Le equazioni di regressione calcolate per le femmine ($a=2E-06$; $b= 0.0011$; $c= 0.2938$; $R^2= 0.9816$) e per i maschi ($a=2E-06$; $b= 0.0012$; $c= 0.2739$; $R^2= 0.9832$) (Fig. 5.3.22), hanno mostrato di essere significativamente differenti tra i due sessi (ANOVA, F -ratio= 1256.44; $P < 0.05$; $R^2=0.967$).

5.3.2.3 Trattamenti di colorazione dei centri vertebrali.

Un subcampione di 10 individui (5 maschi e 5 femmine) di taglie differenti è stato selezionato in maniera random per verificare quale metodica di colorazione tra quelle maggiormente usate in bibliografia permettesse una migliore visibilità delle bande di accrescimento. Da ognuno di questi individui sono stati estratti quattro differenti centri vertebrali. Successivamente, come avvenuto per *R. brachyura* uno di questi è stato utilizzato come controllo e quindi non trattato (Fig. 5.3.22) e i rimanenti tre sono stati trattati rispettivamente con Rosso Alizarina (Fig. 5.3.23), Nitrato d'Argento (Fig.5.3.24) ed EDTA (Fig. 5.3.25).

Come nella specie analizzata in precedenza nessuno di questi ultimi tre trattamenti ha però migliorato in maniera apprezzabile la visibilità delle bande di accrescimento. Anche in questo caso la decalcificazione in EDTA ha reso maggiormente complicata la distinzione di anelli traslucidi e opachi.

Visti i risultati ottenuti è stato ritenuto opportuno condurre le successive analisi per la stima dell'età di *D. oxyrinchus* attraverso l'osservazione dei centri vertebrali non trattati.

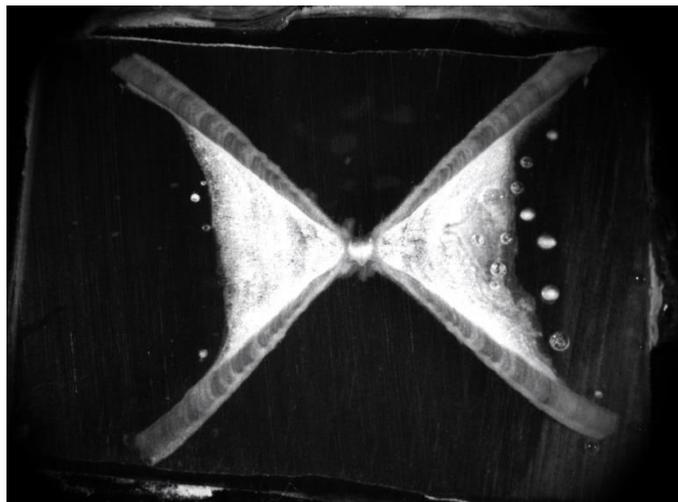


Fig. 5.3.22 Sezione di un centro vertebrale di *D. oxyrinchus* non trattata (unstained)

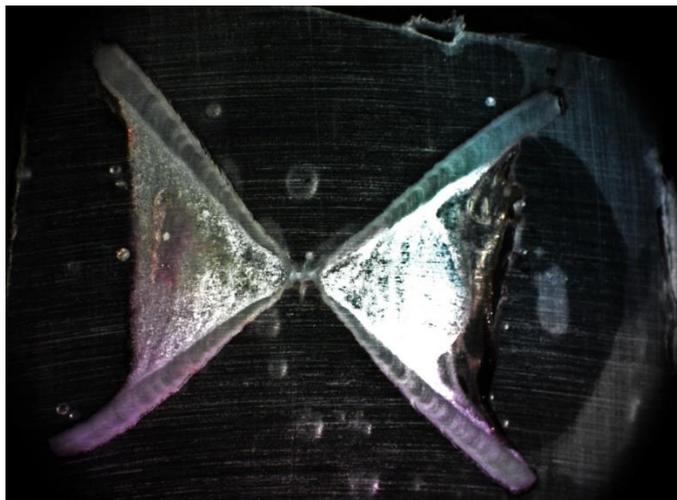


Fig. 5.3.23 Sezione di un centro vertebrale di *D. oxyrinchus* colorata in Rosso Alizarina



Fig. 5.3.24 Sezione di un centro vertebrale di *D. oxyrinchus* impregnata in Nitrato d'Argento



Fig. 5.3.25 Sezione di un centro vertebrale di *D. oxyrinchus* decalcificata in EDTA

5.3.2.4 Precisione e riproducibilità delle letture.

Come nell'analisi effettuata su *R. brachyura* gli anelli di accrescimento osservati nei centri vertebrali di *D. oxyrinchus* si sono dimostrati relativamente visibili (Fig. 5.3.26) anche se in questa specie è stata riscontrata una presenza maggiore di falsi anelli o di *annuli* formati da più bande fortemente ravvicinate. Il Birthmark (BM) anche in questo caso è risultato essere sempre identificabile con facilità e associato di solito ad una netta variazione di angolo nel *Corpus Calcareum* (Fig. 5.3.26). Dei 130 centri vertebrali esaminati, dopo tre letture effettuate da ognuno dei due lettori, non è stato possibile per gli esaminatori raggiungere un accordo oggettivo per 20 di essi (il 15.3%) che sono stati quindi scartati. Dei rimanenti 110 campioni 44 sono risultati maschi, di lunghezza totale compresa tra 161 e 960 mm ed età stimata tra 0 e 15 anni e 66 femmine di taglie incluse tra 162 e 1155 mm (LT) ed età tra 1 e 17 anni.

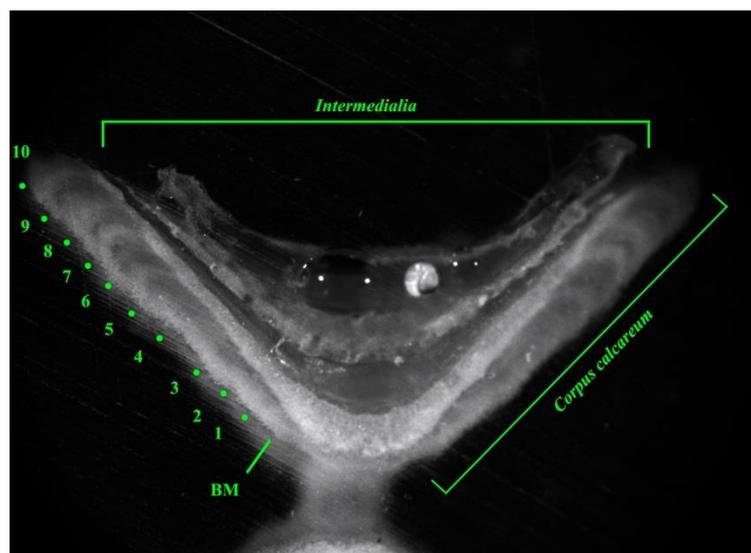


Fig. 5.3.26. Sezione vertebrale appartenente ad un esemplare maschio di *D. oxyrinchus* di 10 anni di età (LT= 838 mm) (BM, birthmark).

Le letture effettuate sull'intero campione hanno mostrato un alto grado di precisione e in generale una buona riproducibilità come indicato dai bassi valori complessivi dell'Index of Average Percent Error e del Coefficiente di variazione, e dall'alta percentuale di accordo tra i due lettori (IAPE= 6.56%; %CV=8.9; PA= 77.7%).

Il grafico riportato in Figura 5.3.27, mostra l'andamento dei valori di %CV, PA e la deviazione standard per ogni singola classe di età. Anche in questo caso il valore di %CV risulta essere fortemente influenzato dagli errori compiuti nell'interpretazione degli anelli

vertebrali di individui giovani (si veda l'alto valore del coefficiente di variazione per l'età modale 1). Dai due anni in poi il valore tende infatti a diminuire in maniera netta, stabilizzandosi su cifre inferiori al 10% dopo i 7 anni. Le età superiori, di 16 e 17 anni, non sono state riportate nel grafico poiché, pur essendo state stimate, sono riferite a letture effettuate su un numero troppo esiguo di campioni.

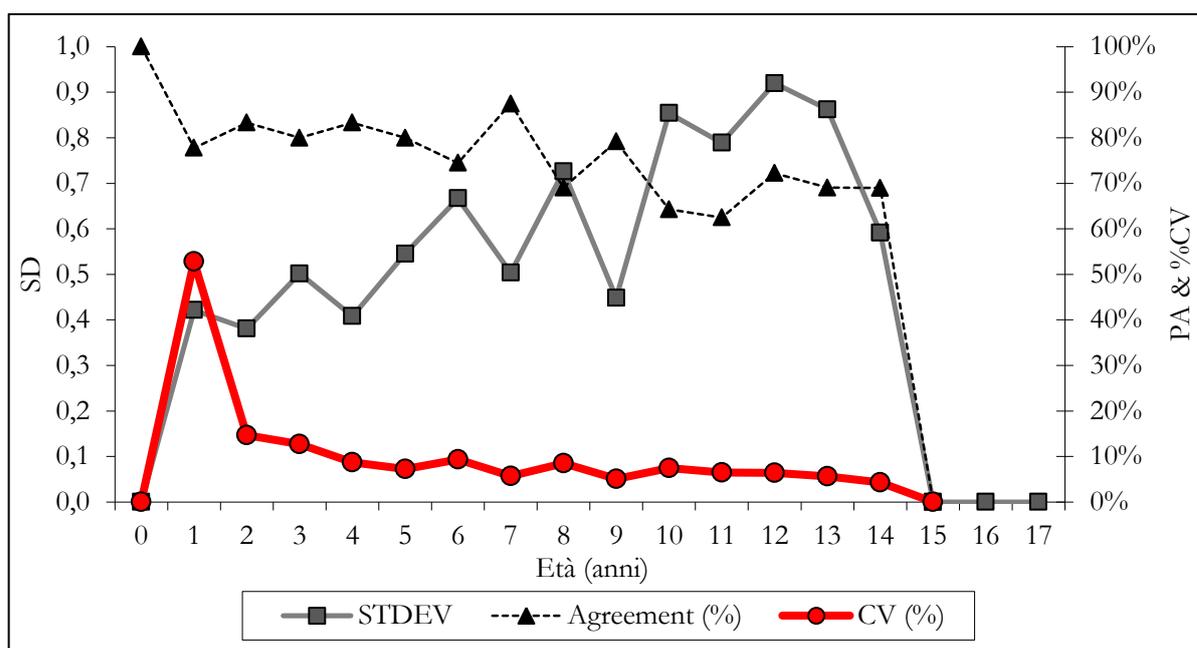


Fig. 5.3.27 Deviazione standard (SD), Percentuale di accordo (PA) e Coefficiente di variazione (%CV) in relazione all'età modale.

L' agreement tra i lettori (Fig. 5.3.27), al contrario, è risultato essere molto alto nella fascia di età 0 (100%), e piuttosto stabile (tra 90% e 80%) fino all' età di 7 anni, il suo valore però si è mostrato inevitabilmente in calo nella stima dell' età degli esemplari di età compresa dagli 8 ai 17 anni. Questo particolare andamento è da imputare principalmente alle maggiori difficoltà presentate dalla stima dell'età degli individui più vecchi, dovuta alla formazione di anelli vertebrali molto ravvicinati, parzialmente sovrapposti.

Come nel caso riportato in precedenza la bassa percentuale di accordo unita a valori minimi del coefficiente di variazione, indicano che pur non avendo sempre seguito la stessa linea di pensiero, i lettori sono stati precisi ognuno nelle proprie letture, lasciando

invariato il proprio criterio nel corso del tempo. Questo fatto è sintomo di un'analisi oggettiva e priva di pregiudizi o bias da parte degli operatori.

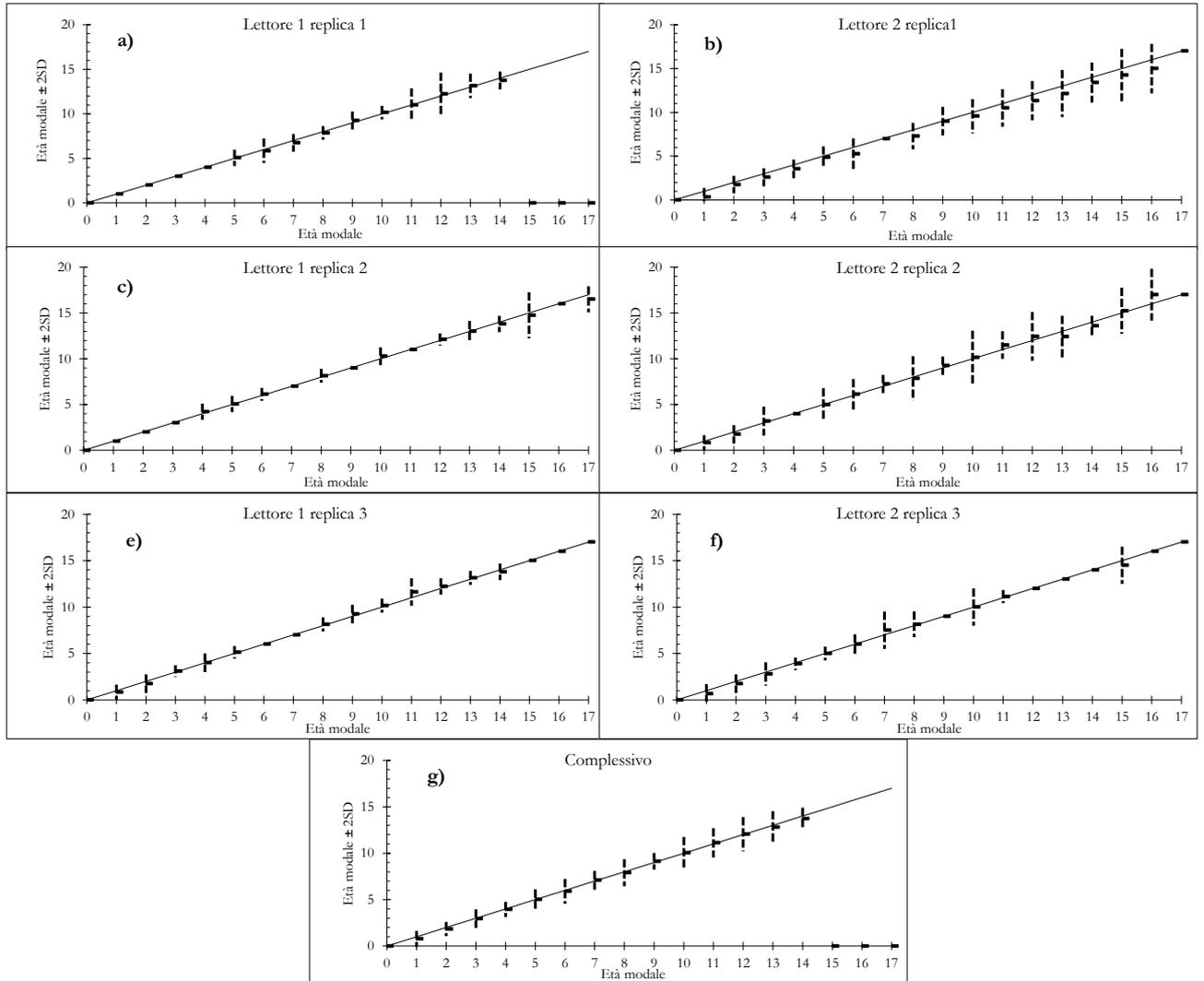


Fig. 5.3.28 Age-bias plot, l'età modale è messa a confronto con l'età modale ± 2 deviazione standard per ogni singola replica dei due lettori (lettore 1 grafici a, c, e; lettore 2 grafici b, d, f). Il grafico g riporta la media complessiva di ogni singola replica.

Nella figura 5.3.28 è riportato l'age-bias plot di ogni singola replica effettuata da i due operatori. Si può notare come, anche per le letture dei centri vertebrali di *D. oxyrinchus*, i primi due grafici (Fig. 5.3.28 a, b), che rappresentano la prima replica effettuata dai due lettori, mostrino un grado di variabilità decisamente maggiore rispetto a quanto riscontrato nelle ripetizioni successive. Come già osservato nell'analisi di *R. brachyura* questo fatto è probabilmente dovuto alla necessità dei due operatori di calibrare

meglio la conta degli *annuli*. Per questo motivo anche in questo caso è stato scelto di effettuare tre ripetizioni.

Le successive repliche (Fig. 5.3.28c, e; Fig. 5.3.28 d, f; rispettivamente per il lettore 1 e 2) hanno mostrato infatti un grado di variabilità decisamente inferiore. Ciò ha permesso di ottenere una variabilità complessiva delle sei repliche piuttosto bassa (Fig. 5.3.28 g).

Si può inoltre notare dai grafici come la variabilità maggiore sia sempre stata riscontrata nella stima dell'età degli individui più grandi, ossia delle classi di età superiori agli 8 anni.

Anche in questo caso, per accertare che il metodo di lavoro degli operatori non sia stato influenzato dalla soggettività, è stato effettuato il bias test che ha dato esito negativo ($z = -0.847$).

5.3.2.5 Analisi dell'età e dell'accrescimento.

I valori di età-lunghezza ottenuti per *D. oxyrinchus* sono stati utilizzati per il calcolo delle curve di accrescimento. Anche in questo caso però prima di procedere al fitting delle curve è stata svolta l'analisi della covarianza (ANCOVA) dei parametri di lunghezza ed età tra i due sessi. I risultati ottenuti (Tab. 5.3.4) hanno mostrato differenze statisticamente significative tra la lunghezza totale (LT) e l'età stimata tra i due generi ($P < 0.0001$, con intervallo di confidenza del 95%).

Tab. 5.3.4 Analisi della covarianza tra i parametri di lunghezza ed età tra i due sessi

Fonte	GDL	Somma dei quadrati	Media dei quadrati	F	Pr > F
Modello	2	83881.370	41940.685	654.784	< 0.0001
Errore	106	6789.591	64.053		
Totale corretto	108	90670.960			

Come per *R. brachyura* anche l'accrescimento di *D. oxyrinchus* è stato studiato applicando quattro differenti modelli: l'equazione classica di von Bertalanffy (VBGF), l'equazione esponenziale ed le due curve di tipo sigmoide: la logistica e quella di Gompertz. I parametri di accrescimento ottenuti per sessi combinati e per maschi e femmine separatamente, sono mostrati nella tabella 5.3.5. Contrariamente a quanto osservato in *R. brachyura* i modelli di accrescimento che, in base all' Akaike's Information Criterion (*AIC*), si sono dimostrati essere i più fedeli alle osservazioni effettuate su *D. oxyrinchus* sono risultati essere quelli basati sulle curve di tipo sigmoide. In modo particolare il modello di Gompertz ha riportato i valori di *AIC* più bassi sia per l'analisi dei sessi combinati sia per femmine e maschi separatamente (Tab. 5.3.5; Fig. 5.3.35, 5.3.36 e 5.3.37), dimostrando così di essere il modello, tra i quattro utilizzati, che meglio si adatta alle letture dell'età compiute. Le curve di accrescimento di Gompertz sono graficamente riportate per sessi combinati (Fig. 5.3.35) e per femmine e maschi separatamente (Fig. 5.3.36 e Fig. 5.3.37 rispettivamente). Al contrario di quanto riscontrato per *R. brachyura* i valori di L_{∞} e k , insieme agli altri parametri, sono risultati essere nettamente differenti (ANCOVA) tra femmine e maschi, non solo in base al modello di Gompertz

(rispettivamente $L_{\infty}=1369.4$ mm, $k=0.14$ e Inflection Point = 4.58 anni e $L_{\infty}=1141.4$ mm, $k=0.16$ e Inflection Point = 3.09) ma anche secondo tutti gli altri modelli utilizzati (Tab. 5.3.5).

Tab. 5.3.5 Parametri di accrescimento di *D. oxyrinchus* ottenuti, secondo i diversi modelli, per maschi, femmine e sessi combinati. L_{∞} = lunghezza massima teorica; k = tasso di accrescimento; t_0 = dimensioni teoriche all'età 0; Min size= taglia minima osservata; Inflection point= punto di flesso e AIC = Akaike's Information Criterion. I modelli che hanno mostrato un migliore fitting alle osservazioni sono riportati in grassetto.

		$L_{\infty} \pm$ S.E.	$k \pm$ S.E.	$t_0 \pm$ S.E.	Min size	Inflection point (anni) \pm S.E.	AIC
Combined sexes	VBGF	1444.5 \pm 115	0.08 \pm 0.01	-1.09 \pm 0.23	-	-	942.45
	Exponential	1444.5 \pm 115	0.08 \pm 0.01	-	104	-	945.65
	Gompertz	1275.5 \pm 49	0.14 \pm 0.09	-	-	3.97 \pm 0.9	926.472
	Logistic	1174.1 \pm 55	0.24 \pm 0.002	-	-	5.56 \pm 0.05	928.339
Females	VBGF	1492.0 \pm 157	0.08 \pm 0.01	-0.8 \pm 0.28	-	-	564.46
	Exponential	1492.0 \pm 157	0.08 \pm 0.01	-	104	-	566.24
	Gompertz	1369.4 \pm 67	0.14 \pm 0.09	-	-	4.58 \pm 1.0	521.273
	Logistic	1200.5 \pm 69	0.24 \pm 0.002	-	-	6.03 \pm 0.06	521.612
Males	VBGF	1189 \pm 108	0.11 \pm 0.02	-1.08 \pm 0.32	-	-	316.67
	Exponential	1189 \pm 108	0.11 \pm 0.02	-	106	-	316.17
	Gompertz	1141.4 \pm 73	0.16 \pm 0.07	-	-	3.09 \pm 1.1	307.165
	Logistic	1013.9 \pm 68	0.28 \pm 0.005	-	-	4.33 \pm 0.06	307.37

Le curve derivate del modello logistico, anch'esse di tipo sigmoide, (Fig. 5.3.38; 5.3.39; 5.3.40) sono risultate essere le seconde in termini di fitting alle osservazioni effettuate (Tab. 5.3.5). Come già osservato nella specie analizzata in precedenza l'equazione di Gompertz e quella logistica hanno attribuito sempre un punto di flesso (Inflection Point) (Tab. 5.3.5) ad un'età nettamente inferiore nelle curve maschili rispetto a quanto riscontrato in quelle femminili. Anche in questo caso ciò significa che i maschi di questa specie presentano un periodo di accrescimento rapido decisamente più breve di quello delle femmine.

I modelli di accrescimento più classici come quello di von Bertalanffy e quello esponenziale (Fig. 5.3.29; 5.3.30; 5.3.31 e Fig. 5.3.32; 5.3.33; 5.3.34) hanno invece ottenuto valori di AIC decisamente superiori (Tab. 5.3.5), dimostrando di essere meno adatti alla descrizione dell'accrescimento di questa specie.

Nella Tabella 5.3.6 è riportata la lunghezza media per età calcolata per *D. oxyrinchus*.

Tab. 5.3.6 Lunghezza media ad una data età di *D. oxyrinchus*.

MEAN LENGTH AT AGE			
Età (anni)	LT (mm)	Età (anni)	LT (mm)
0	215.74	11	911.44
1	301.25	12	913.41
2	371.25	13	1017.24
3	423.47	14	1025.59
4	455.31	15	1031.00
5	539.20	16	1078.64
6	592.52	17	1102.23
7	710.56	18	-
8	757.76	19	-
9	774.94	20	-
10	869.92		

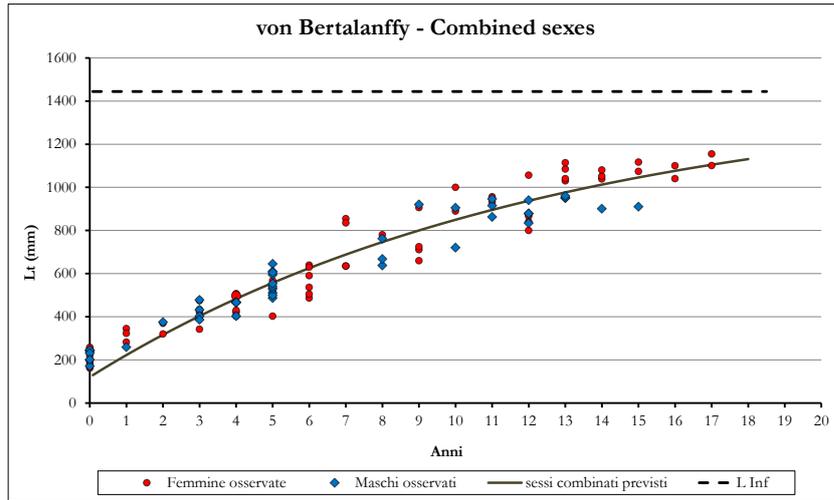


Fig. 5.3.29 Curva di accrescimento di von Bertalanffy di *D. oxyrinchus* per sessi combinati

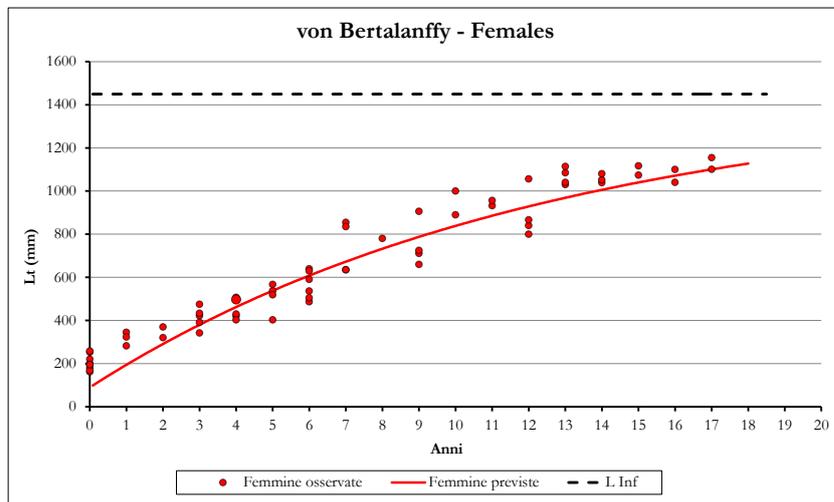


Fig. 5.3.30 Curva di accrescimento di von Bertalanffy delle femmine di *D. oxyrinchus*

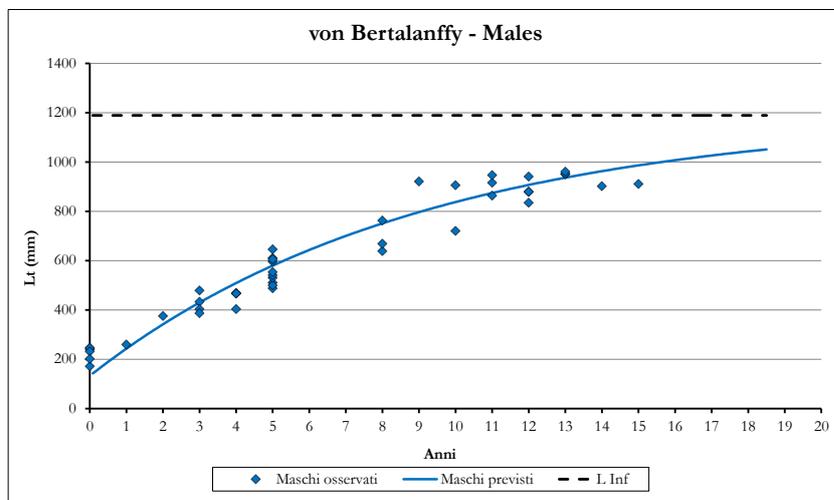


Fig. 5.3.31 Curva di accrescimento di von Bertalanffy dei maschi di *D. oxyrinchus*

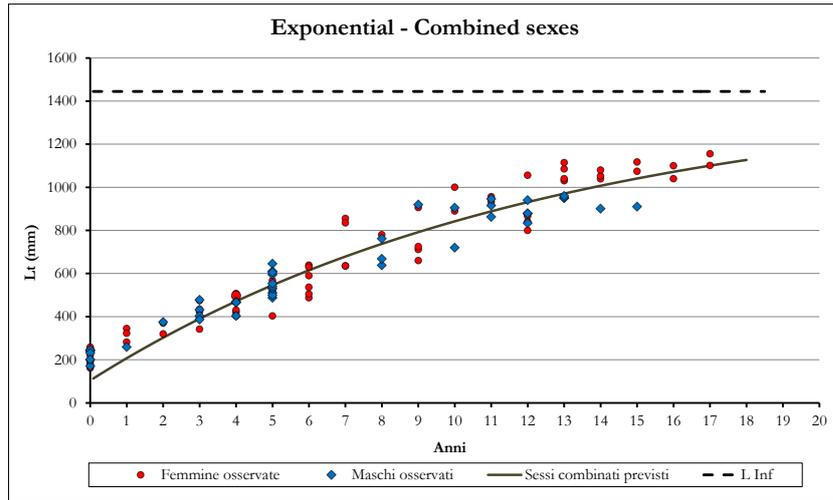


Fig. 5.3.32 Curva di accrescimento esponenziale di *D. oxyrinchus* per sessi combinati

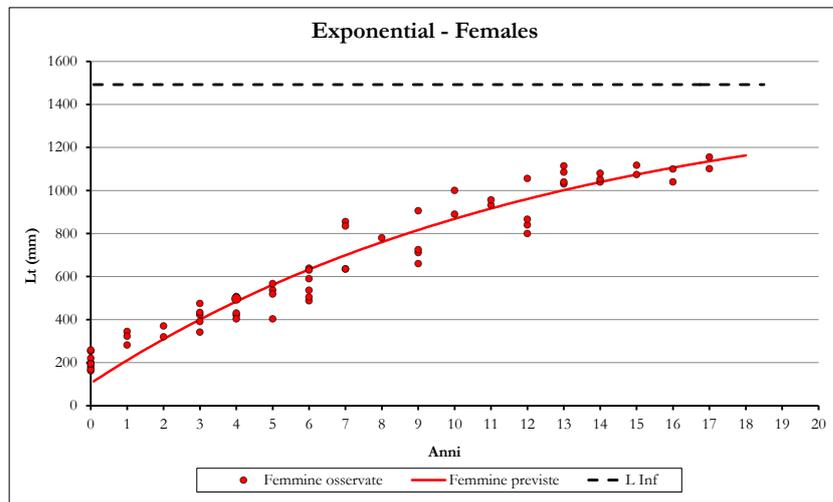


Fig. 5.3.33 Curva di accrescimento esponenziale delle femmine di *D. oxyrinchus*

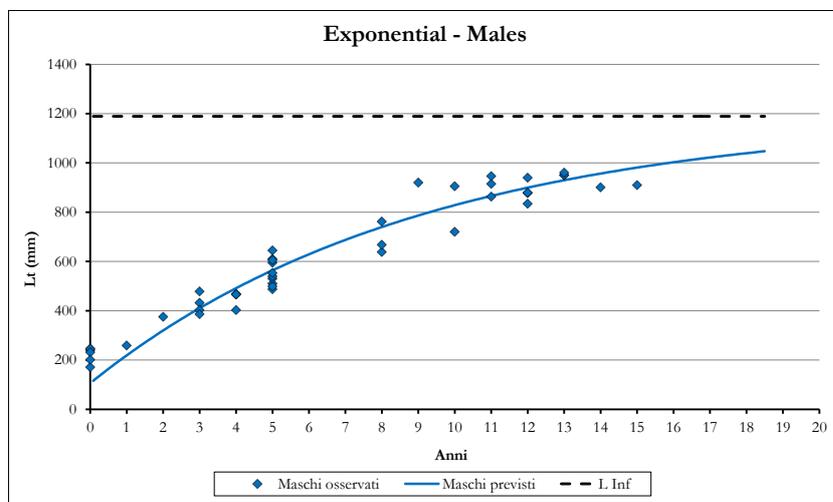


Fig. 5.3.34 Curva di accrescimento esponenziale dei maschi di *D. oxyrinchus*

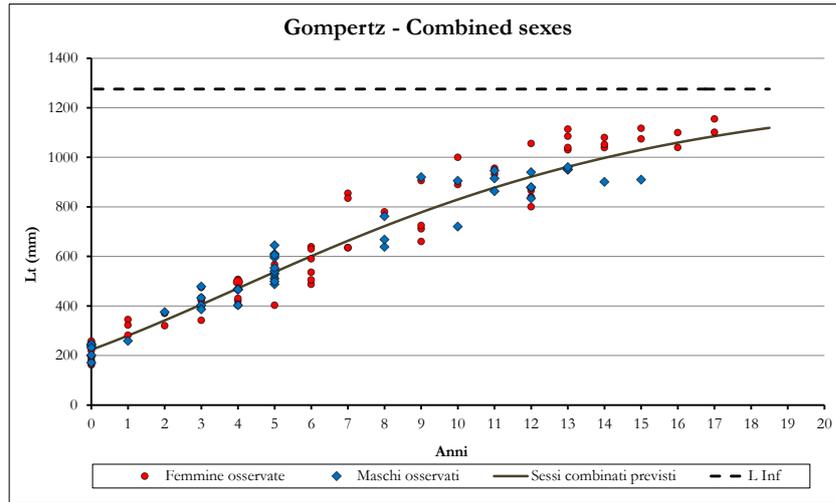


Fig. 5.3.35 Curva di accrescimento di Gompertz di *D. oxyrinchus* per sessi combinati

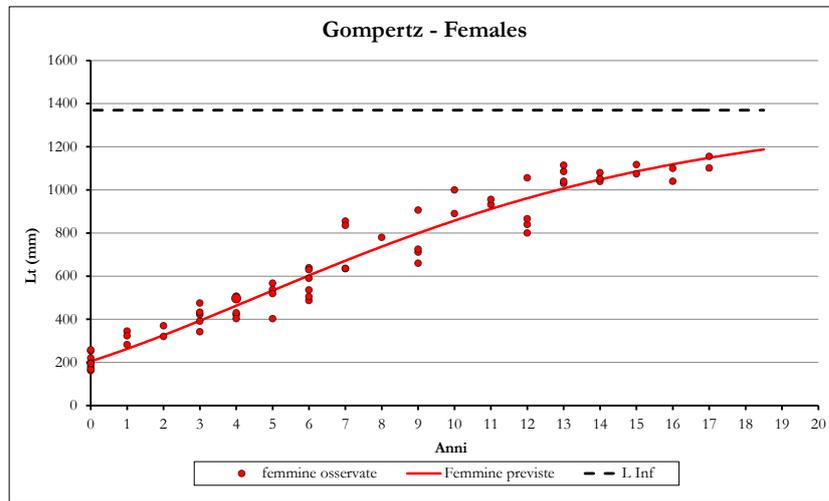


Fig. 5.3.36 Curva di accrescimento di Gompertz delle femmine di *D. oxyrinchus*

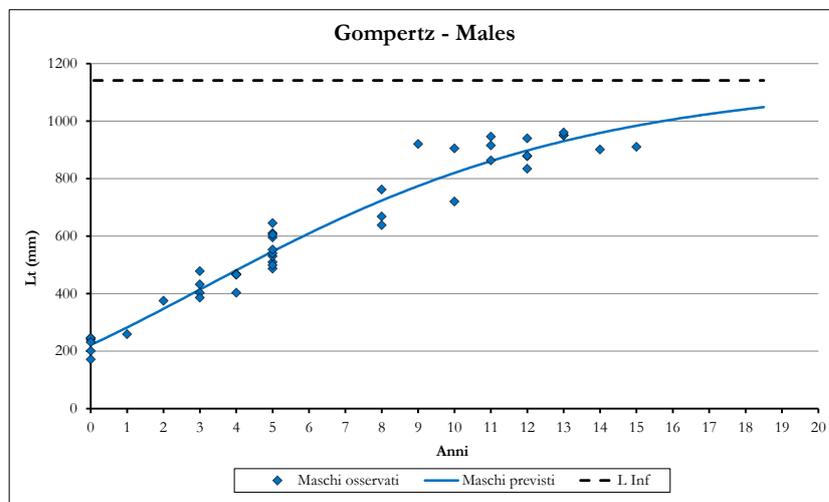


Fig. 5.3.37 Curva di accrescimento di Gompertz dei maschi di *D. oxyrinchus*

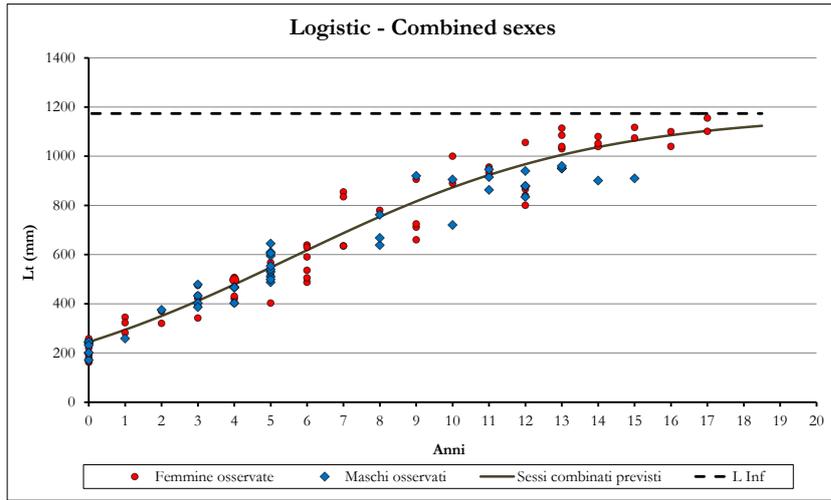


Fig. 5.3.38 Curva di accrescimento logistica di *D. oxyrinchus* per sessi combinati

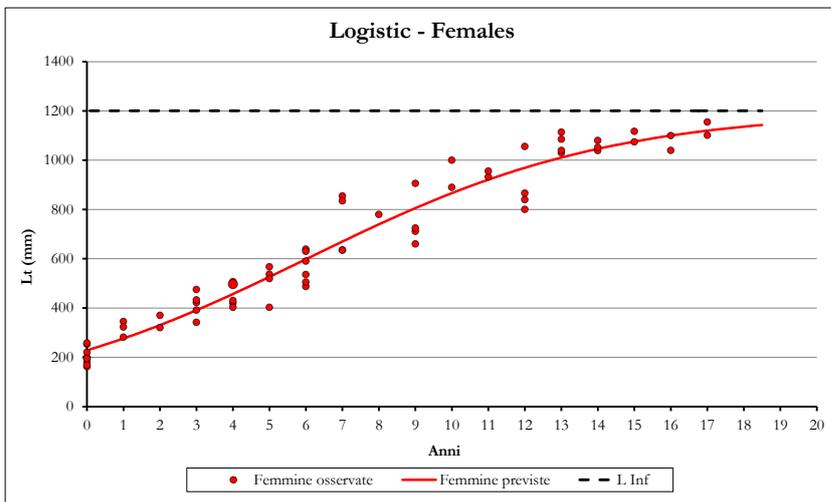


Fig. 5.3.39 Curva di accrescimento logistica delle femmine di *D. oxyrinchus*



Fig. 5.3.40 Curva di accrescimento logistica dei maschi di *D. oxyrinchus*

5.3.3 *Raja polystigma*

5.3.3.1 Analisi del campione utilizzato.

Un totale di 184 esemplari di *R. polystigma*, catturati tra il 2012 ed il 2013, sono stati utilizzati per l'analisi dell'età e dell'accrescimento. Di questi 97 sono risultati femmine, di dimensioni comprese tra 115 e 590 mm (LT) e 87 maschi con range di taglia compreso tra 118 e 521 mm (LT). La classe di lunghezza modale del campione totale è rappresentata dagli individui di medie dimensioni (470 mm in LT).

Per quanto riguarda *R. polystigma* il campionamento ha incluso un range di taglia decisamente più rappresentativo della popolazione in mare rispetto alle altre due specie analizzate. Questo è stato possibile in quanto la specie non raggiungendo delle grosse taglie viene completamente rappresentata nelle catture effettuate dagli attrezzi di pesca normalmente utilizzati dalla marinerie isolate (rete a strascico).

5.3.3.2 Analisi di correlazione tra dimensioni corporee e diametro dei centri vertebrali.

Come per gli altri due raidi esaminati in precedenza anche per *R. polystigma* è stata svolta l'analisi della regressione tra la lunghezza totale dell'individuo (LT) e il raggio dei centri vertebrali (RV) in modo da poter rivelare il tipo di relazione presente tra queste due particolari misure morfometriche (Fig. 5.3.41). Anche in questo caso maschi e femmine sono stati esaminati separatamente.

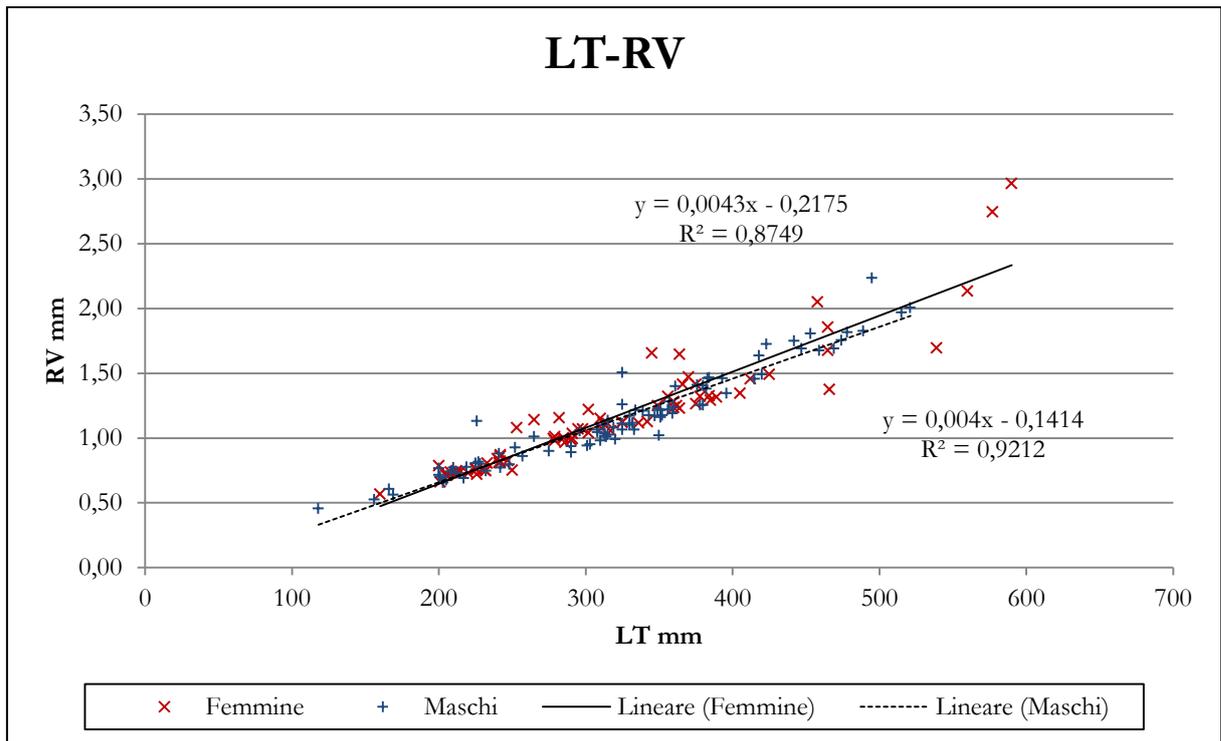


Fig. 5.3.41 Analisi della regressione tra raggio del centro vertebrale (RV) e lunghezza totale (LT) degli esemplari di sesso maschile e femminile di *R. polystigma*.

Come precedentemente osservato per *R. brachyura* anche per *R. polystigma* i risultati ottenuti mostrano come queste due misure morfometriche siano correlate tra di esse in maniera lineare in entrambi i sessi. Le rette di regressione calcolate per le femmine ($b = -0.2175$; $a = 0.0043$; $R^2 = 0.8749$) e per i maschi ($b = -0.1414$; $a = 0.0004$; $R^2 = 0.9212$) (Fig. 5.3.41), hanno mostrato di essere significativamente differenti tra i due sessi (ANOVA, F -ratio = 534.14; $P < 0.000$; $R^2 = 0.90$).

5.3.3.3 Trattamenti di colorazione dei centri vertebrali.

Anche nel caso di *R. polystigma*, per testare quale metodica di colorazione permettesse una migliore visibilità delle bande di accrescimento è stato selezionato un subcampione di 12 individui (6 maschi e 6 femmine) di taglie differenti. Per ognuno di questi esemplari sono stati utilizzati quattro differenti centri vertebrali. Come già illustrato in precedenza uno di questi è stato utilizzato come controllo non trattato (Fig. 5.3.42) e i rimanenti tre sono stati trattati rispettivamente con Rosso Alizarina (Fig. 5.3.43), Nitrato d'Argento (Fig. 5.3.44) ed EDTA (Fig. 5.3.45).

Tra queste metodiche l'impregnazione argentea, non ha apportato particolari benefici alla lettura mentre, come già osservato nell'analisi di *R. brachyura* e *D. oxyrichus*, la decalcificazione in EDTA si è dimostrata addirittura dannosa rendendo più complicata la distinzione delle bande di crescita.

Nel caso di *R. polystigma* però le osservazioni effettuate sul subcampione di centri vertebrali trattati con rosso alizarina e su quello non trattato hanno prodotto risultati simili. Per questo motivo entrambe queste metodiche sono state applicate all'intero campione e per ognuna di esse sono state effettuate da parte di due operatori un totale di 4 repliche. I risultati della precisione e della riproducibilità delle letture ottenuti per entrambi i metodi, vengono messi a confronto nel paragrafo successivo in modo da stabilire quale di questi processi risulti più adatto ad evidenziare le bande di accrescimento.



Fig. 5.3.42 Centro vertebrale di *R. polystigma* non trattato (unstained)

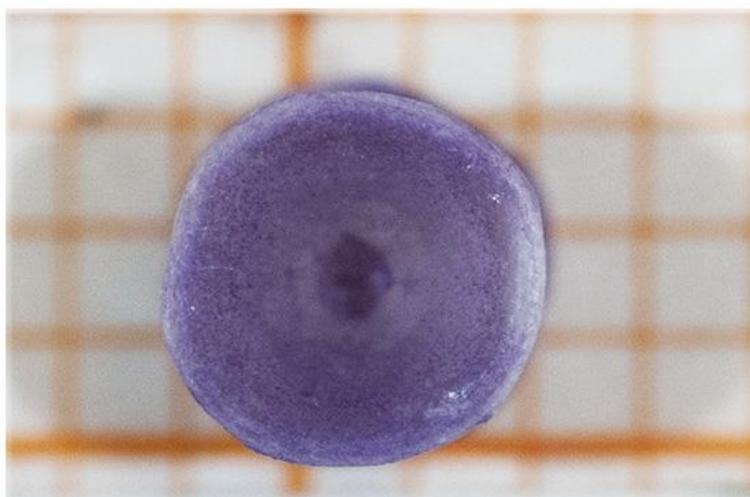


Fig. 5.3.43 Centro vertebrale di *R. polystigma* colorato in Rosso Alizarina



Fig. 5.3.44 Centro vertebrale di *R. polystigma* impregnato in Nitrato d'Argento

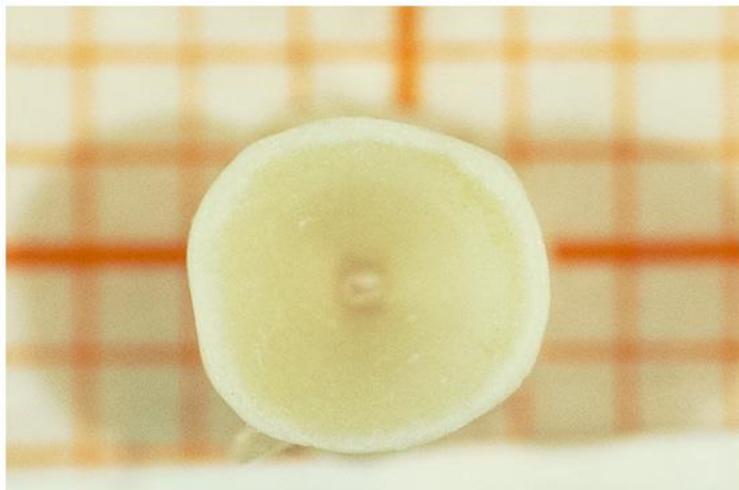


Fig. 5.3.45 Centro vertebrale di *R. polystigma* decalcificato in EDTA

5.3.3.4 Precisione e riproducibilità delle letture.

Gli *annuli* presenti nei centri vertebrali di *R. polystigma* si sono mostrati generalmente ben visibili sia nelle sezioni non trattate che in quelle colorate con il rosso alizarina. (Fig. 5.3.46). In questa specie, a differenza di quanto riportato in precedenza per *D. oxyrinchus*, non è stata poi riscontrata una presenza rilevante di falsi anelli o di *annuli* formati da più bande ravvicinate. Il Birthmark (BM) anche in questo caso è risultato essere sempre associato di solito ad una netta variazione di angolo nel *Corpus Calcareum* ed in generale identificabile con facilità (Fig. 5.3.46).

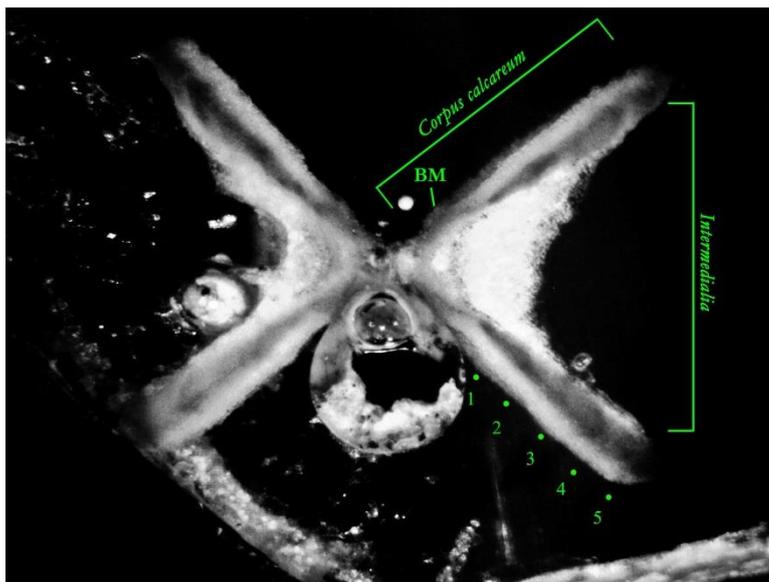


Fig. 5.3.46 Sezione vertebrale appartenente ad un esemplare maschio di *R. polystigma* di 5 anni di età (LT= 383 mm) (BM, birthmark).

Analisi dei centri vertebrali non trattati.

Dopo due letture effettuate da ognuno degli operatori sulle sezioni di vertebre non trattate, è stato necessario scartare 16 centri vertebrali sul totale di 184 esaminati (8.7%) poiché non è stato possibile raggiungere un accordo oggettivo. Dei rimanenti 168 campioni 85 sono risultati femmine, di lunghezza totale compresa tra 115 e 590 mm ed età stimata tra 0 e 11 anni e 83 maschi di taglie incluse tra 118 e 515 mm (LT) ed età tra 0 e 8 anni.

La conta degli *annuli* effettuata dai due operatori, sulle vertebre non trattate di *R. polystigma*, ha mostrato un ottimo livello di riproducibilità e di precisione come indicato dai bassi valori complessivi dell'Index of Average Percent Error e del Coefficiente di variazione, e dall'alta percentuale di accordo tra i due lettori (IAPE= 5.96%; %CV= 7.9; PA= 86.6%).

Il grafico mostrato nella Figura 5.3.47, mostra l'andamento dei valori di %CV, PA e la deviazione standard per ogni singola classe di età. Contrariamente a quanto riportato per le due altre specie esaminate il valore di %CV si è mantenuto piuttosto basso in maniera costante per tutte le classi di età. Nonostante questo particolare indice risulti essere solitamente influenzato in maniera consistente da eventuali errori compiuti

nell'interpretazione degli anelli vertebrali di individui giovani, in quest'analisi non è stato riportato alcun valore elevato, neanche per le età modali minori. Il valore più alto è stato comunque riportato per la classe di età 2 (14.4%), nelle classi successive il valore tende infatti a diminuire, stabilizzandosi su cifre sempre inferiori al 10%.

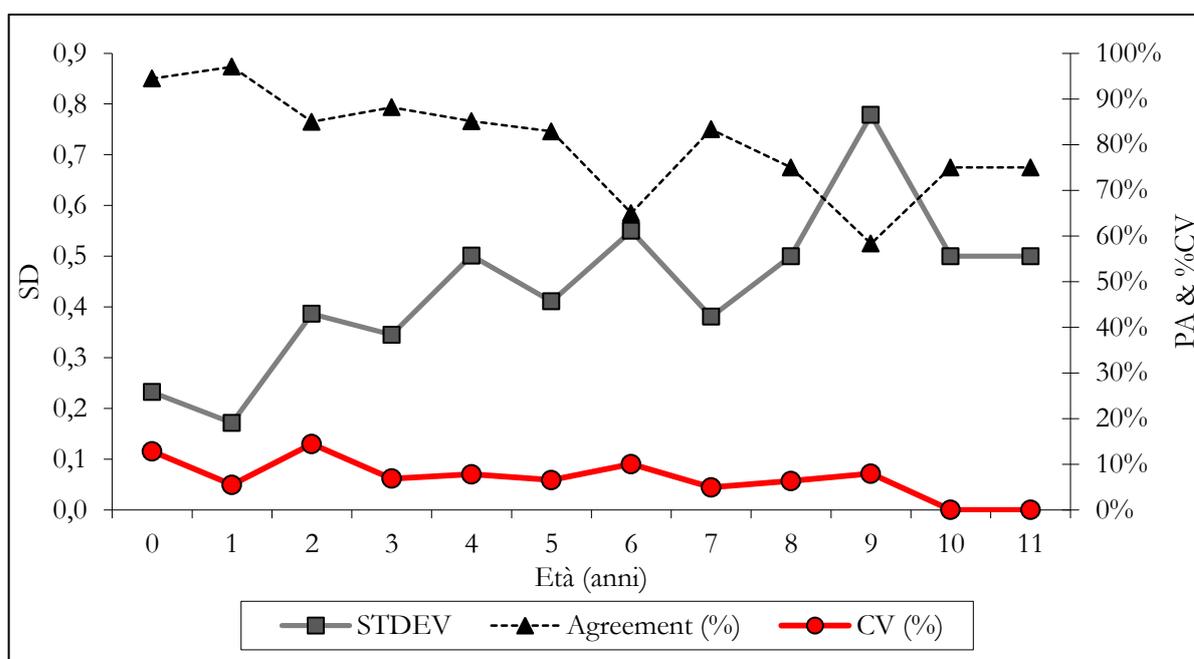


Fig. 5.3.47 Deviazione standard (SD), Percentuale di accordo (PA) e Coefficiente di variazione (%CV) in relazione all'età modale ottenute attraverso le letture dei centri vertebrali non trattati di *R. polystigma*.

L' agreement tra i lettori (Fig. 5.3.47), ha mostrato un trend leggermente decrescente con l'aumentare dell' età, i valori riportati infatti sono risultati essere molto alti nelle fascia di età 0 e 1 (94% e 97% rispettivamente), e piuttosto stabili (tra 90% e 85%) fino all' età di 5 anni. Per le classi di età successive però questo valore si è mostrato mediamente inferiore (circa 75%) con un picco negativo riportato per l'età modale 9 (58%). Questo andamento dovuto principalmente alle maggiori difficoltà presentate dalla stima dell'età degli individui più vecchi, dovuta alla formazione di anelli vertebrali molto ravvicinati, e quindi distinguibili con maggiori difficoltà.

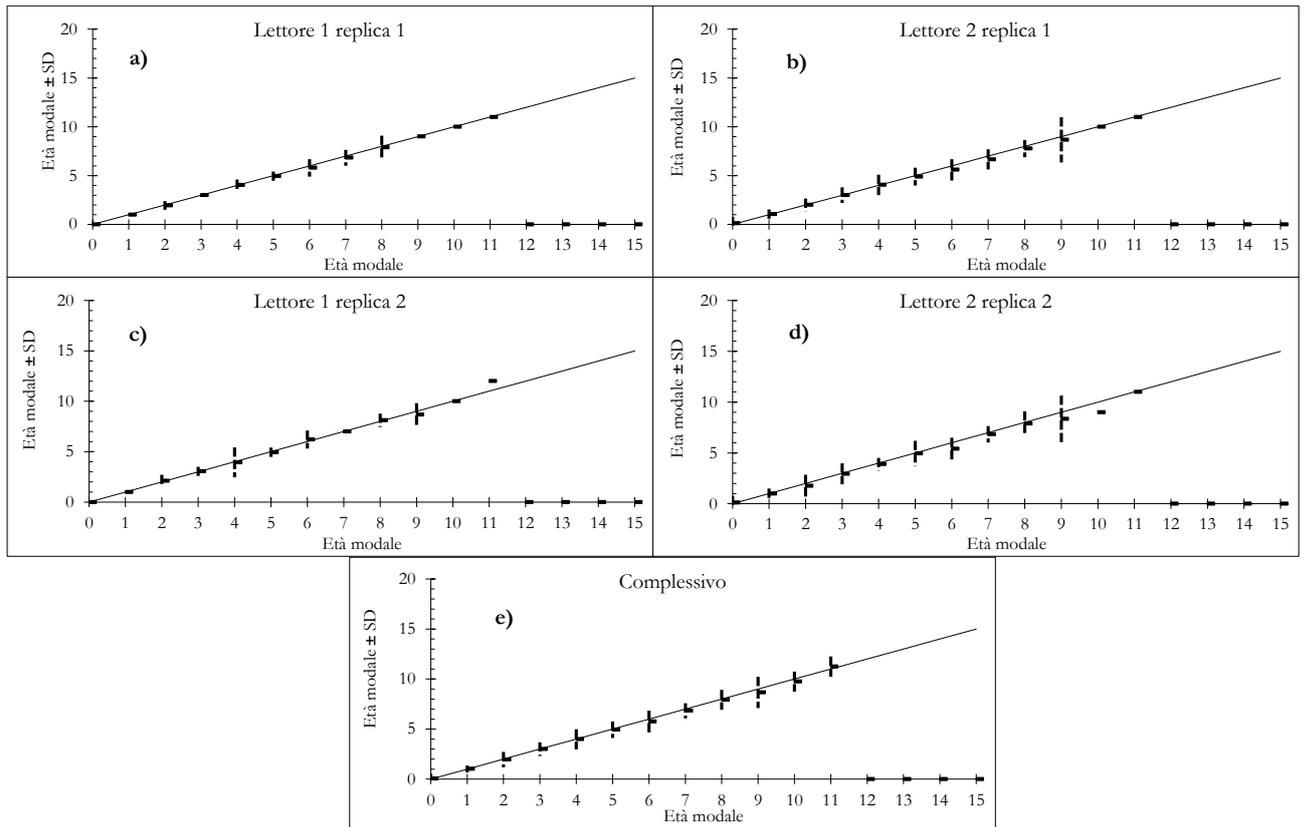


Fig. 5.3.48 Age-bias plot per le letture effettuate sui centri vertebrali non trattati (unstained), l'età modale è messa a confronto con l'età modale \pm 2 deviazione standard per ogni singola replica dei due lettori (lettore 1 grafici a, c; lettore 2 grafici b, d). Il grafico e riporta la media complessiva di ogni singola replica.

Nella figura 5.3.48 è riportato l'age-bias plot di ogni singola replica effettuata da i due operatori. A differenza di quanto avvenuto nell'analisi di *R. brachyura* e *D. oxyrinchus* tutte le letture eseguite mostrano un grado di variabilità ridotto. Per questa specie quindi non è stato necessario per i due operatori effettuare una terza replica in modo da calibrare meglio la conta degli *annuli*.

La seconda replica (Fig. 5.3.48 c, d, rispettivamente per il lettore 1 e 2) ha mostrato inoltre un grado di variabilità ulteriormente inferiore. La variabilità complessiva delle quattro repliche è risultata estremamente bassa (Fig. 5.3.48 g).

E' possibile notare dai grafici come la variabilità maggiore sia sempre stata riscontrata nella stima dell'età 9, questo dato è in accordo con quanto mostrato, per quest'età modale dal picco negativo della percentuale di agreement (PA) e dal valore piuttosto elevato della deviazione standard (SD) nel grafico precedente (Fig. 5.3.47).

Il bias test, condotto in modo da accertare che il metodo di lavoro degli operatori non sia stato influenzato dalla soggettività, ha dato esito negativo anche in questo caso ($z = -0.257$).

Analisi dei centri vertebrali trattati con rosso alizarina.

Dei 184 centri vertebrali di *R. polystigma* trattati con rosso alizarina si è reso necessario scartarne 8 (4.35%) poiché non è stato possibile per gli operatori raggiungere un accordo oggettivo dopo le quattro ripetizioni effettuate. Dei rimanenti 176 campioni 92 sono risultati femmine, di lunghezza totale compresa tra 115 e 590 mm ed età stimata tra 0 e 11 anni, gli individui di sesso maschile sono risultati essere invece 83 di taglie incluse tra 118 e 521 mm (LT) ed età tra 0 e 8 anni.

I valori dell'Index of Average Percent Error e del Coefficiente di variazione, e della percentuale di accordo, ottenuti attraverso le letture effettuate sui centri vertebrali di *R. polystigma* trattati con rosso alizarina, hanno mostrato un ottimo livello di riproducibilità e precisione (IAPE= 5.17%; %CV= 7.0; PA= 86.8%). Inoltre tutti e tre questi indici hanno raggiunto risultati leggermente migliori di quelli ottenuti attraverso l'analisi delle sezioni non trattate.

Nel grafico riportato in Figura 5.3.49, è mostrato l'andamento dei valori di %CV, PA e la deviazione standard per ogni singola classe di età. Come già osservato attraverso l'esame dei centri vertebrali non trattati, il valore di %CV si è conservato anche in questo caso piuttosto basso per tutte le classi di età. In nessuna età modale non è stato riscontrato alcun picco particolarmente alto, neanche per le età modali più basse. Sebbene il valore più alto sia stato riportato per la classe di età 2 (12.7%), nelle classi successive il valore si è sempre attestato al di sotto del 10%.

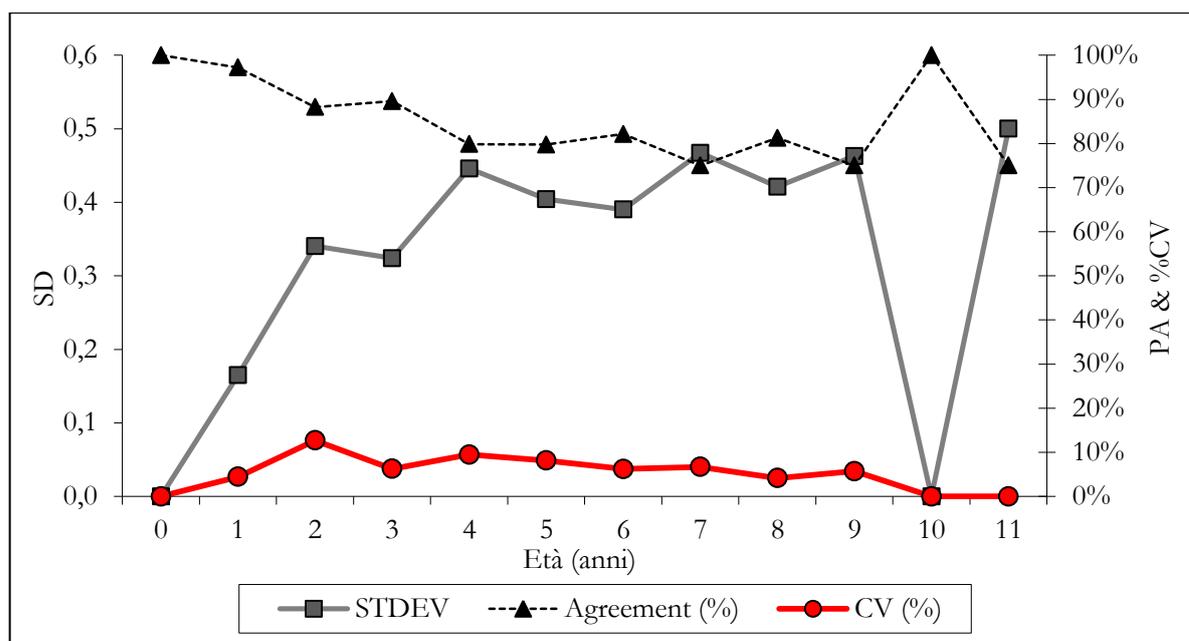


Fig. 5.3.49 Deviazione standard (SD), Percentuale di accordo (PA) e Coefficiente di variazione (%CV) in relazione all'età modale ottenute attraverso le letture dei centri vertebrali di *R. polystigma* trattati con rosso alizarina.

Anche in questo caso la percentuale di accordo tra i lettori (Fig. 5.3.49), ha mostrato un trend leggermente decrescente con l'aumentare dell'età, sono stati ottenuti infatti valori superiori al 90% nelle classi di età da 0 a 3 anni, nelle successive classi invece questi si sono stabilizzati mediamente tra 80% e 75%. Contrariamente a quanto riscontrato attraverso l'analisi delle vertebre non trattate non è stato riportato nessun picco negativo di rilievo nelle classi di età più elevate e specialmente per l'età modale 9.

L'age-bias plot (Fig. 5.3.50) ha mostrato, come nel caso precedente, un grado di variabilità decisamente ridotto per ogni singola replica effettuata dai due operatori. Per questo motivo anche per l'analisi dei centri vertebrali di *R. polystigma* trattati con rosso alizarina non si è reso necessario per i due operatori calibrare meglio la conta degli *annuli* effettuando una terza replica.

Con la seconda replica (Fig. 5.3.50.c, Fig. 5.3.50.d, rispettivamente per il lettore 1 e 2) il grado di variabilità ottenuto è risultato inoltre ulteriormente inferiore. La variabilità complessiva delle quattro repliche è risultata perciò estremamente bassa (Fig. 5.3.50 g).

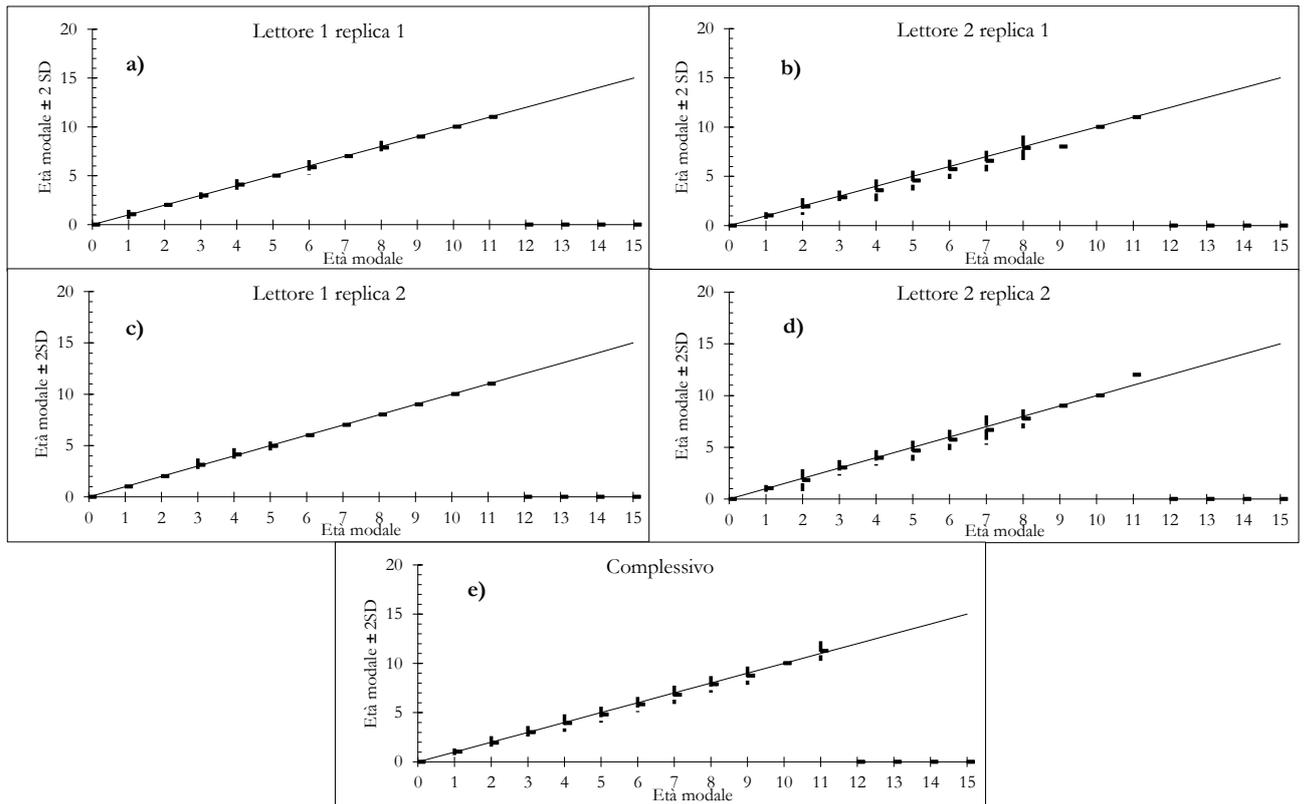


Fig. 5.3.50 Age-bias plot per le letture effettuate sui centri vertebrali trattati con rosso alizarina, l'età modale è messa a confronto con l'età modale ± 2 deviazione standard per ogni singola replica dei due lettori (lettore 1 grafici a, c; lettore 2 grafici b, d). Il grafico e riporta la media complessiva di ogni singola replica.

Rispetto a quanto ottenuto attraverso le letture delle sezioni vertebrali non trattate, che hanno mostrato un incremento del grado di variabilità per le classi di età maggiori (specialmente per la classe 9), l'analisi dei centri vertebrali trattati in alizarina ha non ha manifestato particolari difficoltà nella stima dell'età per queste classi.

Il bias test anche in questo caso ha dato esito negativo ($z = -0.765$) dimostrando che il metodo di lavoro degli operatori non è stato influenzato dalla soggettività.

Confronto dei trattamenti dei centri vertebrali.

Le letture effettuate sulle sezioni vertebrali di *R. polystigma* hanno fornito in generale ottimi risultati di precisione e riproducibilità. Entrambe le metodiche utilizzate si sono rivelate essere valide per lo studio dell'età di questa specie. L'analisi dei centri vertebrali non trattati ha però riportato, per le classi di età maggiori, un aumento dei valori di %CV e della variabilità generale, sebbene questi siano rimasti comunque a livelli più che accettabili. Questa situazione non si è però manifestata in maniera netta nell'analisi delle letture effettuate sulle sezioni colorate in rosso alizarina. Ciò può significare che quest'ultimo trattamento potrebbe risultare maggiormente utile per la distinzione delle bande di accrescimento terminali nel *Corpus Calcareum* degli individui più vecchi.

Per questo motivo, visti anche i migliori risultati dell' Index of Average Percent Error (IAPE) e del Coefficiente di Variazione (%CV), per calcolare le curve di accrescimento di *R. polystigma* sono stati utilizzati i dati di età-lunghezza ottenuti attraverso le letture dei centri vertebrali trattati in rosso alizarina.

5.3.3.5 Analisi dell'età e dell'accrescimento.

Prima di procedere con il calcolo delle curve di accrescimento di *R. polystigma* è stata svolta l'analisi della covarianza (ANCOVA) tra parametri di lunghezza ed età tra i due sessi. I risultati ottenuti (Tab. 5.3.7), come nelle altre due specie perse in esame in questo lavoro, hanno mostrato differenze statisticamente significative tra la lunghezza totale (LT) e l'età stimata tra i due sessi ($P < 0.0001$, con intervallo di confidenza del 95%).

Tab. 5.3.7 Analisi della covarianza tra i parametri di lunghezza ed età tra i due sessi

Fonte	GDL	Somma dei quadrati	Media dei quadrati	F	Pr > F
Modello	2	1386195.557	693097.779	1412.827	< 0.0001
Errore	182	83888.351	490.575		
Totale corretto	184	1470083.908			

Nella tabella 5.3.8 sono mostrati i parametri di accrescimento ottenuti applicando quattro differenti modelli: l'equazione classica di von Bertalanffy (VBGF), l'equazione esponenziale ed le due curve di tipo sigmoide: la logistica e quella di Gompertz. Come per le altre due specie anche per *R. polystigma* questi sono stati calcolati per sessi combinati e per maschi e femmine separatamente. Similmente a quanto ottenuto nell'analisi dell'accrescimento di *D. oxyrinchus* anche per questa specie i modelli di accrescimento che, in base all'Akaike's Information Criterion (*AIC*), si sono dimostrati essere i più fedeli alle osservazioni effettuate sono risultati essere quelli basati sulle curve di tipo sigmoide.

A differenza di quanto osservato nella razza monaca il modello che ha riportato i valori di *AIC* più bassi non è stato quello di Gompertz bensì quello Logistico sia per l'analisi dei sessi combinati sia per femmine e maschi separatamente (Tab.5.3.8; Fig. 5.3.60, 5.3.61 e 5.3.62). Le curve di accrescimento logistiche sono graficamente riportate per sessi combinati (Fig. 5.3.60) e per femmine e maschi separatamente (Fig. 5.3.61. e Fig. 5.3.62 rispettivamente).

I valori L_{∞} e k come i dati di età –lunghezza sono risultati essere differenti tra i due sessi (ANCOVA), non solo in base al modello di logistico ($L_{\infty} = 681.18$ mm, $k = 0.28$

e Inflection Point = 4.29 anni per quanto riguarda le femmine e L_{∞} = 596.55 mm, k = 0.32 e Inflection Point = 3.00 per i maschi), ma anche secondo tutti gli altri modelli utilizzati (Tab. 5.3.8). Questa differenza però non è apparsa netta come quella riportata per *D. oxyrinchus*.

Tab. 5.3.8 Parametri di accrescimento di *R. polystigma* ottenuti, secondo i diversi modelli, per maschi, femmine e sessi combinati. L_{∞} = lunghezza massima teorica; k = tasso di accrescimento; t_0 = dimensioni teoriche all'età 0; Min size = taglia minima osservata; Inflection point = punto di flesso e *AIC* = Akaike's Information Criterion. I modelli che hanno mostrato un migliore fitting alle osservazioni sono riportati in grassetto.

		$L_{\infty} \pm$ S.E.	$k \pm$ S.E.	$t_0 \pm$ S.E.	Min size	Inflection point (anni) \pm S.E.	<i>AIC</i>
Combined sexes	VBGF	784.82 \pm 12.2	0.11 \pm 0.004	-1.718 \pm 0.25	-	-	1095.33
	Exponential	784.82 \pm 12.2	0.11 \pm 0.004	-	136	-	1095.33
	Gompertz	715.84 \pm 11.6	0.18 \pm 0.04	-	-	2.06 \pm 0.068	1055.02
	Logistic	691.49 \pm 15.2	0.26 \pm 0.02	-	-	4.03 \pm 0.147	936.329
Females	VBGF	782.74 \pm 78.5	0.109 \pm 0.02	-1.96 \pm 0.30	-	-	254.367
	Exponential	782.74 \pm 78.5	0.109 \pm 0.02	-	151	-	254.367
	Gompertz	765.16 \pm 25.5	0.16 \pm 0.04	-	-	2.82 \pm 0.15	136.608
	Logistic	681.18 \pm 34.0	0.28 \pm 0.04	-	-	4.29 \pm 0.45	118.88
Males	VBGF	645.01 \pm 66.2	0.149 \pm 0.03	-1.79 \pm 0.27	-	-	268.031
	Exponential	644.84 \pm 66.2	0.149 \pm 0.03	-	152	-	268.031
	Gompertz	622.90 \pm 21.7	0.22 \pm 0.015	-	-	1.30 \pm 0.19	264.825
	Logistic	596.55 \pm 24.8	0.32 \pm 0.019	-	-	3.00 \pm 0.31	264.775

Le curve ottenute tramite modello di accrescimento di Gompertz sono risultate essere le migliori in termini di fitting alle osservazioni effettuate dopo quelle logistiche descritte in precedenza (Tab. 5.3.8) (Fig. 5.3.57; 5.3.58; 5.3.59). Come nei due casi precedenti le due curve sigmoidi hanno attribuito anche alle femmine di *R. polystigma* un punto di flesso (Inflection Point) (Tab. 5.3.8) ad un'età nettamente maggiore rispetto allo stesso dato riportato per i maschi. L'accrescimento dei maschi di questa specie quindi sembra caratterizzato quindi dalla presenza di una finestra temporale di crescita rapida decisamente più breve di quello delle femmine, ciò risulta in accordo con quanto osservato nello studio delle specie trattate in precedenza.

Come nel caso della razza monaca i modelli di accrescimento più classici come quello di von Bertalanffy e quello esponenziale (Fig. 5.3.51; 5.3.52; 5.3.53 e Fig. 5.3.54; 5.3.55; 5.3.56) hanno ottenuto dei valori dell'Akaike's Information Criterion (*AIC*) decisamente alti (Tab. 5.3.8), dimostrando in questo modo di essere meno adatti alla descrizione dell'accrescimento di questa specie rispetto a quelli di tipo sigmoide.

Nella Tabella 5.3.9 è riportata la lunghezza media per età calcolata per *R. polystigma*.

Tab. 5.3.9 Lunghezza media ad una data età di *R. polystigma*.

MEAN LENGTH AT AGE	
Età (anni)	LT (mm)
0	153
1	219
2	258
3	309
4	350
5	378
6	430
7	458
8	482
9	533
10	577
11	590

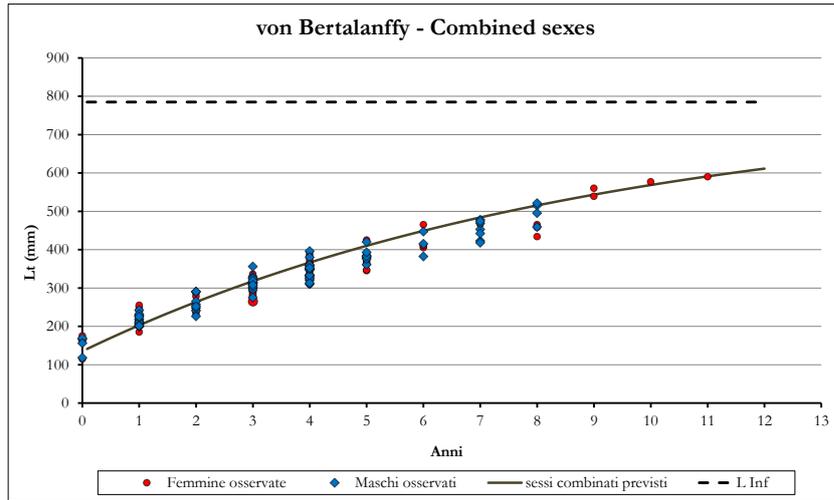


Fig. 5.3.51 Curva di accrescimento di von Bertalanffy di *R. polystigma* per sessi combinati

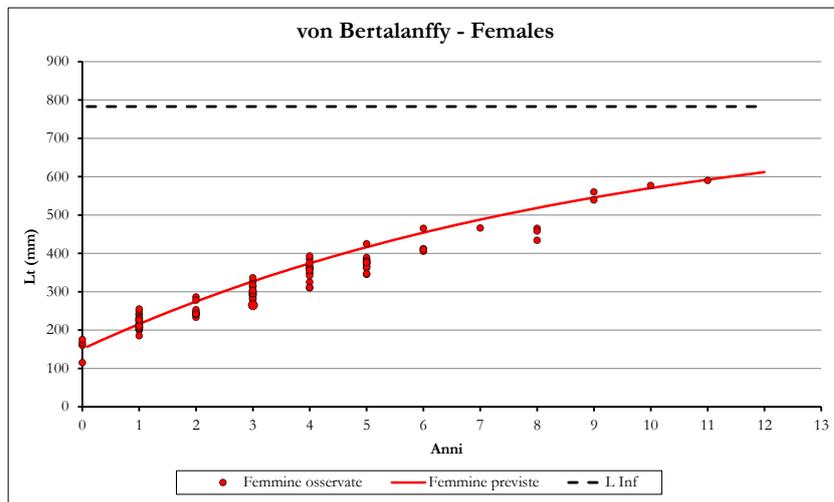


Fig. 5.3.52 Curva di accrescimento di von Bertalanffy delle femmine di *R. polystigma*

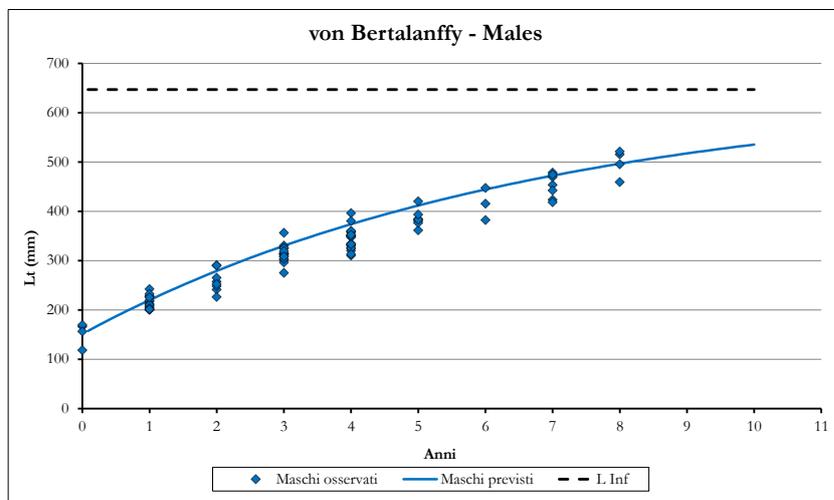


Fig. 5.3.53 Curva di accrescimento di von Bertalanffy dei maschi di *R. polystigma*

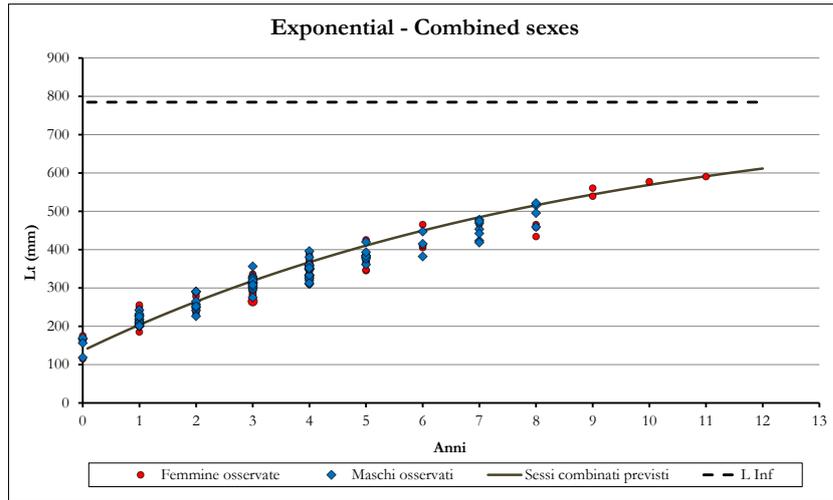


Fig. 5.3.54 Curva di accrescimento esponenziale di *R. polystigma* per sessi combinati

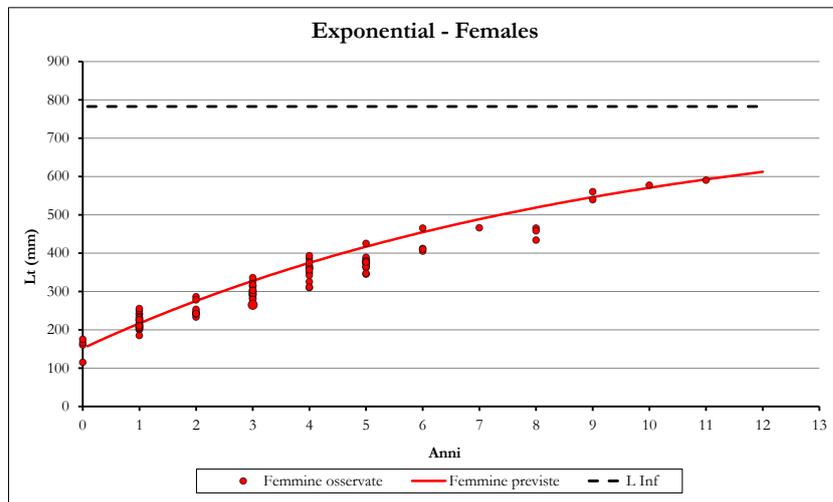


Fig. 5.3.55 Curva di accrescimento esponenziale delle femmine di *R. polystigma*

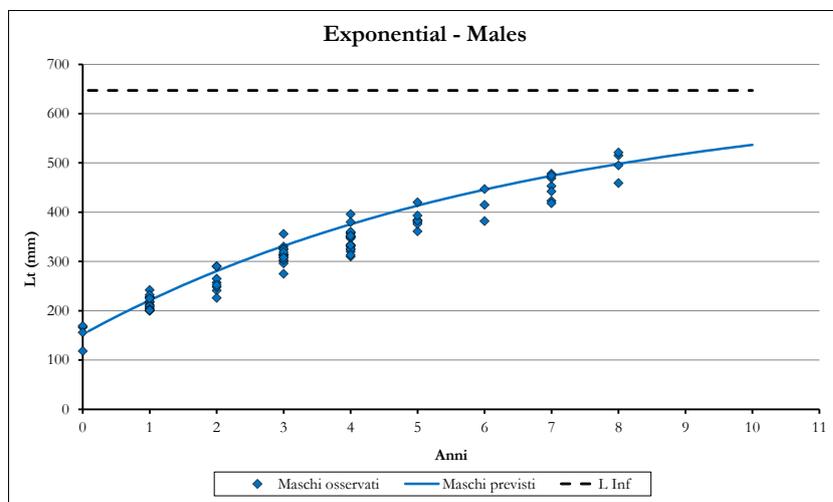


Fig. 5.3.56 Curva di accrescimento esponenziale dei maschi di *R. polystigma*

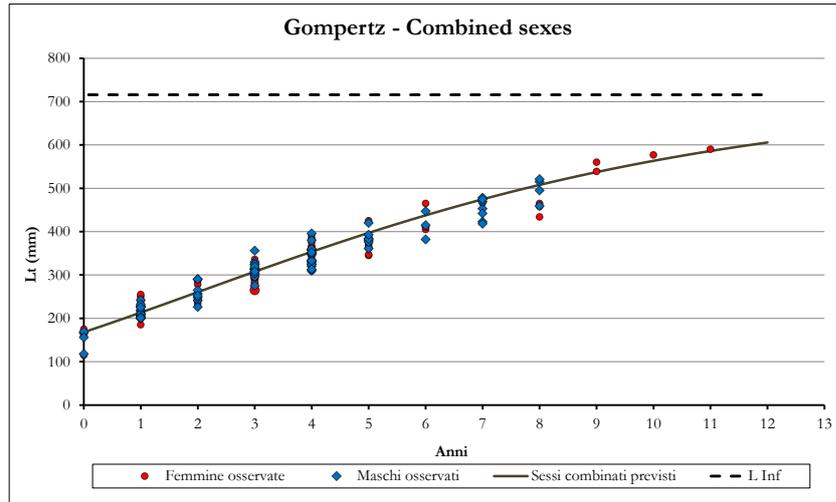


Fig. 5.3.57 Curva di accrescimento di Gompertz di *R. polystigma* per sessi combinati

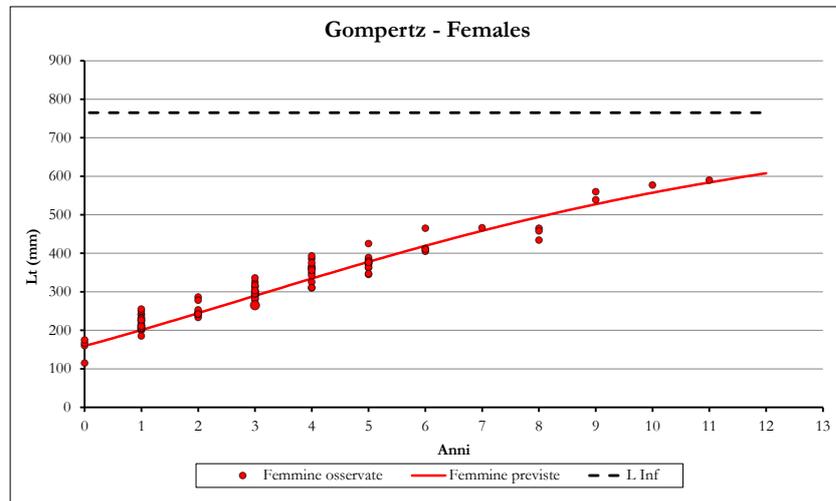


Fig. 5.3.58 Curva di accrescimento di Gompertz delle femmine di *R. polystigma*

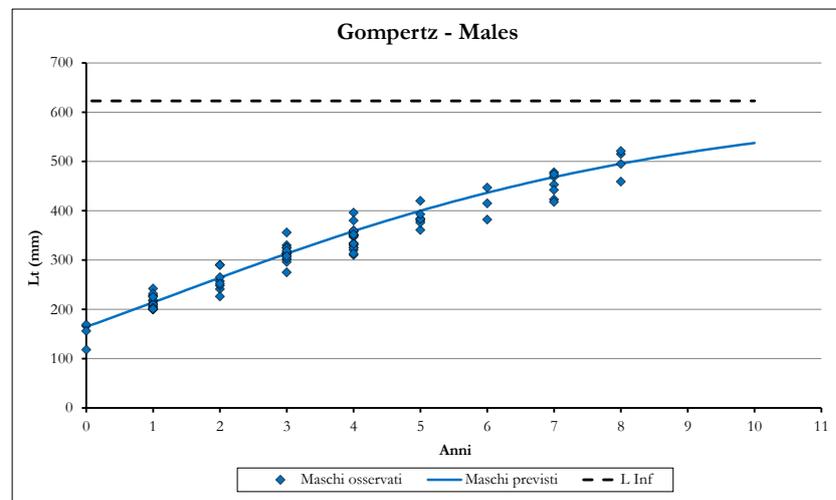


Fig. 5.3.59 Curva di accrescimento di Gompertz dei maschi di *R. polystigma*

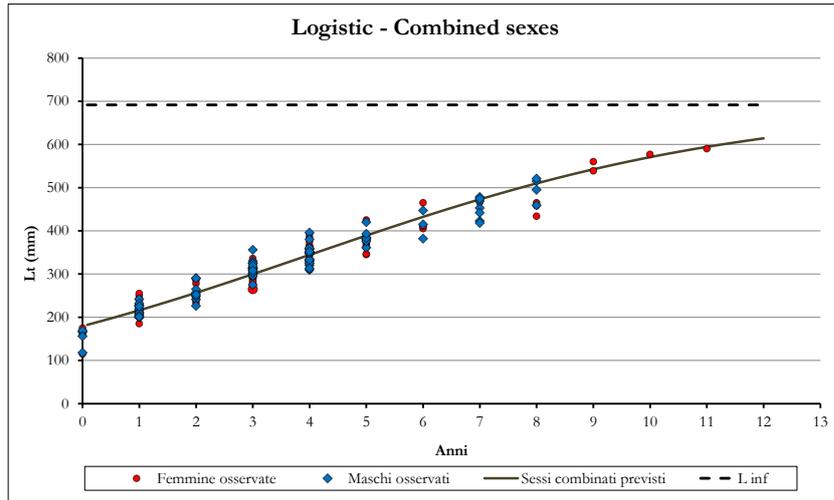


Fig. 5.3.60 Curva di accrescimento logistica di *R. polystigma* per sessi combinati

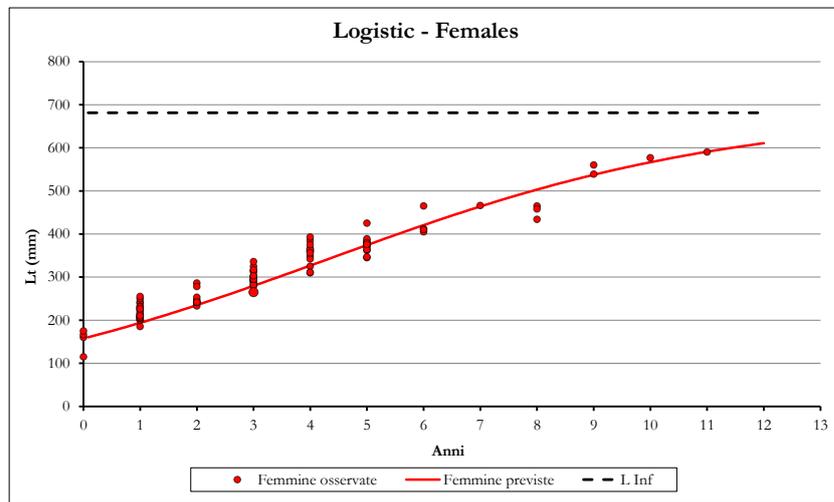


Fig. 5.3.61 Curva di accrescimento logistica delle femmine di *R. polystigma*

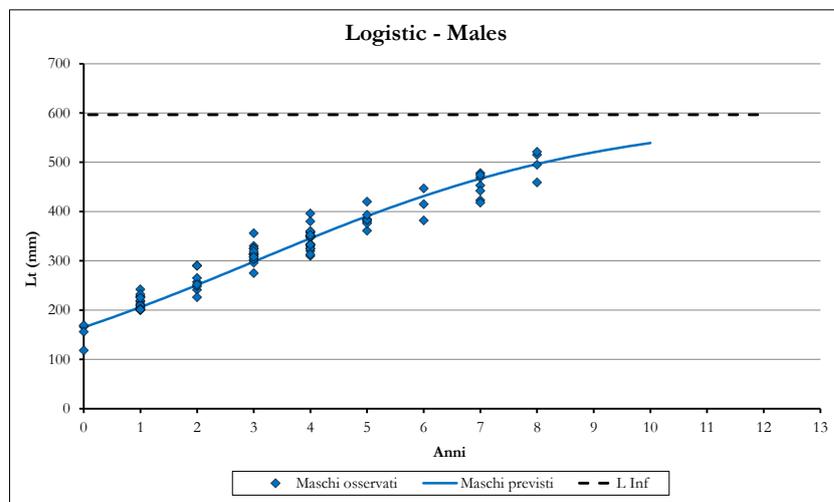


Fig. 5.3.62 Curva di accrescimento logistica dei maschi di *R. polystigma*

5.4 RISULTATI METODI INDIRETTI

5.4.1 *Raja brachyura*

5.4.1.1 Analisi del campione utilizzato.

Nel periodo analizzato sono stati catturati, a profondità comprese tra 26 e 175 m, in totale 1640 individui di *R. brachyura* di questi 795 sono risultati essere femmine e 845 maschi. Il range di distribuzione delle taglie è risultato compreso tra 131 e 1055 mm in LT per gli esemplari di sesso femminile e tra 120 e 965 mm per quelli di sesso maschile (Fig. 5.4.1), la lunghezza media si è rivelata essere rispettivamente 344.52 mm e 340.55 mm (LT).

Le dimensioni massime raggiunte da entrambi i sessi si sono mostrate simili. Tuttavia sono pochi gli individui rinvenuti di dimensioni maggiori ai 550 mm in LT per quanto riguarda i maschi e ai 500 mm (LT) per le femmine.

Nel campione totale la classe modale maggiormente rappresentata è risultata quella pari a 300 mm in LT per entrambi i sessi.

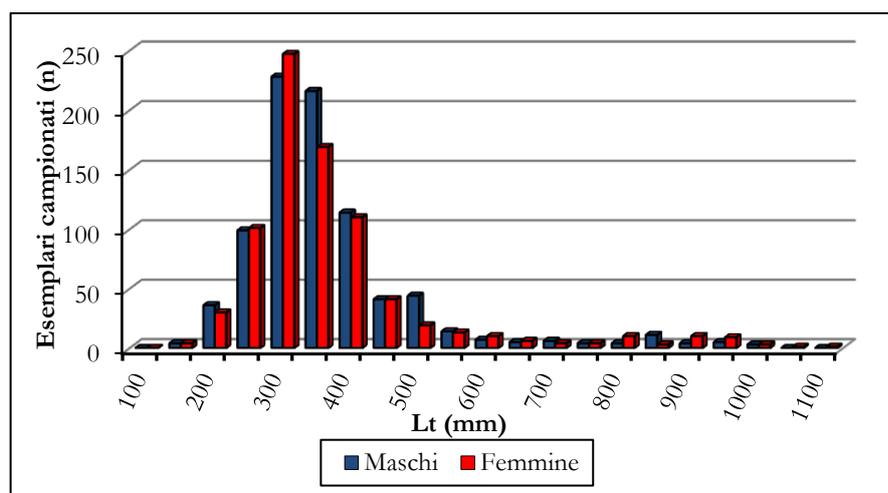


Fig. 5.4.1 Distribuzione taglia-frequenza dei campioni analizzati di *R. brachyura*.

5.4.1.2 Analisi dell'accrescimento.

Le distribuzioni ottenute per ogni singolo periodo di campionamento sono risultate polimodali, con un massimo di 8 coorti rilevate nel luglio 2011.

La scomposizione di questi dati ha permesso di ottenere la lunghezza totale media di ogni coorte per i singoli campionamenti ed infine questi dati hanno consentito di calcolare dei valori di lunghezza medi per ogni singola coorte rilevata.

La scomposizione delle coorti attraverso il metodo di Bhattacharya e la successiva progressione modale hanno consentito, attraverso la routine "Linking of Means" del programma FISAT II, di ottenere dei dati di età-lunghezza che sono stati poi utilizzati per calcolare la curva di crescita di von Bertalanffy.

I parametri di accrescimento calcolati col metodo indiretto per *R. brachyura* sono mostrati nella tabella 5.4.1.

La curva ottenuta (Fig. 5.4.2) si è mostrata in generale piuttosto coerente alle osservazioni effettuate nonostante diventi comunque meno precisa nelle predizioni delle classi estreme. Questo fatto è da ricondurre alla difficoltà, riscontrata durante il campionamento, di rinvenire gli individui di dimensioni maggiori così come i nuovi nati. Queste classi risultano infatti solitamente nelle popolazioni naturali le meno numerose e in conseguenza più difficilmente reperibili.

Tab. 5.4.1 Parametri di accrescimento \pm errore standard di *R. brachyura* ottenuti attraverso il metodo indiretto

	L_{∞}	k	t_0
Valore \pm s.E.	1155.0 \pm 131.8	0.15 \pm 0.03	0.84 \pm 0.14

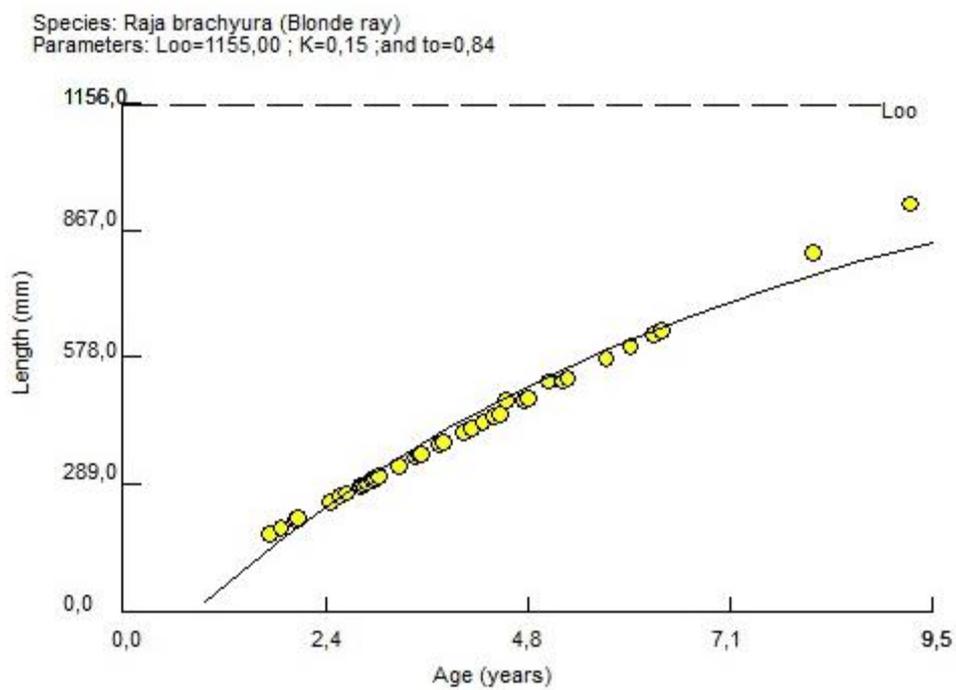


Fig. 5.4.2 Curva di accrescimento di *R. brachyura* calcolata attraverso il metodo indiretto.

5.4.2 *Dipturus oxyrinchus*

5.4.2.1 Analisi del campione utilizzato.

Tra il 2005 e il 2013 sono stati catturati nei mari sardi 684 esemplari di *D. oxyrinchus* a profondità comprese tra 128 e 671 m. Di questi 364 sono risultati essere femmine, di dimensioni comprese tra 109 e 1155 mm (LT), e 320 maschi con un range di taglia incluso tra 106 e 1015 mm (LT) (Fig. 5.4.3). La lunghezza media per gli individui di sesso femminile e quelli di sesso maschile si è rivelata essere rispettivamente 518.0 mm e 485.3 mm (LT).

Diversamente da quanto osservato in *R. brachyura* le dimensioni massime raggiunte da i due sessi si sono mostrate decisamente diverse, con le femmine che raggiungono taglie nettamente maggiori, raggiungendo i 1150 mm in LT, mentre non è mai stato campionato alcun maschio che superasse i 1020 mm in LT.

Nonostante la numerosità campionaria si sia dimostrata inferiore rispetto alla specie esaminata in precedenza in questo caso quasi tutte le classi di taglia sono rappresentate da un buon numero di individui.

Nel campione totale i maschi hanno presentato una distribuzione con due mode principali pari 250 e 400 mm (LT), mentre per le femmine è stata rilevata una distribuzione più uniforme.

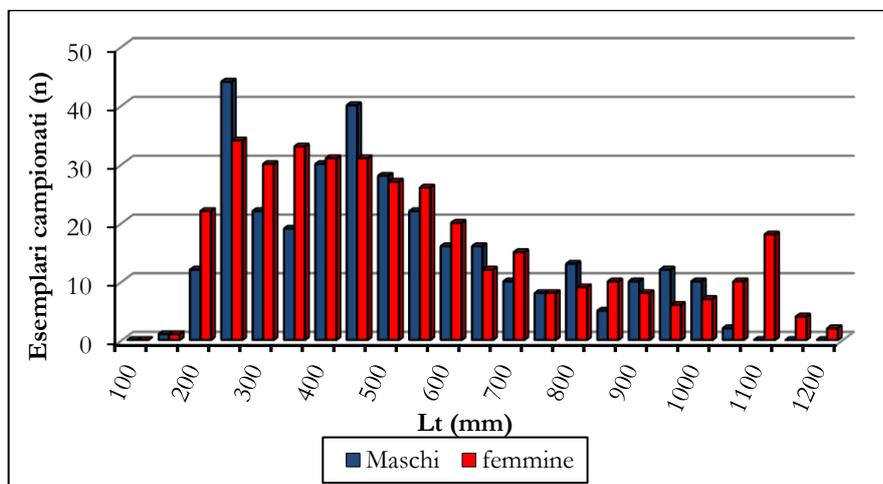


Fig. 5.4.3 Distribuzione taglia-frequenza dei campioni analizzati di *D. oxyrinchus*.

5.4.2.2 Analisi dell'accrescimento.

Come nella specie analizzata in precedenza anche le distribuzioni di *D. oxyrinchus* ottenute per ogni singolo periodo di campionamento sono risultate polimodali, con un massimo di 5 coorti rilevate.

Anche in questo caso questi dati sono stati scomposti in modo da ottenere la lunghezza totale media di ogni coorte per i singoli campionamenti ed infine questi dati hanno consentito di calcolare dei valori di lunghezza medi per ogni singola coorte rilevata.

La progressione modale delle coorti di *D. oxyrinchus*, calcolata attraverso il metodo di Bhattacharya, ha consentito di ottenere dei dati di età-lunghezza, dopo un processo di "Linking of Means". Questi dati sono stati poi utilizzati per calcolare la curva di crescita di von Bertalanffy.

I parametri di von Bertalanffy calcolati col metodo indiretto per *D. oxyrinchus* sono mostrati nella tabella 5.4.2.

La curva di accrescimento ottenuta per la razza monaca (Fig. 5.4.4) ha mostrato un buon fitting alle osservazioni effettuate fino all'età modale 10, mentre appare più imprecisa per le classi successive. Questo fatto è probabilmente dovuto al basso numero di coorti rinvenute nei diversi periodi di campionamento.

Tab. 5.4.2 Parametri di accrescimento \pm errore standard di *D. oxyrinchus* ottenuti attraverso il metodo indiretto

	L_{∞}	k	t_0
Valore \pm s.E.	1570.0 \pm 242.8	0.08 \pm 0.03	1.19 \pm 0.52

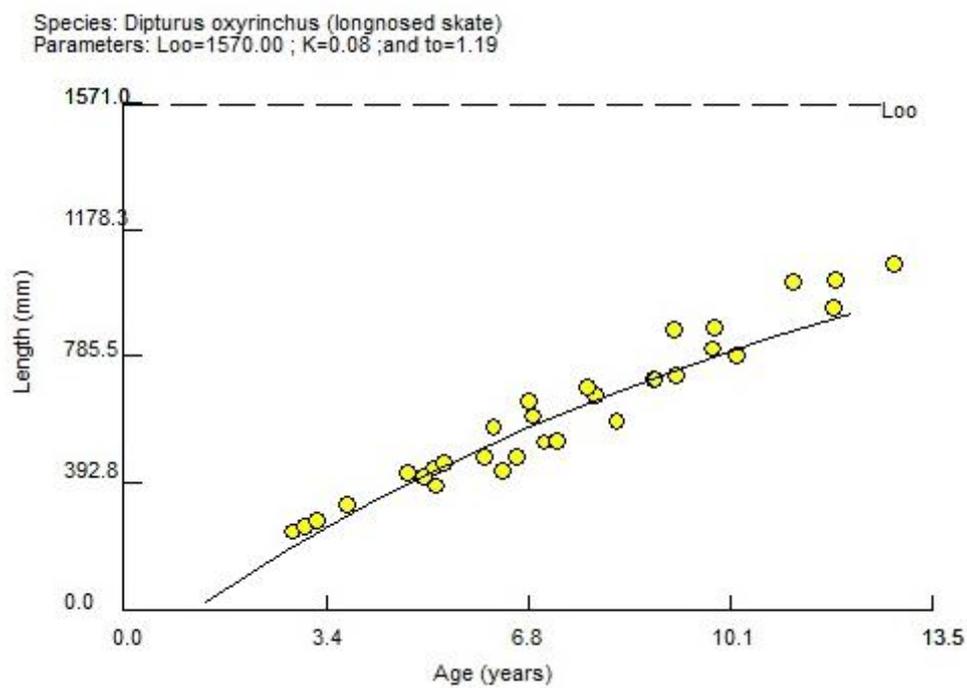


Fig. 5.4.4 Curva di accrescimento di *D. oxyrinchus* calcolata attraverso il metodo indiretto.

5.4.3 *Raja polystigma*

5.4.3.1 Analisi del campione utilizzato.

Un totale di 1583 esemplari di *R. polystigma* sono stati catturati tra il 2005 ed il 2013 a profondità comprese tra 38 e 607 m. Sono stati campionati 785 maschi e 798 femmine, con un range di distribuzione delle taglie compreso rispettivamente tra 112 e 575 mm in LT per i primi e tra 103 e 595 mm per le seconde (Fig. 5.4.5). La lunghezza media degli individui di sesso maschile è risultata essere 313.2 mm (LT), per le femmine questo dato si è rivelato molto simile anche se leggermente inferiore mostrandosi pari a 307.7 mm (LT). Come nel caso di *R. brachyura* anche in *R. polystigma* le dimensioni massime raggiunte dai due sessi si sono mostrate simili. Tutte le classi di lunghezza sembrano ben rappresentate nel campionamento anche se gli individui appartenenti alle classi estreme (LT < 200mm e LT > 500 mm) sono stati rinvenuti in minor numero. La classe modale maggiormente rappresentata nel campione totale è risultata quella pari a 250 mm in LT per entrambi i sessi.

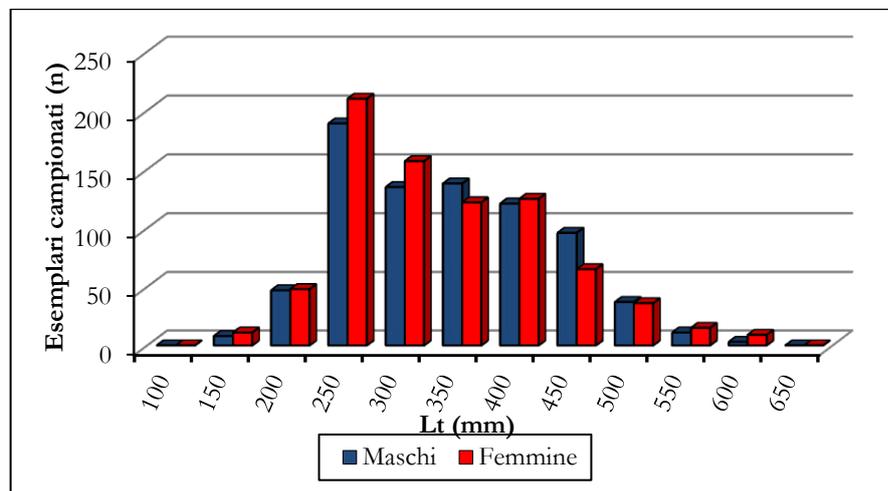


Fig. 5.4.5 Distribuzione taglia-frequenza dei campioni analizzati di *R. polystigma*.

5.4.3.2 Analisi dell'accrescimento.

R. polystigma, come le specie precedentemente esaminate, ha presentato una distribuzione polimodale in ogni singolo periodo di campionamento, con un massimo di 7 coorti rilevate nel luglio 2011.

I dati relativi alla progressione modale delle coorti, calcolati attraverso la scomposizione delle stesse con il metodo di Bhattacharya, hanno consentito, dopo il processo di "Linking of Means", di ottenere dei dati di età-lunghezza che sono stati poi utilizzati per calcolare la curva di crescita di von Bertalanffy.

I parametri dell'equazione di von Bertalanffy calcolati col metodo indiretto per *R. polystigma* sono mostrati nella tabella 5.4.3.

La curva derivata (Fig. 5.4.6) si è mostrata decisamente coerente alle osservazioni effettuate. A differenza di quanto osservato in entrambe le specie esaminate in precedenza, in *R. polystigma* la curva di crescita ottenuta con questo metodo è sembrata descrivere bene anche l'accrescimento delle classi di taglia estreme.

Tab. 5.4.3 Parametri di accrescimento \pm errore standard di *R. polystigma* ottenuti attraverso il metodo indiretto

	L_{∞}	k	t_0
Valore \pm s.E.	886.93 \pm 171.8	0.09 \pm 0.03	-0.06 \pm 0.04

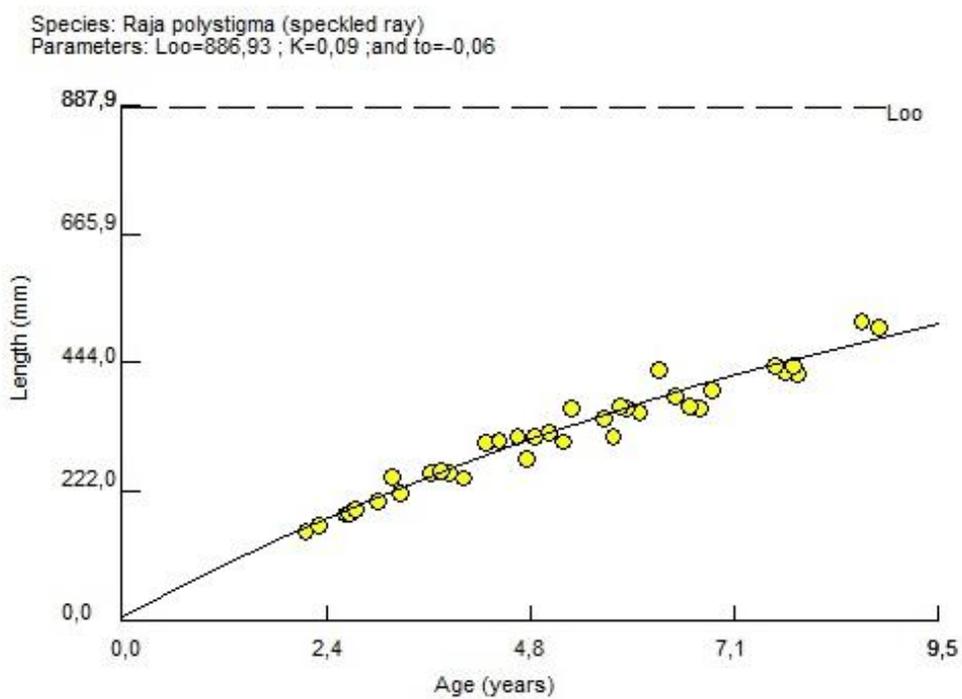


Fig. 5.4.6 Curva di accrescimento di *R. polystigma* calcolata attraverso il metodo indiretto.

5.5 CONFRONTO TRA METODI DI ACCRESCIMENTO DIRETTI E INDIRETTI

5.5.1 *Raja brachyura*

I parametri di accrescimento ottenuti per *R. brachyura* tramite le metodiche dirette e indirette sono mostrati nella tabella. 5.5.1 mentre nella Figura 5.5.1 le due curve sono messe a confronto. I valori di L_∞ e k sono apparsi piuttosto simili, questo ha fatto sì che anche i ϕ' registrati per le due equazioni siano risultati affini (Tab. 5.5.1). La lunghezza teorica all'età 0 (t_0) si è dimostrato il parametro maggiormente difforme tra quelli rilevati. Ciò è dovuto alla difficoltà di catturare gli individui più piccoli durante i campionamento rendendo più imprecisa l'identificazione della coorte corrispondente nel processo di scomposizione. In generale i parametri ottenuti attraverso il metodo indiretto hanno riportato errori standard (S.E.) molto più elevati rispetto a quanto rilevato attraverso il metodo diretto.

Tab. 5.5.1 Parametri di accrescimento di von Bertalanffy (\pm S.E.) calcolati per *R. brachyura* attraverso metodiche dirette ed indirette, con descrizione del campione e relativo ϕ' .

	n	$L_\infty \pm$ S.E.	$k \pm$ S.E.	$t_0 \pm$ S.E.	Età		Lunghezza		ϕ'
					min	max	min	max	
Metodiche dirette	139	1113.4 \pm 7.45	0.10 \pm 0.014	-1.19 \pm 0.23	0	16	184	955	5.093
Metodiche indirette	1640	1155.0 \pm 131.8	0.15 \pm 0.03	0.84 \pm 0.14	0	8	120	1055	5.030

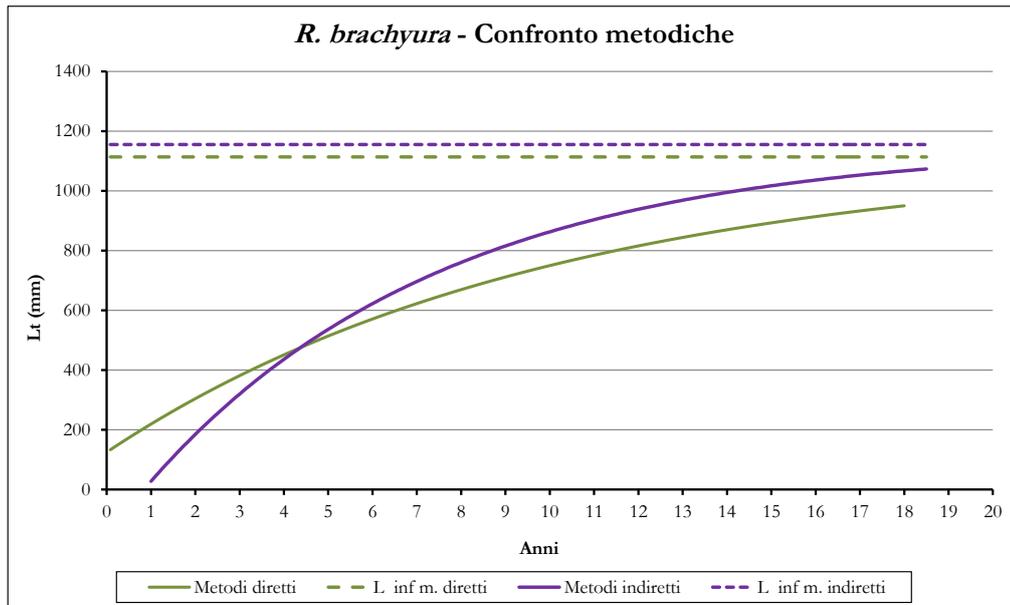


Fig. 5.5.1 Confronto delle curve di accrescimento di von Bertalanffy ottenute per *R. brachyura* tramite metodologie dirette ed indirette.

Il test ANOVA ha riscontrato delle differenze statisticamente significative nei dati di lunghezza media per età ottenuti attraverso i due metodi (ANOVA, F -ratio= 5.63; P = 0.026; R^2 = 0.93). Sugli stessi dati infine è stato effettuato anche il test di Kruskal-Wallis che ha confermato questo risultato evidenziando differenze significative nelle mediane dei due gruppi (Kruskal-Wallis Test statistic = 4.4; P -Value = 0.035).

5.5.2 *Dipturus oxyrinchus*

I parametri di von Bertalanffy stimati per *D. oxyrinchus* tramite le metodiche dirette e indirette sono mostrati nella tabella 5.5.2, inoltre le rappresentazioni grafiche delle equazioni ottenute sono presentate nella figura 5.5.2. I valori di Φ' calcolati per le due equazioni si sono dimostrati anche in questo caso piuttosto simili (Tab. 5.5.2). Come per la specie analizzata in precedenza anche per *D. oxyrinchus* parametro maggiormente difforme è risultato essere la lunghezza teorica all'età 0 (t_0).

Inoltre gli errori standard (S.E.) associati ai parametri ottenuti attraverso il metodo indiretto si sono attestati su cifre decisamente maggiori rispetto a quanto rilevato attraverso il metodo diretto, che si è quindi dimostrato più preciso anche per la stima dell'età di questa specie.

Tab. 5.5.2 Parametri di accrescimento di von Bertalanffy (\pm S.E.) calcolati per *D. oxyrinchus* attraverso metodiche dirette ed indirette, con descrizione del campione e relativo Φ' .

	<i>n</i>	$L_{\infty} \pm$ S.E.	$k \pm$ S.E.	$t_0 \pm$ S.E.	Età		Lunghezza		Φ'
					min	max	min	max	
Metodiche dirette	110	1444.5 \pm 115	0.08 \pm 0.01	-1.09 \pm 0.23	0	17	161	1155	5.222
Metodiche indirette	684	1570 \pm 242.8	0.08 \pm 0.03	1.19 \pm 0.52	0	5	106	1155	5.295

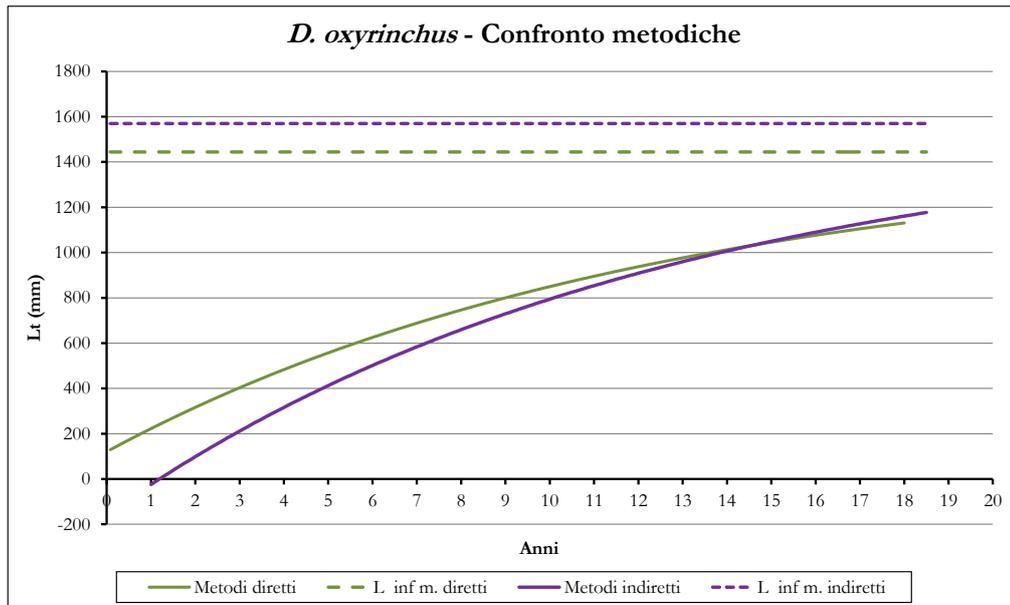


Fig. 5.5.2 Confronto delle curve di accrescimento di von Bertalanffy ottenute per *D. oxyrinchus* tramite metodologie dirette ed indirette.

Il test ANOVA ha riscontrato delle differenze statisticamente significative nei dati di lunghezza media per età della razza monaca ottenuti attraverso i due metodi (ANOVA, F -ratio= 7.021; P = 0.001; R^2 = 0.92). Questi risultati sono confermati anche dal test di Kruskal-Wallis (Kruskal-Wallis Test statistic = 5.88259; P -Value = 0.0152889).

5.5.3 *Raja polystigma*

Nella tabella 5.5.3 e nelle figura 5.5.3 sono messi a confronto i risultati dell'accrescimento di *R. polystigma* stimati attraverso metodiche dirette e indirette. Come nel caso precedente anche per questa specie a stima derivata dall'analisi della progressione modale ha riportato un valore di L_∞ nettamente superiore a quello ottenuto tramite l'osservazione diretta degli anelli di accrescimento. Il tasso di crescita (k) invece è risultato molto simile. Le due metodiche hanno pertanto mostrato valori di Φ' molto vicini (Tab. 5.5.3).

La lunghezza teorica all'età 0 (t_0), in accordo con quanto riportato per le altre due specie studiate, si è dimostrato, anche per *R. polystigma*, il parametro che più differisce tra i risultati delle due metodiche.

Infine, anche in questo caso, i parametri ottenuti attraverso la scomposizione modale hanno mostrato errori standard (S.E.) decisamente più elevati rispetto a quanto osservato per il metodo diretto.

Tab. 5.5.3 Parametri di accrescimento di von Bertalanffy (\pm S.E.) calcolati per *R. polystigma* attraverso metodiche dirette ed indirette, con descrizione del campione e relativo Φ' .

	n	$L_\infty \pm$ S.E.	$k \pm$ S.E.	$t_0 \pm$ S.E.	Età		Lunghezza		Φ'
					min	max	min	max	
Metodiche dirette	184	784.82 \pm 12.2	0.11 \pm 0.004	-1.718 \pm 0.25	0	11	115	590	4.830
Metodiche indirette	1583	886.9 \pm 171.8	0.09 \pm 0.03	-0.06 \pm 0.04	0	6	103	595	4.849

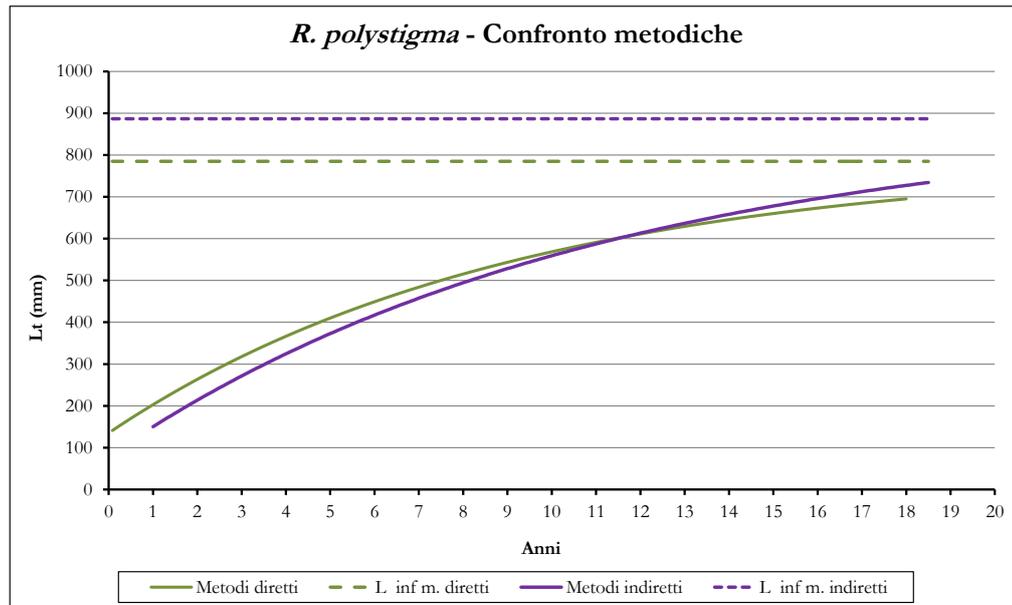


Fig. 5.5.3 Confronto delle curve di accrescimento di von Bertalanffy ottenute per *R. polystigma* tramite metodologie dirette ed indirette.

Contrariamente a quanto ottenuto nelle due specie analizzate in precedenza il test ANOVA non ha riscontrato nessuna differenza statisticamente significativa nei dati di lunghezza media-età di *R. polystigma* ottenuti attraverso i due metodi (ANOVA, F -ratio= 2.78; P = 0.1158; R^2 = 0.94). Il test di Kruskal-Wallis ha confermato questo risultato (Kruskal-Wallis Test statistic = 2.201; P -Value = 0.1379).

L'analisi dell'accrescimento indiretta ha quindi fornito, per la razza polistimma, una curva di crescita capace di descriverne l'accrescimento in maniera del tutto simile a quella ottenuta tramite il metodo diretto. Questo risultato fa sì che la stima dell'età attraverso la lettura diretta dei centri vertebrali effettuata in questo lavoro sia confermata e corroborata dai risultati della scomposizione modale delle coorti.

5.6 DISCUSSIONE

L'analisi dell'accrescimento tramite la conta diretta degli *annuli* nei centri vertebrali, delle specie esaminate in questo studio si è rivelata un processo piuttosto laborioso. Questa situazione è però comune a tutti gli studi sull'età degli elasmobranchi per i quali occorre trattare preventivamente le strutture calcificate sulle quali effettuare la conta delle bande di accrescimento (Cailliet *et al.*, 1986; Cailliet, 1990; Gallagher and Nolan, 1999; McFarlane *et al.*, 2002, Goldman, 2005).

In questa tesi sono state testate diverse tecniche di colorazione allo scopo di aumentare la visibilità degli anelli di crescita. Nonostante le diverse prove effettuate l'osservazione dei centri vertebrali non trattati ha sempre permesso i risultati migliori per tutte le specie, ad eccezione di *R. polystigma*. Per questa specie infatti il rosso Alizarina ha mostrato di essere più utile alla distinzione delle bande terminali ravvicinate degli individui più vecchi (Bellodi *et al.*, 2014a). Sebbene per *D. oxyrinchus* fosse suggerito di utilizzare il Nitrato d'Argento in modo da aumentare il contrasto delle sezioni (Yigin & Ismen, 2010), l'utilizzo di questa metodica non ha apportato benefici apprezzabili alla lettura dei campioni sardi che sono stati quindi analizzati non trattati, permettendo in questo modo un risparmio in termini economici e di tempo, dato il costo dei reagenti (Bellodi *et al.*, 2013).

I valori di precisione e riproducibilità delle letture ottenuti si sono dimostrati solidi. Per tutte le specie analizzate l'Index of Average Percent Error (IAPE) ha infatti prodotto dati inferiori al 10%, valore al di sotto del quale ricadono solo una minoranza degli studi incentrati sui pesci cartilaginei (Campana, 2001).

Per ogni specie analizzata in questo lavoro il modello di accrescimento che ha fornito un migliore fitting alle osservazioni dirette si è dimostrato sempre diverso. In particolare, per *R. brachyura* questo è risultato essere il modello classico di von Bertalanffy a 3 parametri come riportato in bibliografia (Fahy *et al.*, 1991; Gallagher *et al.*, 2005; Porcu *et al.*, 2015). L'accrescimento delle altre due specie esaminate, al contrario, è apparso descritto in maniera più precisa dai modelli che prevedevano l'utilizzo di curve di tipo sigmoide, ossia il modello di Gompertz per *D. oxyrinchus* e quello Logistico per *R. polystigma* (Bellodi, *et al.*, 2014b). Queste metodiche sono state indicate da diversi autori

come quelle che meglio descrivono l'accrescimento di specie, come ad esempio numerosi batoidi, caratterizzate da una crescita relativamente veloce durante le prime fasi di vita, che poi rallenta considerevolmente in seguito come riportato ad esempio da Zeiner & Wolf (1993) che hanno identificato nel modello di Gompertz il metodo più preciso per descrivere l'accrescimento del Myliobatiforme *Rhinoptera bonasus* (Mitchill, 1815) nel golfo del Messico, o ancora da Neer & Thompson (2005) che hanno dimostrato il modello logistico come quello più adatto allo studio dell'età del raide *Raja binoculata* Girard, 1855, nelle acque californiane.

Per quanto riguarda *R. brachyura* i risultati ottenuti per i campioni sardi mostrano un tasso di accrescimento (k) ed una lunghezza massima asintotica (L_{∞}) inferiori rispetto a quanto riportato nelle acque irlandesi (Holden, 1972; Fahy *et al.*, 1991; Gallagher *et al.*, 2005) ed in quelle portoghesi (Serra-Pereira *et al.*, 2005) (Tab. 5.6.1). Tale risultato potrebbe essere influenzato dal numero relativamente basso di esemplari di grandi dimensioni (LT > 900 mm) rinvenuti e quindi utilizzati in questo lavoro che potrebbe aver causato una sottostima del valore di L_{∞} . Le differenze tra i tassi di accrescimento riscontrati in Atlantico e in Mediterraneo si riflettono sulle età medie stimate per una data lunghezza, rinvenute decisamente maggiori nei campioni sardi. L'età massima stimata in questo studio è stata infatti pari a 16 anni (LT 955 mm) mentre Gallagher *et al.* (2005) hanno riportato un'età massima di 8 anni per individui di simili dimensioni (900-1000 mm in LT) (Porcu *et al.*, 2015). Tali divergenze sono probabilmente dovute alle differenti condizioni ambientali in grado di influenzare l'accrescimento di una specie esistenti tra l'Oceano Atlantico e il bacino del Mediterraneo, come ad esempio la temperatura dell'acqua o il tasso di sfruttamento (Porcu *et al.*, 2015).

Tab. 5.6.1 Parametri di accrescimento di von Bertalanffy stimati per *R. brachyura* nelle diverse regioni geografiche.

Area	Sesso	N° campioni		L_{∞}	k	t_0	Riferimento
		(range di taglia in mm)					
Oceano atlantico							
Mare d'Irlanda	M	777		1167-1194	0.24-0.26	-0.31-+0.15	Fahy, 1991
	F	910		120-1443	0.19-0.29	-0.31-+0.15	
Mare d'Irlanda	M	127 (max 1090)		1458	0.145	-0.926	Gallagher <i>et al.</i> , 2005
	F	141 (max 1080)		1547	0.129	-0.84	
Portogallo	combinati	139 (370-1060)		1335	0.12	0.29	Serra-Pereira <i>et al.</i> , 2005
Mediterraneo							
	M	80 (184-955)		1088	0.11	-1.2	
	F	59 (252-908)		1111	0.10	-1.3	
	combinati	139 (184-955)		1113	0.10	-1.19	

Il test di ANCOVA ha mostrato per i campioni sardi, come già ribadito in bibliografia (Gallagher, 2005) delle differenze significative tra i due sessi anche se in maniera meno marcata rispetto a quanto osservato per altri elasmobranchi da diversi autori (e.g. Cowley, 1997 per il dasiatide *Dasyatis chrysonota* Smith, 1828; Licandeo *et al.*, 2006 per *Dipturus chilensis* Guichenot, 1848; Duman & Baştusta, 2013 per *Torpedo marmorata* Risso, 1810; e Fisher *et al.*, 2013 per *R. bonasus*).

L'accrescimento di *D. oxyrinchus* è stato confrontato con quanto riportato nelle acque turche da Yigin & Ismen (2010). In questo caso i parametri dell'equazione di von Bertalanffy ottenuti sono risultati estremamente differenti. Questi autori hanno stimato valori del tasso di accrescimento k pari a 0.04 per sessi combinati e maschi e femmine separatamente, mentre in questo lavoro tale parametro è stato rinvenuto decisamente superiore (0.08 per femmine e sessi combinati e 0.11 per i maschi). I campioni provenienti dalla Sardegna hanno quindi mostrato un accrescimento nettamente più rapido. In conseguenza di ciò la lunghezza massima asintotica L_{∞} stimata da Yigin & Ismen (2010) si è rivelata molto maggiore (2518 mm in LT per i maschi, 2338 mm in LT per le femmine e 2564 mm in LT per sessi combinati). Tali discrepanze possono essere dovute al basso

numero di campioni utilizzati in Turchia (35 maschi e 30 femmine) che oltre alla mancanza di individui di taglia superiore agli 890 mm (LT) potrebbero aver condotto ad una sovrastima della lunghezza massima teoria ed a una sottostima del tasso di crescita. Inoltre, come nel caso precedente, le differenti condizioni ambientali presenti tra il bacino orientale e quello occidentale del mar Mediterraneo potrebbero aver influito sull'accrescimento.

Per quanto riguarda *R. polystigma* questo lavoro fornisce i primi dati sull'età e l'accrescimento (Bellodi *et al.*, 2014b). Anche questa specie, come quelle precedentemente trattate, ha mostrato delle differenze nei dati di età-lunghezza tra i due sessi, con le femmine che raggiungono taglie leggermente superiori. Diversamente delle altre due specie analizzate in questa tesi, la razza polistigma è sembrata caratterizzata da un ciclo vitale più breve ed un accrescimento più rapido.

Secondo quanto affermato da Branstetter (1987), valori di k compresi tra 0.05 e 0.10 sono tipici di specie a basso tasso di accrescimento, tra 0.10 e 0.20 caratterizzano specie a crescita moderata e tra 0.20 e 0.50 contraddistinguono le specie ad accrescimento rapido. In base a queste categorie *R. brachyura* e *R. polystigma* hanno mostrato un tasso di crescita moderato, in entrambi i casi leggermente più rapido nei maschi, mentre *D. oxyrinchus* si è dimostrata una specie a crescita più lenta.

R. brachyura e *D. oxyrinchus* si sono dimostrate infine specie decisamente più longeve di *R. polystigma*, potendo arrivare a 16-17 anni di età contro un'età massima stimata di 11 anni per quest'ultima. Tale risultato fa supporre per la razza polistigma un ciclo vitale più breve probabilmente in relazione con le sue dimensioni ridotte ed al suo tasso di accrescimento più rapido.

L'accrescimento delle razze oggetto di questo lavoro è stato valutato anche tramite l'utilizzo di metodologie indirette, e più precisamente attraverso il metodo della progressione modale basato sui dati taglia frequenza, allo scopo di corroborare le stime dell'età ottenute dalle letture dirette degli annuli nei centri vertebrali.

I parametri di accrescimento inerenti alle curve ottenute dalla scomposizione modale hanno mostrato degli errori standard decisamente maggiori rispetto a quanto osservato tramite metodologie dirette. Le curve calcolate per *R. brachyura* e *D. oxyrinchus*

hanno mostrato un buon fitting alle osservazioni nelle prime classi di età andando a diventare via via più imprecise nella descrizione delle età maggiori. Questo risultato conferma la migliore attitudine di questo metodo alla descrizione delle specie a crescita rapida e non estremamente longeve (Campana, 2014). Per tale motivo non è stato possibile ottenere tramite l'analisi della progressione modale delle curve in grado di corroborare le stime dell'età ottenute tramite la conta diretta degli *annuli* di queste due specie. *R. polystigma* invece si è dimostrata una specie meno longeva e caratterizzata da un tasso di accrescimento decisamente più rapido. Ciò ha reso l'individuazione e la scomposizione delle coorti un processo più semplice e meno impreciso, che ha fornito infine una curva di accrescimento statisticamente rapportabile a quella ottenuta tramite le metodologie dirette andando a corroborare tali risultati.

Questo lavoro ha quindi fornito, non solo i primi dati riguardanti l'età e l'accrescimento di *R. brachyura* in Mediterraneo (Porcu *et al.*, 2015) e di *D. oxyrinchus* nel bacino occidentale (Bellodi *et al.*, 2013), ma anche le prime informazioni in assoluto riguardanti questi aspetti del ciclo vitale di *R. polystigma* (Bellodi *et al.*, 2014a; 2014b) informazioni che sono state inoltre corroborate attraverso la scomposizione modale delle coorti.

6. *Stock Assessment*

6.1 INTRODUZIONE

Il principale scopo della biologia della pesca è quello di fornire le informazioni necessarie a far sì che le risorse sfruttate si mantengano in salute e continuino a produrre il massimo introito possibile per l'industria della pesca (Abella, 2011).

Per poter garantire tutto questo è necessario però formulare un piano gestionale in grado di garantire uno sfruttamento ottimale dello stock interessato (Bonfil, 2005).

Il concetto di stock ittico in letteratura è stato oggetto di numerosissime interpretazioni durante gli anni, quella più comunemente accettata tuttavia risulta essere stata formulata da Ihssen *et al.* (1981) secondo i quali uno stock corrisponde ad un gruppo intraspecifico di individui, che si riproducono in maniera casuale tra loro e si mantengono nel tempo, in una determinata area. Questo concetto appare ovviamente molto simile a quello di popolazione, ma esso si riferisce in particolare a quella componente di una specie che viene commercialmente sfruttata attraverso le attività di pesca (Shaklee & Currens, 2003; Abaunza, 2008a).

Affinché un piano gestionale per un determinato stock sia realmente efficace non può prescindere da una corretta valutazione del suo stato di salute, realizzato attraverso una serie di calcoli e modelli matematici e statistici effettuati in modo da ottenere previsioni quantitative delle reazioni delle popolazioni ad alternative scelte gestionali (Hilborn & Walters, 1992). L'insieme di tali processi è definito Stock Assessment (cfr. Capitolo 1).

Tale analisi necessita però di una grande quantità di dati, come ad esempio, lunghe serie storiche di dati di cattura, composizione della popolazione, stime di campionamento ed indici di abbondanza. Sono necessarie inoltre alcune delle principali caratteristiche proprie del ciclo biologico della specie che si intende valutare (cfr. Capitolo 1). Data la complessità e la specificità di questi dati è stato recentemente stimato che circa il 90%

degli stock risulta essere non valutabile attraverso le analisi classiche (Andrews *et al.*, 2007). Le cause sono molteplici e spesso risultano essere strettamente associate all'ecosistema indagato. Ad esempio, nell'analisi degli ecosistemi costieri si deve spesso affrontare una grande variabilità intraspecifica locale che conduce alla probabile presenza in una stessa area di numerosi substocks. Gli stock di acque più profonde al contrario offrono di solito una bassa numerosità campionaria ed una struttura di età costante. Inoltre molte specie risultano difficilmente valutabili poiché la loro presenza è associata a determinate situazioni climatiche o perché fortemente migratrici (Andrews *et al.*, 2007). A tutto questo si somma anche il fatto che i monitoraggi possono risultare estremamente costosi e spesso alcune specie mancano di “glamour”, risultano cioè poco interessanti all'opinione pubblica o di basso valore commerciale (Andrews *et al.*, 2007). I condroititi (con alcune eccezioni) rientrano pienamente in quest'ultima categoria, in particolar modo i Raidi famiglia oggetto di questo lavoro.

Le specie appartenenti a questa famiglia presentano alcune delle criticità tipiche degli elasmobranchi, riguardanti ad esempio la stima di alcuni parametri del ciclo vitale come l'età e l'accrescimento (cfr. Capitolo 4.1), ma anche legate alla penuria di dati di cattura che spesso accompagna le specie che fanno parte del by-catch.

Recentemente la comunità scientifica ha posto sempre maggiore attenzione a questo problema, sottolineando l'importanza di trovare nuove metodologie per una corretta analisi delle data-poor fisheries (Punt *et al.*, 2011). Tali metodologie, ispirate da questa necessità, si pongono lo scopo di riuscire a trovare il modo di arrivare ad una valutazione dello stato della risorsa indagata, attraverso nuovi tipi di elaborazioni meno influenzate dalle informazioni normalmente utilizzate per i processi di stock assessment tradizionale.

In questo lavoro, oltre ad al confronto delle abbondanze medie registrate durante gli ultimi 9 anni di campagna MEDITS (2005-2013) con quanto presente in bibliografia (Relini *et al.*, 2010; Follesa *et al.*, 2013), sono stati utilizzati i parametri di accrescimento, per l'applicazione di alcune analisi di stock assessment.

Ai metodi tradizionali è stata poi affiancata una analisi di valutazione del rischio ecologico (ERA). Questo tipo di studio è particolarmente indicato alla valutazione delle data poor fisheries (Stobutzki *et al.*, 2001a, 2001b). I risultati ottenuti tramite quest'analisi

sono stati quindi confrontati con quanto rinvenuto nelle acque italiane per altre specie di elasmobranchi e riportato nel report del progetto ELASMOSTAT (Serena, 2014).

6.2 MATERIALI E METODI

E' stata svolta per prima cosa un Ecological Risk Analysis (ERA) in modo da valutare l'effettivo tasso di produttività biologica delle diverse specie e la loro suscettibilità alla cattura (Francis, 1992; Lane *et al.*, 1998; Fletcher, 2005; Hobday *et al.*, 2007). In questo studio per valutare la vulnerabilità delle specie esaminate è stato utilizzato il metodo, sviluppato da Stobutzki *et al.* (2001a, 2001b), PSA (Productivity and Susceptibility Analysis). Quest'approccio risulta particolarmente indicato nei casi in cui la disponibilità dei dati è limitata, le cosiddette data-poor fisheries, (Stobutzki *et al.*, 2001a, 2001b), poiché utilizza dati qualitativi e quantitativi per determinare i due elementi principali per il calcolo della vulnerabilità di uno stock alla pesca. Il primo, dipendente soprattutto dalle caratteristiche biologiche delle specie, è rappresentato dalla produttività (P), questo parametro è in relazione con la capacità di recupero dello stock qualora si trovasse a bassi livelli di abbondanza. Il secondo elemento utilizzato in quest' analisi, la suscettibilità (S), corrisponde invece al potenziale di rischio di uno stock di essere compromesso dall'attività di pesca. La vulnerabilità (V) sarà quindi maggiore per le specie caratterizzate da alti livelli di suscettibilità e bassa produttività.

La PSA delle specie qui esaminate è stata calcolata attraverso il pacchetto PSA 1.4 incluso nel NOAA Stock Assessment toolbox (NOAA, 2010) con il quale sono stati ottenuti i punteggi pesati per ogni fattore rappresentati infine in uno scatter plot. La vulnerabilità totale di una specie è definita dalla distanza euclidea dei punteggi totali di suscettibilità (S) e produttività (P) secondo la formula:

$$V = \sqrt{[(P - X_0)^2 + (S - Y_0)^2]}$$

Dove X_0 e Y_0 sono rispettivamente le coordinate all'origine (X,Y).

Al fine di valutare lo stato degli stock dei raidi oggetto di questa tesi sono state utilizzate le serie storiche provenienti dalle campagne MEDITS effettuate dal 1994 al 2013, con l'unica eccezione di *R. brachyura* per la quale sono stati utilizzati i dati ottenuti a partire dal 2005, data la penuria di informazioni riguardanti gli anni precedenti.

I dati delle catture ponderali e numeriche delle specie esaminate sono stati elaborati, secondo gli algoritmi proposti da Cochran (1977) e presentati nell'ambito del progetto MEDITS da Souplet (1996), per il calcolo degli indici di abbondanza (kg/km^2) e di densità (n/km^2). E' stato inoltre determinato il peso medio annuale delle catture.

L'attendibilità statistica dei trend riscontrati è stata verificata tramite il test di Spearman.

La mortalità naturale M , ovvero la mortalità provocata da cause naturali quali predazione, malattie, penuria di cibo ed età avanzata, è stata stimata tramite la formula empirica di Pauly (1980), che determina M in funzione dei parametri di accrescimento L_∞ e k e della temperatura media ambientale (T) secondo la formula:

$$\log(M) = -0.0066 - 0.279 \log(L_\infty) + 0.6543 \log(k) + 0.4634 \log(T)$$

Le temperature medie ambientali utilizzate in questo studio (*R. brachyura* $T= 15.29$ °C; *D. oxyrinchus* $T= 13.94$ °C; *R. polystigma* $T=13.96$ °C) sono state calcolate per le diverse specie in base allo strato batimetrico da loro occupato attraverso i dati raccolti dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari tramite una sonda multiparametrica SBE 37-IM Microcat (Sea-Bird Electronic Inc.). La mortalità totale (Z), intesa come la somma della mortalità naturale (M) e la mortalità dovuta alla pesca (F), è stata calcolata attraverso la routine "Length Converted Catch Curve" del Software FISAT II (Gayanilo, *et al.*, 2005). Tale modello permette di calcolare Z in base alla diminuzione del numero di individui di ciascuna coorte in anni successivi. Attraverso quest' analisi è stato possibile inoltre calcolare per ogni specie la taglia alla quale il 50% degli individui risulta reclutabile dall'attrezzo utilizzato (L_c) tramite la routine di FISAT II "probability of capture".

Infine la mortalità da pesca (F) è stata ottenuta dalla differenza tra la Mortalità totale (Z) e quella naturale (M).

Per maschi e femmine separatamente e per sessi combinati è stata poi condotta la Virtual Population Analysis (VPA) attraverso il pacchetto FISAT II. In questo lavoro si è

scelto inoltre di effettuare tale analisi sebbene i dati a disposizione siano stati ottenuti attraverso campagne sperimentali e non commerciali come suggerito in bibliografia (Bonfil, 2005). Tale scelta è stata effettuata data la penuria, e spesso la scarsa qualità, delle informazioni riguardanti le catture commerciali (Dulvy *et al.*, 2000; Bradai *et al.*, 2012), in unione ad uno dei principi fondamentali per lo stock assessment delle data-poor fisheries che sancisce la necessità di trovare il modo di utilizzare ogni dato a disposizione con la stesura di nuovi modelli o con l'adattamento di quelli esistenti (Punt *et al.*, 2011). Tale analisi inoltre non è stata condotta allo scopo di stimare le dimensioni della popolazione, stima che sarebbe risultata inevitabilmente falsata dalle differenze tra l'attrezzo commerciale e quello sperimentale, bensì con l'intento di andare ad investigare su quali classi di età delle tre specie la mortalità da pesca avesse maggiore incidenza. Per tale analisi invece le differenze tra i due attrezzi risultano incidere meno, per di più la minore selettività della rete MEDITS, rende i risultati stimati maggiormente conservativi per la gestione delle specie.

Questo modello, basato sulle serie di dati di catture per età, permette di calcolare le dimensioni dello stock in base alla riduzione delle catture di ogni classe di età nel corso degli anni. Con quest'analisi è possibile stimare il grado di mortalità da pesca, il reclutamento e il numero di individui di una data età presenti nello stock per ogni singolo anno campionato. Prima di poter procedere con la VPA i dati di età-frequenza per ogni anno hanno subito un processo di "age slicing" attraverso il software LFDA5 (Kirkwood *et al.*, 2001).

Il rendimento relativo per recluta (Relative Yield per Recruit, Y'/R) e la biomassa relativa per recluta (Relative Biomass per Recruit, B'/R) sono stati valutati mediante i modelli di Beverton & Holt (1966), come implementati da Gayanilo, *et al.* (2005) secondo l'equazione:

$$Y'/R = EU^{M/k} \left\{ 1 - \frac{3U}{(1-m)} + \frac{3U^2}{(1+2m)} - \frac{U^3}{(1+3m)} \right\}$$

dove: $U = 1 - (L_c/L_\infty)$; L_c è la lunghezza media alla prima cattura; k = parametro dell'equazione di von Bertalanffy; $m = (1-E)/(M/k) = (k/Z)$; F = mortalità da pesca; M = mortalità naturale; $Z = F+M$, mortalità totale; E rappresenta lo sforzo di pesca uguale a F/Z .

La biomassa relativa per recluta (B'/R) è stata stimata dalla relazione:

$$B'/R = (Y'/R)/F$$

Attraverso la derivata prima di questa equazione è stato infine possibile calcolare i Biological reference point: E_{\max} (valore di sforzo di pesca associato al più alto valore di produzione per recluta), $E_{0.1}$ (valore di E al quale la pendenza della curva Y'/R è 1/10 del suo valore all'origine) e $E_{0.5}$ (valore di E associato ad una riduzione del 50% della B'/R in uno stock non sfruttato).

6.3 RISULTATI

6.3.1 PSA (*Productivity & Susceptibility Analysis*) e tasso di vulnerabilità.

I risultati ottenuti attraverso la PSA mostrano bassi livelli di produttività ed una suscettibilità elevata per tutti e tre i raidi esaminati in questo lavoro. In particolar modo le due specie di dimensioni maggiori *R. brachyura* e *D. oxyrinchus* hanno conseguito valori di produttività inferiori (Tab. 6.3.1 Fig. 6.3.1).

La Suscettibilità invece è risultata maggiore per *R. polystigma*, e ancora una volta, per *R. brachyura*, mentre per la razza monaca questo dato è apparso leggermente inferiore (Tab. 6.3.1 Fig. 6.3.1).

In conseguenza di questi risultati è stato calcolato il livello di vulnerabilità (Tab. 6.3.1 Fig. 6.3.2), in base a questo dato *R. brachyura* rappresenta la specie che si è rivelata maggiormente vulnerabile alla pesca, seguita da *D. oxyrinchus* e *R. polystigma*, caratterizzate da punteggi estremamente simili (Tab. 6.3.1 Fig. 6.3.2).

Tab. 6.3.1 Principali Risultati della Productivity-Susceptibility Analysis (PSA).

Stock	Produttività (P) (Punteggio pesato)	Suscettibilità (S) (Punteggio pesato)	Vulnerabilità (V)
<i>R. brachyura</i>	1.34	2.51	2.24
<i>D. oxyrinchus</i>	1.36	2.38	2.15
<i>R. polystigma</i>	1.54	2.57	2.14

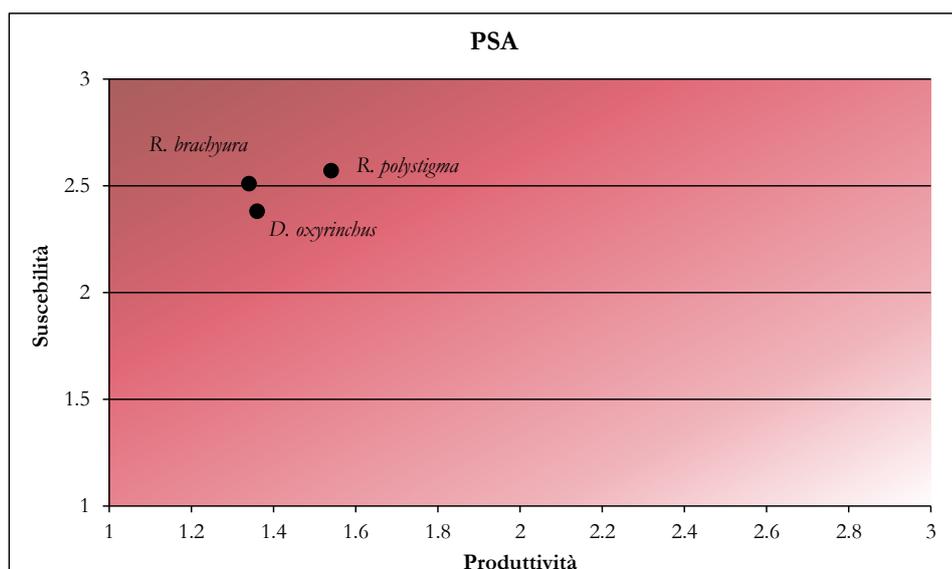


Fig. 6.3.1 Plot di produttività e suscettibilità per le specie considerate. Il gradiente di colore indica un livello di vulnerabilità tanto maggiore tanto più la tonalità diventa scura.

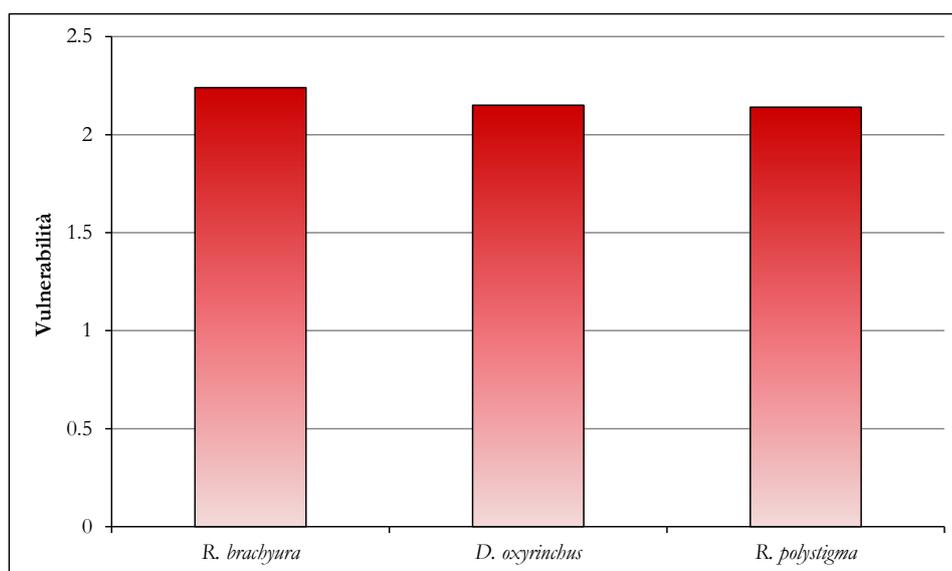


Fig. 6.3.2 Vulnerabilità delle diverse specie prese in esame.

6.3.2 *Raja brachyura*

6.3.1.1 Indici di biomassa

Per analizzare lo stato dello stock di *R. brachyura* è stata in primo luogo presa in esame la serie storica degli indici di abbondanza e di densità ottenuta tra gli anni 2005 e 2013. Il grafico riportato nella figura 6.3.3 descrive l'andamento in termini di abbondanza osservato per questa specie nel corso degli anni. Il numero medio di individui per km² è risultato pari a 61.94, con un picco massimo nel 2005 (133.68) e minimo nel 2008 (10.24). Il trend generale apparentemente in diminuzione non ha mostrato alcuna attendibilità statistica (Spearman, $p > 0.05$, $\rho = -0.33$).

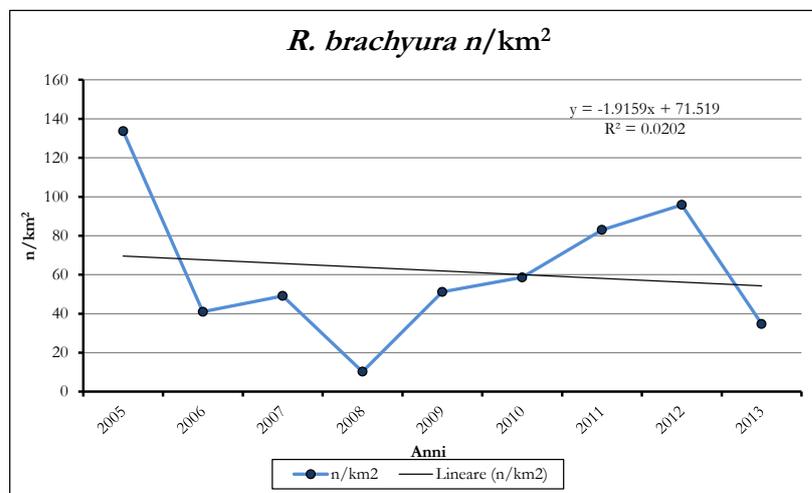
L'andamento in termini di biomassa è mostrato invece nella figura 6.3.4, in questo caso il trend è risultato positivo ma sempre senza alcuna attendibilità statistica (Spearman $p > 0.05$, $\rho = 0.383$). Il valore medio osservato nel corso degli anni ha presentato un valore pari a 26.05 kg/km² con un massimo 68.43 kg/km² nel 2012 ed un minimo pari a 5.17 kg/km² ottenuto nel 2008.

È stato calcolato infine il peso medio degli individui catturati nel corso degli anni (Fig. 6.3.5) questo parametro, a ha ovviamente mostrato un trend positivo, che è risultato statisticamente significativo (Spearman $p > 0.0499$, $\rho = 0.667$). Il peso medio degli esemplari campionati nel periodo indagato è risultato 0.44 kg.

Nella Tab. 6.3.2 sono riportati nel dettaglio i dati ottenuti in termini di abbondanza, biomassa e peso medio nei singoli anni.

Tab. 6.3.2 Abbondanza, biomassa e peso medio di *R. brachyura* nel periodo indagato

Anni	n/km ²	kg/km ²	Peso medio (kg)
2005	133.68	32.72	0.2447
2006	40.99	13.15	0.3207
2007	49.11	15.22	0.3099
2008	10.24	5.17	0.5046
2009	51.19	26.29	0.5135
2010	58.64	18.76	0.3198
2011	82.98	45.40	0.5472
2012	95.86	68.43	0.7139
2013	34.76	16.96	0.4878
Min	10.24	5.17	0.2447
Max	133.68	68.43	0.7139
Media	61.94	26.90	0.4402
Spearman p	0.93	0.308	0.0499
Spearman's rho	-0.033	0.383	0.6670

Fig. 6.3.3 Indici di abbondanza numerica (n/km²) di *R. brachyura*.

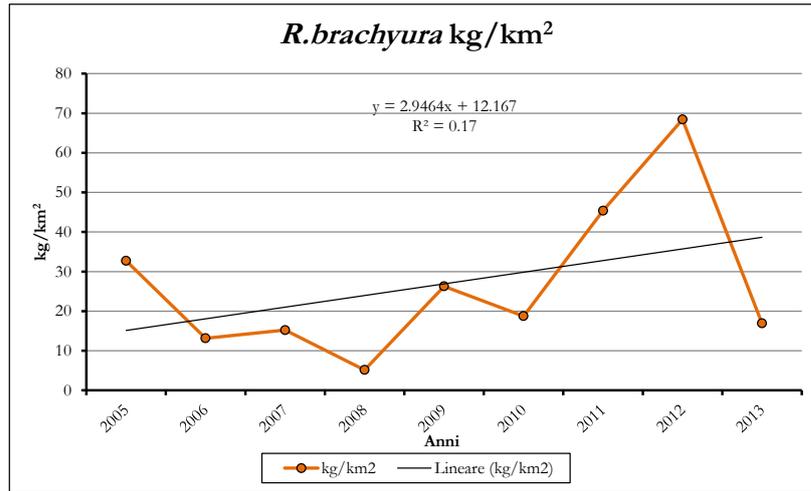


Fig. 6.3.4 Indici di biomassa (kg/km²) di *R. brachyura*

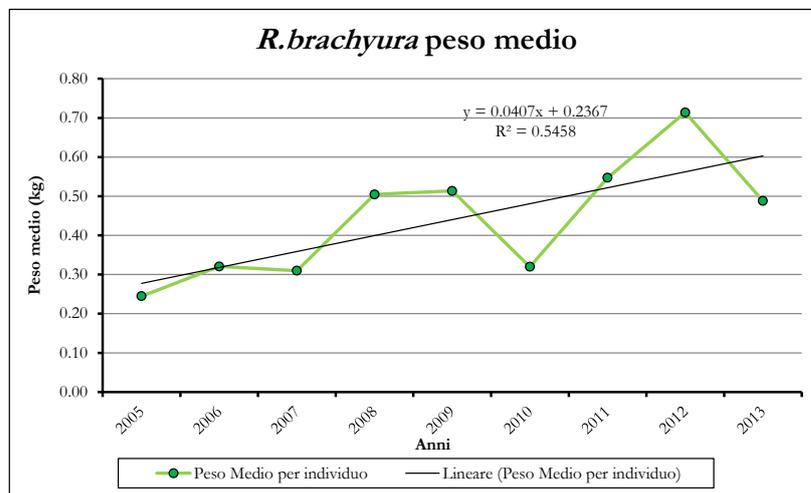


Fig. 6.3.5 Peso medio (kg) degli individui catturati di *R. brachyura*

6.3.1.2 Mortalità, dati di cattura ed altri parametri utilizzati per lo stock assessment.

La mortalità naturale M di *R. brachyura* è stata calcolata sia per sessi combinati ($M=0.10901$) sia per maschi e femmine separatamente ($M=0.1168$ e $M=0.10906$ rispettivamente). I valori ottenuti sono risultati in ogni caso piuttosto bassi, con i maschi che hanno però raggiunto livelli leggermente più alti delle femmine, in conseguenza di un tasso di crescita (k) maggiore. La mortalità totale Z è stata calcolata per questa specie pari a 0.276, di conseguenza il valore della mortalità da pesca (F), derivata dalla differenza tra Z e M , è risultato pari a 0.166 per sessi combinati e 0.1592 e 0.1694 per maschi e femmine rispettivamente. La taglia alla quale il 50% degli individui è risultata reclutabile dall'attrezzo utilizzato (L_c) è emersa piuttosto bassa (182 mm LT). Infine è stato calcolato il tasso di sfruttamento $E=(F/Z)= 0.605$. Nella tabella 6.3.3 sono riportati tutti i parametri biologici utilizzati per le successive analisi.

Tab. 6.3.3 Principali parametri biologici utilizzati per la valutazione dello stato dello stock di *R. brachyura* nei mari sardi.

	Sessi combinati	Maschi	Femmine
L_∞ (mm)	1113.4	1088.1	1111.4
k	0.1	0.11	0.1
t_0	-1.19	-1.2	-1.3
Temp media (°C)	15.29	15.29	15.29
LT max	1055	990	1055
M	0.10901	0.1168	0.10906
Z	0.276	0.276	0.276
F	0.16699	0.1592	0.16694
E	0.6050362	-	-
L_c (mm)	182.22	-	-
L_c/L_∞	0.1636609	-	-
M/k	1.0901	-	-
L_{50} (mm)	845*	808*	872*

* fonte Porcu *et al.* 2015

6.3.1.3 Virtual population analysis (VPA).

Attraverso una Virtual Population Analysis (VPA) basata sui dati di cattura per età, è stato possibile ottenere una stima della dimensione della popolazione nonché delle catture e della mortalità da pesca (F) per classe di età di *R. brachyura*. Quest'analisi è stata svolta per sessi combinati e per maschi e femmine separatamente. I risultati ottenuti per sessi combinati (Fig. 6.3.6; Tab. 6.3.4) mostrano come la mortalità naturale tenda a diminuire con l'aumentare dell'età per andare poi quasi ad annullarsi nelle classi più grandi (>6 anni) per i quali la pesca diventa la principale causa di mortalità

Il numero di catture è apparso essere rilevante già per la classe di età 2+ e decisamente elevato a partire dai 4 anni in poi. Lo stesso andamento si è manifestato anche per la mortalità da pesca istantanea (Tab. 6.3.4) risultata più elevata per le classi di età 5+ e 6+.

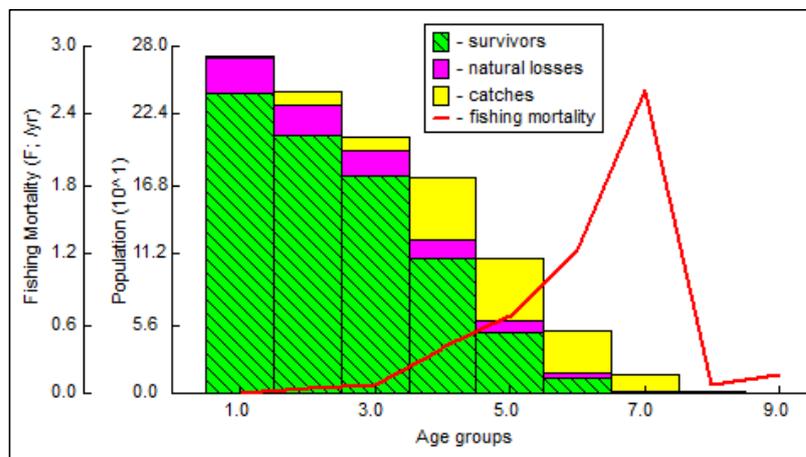


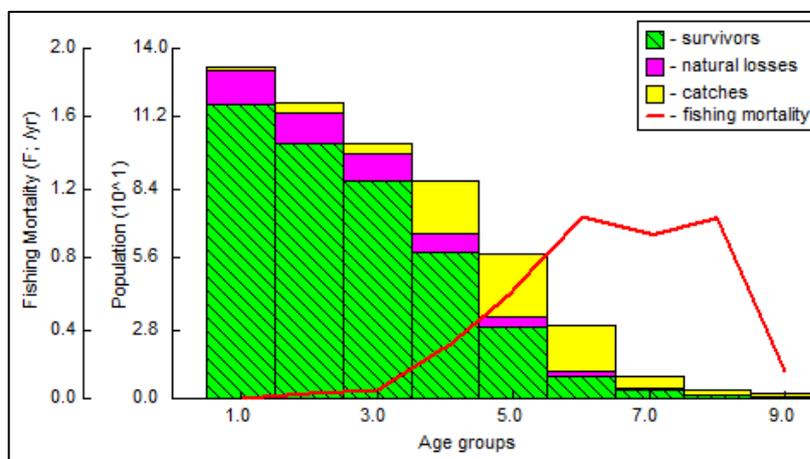
Fig. 6.3.6 Risultati della VPA per sessi combinati di *R. brachyura*.

Tab. 6.3.4 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per sessi combinati di *R. brachyura*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	1.43	0.006
2	9.54	0.042
3	12.8	0.067
4	51.48	0.372
5	50.42	0.677
6	33.21	1.24
7	11.28	2.662
8	0.05	0.068
9	0.1	0.167

La stessa analisi compiuta per i due sessi separatamente ha ottenuto risultati simili. Sia per le femmine (Fig. 6.3.7; Tab. 6.3.5) che per i maschi (Fig. 6.3.8; Tab.6.3.6) il numero di catture ed il valore della mortalità da pesca è risultato in aumento fin dai primi anni di vita, raggiungendo il culmine tra le classi modali 4+ e 8+.

Gli individui maschili hanno mostrato un numero di catture superiore rispetto alle femmine nelle prime due classi di età, risultato riconducibile al più rapido accrescimento dei maschi che permette il raggiungimento di taglie superiori, più facilmente selezionate dall'attrezzo di pesca. Nonostante l'arco temporale per cui sono a disposizione i dati di cattura (2005-2013) non abbia permesso la stima delle classi di età superiore ai 9 anni, Dai risultati acquisiti si è potuto notare che, in ogni caso, la mortalità da pesca vada ad interessare in maniera considerevole le taglie medie di *R. brachyura*.

Fig. 6.3.7 Risultati della VPA per le femmine di *R. brachyura*

Tab. 6.3.5 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per le femmine di *R.brachyura*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	0.48	0.027
2	3.57	0.065
3	4.65	0.289
4	21.07	0.443
5	25.42	0.705
6	17.28	0.736
7	5.2	0.71
8	1.92	0.159
9	0.14	0.004

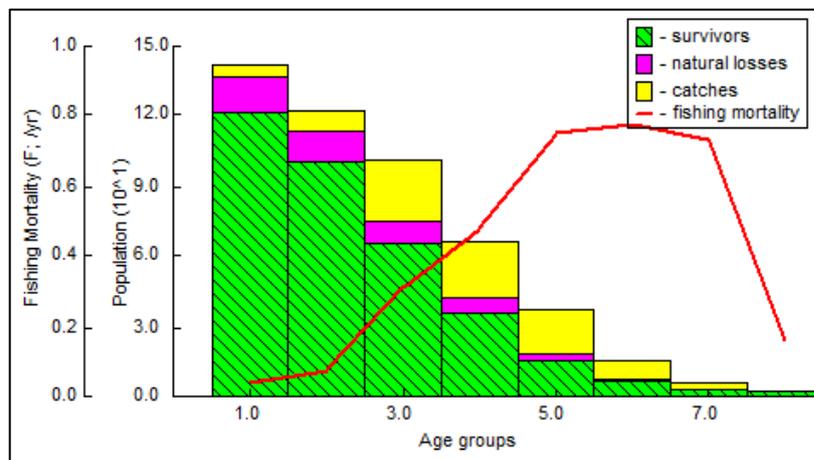


Fig. 6.3.8 Risultati della VPA per i maschi di *R. brachyura*

Tab. 6.3.6 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per i maschi di *R. brachyura*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	4.29	0.027
2	8.21	0.065
3	25.91	0.289
4	23.4	0.443
5	17.94	0.705
6	7.71	0.736
7	3.05	0.71
8	0.37	0.159

6.3.1.4 Modelli di Beverton & Holt e Reference Points (RPs).

L'analisi effettuata attraverso l'impiego dei modelli di Beverton & Holt, produzione relativa e biomassa relativa per recluta (Y'/R e B'/R , rispettivamente), ha consentito di ottenere una prima valutazione sullo stato di sfruttamento di *R. brachyura* nei mari sardi. I dati richiesti per l'applicazione di questo modello sono stati: il rapporto tra mortalità naturale M e il tasso di accrescimento (k) ($M/k = 1.0901$); e il rapporto tra lunghezza media alla cattura (L_c) e il parametro dell'equazione di von Bertalanffy L_∞ ($L_c/L_\infty = 0.1637$). Nella figura 6.3.9 sono plottate le curve Y'/R e B'/R . Da quest'analisi è stato possibile ottenere il valore di sforzo di pesca associato al più alto valore di produzione per recluta (E_{max}) risultato pari a 0.45. Sono stati inoltre calcolati E_{10} ed E_{50} (0.366 e 0.28 rispettivamente).

Infine è stato determinato il tasso di sfruttamento a cui la popolazione è effettivamente sottoposta ($E = F/Z = 0.6$). Dato che E è risultato maggiore di E_{max} la popolazione sarda di *R. brachyura* sembra trovarsi in una condizione di overfishing.

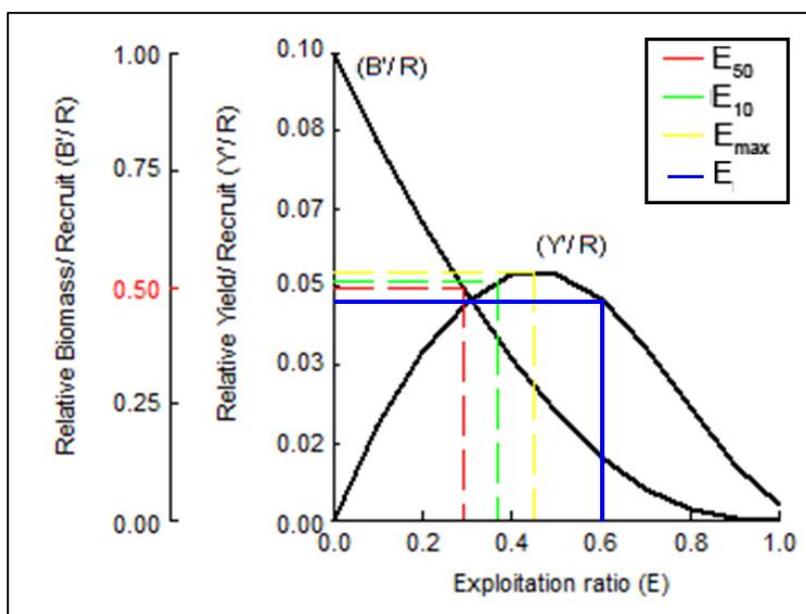


Fig. 6.3.9 Produzione per recluta e biomassa per recluta di *R. brachyura* vs. tasso di sfruttamento (E), confrontati con i reference points (RPs).

6.3.3 *Dipturus oxyrinchus*

6.3.2.1 Indici di biomassa

Come primo passo per l'analisi dello stock assessment di *D. oxyrinchus* si è proceduto all'esame della serie storica degli indici di abbondanza e di densità ottenuta tra gli anni 1994 e 2013. Nella Tab. 6.3.7 sono riportati nel dettaglio i dati ottenuti in termini di abbondanza biomassa e peso medio nei singoli anni.

L'abbondanza numerica di questa specie nel corso degli anni, descritta nel grafico riportato alla figura 6.3.10, si è mostrata piuttosto stabile, con un valore massimo nel 2002 (31.69). Il numero medio di individui per km² è risultato pari a 12.27. Il trend generale è sembrato essere stabile anche se questo non sia risultato statisticamente provato dal test di Spearman ($p > 0.05$, $\rho = -0.081$) (Tab. 6.3.6).

L'andamento in termini di biomassa (Fig. 6.3.11), al contrario, è stato rinvenuto decisamente più altalenante, con due valori massimi nel 1998 e nel 2003 (30.89 e 24.04 kg/km² rispettivamente) ed un minimo molto vicino allo 0 nel 1999 (0.62 kg/km²). Il valore medio osservato nel corso degli anni è stato pari a 11.97 kg/km². Come per l'indice di abbondanza anche per la biomassa è stato rilevato un trend tendenzialmente stabile, benché anche questo andamento non sia stato comprovato statisticamente (Spearman $p > 0.05$, $\rho = 0.134$).

Nella figura 6.3.12 è mostrato infine il peso medio degli individui catturati nel corso degli anni. Il peso medio degli esemplari campionati nel periodo indagato è risultato 0.99 kg.

Tab. 6.3.7 Abbondanza, biomassa e peso medio di *D. oxyrinchus* nel periodo indagato

Anni	n/km²	kg/km²	Peso medio (kg)
1994	10.58	12.633	1.19
1995	10.18	8.460	0.83
1996	10.48	6.785	0.65
1997	10.46	8.719	0.83
1998	15.45	30.898	2.00
1999	4.17	0.626	0.15
2000	9.71	9.623	0.99
2001	17.67	16.912	0.96
2002	31.69	13.766	0.43
2003	23.09	24.038	1.04
2004	6.73	5.785	0.86
2005	15.20	10.669	0.70
2006	6.32	6.453	1.02
2007	7.57	6.506	0.86
2008	10.77	9.774	0.91
2009	12.97	15.187	1.17
2010	13.27	16.134	1.22
2011	8.97	13.977	1.56
2012	13.96	14.126	1.01
2013	6.24	8.279	1.33
Min	4.17	0.63	0.15
Max	31.69	30.90	2.00
Media	12.27	11.97	0.99
Spearman p	0.7336	0.5738	0.069
Spearman's rho	-0.081	0.134	0.414

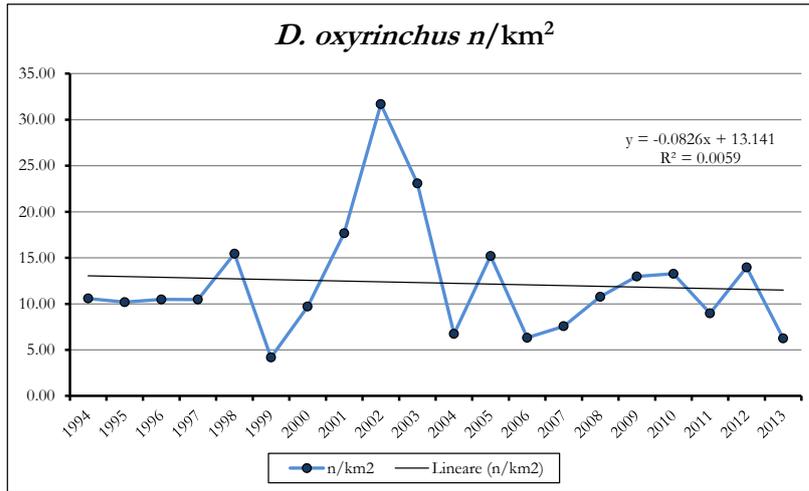


Fig. 6.3.10 Indici di abbondanza numerica (n/km²) di *D. oxyrinchus*.

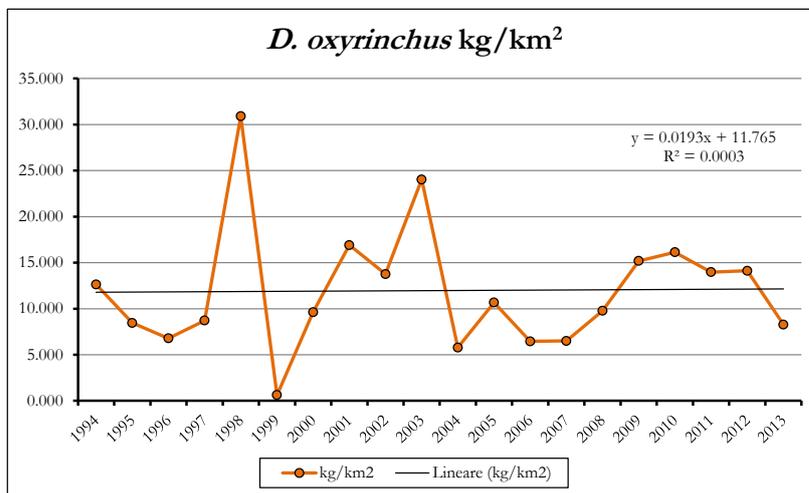


Fig. 6.3.11 Indici di biomassa (kg/km²) di *D. oxyrinchus*.

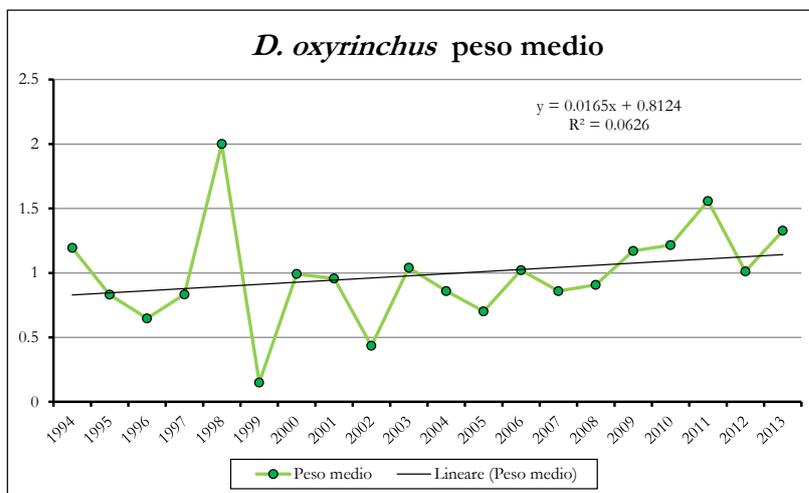


Fig. 6.3.12 Peso medio (kg) degli individui catturati di *D. oxyrinchus*.

6.3.2.2 Mortalità, dati di cattura ed altri parametri utilizzati per lo stock assessment.

Come per la specie analizzata in precedenza la mortalità naturale M di *D. oxyrinchus* è stata calcolata sia per sessi combinati ($M=0.084$) che per sessi separati (maschi $M=0.109$ e femmine $M=0.083$). I valori ottenuti sono risultati decisamente bassi, sono state infatti stime di M nettamente inferiori rispetto a quelle osservate per *R. brachyura*. Anche in questo caso i maschi hanno raggiunto valori di M leggermente più alti di quelli riportati per il sesso femminile, a causa del loro maggiore tasso di crescita (k). La taglia alla quale il 50% degli individui di *D. oxyrinchus* è risultata reclutabile dall'attrezzo utilizzato (L_c) è emersa anche in questo caso relativamente bassa sebbene maggiore di quella riportata dalla specie analizzata in precedenza (324 mm in LT).

La mortalità totale (Z) calcolata per questa specie è risultata pari a 0.14. E' stato quindi calcolato il valore della mortalità da pesca (F) tramite la differenza tra Z e M , questo dato è risultato 0.056 per sessi combinati e 0.031 e 0.057 per maschi e femmine rispettivamente. Anche per quanto riguarda queste stime i dati ottenuti per *D. oxyrinchus* si sono dimostrati inferiori rispetto a quanto riportato per la specie trattata in precedenza. Infine è stato calcolato il tasso di sfruttamento $E=(F/Z)= 0.4005$. Nella tabella 6.3.8 sono riportati tutti i parametri biologici utilizzati per le successive analisi.

Tab. 6.3.8 Principali parametri biologici utilizzati per la valutazione dello stato dello stock di *D. oxyrinchus* nei mari sardi.

	Sessi combinati	Maschi	Femmine
L_{∞} (mm)	1444.5	1189	1492
k	0.08	0.11	0.08
t_0	-1.09	-1.08	-0.8
Temp media (°C)	13.94	13.94	13.94
LT max	115.5	1050	1155
M	0.08393	0.10914	0.08318
Z	0.14	0.14	0.14
F	0.05607	0.03086	0.05682
E	0.4005		
L_c (mm)	324.01	-	-
L_c/L_{∞}	0.224306		
M/k	1.049125		
L_{50} (mm)	920	899	966

6.3.2.3 Virtual population analysis (VPA).

I dati di cattura per età, dopo aver subito un processo di age slicing, sono stati utilizzati per svolgere una Virtual Population Analysis (VPA), in questo modo è stato possibile ottenere una stima delle catture e della mortalità da pesca (F) per classe di età oltre che della dimensione della popolazione di *D. oxyrinchus*. Come nel caso di *R. brachyura* quest'analisi è stata compiuta sia per sessi combinati sia per sessi separati. I risultati ottenuti per sessi combinati (Fig. 6.3.13; Tab. 6.3.9) mostrano anche per questa specie come la mortalità naturale tenda a diminuire con l'aumentare dell'età, venendo man mano sostituita dalla mortalità da pesca. Il numero di catture si è dimostrato già rilevante per la prima classe di età e piuttosto costante fino ad arrivare ad un picco raggiunto con la classe di età 6+. La mortalità da pesca istantanea (Tab. 6.3.9) ha manifestato un andamento simile, restando a bassi livelli fino ad aumentare drasticamente nelle classi di età 6+ e 7+.

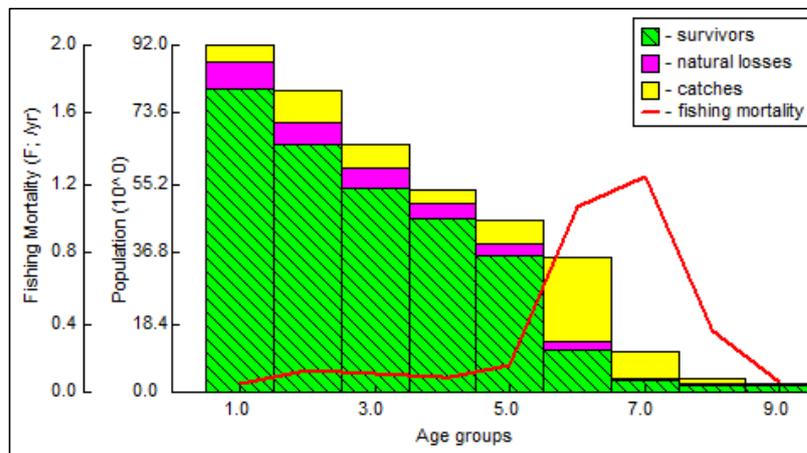


Fig. 6.3.13 Risultati della VPA per sessi combinati di *D. oxyrinchus*.

Tab. 6.3.9 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per sessi combinati di *D. oxyrinchus*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	3.82	0.044
2	8.89	0.122
3	6.25	0.105
4	4.22	0.085
5	6.4	0.157
6	22.73	1.074
7	7.73	1.244
8	0.88	0.366
9	0.1	0.056

La VPA è stata svolta anche per i due sessi separatamente che hanno però mostrato risultati simili. Entrambi i sessi hanno mostrato come le prime classi di età siano caratterizzate da un basso numero di catture e della mortalità da pesca istantanea. Una differenza riscontrata nelle analisi tra i due sessi risulta relativa al numero di catture della prima classe di età: è possibile notare infatti come questo dato per le femmine (Fig. 6.3.14; Tab. 6.3.10) sia decisamente inferiore rispetto a quanto osservato nei maschi (Fig. 6.3.15; Tab. 6.3.11). Questo risultato è probabilmente dovuto, come per la specie precedente, al fatto che i maschi a causa di un tasso di accrescimento più elevato tendono a raggiungere a parità di età una taglia più grande che più facilmente viene selezionata dalla rete. Come nel caso di *R. brachyura* anche per *D. oxyrinchus*, a causa della brevità della serie storica relativa per i quali erano a disposizione i dati di lunghezza (2005-2013), non è stato possibile stimare la composizione delle classi di età superiore ai 9 anni. Dai risultati acquisiti si evince comunque come la mortalità da pesca vada ad incidere in maniera considerevole sugli individui di medie dimensioni di questa specie.

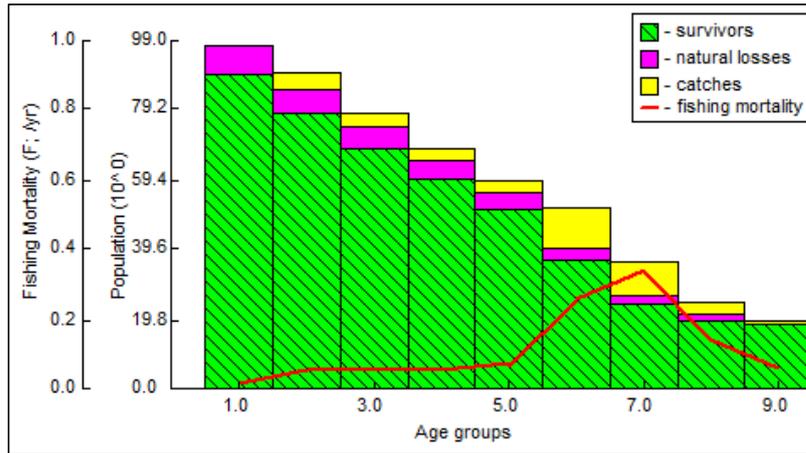


Fig. 6.3.14 Risultati della VPA per le femmine di *D. oxyrinchus*

Tab. 6.3.10 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per le femmine di *D. oxyrinchus*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	0.78	0.008
2	4.3	0.051
3	3.99	0.055
4	3.46	0.054
5	3.91	0.071
6	11	0.254
7	10.05	0.339
8	2.98	0.139
9	1	0.056

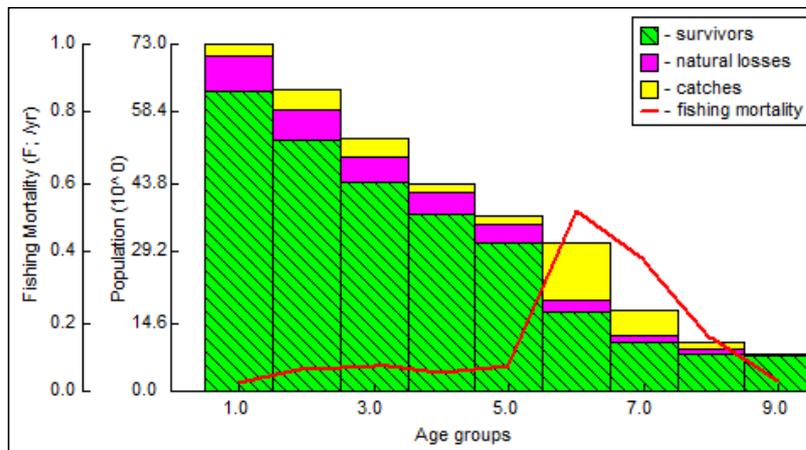


Fig. 6.3.15 Risultati della VPA per i maschi di *D. oxyrinchus*

Tab. 6.3.11 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per i maschi di *D. oxyrinchus*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	2.06	0.03
2	4.02	0.07
3	3.58	0.074
4	2.15	0.053
5	2.46	0.072
6	12.04	0.522
7	4.98	0.381
8	1.35	0.151
9	0.23	0.031

6.3.2.4 Modelli di Beverton & Holt e Reference Points (RPs).

La produzione relativa per recluta (Y'/R) e la biomassa relativa per recluta (B'/R) sono state stimate per *D. oxyrinchus* attraverso i modelli di Beverton & Holt, in questo modo è stata ottenuta una prima valutazione dello stato di questa risorsa nei mari sardi. Per l'applicazione di questo modello sono stati utilizzati: il rapporto tra mortalità naturale M e il tasso di accrescimento (k) ($M/k= 1.0491$); e il rapporto tra lunghezza media alla cattura (L_c) e la lunghezza massima teorica L_∞ ($L_c/ L_\infty= 0.2243$). Nella figura 6.3.16 sono plottate le curve Y'/R e B'/R . Il valore di sforzo di pesca associato al più alto valore di produzione per recluta (E_{max}) è risultato pari a 0.48. Sono stati inoltre calcolati E_{10} ed E_{50} (0.407 e 0.302 rispettivamente). Il tasso di sfruttamento ($E= F/Z$) a cui la popolazione di *D. oxyrinchus* è effettivamente sottoposta è stato calcolato pari a 0.400. Al contrario di quanto osservato per *R. brachyura*, per la razza monaca E è risultato inferiore di E_{max} per questo motivo la pressione antropica che grava su questa specie, nonostante nel precedente paragrafo la VPA abbia evidenziato un notevole tasso di cattura per gli individui immaturi, sembra essere ancora sostenibile.

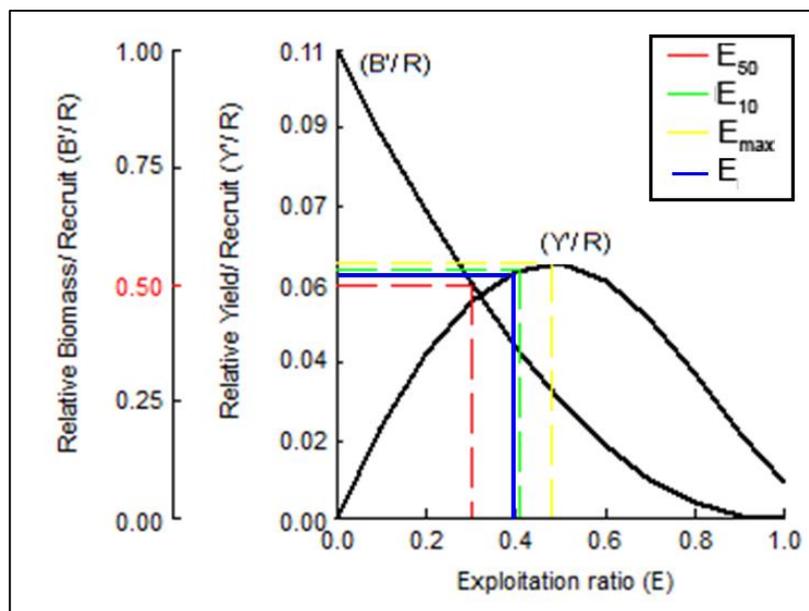


Fig. 6.3.16 Produzione per recluta e biomassa per recluta di *D. oxyrinchus* vs. tasso di sfruttamento (E), confrontati con i reference points (RPs).

6.3.4 *Raja polystigma*

6.3.3.1 Indici di biomassa

Anche per la valutazione dello stato della popolazione di *R. polystigma*, come per le altre due specie precedentemente analizzate, è stata per prima cosa presa in esame la serie storica degli indici di abbondanza e di densità ottenuta tra gli anni 1994 e 2013. I dati ottenuti nei singoli anni in termini di abbondanza, biomassa e peso medio sono riportati nella tabella 6.3.12.

Nel periodo di tempo analizzato l'abbondanza numerica della razza polistimma si è dimostrata piuttosto stabile (Fig. 6.3.17). Dal grafico si possono notare due netti picchi nel 2001 e nel 2007 (rispettivamente 117.46 e 80.67 individui al km²). La densità media (Tab. 6.3.12) è risultata pari a 42.72 (n/km²). Il test di Spearman ($p > 0.05$, $\rho = 0.054$) non ha provato statisticamente il trend generale dell'abbondanza di questa specie che nonostante questo è sembrato in equilibrio, sebbene altalenante.

L'andamento in termini di biomassa (Fig. 6.3.18) ha riflesso i due picchi rinvenuti nell'analisi dell'abbondanza numerica con due valori altrettanto positivi (30.62 kg/km² nel 2001 e 26.55 nel 2007) (Tab. 6.3.12). Il valore medio di kg/km² di *R. polystigma* osservato nel corso degli anni è stato pari a 11.64 kg/km². Questo indice, contrariamente a quanto osservato per l'abbondanza numerica si è rivelato in leggero decremento, anche in questo caso il test di Spearman non ha statisticamente comprovato tale andamento (Spearman $p > 0.05$, $\rho = -0.153$).

Il peso medio degli esemplari di razza polistimma campionati nel periodo indagato è risultato 0.27 kg (Tab. 6.3.12), anche questo dato ha mostrato un trend tendenzialmente in calo nel periodo indagato (Fig. 6.3.19).

Tab. 6.3.12 Abbondanza, biomassa e peso medio di *R. polystigma* nel periodo indagato

Anni	n/km²	kg/km²	Peso medio (kg)
1994	19.95	6.350	0.318
1995	34.51	8.750	0.254
1996	36.65	16.103	0.439
1997	30.77	5.867	0.191
1998	43.62	13.553	0.311
1999	46.28	14.104	0.305
2000	35.77	9.550	0.267
2001	117.46	30.620	0.261
2002	57.79	8.216	0.142
2003	23.72	5.376	0.227
2004	40.13	12.835	0.320
2005	38.10	9.570	0.251
2006	54.40	14.352	0.264
2007	80.67	26.552	0.329
2008	25.98	5.698	0.219
2009	19.09	4.441	0.233
2010	44.31	16.708	0.377
2011	41.87	11.843	0.283
2012	45.53	8.091	0.178
2013	17.89	4.257	0.238
Min	17.89	4.26	0.142
Max	117.46	30.62	0.439
Media	42.72	11.64	0.270
Spearman p	0.8207	0.5185	0.3456
Spearman's rho	0.054	-0.153	-0.223

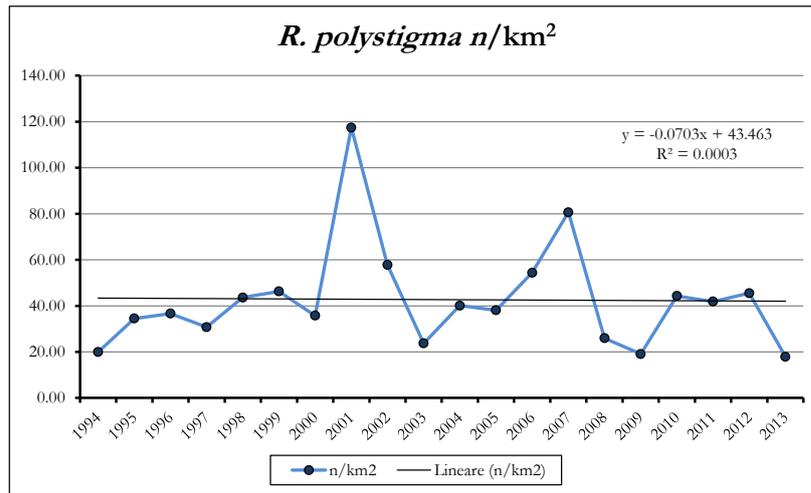


Fig. 6.3.17 Indici di abbondanza numerica (n/km²) di *R. polystigma*.

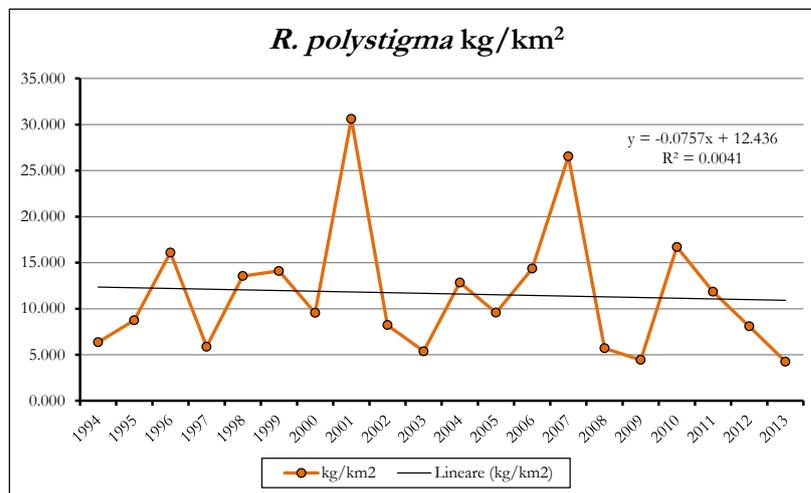


Fig. 6.3.18 Indici di biomassa (kg/km²) di *R. polystigma*.

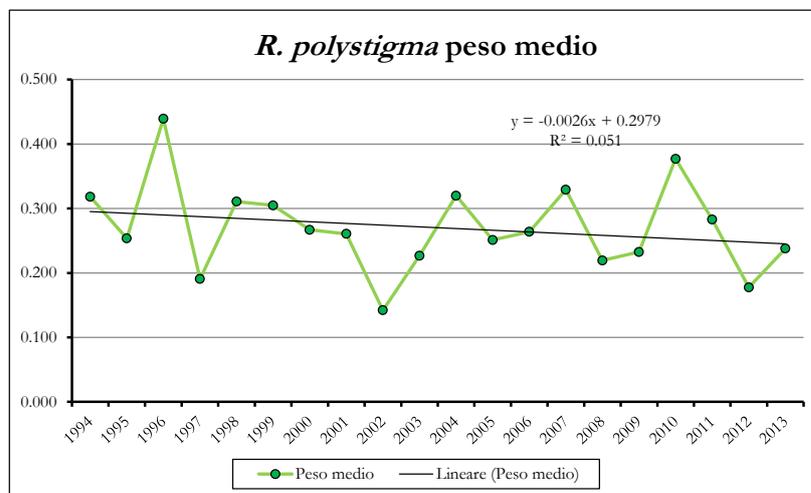


Fig. 6.3.19 Peso medio (kg) degli individui catturati di *R. polystigma*.

6.3.3.2 Mortalità, dati di cattura ed altri parametri utilizzati per lo stock assessment.

La mortalità naturale M di *R. polystigma* è stata calcolata sia per sessi combinati ($M=0.123$) che per sessi separati (maschi $M=0.158$ e femmine $M=0.122$). I valori ottenuti sono risultati piuttosto bassi, anche se la razza polistimma ha comunque riportato delle stime di M tendenzialmente più alte di quelle osservate per le specie trattate in precedenza. Anche in questo caso i maschi, in conseguenza di un maggiore tasso di crescita (k), hanno raggiunto valori di M leggermente più alti delle femmine.

E' stata quindi calcolata la mortalità totale (Z) risultata pari a 0.399. Infine attraverso la differenza tra Z e M è stato calcolato il valore della mortalità da pesca (F), risultato 0.277 per sessi combinati e 0.241 e 0.277 per maschi e femmine rispettivamente. Anche per quanto riguarda questi dati sono state ottenute delle stime per *R. polystigma* nettamente superiori rispetto a quanto riportato per la specie precedentemente analizzata. Infine è stato calcolato il tasso di sfruttamento $E=(F/Z)= 0.693$.

La taglia alla quale il 50% degli individui di *R. polystigma* è risultata reclutabile dall'attrezzo utilizzato (L_c) è apparsa piuttosto bassa (217.7 mm in LT). Nella tabella 6.3.13 sono riportati tutti i parametri biologici utilizzati per le successive analisi.

Tab. 6.3.13 Principali parametri biologici utilizzati per la valutazione dello stato dello stock di *R. polystigma* nei mari sardi.

	Sessi combinati	Maschi	Femmine
L_{∞} (mm)	784.2	645	782.7
k	0.11	0.149	0.109
t_0	-1.718	-1.96	-1.79
Temp media (°C)	13.96	13.96	13.96
LT max	595	575	595
M	0.12266	0.15799	0.122
Z	0.399	0.399	0.399
F	0.27734	0.24101	0.277
E	0.69335	-	-
L_c (mm)	217.77	-	-
L_c/L_{∞}	0.27769702		
M/k	1.11509091		
L_{50} (mm)	370*	340*	400*

* Capapé & Quingard (1978); Capapé *et al.*, 2007.

6.3.3.3 Virtual population analysis (VPA).

Una Virtual Population Analysis (VPA) è stata compiuta, con l'utilizzo dei dati di cattura per età, in modo da poter ottenere, anche per *R. polystigma*, una stima della dimensione della popolazione nonché delle catture e della mortalità da pesca (F) per le singole classi di età. Come per le specie analizzate in precedenza quest'analisi è stata svolta per sessi combinati e per maschi e femmine separatamente.

I risultati ottenuti nell'analisi per sessi combinati (Fig. 6.3.20; Tab. 6.3.14) mostrano come anche in questo caso la mortalità naturale con passare degli anni tenda ad essere sostituita dalla mortalità da pesca come causa principale della riduzione della popolazione. La mortalità da pesca istantanea e in numero di catture infatti si sono mantenute a livelli stabilmente bassi per le prime classi di età fino ad arrivare alla classe 5+. Da quest'età in poi si assiste inoltre ad un drastico aumento di F che raggiunge il valore più alto per la classe 7+ (Fig. 6.3.20; Tab. 6.3.14).

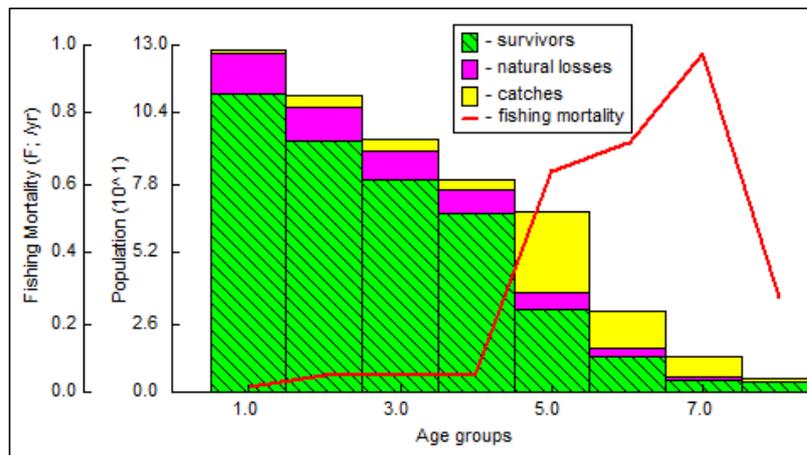


Fig. 6.3.20 Risultati della VPA per sessi combinati di *R. polystigma*.

Tab. 6.3.14 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per sessi combinati di *R. polystigma*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	2.04	0.017
2	5.05	0.049
3	4.27	0.049
4	3.58	0.049
5	29.83	0.642
6	15	0.718
7	7.89	0.977
8	1	0.27

Le analisi compiute per i due sessi separatamente ha ottenuto risultati simili alla situazione appena descritta. Sia per le femmine (Fig. 6.3.21; Tab. 6.3.15) che per i maschi (Fig. 6.3.22; Tab. 6.3.16), infatti, il numero di catture ed il valore della mortalità da pesca è risultato in aumento fin dai primi anni di vita, raggiungendo i valori più alti tra le classi modali 6+ e 8+ per quanto riguarda le femmine e 5+ e 7+ nei maschi. Anche per *R. polystigma* quest'analisi, a causa della disponibilità di dati di cattura ottenuti a partire dal 2005, ha potuto stimare la composizione della popolazione esclusivamente per le classi di età di questa specie fino ai 9 anni, ossia per il periodo temporale indagato. Questi risultati però, trattandosi di una specie meno longeva delle altre analizzate in precedenza (vedi capitolo 4), sono in grado di fornire una stima dello stato della popolazione di questo raide in maniera piuttosto affidabile. E' inoltre interessante notare come per questa specie la mortalità da pesca incida in maniera simile sulle primissime classi di età dei due sessi, ciò è probabilmente dovuto, diversamente a quanto riscontrato nelle altre due specie precedentemente analizzate, ad un accrescimento più simile tra i maschi e le femmine di *R. polystigma* durante le prime fasi del ciclo vitale.

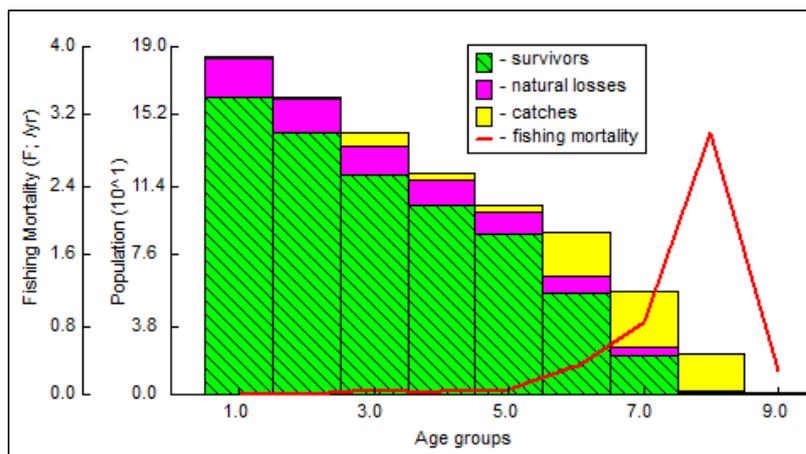


Fig. 6.3.21 Risultati della VPA per le femmine di *R. polystigma*

Tab. 6.3.15 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per le femmine di *R. polystigma*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	0.83	0.005
2	1.35	0.009
3	6.83	0.052
4	3.07	0.028
5	3.83	0.04
6	23.67	0.337
7	29.84	0.845
8	18.93	3.014
9	0.21	0.277

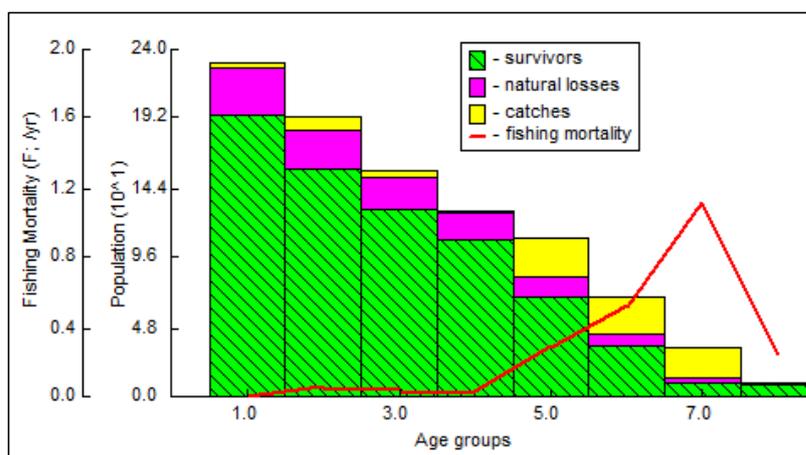


Fig. 6.3.22 Risultati della VPA per i maschi di *R. polystigma*

Tab. 6.3.16 Valori delle catture e della mortalità da pesca (F) istantanea per le singole classi di età per i maschi di *R. polystigma*

Gruppo di età	Catture	F istantanea
1	2.19	0.01
2	10.08	0.058
3	5.51	0.039
4	1.7	0.014
5	25.62	0.294
6	26.36	0.53
7	21.77	1.123
8	1.93	0.241

6.3.3.4 Modelli di Beverton & Holt e Reference Points (RPs).

Anche per *R. polystigma*, infine, è stata svolta l'analisi della produzione relativa e biomassa relativa per recluta (Y'/R e B'/R , rispettivamente) in modo da ottenere una prima valutazione sul suo stato di sfruttamento. Per effettuare quest'esame sono stati impiegati i modelli di Beverton & Holt. I dati richiesti per l'applicazione di questo modello sono stati: il rapporto tra mortalità naturale M e il tasso di accrescimento (k) ($M/k = 1.1151$); e il rapporto tra lunghezza media alla cattura (L_c) e il parametro dell'equazione di von Bertalanffy L_∞ ($L_c/L_\infty = 0.2777$). Nella figura 6.3.23 sono plottate le curve Y'/R e B'/R . I Reference Points (RPs) ottenuti attraverso quest'analisi per *R. polystigma* sono stati: E_{max} , ovvero il valore di sforzo di pesca associato al più alto valore di produzione per recluta, risultato pari a 0.504 ed E_{10} ed E_{50} (0.414 e 0.31 rispettivamente).

E' stato calcolato infine il tasso di sfruttamento a cui la popolazione è effettivamente sottoposta ($E = F/Z = 0.69$). Dato che E è risultato maggiore di E_{max} la popolazione sarda di *R. polystigma* come già rilevato per *R. brachyura* sembra trovarsi in una condizione di overfishing.

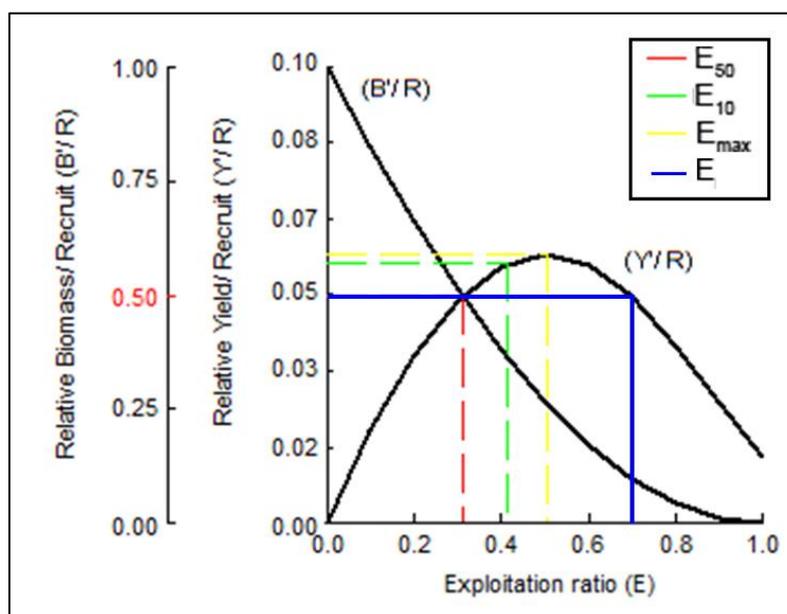


Fig. 6.3.23 Produzione per recluta e biomassa per recluta di *R. polystigma* vs. tasso di sfruttamento (E), confrontati con i reference points (RPs).

6.4 DISCUSSIONE

Le analisi effettuate per la valutazione degli stock dei tre raidi nei mari sardi hanno messo in luce dei pattern differenti nelle abbondanze delle diverse specie.

R. brachyura ha mostrato nel periodo di tempo indagato un trend in decremento per quanto riguarda l'abbondanza media al km², il numero di individui si è rivelato quindi in calo, tuttavia nel corso degli anni la biomassa (kg/km²), e di conseguenza il peso medio dei singoli esemplari, sono apparsi in aumento.

La popolazione sarda della razza a muso lungo *D. oxyrinchus* si è invece rivelata piuttosto stabile ed ha mostrato addirittura un leggero incremento in termini di biomassa e peso medio degli individui.

Al contrario il raide di piccole dimensioni *R. polystigma*, pur avendo anch'essa mostrato un trend della biomassa e di abbondanza relativamente stabili, ha manifestato, nel periodo indagato, un marcato decremento del peso medio dei singoli individui. Tale andamento è tipico delle popolazioni in condizioni di sovrasfruttamento nelle quali, come prima risposta allo stress da pesca, si assiste solitamente ad una riduzione delle taglie prima di un eventuale collasso dello stock (Sutherland, 1990).

I risultati ottenuti attraverso queste analisi si sono rivelati piuttosto coerenti con quanto riportato recentemente in bibliografia per acque italiane. Infatti Relini *et al.*, (2010), in un lavoro che ha preso in esame l'intero territorio nazionale, e Follesa *et al.*, (2013) per quanto riguarda le acque circostanti la Sardegna, hanno riportato dei trend tendenzialmente stabili in termini di abbondanza e biomassa, per le specie *R. polystigma* e *D. oxyrinchus*. Questi autori, al contrario di quanto mostrato in questo lavoro, hanno ottenuto però per *R. brachyura* degli andamenti nettamente positivi sia in biomassa che in abbondanza. Tale differenza è dovuta al fatto che in questa tesi è stato scelto di analizzare i dati riguardanti questa specie esclusivamente a partire dal 2005 (cfr. Capitolo 6 Materiali e Metodi). I lavori precedenti hanno invece considerato i dati a partire dal 1994, in questo modo potrebbe non essere stato evidenziato il trend in decremento mostrato invece in questo lavoro.

L'analisi della mortalità naturale (M) ha mostrato in tutte e tre le specie esaminate dei valori tendenzialmente più alti per i maschi rispetto alle femmine. Tale discrepanza è probabilmente dovuta al tasso di accrescimento maggiore riscontrato per gli individui di sesso maschile delle specie analizzate. Il parametro k dell'equazione di von Bertalanffy è infatti uno degli input principali, insieme alla lunghezza massima asintotica (L_{∞}), per il calcolo della mortalità naturale secondo la formula di Pauly (1980). Ciò può spiegare quindi anche il fatto che la specie *D. oxyrinchus*, potendo raggiungere le dimensioni maggiori ed avendo mostrato un tasso di crescita lento, abbia ottenuto un valore di M inferiore. Al contrario la razza di piccole dimensioni *R. polystigma*, caratterizzata da un accrescimento più rapido, ha presentato il tasso di mortalità naturale maggiore.

La Virtual Population Analysis (VPA) ha mostrato in generale una mortalità da pesca rilevabile sin dalle primissime classi di età per tutte e tre i raidi esaminati e che raggiunge il culmine per gli individui di medie dimensioni (5-7 anni). È interessante notare come per *R. brachyura* e *D. oxyrinchus* il numero di catture riguardanti le primissime coorti (1-2) si sia dimostrato notevolmente più alto nei maschi. Questo fatto è probabilmente dovuto, ancora una volta, al maggiore tasso di accrescimento di questi ultimi che fa sì che raggiungendo a parità di età, dimensioni maggiori, vengano selezionati più facilmente dall'attrezzo rispetto alle femmine. Questa situazione non sembra però verificarsi in *R. polystigma*, dove sebbene e sia stato osservato un differente tasso di crescita tra i due sessi, questo non è risultato tale da determinare una diversa selezione delle taglia dei due sessi il suo effetto potrebbe risultare mitigato dalle dimensioni comunque ridotte della specie.

I modelli di produzione relativa per recluta (Y'/R) e biomassa relativa per recluta (B'/R) sono risultati utili per descrivere, attraverso la definizione dei reference point, l'attuale stato di sfruttamento degli stock delle tre specie di raidi nei mari sardi. *D. oxyrinchus* si è rivelata essere l'unica specie a non essersi mostrata in una condizione di overfishing. Il tasso di sfruttamento (E) da essa mostrato infatti, non solo non ha superato il valore soglia (E_{\max}) calcolato per questa specie, ma si è addirittura mostrato estremamente vicino al tasso di sfruttamento ottimale (E_{10}). Tale risultato va a confermare la stabilità globale dello stock rinvenuta dall'analisi dell'abbondanza e della biomassa. Le altre due specie invece hanno manifestato di trovarsi nella situazione opposta. Per *R.*

brachyura ad esempio è stato ottenuto un valore del tasso di sfruttamento (E) nettamente superiore al valore soglia (E_{max}). *R. polystigma* si è dimostrata la specie maggiormente in difficoltà. Il tasso di sfruttamento a cui è sottoposta questa popolazione è risultato infatti largamente superiore al valore soglia (E_{max}). Al contrario di *R. brachyura* però dall'analisi temporale della biomassa e dell'abbondanza, come sottolineato in precedenza, per questa specie sono emersi i primi segnali di sofferenza dello stock, ovvero una riduzione delle taglie nel tempo.

I risultati della Productivity-Susceptibility Analysis (PSA) si sono dimostrati in linea con quanto riportato nel report del progetto ELASMOSTAT (Serena, 2014), nel quale è stato rinvenuto, nei mari italiani, in generale un alto livello di suscettibilità e una bassa produttività, per diverse specie di elasmobranchi demersali. E' interessante comunque notare come le specie analizzate in questo lavoro si siano dimostrate sempre leggermente meno produttive e più suscettibili alla pesca (Tab. 6.4.1, Fig. 6.4.1) e quindi inevitabilmente più vulnerabili alla pesca (Fig. 6.4.2). Tale andamento risulta palese per l'unica specie presente in entrambi gli studi *D. oxyrinchus*.

Tab. 6.4.1 Principali Risultati della Productivity-Susceptibility Analysis (PSA) delle diverse specie prese in esame nei due studi.

Stock	Produttività (P) (Punteggio pesato)	Suscettibilità (S) (Punteggio pesato)	Vulnerabilità (V)	Fonte
<i>R. brachyura</i>	1.34	2.51	2.24	Presente lavoro
<i>D. oxyrinchus</i>	1.36	2.38	2.15	Presente lavoro
<i>R. polystigma</i>	1.54	2.57	2.14	Presente lavoro
<i>D. oxyrinchus</i>	1,409	2,1	1,55	*ELASMOSTAT
<i>S. canicula</i>	1,5	2,4	1,72	*ELASMOSTAT
<i>G. melastomus</i>	1,545	2,4	1,6	*ELASMOSTAT
<i>M .mustelus</i>	1,682	2,1	1,37	*ELASMOSTAT
<i>R .clavata</i>	1,045	2,3	1,95	*ELASMOSTAT
<i>R. miraletus</i>	1,773	2,3	1,49	*ELASMOSTAT

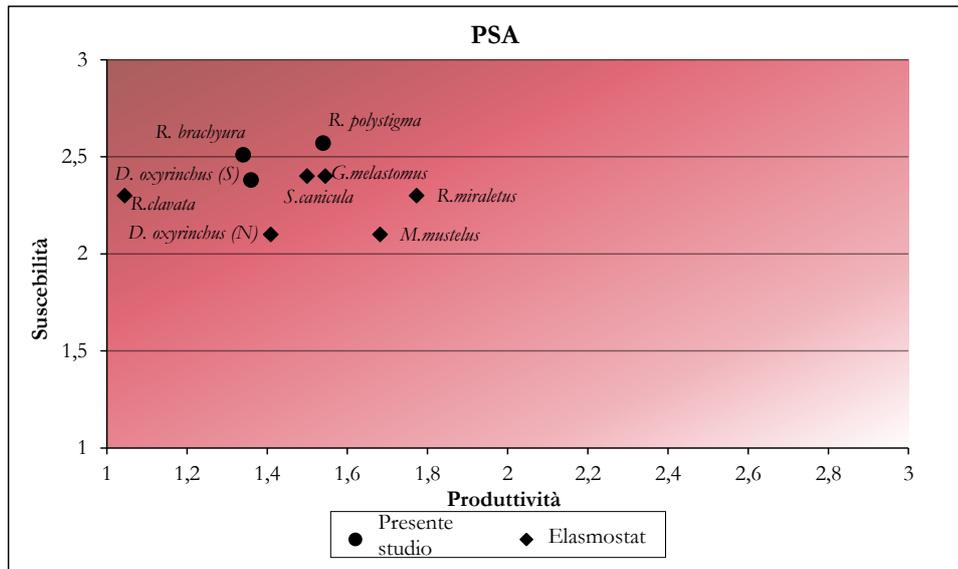


Fig. 6.4.1 Plot di produttività e suscettibilità per le specie considerate nei due studi. Il gradiente di colore indica un livello di vulnerabilità tanto maggiore tanto più la tonalità diventa scura.

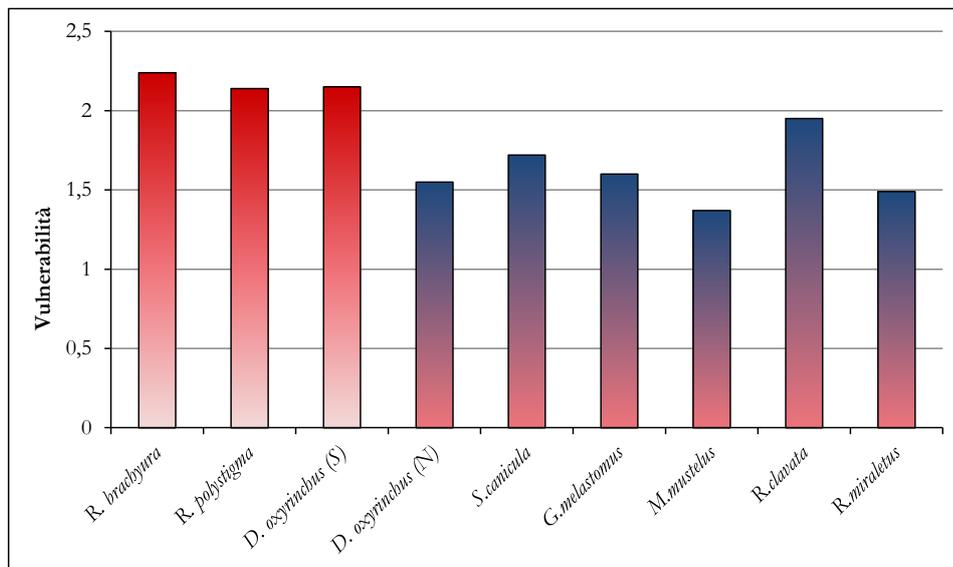


Fig. 6.4.2 Vulnerabilità delle diverse specie prese in esame nei due studi. In rosso sono rappresentati i dati ottenuti nel presente lavoro, in blu quelli provenienti da Serena, (2014).

Da quanto è emerso attraverso queste analisi, appare chiaro il bisogno di sviluppare dei piani gestionali in grado di garantire in Sardegna, la continuazione dello stato di salute della popolazione di *D. oxyrinchus*, apparsa in condizioni nettamente migliori rispetto and altre zone del Mediterraneo (Golfo del Leone, Adelbert, 1997; e Adriatico,

Jukic-Peladic *et al.*, 2001) e soprattutto per fare in modo di allentare la pressione antropica sugli stock di *R. brachyura* e *R. polystigma*, cercando di riportare il tasso di sfruttamento alle quale queste specie sono sottoposte al disotto dei reference point calcolati in questo lavoro. Questa necessità appare ancora più impellente se si considera l'alto livello di vulnerabilità dimostrato. Inoltre dati i bassi livelli di resilienza tipici dei pesci cartilaginei, dopo un eventuale collasso delle popolazioni, il ripristino degli stock di questi organismi richiederebbe sforzi di gran lunga superiori a quanto richiesto dalla maggior parte dei teleostei (Sminkey & Musick, 1995).

7. Conclusioni

Nonostante il crescente numero di prove del globale declino delle popolazioni dei pesci cartilaginei (Dulvy & Reynolds, 2002; Baum *et al.*, 2003; Cortés, *et al.*, 2002, 2006; Dulvy *et al.*, 2010) il nostro livello di conoscenze riguardanti il ciclo vitale di questi organismi risulta sorprendentemente ancora precario (Frisk *et al.*, 2010; Cortés *et al.*, 2012). Tra questi organismi la famiglia Rajidae, in accordo con Dulvy & Reynolds (2002), è stata riconosciuta come una delle più vulnerabili e conseguentemente una delle più colpite. Gli stessi autori hanno riportato addirittura l'estinzione a livello locale di quattro specie: *D. batis* nei mari Irlandesi e nel mare del Nord (Casey & Myers, 1998; Dulvy & Reynolds, 2002); *D. laevis* nel nord est Atlantico (Casey & Myers, 1998; Dulvy & Reynolds, 2002); *D. oxyrinchus* nel mare del Nord (Dulvy *et al.* 2000) e infine *R. alba* nei mari irlandesi (Stehmann & Bürkel 1984; Froese & Pauly, 2000).

La situazione in Mediterraneo appare molto simile sono molti infatti i segnali del decremento nelle abbondanze di questi organismi (Bradai *et al.*, 2012). Nonostante questo, ancora oggi, sono stati compiuti pochi studi allo scopo di valutare lo stato delle specie nei nostri mari (Bradai *et al.*, 2012). Inoltre i pochi lavori effettuati risultano ancora essere in fase piuttosto preliminare (Bradai *et al.*, 2012). Alcuni di questi studi sono stati presentati durante il workshop indetto dalla GFCM sullo stock assessment di specie di elasmobranchi tenutosi a Bruxelles nel 2011 (GFCM:SAC14/2012/Inf.16), durante il quale sono state valutate in tutto sei specie di elasmobranchi di cui due soli raidi: *R. clavata* e *R. asterias*. Tale mancanza di dati è per buona parte dovuta alle difficoltà nei processi di stima dell'età tipiche dei pesci cartilaginei (cfr. Capitolo 4. Infatti nell'area mediterranea solamente per 12 specie di batoidei e squaliformi (circa il 12%) sono presenti informazioni riguardanti l'età e l'accrescimento (Bradai *et al.*, 2012). Tra queste unicamente quattro sono Raidi: ancora una volta *R. asterias* esaminata nel nord Tirreno da Serena *et al.*, (2005b) e Bono *et al.*, (2005); *R. miraletus* nelle acque tunisine (Kadri *et al.*, 2012), *R. clavata* nel sud Italia (Cannizzaro *et al.*, 1995) ed *D. oxyrinchus* nelle acque turche (Yigin & Ismen, 2010). A queste specie si è recentemente aggiunta *R. alba* indagata in Tunisia (Kadri *et al.*, 2014).

Con questo lavoro si è voluto apportare un contributo ad una migliore comprensione del ciclo vitale e dello stato di salute della famiglia Rajidae in Mediterraneo attraverso l'identificazione dei parametri di accrescimento tramite la lettura diretta degli *annuli* nei centri vertebrali di 3 rai di quali *R. brachyura*, *D. oxyrinchus* e *R. polystigma*.

Per tutte e tre le specie analizzate, allo scopo di aumentare il contrasto tra le bande di accrescimento, sono stati testati tre dei principali metodi di trattamento generalmente utilizzati per le sezioni vertebrali contro l'osservazione dei campioni non trattati, in modo da verificare quale di queste metodiche offrisse i migliori risultati in termini di visibilità delle bande. Nel caso di *D. oxyrinchus* (Bellodi *et al.*, 2013) e *R. brachyura* (Porcu *et al.*, 2015), i risultati migliori sono stati offerti dai centri vertebrali non trattati mentre per *R. polystigma* dalla colorazione in rosso alizarina (Bellodi *et al.*, 2014a). L'effetto di tali trattamenti è spesso specie-specifico (Goldman, 2005), perciò si consiglia sempre di testare diverse metodiche a partire da quelle consentono un minor dispendio economico e di tempo.

In questa tesi inoltre sono stati utilizzati per la prima volta in Mediterraneo altri modelli di accrescimento oltre alla classica curva di von Bertalanffy. Tale scelta è stata compiuta poiché ormai diversi autori hanno dimostrato come non sempre la curva di von Bertalanffy sia il modo più efficace per descrivere l'accrescimento di determinati organismi (Neer & Thompson, 2005). Il fatto che l'accrescimento delle tre specie sia stato meglio valutato da tre diversi modelli, mette ulteriormente in luce la necessità di utilizzare modelli multipli nelle future analisi riguardanti quest'aspetto del ciclo vitale di tali organismi, dato che fino ad oggi non molti lavori esplorano tutte le possibili alternative (Fisher *et al.*, 2013).

Sulla base dei Biologica Reference Points (BRPs) ottenuti in questo lavoro *R. brachyura* e *R. polystigma* sono apparse in condizione di overfishing andando in qualche modo a confermare i risultati ottenuti con l'analisi dell'andamento della biomassa e abbondanza media. Per entrambe le specie il tasso di sfruttamento E è risultato ben superiore alla soglia massima sostenibile per lo stock (E_{max}). Questo risultato può essere dovuto, nel caso di *R. brachyura*, alla sua particolare distribuzione batimetrica, che si concentra negli strati più costieri sfruttati da quasi tutti gli attrezzi di pesca delle marinerie locali. Inoltre questa specie mostra una taglia di prima maturità estremamente alta, pari a 800 mm (LT) per i maschi e 870 mm (LT) per le femmine, raggiunta rispettivamente in 10

e 14 di età (Porcu *et al.*, 2015). Visto l'accrescimento così lento e la maturità sessuale tardiva di questa specie, la mancanza di taglie minime di cattura potrebbe inoltre aver causato un rilevante prelievo degli individui immaturi indebolendo così ulteriormente la popolazione. Il sovrasfruttamento di *R. polystigma* invece trova la sua causa principale nella distribuzione di questa specie, perfettamente coincidente con gli ambienti maggiormente impattati dalla pesca a strascico. Tali risultati vanno a sommarsi con quanto riportato anche per *R. clavata* e *R. asterias* durante il workshop sullo stock assessment di specie di elasmobranchi selezionate tenutosi a Bruxelles nel 2011 (GFCM:SAC14/2012/Inf.16), confermando la situazione critica dei raidi in Mediterraneo.

La popolazione sarda di *D. oxyrinchus* al contrario è apparsa in buone condizioni e non sottoposta a condizioni di sovrasfruttamento. Tale risultato è confermato inoltre dall'andamento della biomassa e dell'abbondanza, che si sono rivelati stabili per tutto l'arco temporale indagato dalla MEDITS, in accordo con quanto riportato da Follesa *et al.* (2013) nelle acque sarde e da Relini *et al.* (2010) in uno studio che ha investito l'intero territorio nazionale. Lo stato di salute della razza monaca potrebbe essere dovuto, oltre allo scarso o addirittura nullo valore commerciale, al fatto che questa specie, tra quelle indagate risulta quella che presenta il maggior range batimetrico. La distribuzione della specie è stata inoltre recentemente descritta come caratterizzata da una maggiore presenza degli individui giovanili negli strati più profondi, i quali risultano sfruttati dalla pesca commerciale (Bellodi *et al.*, 2013).

La Productivity-Susceptibility Analysis (PSA) si è dimostrata una analisi valida e di semplice applicazione per la valutazione del livello di vulnerabilità degli stock. I risultati ottenuti sono apparsi in linea con quanto presente nel report del progetto ELASMOSTAT (Serena, 2014). Data la quantità di dati relativamente bassa richiesta da quest'analisi è caldamente consigliata per futuri studi riguardanti lo stock assessment degli elasmobranchi, poiché consente di decidere, in base ai livelli di vulnerabilità ottenuti, su quali popolazioni sia necessario agire con maggiore urgenza (Stobutzki *et al.* 2001a, 2001b; Hobday, *et al.*, 2007).

Da quanto emerso attraverso la presente tesi appare chiaro come l'impatto della pesca sulle popolazioni dei raidi del Mediterraneo vada gestito e regolamentato.

In Italia la legislazione tuttora vigente a riguardo risulta però essere esclusivamente basata dalle convenzioni internazionali sottoscritte, ovvero la convenzione CITES, quella di Berna e lo SPA Biodiversity Protocol di Barcellona (Bradai *et al.*, 2012). Tali convenzioni offrono però un'alta protezione solamente a poche specie, prevalentemente pelagiche. L'unico raide incluso risulta infatti *Rostroraja alba* (Lacepède, 1803) introdotto nella convenzione di Berna. Per tutte le altre specie che popolano le acque nazionali non esiste però alcuna forma di protezione, addirittura ad oggi non risultano presenti neanche delle taglie minime di cattura.

Come conclusione di questo studio, sulla base di quanto emerso, risulta chiara la necessità di provvedere rapidamente alla stesura di piani gestionali adeguati ad una gestione responsabile di questi organismi. Tali piani, vista la carenza legislativa, non possono che prevedere per prima cosa la definizione di taglie minime di cattura distinte per le diverse specie. Queste dovranno ovviamente essere basate sulle informazioni a disposizione del ciclo vitale della specie in questione in modo da poterne garantire il reclutamento (Frisk *et al.*, 2001). Inoltre una misura normalmente adottata per gestire la pesca multi-specifica (come quella che interessa la maggior parte delle razze) è raccomandabile cercare di minimizzare la proporzione delle catture delle specie più longeve ed ad accrescimento più lento (Agnew *et al.*, 2000). Questo risultato può essere ottenuto chiudendo la pesca in determinati periodi dell'anno o zone. In tal caso è necessario però un alto livello di conoscenze riguardanti il processo riproduttivo ed indentificare le aree di alto interesse ecologico da proteggere, come ad esempio le nursery areas, studiate fino ad oggi soprattutto per i carcharhiniformi come *Scyliorhinus retifer* (Garman, 1881) nel Golfo del Messico (Etnoyer & Warrenchuk, 2007) e *Scyliorhinus canicula* L.1758 (Cau *et al.*, 2013).

In conclusione questo lavoro rappresenta un primo passo verso una migliore conoscenza dell'accrescimento e del ciclo vitale della famiglia Rajidae in mar Mediterraneo, conoscenze applicate poi allo stock assessment e alla gestione di questi organismi. Tali informazioni possono rappresentare una solida base di partenza per ulteriori studi allo scopo di colmare almeno in parte la globale mancanza di informazioni riguardanti lo stato delle popolazioni di elasmobranchi (Musick, 2005).

8. *Bibliografia*

- Abaunza, P. (2008). Horse mackerel: Identification of stocks. *Fisheries research*. **89** (2): 101-103.
- Abella, A., Mancusi, C., Serena, F. (2003). Assessment of *Raja asterias* and *Raja clavata* in the north western Mediterranean. Sub-committee on stock assessment, WG of demersal species, Izmir, Turkey.
- Abella, A. (2011). General review on the available methods for stock assessment of Elasmobranchs, especially in data shortage situations. Sub-Committee on stock assessment (SCSA) Report of the workshop on stock assessment of selected species of Elasmobranchs in the GFCM area DG-MARE, Brussels, Belgium, 12-16 December 2011.
- Abella, A., Mancusi, C., Serena, F. (2011). Use of Leslie matrix for the assessment of the exploitation status of *Raja asterias*, *Raja clavata*, *Scyliorhinus canicula*, and *Galeus melastomus*. Sub-Committee on stock assessment (SCSA) Report of the workshop on stock assessment of selected species of Elasmobranchs in the GFCM area DG-MARE, Brussels, Belgium, 12-16 December 2011.
- Agnew, D.J., Nolan, C.P.; Beddington, J.R., Baranowski, R. (2000). Approaches to the assessment and management of multispecies skate and ray fisheries using the Falkland Islands fishery as an example. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **57**(2): 429-440.
- Aldebert, Y. (1997). Demersal resources of the Gulf of Lion (NW Mediterranean). Impact of exploitation on fish diversity. *Vie et Milieu*, **47**: 275–284.
- Akaike, H., (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19**: 716-723.

- Andrew, N.L., Béne, C., Hall, S.J., Allison, E.H., Heck, S., and Ratner, B.D. (2007). Diagnosis and management of small-scale fisheries in developing countries. *Fish and Fisheries*, **8**: 277–240.
- Baino, R., Serena, F., Ragonese, S., Rey, J. and Rinelli, P. (2001). Catch composition and abundance of Elasmobranchs based on the MEDITS program. *Rapport Commission International Mer Méditerranée*, **36**: 234.
- Bauchot, M.L. (1987). Raies at autres batoidés. In: M. Fisher, M. Schneider and M.-L. Bauchot (eds), *Fiches FAO d'Identification des Espèces pour les Besoins de la Pêche Méditerranée et Mer Noire. Zone de Pêche 37. Revision 1. II*, pp. 847-885. FAO, Rome.
- Baum, J.K., Myers, R.A., Kehler, D.G., Worm, B., Harley, S.J., Doherty, P.A. (2003). Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science* **299**: 389-392.
- Beamish, R.J., Fournier, D.A., (1981). A method for comparing the precision of a set of age determinations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **38**: 982-983.
- Bellodi, A., Mulas, A., Follesa, M.C., Cannas, R., Cannas, S., Marongiu, M.F., Porcu, C., Cau, A. (2013). Influence of sexual maturity and age on the bathymetric distribution of *Dipturus oxyrinchus* in the Sardinian seas (Central Western Mediterranean). In: Book of Abstracts of the 17th European Elasmobranch Association Scientific Conference, 1-3 November 2013, Plymouth UK. 67.
- Bellodi, A., Cau, Al., Marongiu, M.F., Mulas, A., Porcu, C., Vittori, S., Follesa, M.C. (2014a). Life history parameters of the small Mediterranean endemic skate, *Raja polystigma* Regan 1923, from Sardinian seas. In: Book of Abstracts of the ICES / CIEM 5th International Otolith Symposium, Mallorca (Spain) 20-24 October 2014: 230-231.
- Bellodi, A., Alvito, A., Fois, M., Soldovilla, G., Vittori, S., Mulas, A. (2014b). A multiple models investigation on age and growth of the speckled ray, *Raja polystigma*, from Sardinian seas. 18th European Elasmobranch Association Scientific Conference, 7-9 November 2014. Leeuwarden (The Netherland). 71.

- Bertozzi, M., Pasolini P., Hemida F., Capapé C. and Tinti, F. (2003). Species diversity in Algerian skates. Proceedings of the 7th European Elasmobranch Association Meeting: 38. San Marino.
- Bertrand, J.A., De Sola, G., Papakostantinou, C., Relini, G. and Souplet, A. (2000). Contribution on the Distribution of Elasmobranchs in the Mediterranean (from the MEDIT Surveys). *Biologia Marina Mediterranea*, **7**: 385-399.
- Bertrand J.A., De Sola L.G., Papakostantinou C., Relini G., Souplet A. (2002) - The general specifications of the MEDITS surveys. *Scientia Marina*, **66**(2): 9-17.
- Beverton, R.J.H., Holt, S.J. (1966). Manual of methods for fish stock assessment. Part II. Tables of yield function. FAO Fish. Biol. Tech. Pap., (38) 10 + 67 pp. (ver. 1).
- Bhattacharya, C.G. (1967). A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*, **23**: 115-135.
- Bonfil, R. (1994). Overview of world elasmobranch fisheries. FAO Fisheries Technical Paper No. 341. Rome. 119 pp.
- Bonfil, R. (2005) The purpose of stock assessment and the objectives of fisheries management. In Musick, J.A., Bonfil, R. (eds). Management techniques for Elasmobranch fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper 474*, Rome, pp. 76-102.
- Bono, L., De Ranieri, S., Fabiani, O., Lenzi, C., Mancusi, C. & Serena, F. (2005). Study of the growth of *Raja asterias* (Delaroche, 1809) (Chondrichthyes, Rajidae) through the analysis of vertebral sections. *Biologia Marina Mediterranea*, **12**: 470–474.
- Bradai, M.N., Saidi, B., Enajjar, S. (2012). Elasmobranchs of the Mediterranean and Black Sea: Status, Ecology and Biology bibliographic analysis. *Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No. 91. Rome, FAO. 2012*: 103 pp.
- Branstetter, S. (1987). Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, **19**(13): 161-173.

- Cailliet, G.M., Martin, L.K., Kusher, D., Wolf, P., Welden, B. (1983). Techniques for enhancing vertebral bands in age estimation of California elasmobranchs. US Dept. Com. NOAA Tech. Rep. NMFS, **8**: 157–165.
- Cailliet, G.M., Radtke, R.L., Weldon, B.A., (1986). Elasmobranch age determination and verification: a review. In T. Uyeno, R. Arai, T. Taniuchi & K. Matsura (eds). Indo-Pacific Fish Biology. Proceedings of the second international conference on Indo-Pacific Fishes. *Ichthyological Society of Japan*, Tokyo, pp. 345-360.
- Cailliet, G.M. (1990). Elasmobranch age determination and verification; an updated review. In H. L. Pratt Jr., S.H. Gruber & T. Taniuchi (eds). Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries, pp. 157-165. *NOAA Technical Report NMFS 90*.
- Cailliet, G.M., & Goldman, K.J. (2004). Age determination and validation in chondrichthyan fishes. In: Carrier, J.C., Musick, J.A., Heithaus, M.R. (eds.) “Biology of sharks and their relatives” *CRC Press, Boca Raton, FL*. pp:399-447.
- Cailliet, G. M., Smith, W.D., Mollet, H.F., Goldman, K.J. (2006). Age and growth studies of chondrichthyan fishes: the need for consistency in terminology, verification, validation, and growth function fitting. *Environmental Biology of Fishes*, **77**: 211-228.
- Camhi, M., Fowler, S., Musick, J., Bräutigam, A. & Fordham, S. (1998). Sharks and their relatives: Ecology and Conservation. Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission Occas. Pap. No. 20.
- 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**: 197-242.
- Campana, S.E. (2014) Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: a technical manual. Studies and Reviews. General Fisheries Commission for the Mediterranean. No. 94. Rome, FAO 2014. 38 pp.

- Cannizzaro, L., Garofalo, G., Levi, D., Rizzo, P., Gancitano, S. (1995). *Raja clavata* in the Sicilian Channel: growth, distribution, abundance. *Biologia Marina Mediterranea*, **2**: 257–262
- Capapé, C., Quignard, J.P. (1978). Contribution a la biologie des Rajidae des côtes tunisiennes. XIV *Raja polystigma* Regan, 1923: repartition géographique et bathymétrique, sexualité, reproduction, fécondité. *Cahiers de Biologie Marine*, **19**: 233-244.
- Capapé, C., Guélorget, O., Vergne, Y., Quignard, J.P. (2006). On a rare skate, the speckled ray, *Raja polystigma* Regan, 1923 (Chondrichthyes: Rajidae) captured off the coast of Languedoc (Southern France, Northern Mediterranean). *Annales Series Historia Naturalis*, **16**(1):37-42.
- Capapé, C., Ben Salem, M., Ben Amor, M. (2007). Sizes of eight oviparous elasmobranch species hatched in two Mediterranean areas: a survey and recent data. *Annales Series Historia Naturalis*, **17**(1): 29-36.
- Casey, J.G., Pratt, H.L., Stillwell, C.E., (1985). Age and growth of the sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*) from the western North Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **42**(5), 963–975.
- Casey, J.M., Myers, R.A. (1998). Near extinction of a large, widely distributed fish. *Science*, **281**: 690-692.
- Catalano, B., Dalù, M., Scacco, U., Vacchi, M. (2007). New biological data on *Raja brachyura* (Chondrichthyes, Rajidae) from around Asinara Island (NW Sardinia, Western Mediterranean). *Italian Journal of Zoology*, **74**(1), 55-61.
- Cau, A., Sabatini, A., Murenu, M., Follesa, M.C., Cuccu, D. (1994) – Considerazioni sullo stato di sfruttamento delle risorse demersali (Mari di Sardegna). Atti seminario sulla regolazione dello sforzo di pesca. *Biologia Marina Mediterranea*, **1**(2): 67- 76.
- Cau, Al., Follesa, M.C., Bo, M., Canese, S., Bellodi, A., Cannas, R., Cau, A. (2013). *Leiopathes glaberrima* forest from South West Sardinia: a thousand years old nursery area for the small spotted catshark *Scyliorhinus canicula*. *Rapport Commission*

International Mer Mediterranee, Marseilles, **40**:417.

- Cavanagh, R.D., Gibson, C. (2007). Overview of the conservation status of cartilaginous Fishes (Chondrichthyans) in the Mediterranean Sea. IUCN, Gland (Switzerland) and Malaga (Spain).
- Chang, W.Y.B., (1982). A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **39**: 1208-1210.
- Cochran W.G. (1977) Sampling techniques - Third edition. Wiley series in probability and mathematical statistics. 399 p.
- Compagno L.J.V. (2001) Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Vol. 2. Bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes). Report No. 1, vol. 2. Food and Agriculture Organisation of United Nations, Rome.
- Cortés, E. (2002). Incorporating uncertainty into demographic modeling: application to shark populations and their conservation. *Conservation Biology*, **16**(4): 1048–1062.
- Cortés, E., Brooks, E.N., Apostolaki, P., Brown, C.A. (2006). Stock assessment of dusky shark in the U.S. Atlantic and Gulf of Mexico. *Sustainable Fisheries Division Contribution SFD-2006-014*. National Oceanographic and Atmospheric Administration, Miami, FL, 155 p.
- Cortés, E., Brooks, E.N., Gedamke, T. (2012). Population dynamics, demography and stock assessment. In: Carrier, J., Musick, J.A., Heithaus, M. (eds.), *Sharks and their relatives*. Second edition. CRC press, Boca Raton, FL, 453-485.
- Cowley, P.D. (1997). Age and growth of the blue stingray *Dasyatis chrysonota chrysonota* from the South-Eastern Cape coast of South Africa. *South African Journal of Marine Science*, **18**: 31-38.
- DeVries, D.R., and Frie, R.V. (1996). Determination of age and growth. In B.R. Murphy & D.W. Willis (eds.). *Fisheries Techniques*, second edition, American Fisheries Society, Bethesda, MD. pp. 483-512.

- Dulvy, N.K., Reynolds, J.D., Metcalfe, J.D. & Glanville, J. (2000). Fisheries stability, local extinctions and shifts in community structure in skates. *Conservation Biology*, **14**: 1-11.
- Dulvy, N.K., Reynolds, J.D. (2002). Predicting extinction vulnerability in skates. *Conservation Biology*, **16**: 440-450.
- Dulvy, N.K., Reynolds, J.D. (2010). Life history, population dynamics and extinction risks in chondrichthyans. In: Carrier, J., Musick, J.A., Heithaus, M. (eds.), *Sharks and their relatives II: Biodiversity, adaptive biology and conservation*. CRC press, Boca Raton, FL, 639-679.
- Duman, O.V., Başusta, N. (2013). Age and growth characteristics of marbled electric ray *Torpedo marmorata* (Risso, 1810) inhabiting Iskenderun Bay, north-eastern Mediterranean Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **13**: 541-549.
- Ebert, D. A., Compagno, L.J.V., Cowley, P.D. (2008). Aspects of the reproductive biology of skates (Chondrichthyes: Rajiformes: Rajoidei) from southern Africa. *ICES Journal of Marine Science*, **65**: 81–102.
- Ebert, D.A. and Stehmann, M.F.W. (2013). *Sharks, batoids, and chimaeras of the North Atlantic*. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 7. Rome, FAO. 523 pp.
- Ebert, D.A., Fowler, S., Compagno L.J.V. (2013b). *Sharks of the world. A fully illustrated guide*. Wild Nature Press Plymouth UK. 528 pp.
- Ellis, J. R., Silva, J. F., McCully, S. R., Evans, M., Catchpole, T., (2010). UK Fisheries for Skates (Rajidae): History and Development of the Fishery, Recent Management Actions and Survivorship of Discards. *ICES Document CM 2010/E*: 10, 38 pp.
- Etnoyer, P., & Warrenchuk, J. (2007). A catshark nursery in a deep gorgonian field in the Mississippi Canyon, Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* **81**(3): 553-559.
- Fabens, A.J. (1965). Properties and fitting of the Von Bertalanffy growth curve. *Growth*, **29**: 265-289.

- Fahy, E. (1991). The south eastern ray *Raja spp.* fishery, with observations on the growth of rays in Irish waters and their commercial grading. p. 3-18. In: Irish Fisheries Investigation Series B: Marine. The Stationery Office, Dublin Ireland.
- Farias, I., Figueiredo, I., Serra-Pereira, B., Bordalo-Machado, P., Moura, T., Serrano Gordo, L. (2005). Diet comparison of four ray species *Raja clavata* Linnaeus, 1758; *Raja brachyura* Lafont, 1873; *Leucoraja naevus* (Müller & Henle, 1841) and *Raja montagui* Fowler, 1910 caught along the Portuguese continental coast. *ICES CM Documents* 2005, **28**: 1-28.
- Feduccia, A., and Slaughter B.H. (1974). Sexual Dimorphism in Skates (Rajidae) and its Possible Role in Differential Niche Utilization Evolution, **28**(1): 164-168.
- Fiorentino, F., Knittwies, L., Gangitano, V., Midsuf, R., Vitale, S. (2011). A preliminary assessment of the thornback ray stock in the GSA 15 and 16 based on trawl survey data. Sub-Committee on stock assessment (SCSA) Report of the workshop on stock assessment of selected species of Elasmobranchs in the GFCM area DG-MARE, Brussels, Belgium, 12-16 December 2011.
- Fisher, R.A., Call, G.C., Grubbs, R.D. (2013). Age, Growth, and Reproductive Biology of Cownose Rays in Chesapeake Bay. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, **5**: 224-235.
- Fletcher, W.J. (2005). Application of quantitative risk assessment methodology to prioritize issues for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, **62**: 1576-1587.
- Follesa, M.C., Addis, P., Murenu, M., Saba, R. Sabatini, A. (2003). Annotated check list of the skates (Chondrichthyes, Rajidae) in the Sardinian seas. *Biologia Marina Mediterranea*, **10**(2): 828-833.
- Follesa M.C., Mulas, A., Cabiddu, S., Porcu, C., Deiana, A.M., Cau A., (2010). Diet and feeding habits of two ray species, *Raja brachyura* and *Raja miraletus* (Chondrichthyes, Rajidae) in Sardinian waters (central-western Mediterranean). *Italian Journal of Zoology*, **77** (1): 53–60.

- Follesa, M. C., Cau, Al., Cannas, R., Mulas, A., Pesci, P., Porcu, C., Sabatini, A., Cau, A. (2013). Status and trends of demersal Elasmobranchs in Sardinian Seas (Central western Mediterranean). *Rapport Commission International Mer Mediterranee*, **40**: 490.
- Francis, R. (1992) Use of Risk analysis to assess fishery management strategies: a case study using orange roughy (*Hoplostetus atlanticus*) on the chatham Rise, New Zealand. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **49**: 922-930.
- Frisk, M.G., Miller, T.J., Fogarty, M.J. (2001). Estimation and analysis of biological parameters in elasmobranch fishes: a comparative life history study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**: 969-981.
- Gallagher, M., and Nolan, C. P. (1999). A novel method for the estimation of age and growth in rajids using caudal thorns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **56**: 1590–1599.
- Gallagher, M. J., Nolan, C. P., Jeal, F. (2005). Age, Growth and Maturity of the Commercial Ray Species from the Irish Sea. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, **35**: 47-66.
- Gallagher, M. J., Green, M. J., and Nolan, C. P. (2006). The potential use of caudal thorns as a non-invasive ageing structure in the thorny skate (*Amblyraja radiata* Donovan, 1808). *Environmental Biology of Fishes*, **77**: 265-272.
- Gayanilo, F. C. Jr., Sparre, P., Pauly, D. (2005). FAO-ICLARM Stock Assessment Tools II (FiSAT II). User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries), No. 8. Revised version (Includes a CD-ROM with the software). FAO, Rome, 168 pp.
- Gibson, C., Valenti, S.V., Fowler, S.L., Fordham, S.V. (2006). The Conservation Status of Northeast Atlantic Chondrichthyans; Report of the IUCN Shark Specialist Group Northeast Atlantic Regional Red List Workshop. VIII + 76pp. IUCN SSC Shark Specialist Group.

- Goldman, K.J., (2005) Age and growth of Elasmobranch fishes. In Musick, J.A., Bonfil, R. (eds). Management techniques for Elasmobranch fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper* 474, Rome, pp. 76-102.
- Grogan E.D., Lund R. (2004). The origin and relationships of early Chondrichthyes. *In Biology of sharks and their relatives*. J.C. Carrier, J.A. Musick, and M.R. Heithaus. (eds.) CRC Press, Boca Raton, Fla. pp. 3–31.
- Jukic-Peladic, S., Vrgoc, N., Krstulovic Sifner, S., Piccinetti, C., Manfrin, G., Marano, G., Ungaro, N. (2001). Long-term changes in demersal resources of the Adriatic Sea: comparison between trawl surveys carried out in 1948 and 1998. *Fisheries Research*, **53**: 95–104.
- Haddor, M., (2001). Modelling and quantitative methods in fisheries. *Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton, FL*. 406 pp.
- Hilborn, R., and Walters, C.J. (1992). Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. *Chapman and Hall*. 570 pp.
- Hiscock, J., and Jones, H. (2004). Testing Criteria for Assessing ‘National Importance’ of Marine Species, Biotopes (Habitats) and Landscapes: Report to the Joint Nature Conservation Committee. Marine Biological Association. Marine Life Information Network.
- Hobday, A.J., Smith, A., Webb, H., Daley, R., Wayte, S., Bulman, C., Dowdney, J. (2007). Ecological Risk Assessment for the Effect of Fishing: Methodology. *Report R04/1072 for the Australian Fisheries*.
- Hoenig, J.M., and Gruber, S.H. (1990). Life-history patterns in the elasmobranchs: implications for fisheries management. In H.L. Pratt, Jr., S.H. Gruber & T. Taniuchi (eds). Elasmobranchs as living resources: advances in the biology, ecology, systematics, and the status of fisheries, pp. 1-16. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS (National Marine Fisheries Service) 90.

- Hoenig, J.M., Morgan, M.J. Brown, C.A., (1995). Analyzing differences between two age determination methods by tests of symmetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **52**: 364-368.
- Holden, M.J. (1972). The Growth Rates of *Raja brachyura*, *R. clavata* and *R. montagui* as determined from tagging data. *ICES Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. **34**: 161–168.
- Hoff, T.B., and Musick, J.A. (1990). Western North Atlantic shark-fishery management problems and informational requirements. In Pratt, Jr. H.L., Gruber, S.H. Taniuchi, T. (eds). *Elasmobranchs as Living Resources: Advances in the Biology, Ecology, Systematics and the Status of the Fisheries*, *NOAA Tech. Rep. NMFS 90*. pp. 455-472.
- Hoff, G. R. (2008), A Nursery Site of the Alaska Skate (*Bathyraja parmifera*) in the Eastern Bering Sea. *Fisheries Bulletin*, **106**: 233–244.
- Iglesias, S.P., Toulhoat, L., Sellos, D.Y. (2010). Taxonomic confusion and market mislabelling of threatened skates: important consequences for their conservation status. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **20**: 319-333.
- Ihssen, P.E., Booke, H.E., Casselman, J.M., McGlade, J.M, Payne, N.R., Utter, F.M. (1981). Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **38**: 1838 -1855.
- Irvine, S.B., Stevens, J.D., Laurenson, L.J.B, (2006). Comparing external and internal dorsal-spine bands to interpret the age and growth of the giant lantern shark, *Etmopterus baxteri* (Squaliformes: Etmopteridae). *Environmental Biology of Fishes*, **77**:253-264.
- Kadri, H, Marouani, S., Saidi, B., Bouain, A. & Bradai, M. N. (2010). Régime alimentaire du pocheteau noir, *Dipturus oxyrinchus*, dans le Golfe de Gabes (Tunisie). *Rapport Commission International Mer Méditerranée*, **39**: 551.
- 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**: 388-396.
- Kadri, H., Marouani, S., Bradai, M.N., Bouaïn, A., Morize, E. (2014). Age, Growth, Mortality, Longevity and Reproductive Biology of the White Skate, *Rostroraja alba* (Chondrichthyes: Rajidae) of the Gulf of Gabès (Southern Tunisia, Central Mediterranean). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **14**: 193-204.
- Ketchen, K. S. 1975. Age and growth of dogfish *Squalus acanthias* in British Columbia waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **32**: 43-59.
- Kirkwood, G.P., Aukland, R., Zara, S.J. (2001). Length Frequency Distribution Analysis (LFDA), Version 5.0. MRAG Ltd, London, UK.
- Kusher, D.I., Smith, S.E., Cailliet, G.M., (1992). Validated age and growth of the leopard shark, *Triakis semifasciata*, with comments on reproduction. *Environmental Biology of Fishes*, **35**: 187–203.
- Lane, D.E., Stephenson, R.L. (1998). A framework for risk analysis in fisheries decision making. *ICES Journal of Marine Sciences, Management Authority*, Canberra. Rep. R04/1072, **55**: 1-13
- Lincadeo, R.R., Lamilla, J.G., Rubilar, P.G., Vega, R.M. (2006). Age, growth and sexual maturity of the yellownose skate *Dipturus chilensis* in the south-eastern Pacific. *Journal of Fish Biology*, **68**: 488-506.
- MacNeil, M.A., Campana, S.E. (2002). Comparison of whole and sectioned vertebrae for determining the age of young blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, **30**:77-82
- McFarlane, G.A., King, J.R., Saunders, M.W. (2002). Preliminary study on the use of neural arches in the age determination of bluntnose sixgill sharks (*Hexanchus griseus*). *Fishery Bulletin*, **100**: 861-864.
- MEDITS-Handbook. Version n. 7, (2013), MEDITS Working Group : 120 pp.

- Mulas, A., Follesa, M.C., Cau, Al., Gastoni, A., Cau, A. (2009). Trophic interactions among three Rajids, *Raja asterias*, *Raja brachyura* and *Raja miraletus* in the central western Mediterranean. 13th EEA Conference 19-22 November 2009 Palma de Mallorca, Spain. 33.
- Mulas, A., Bellodi, A., Cau, A., Gastoni, A., Locci, I., Follesa, M.C. (2011). Trophic interactions among Chondrichthyans in the central-western Mediterranean Sea. *Biologia Marina Mediterranea*, **18**(1): 81-84.
- Mulas, A., Bellodi, A., Cannas, R., Cau, Al., Cuccu, D., Marongiu, M.F., Porcu, C., Follesa, M.C. (2015). Diet and feeding behaviour of longnosed skate *Dipturus oxyrinchus* in Sardinian waters (central-western Mediterranean). *Journal of Fish Biology*, **86**: 121-138.
- Musick, J.A. (1999). Ecology and conservation of long-lived marine animals. In Musick, J.A. (eds.). Life in the slow lane: Ecology and conservation of long-lived marine animals, *American Fisheries Society Symposium 23*, Bethesda, MD. pp. 1-10.
- Musick, J.A. (2005) Introduction: management of sharks and their relatives (Elasmobranchii). In Musick, J.A., Bonfil, R. (eds). Management techniques for Elasmobranch fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper 474*, Rome, pp. 76-102.
- Natanson, L.J., & Cailliet, G.M., (1990). Vertebral growth zone deposition in angel sharks. *Copeia*, **1990**: 1133-1145.
- Natanson, L.J. (1993). Effect of temperature on band deposition in the little skate, *Raja erinacea*. *Copeia*, **1993**: 199-206.
- Neer, J.A., and Thompson, B.A. (2005). Life history of the Cownose Ray, *Rhinoptera bonasus*, in the northern Gulf of Mexico, with comments on geographic variability in life history traits. *Environmental Biology of Fishes*, **73**: 321–331.
- Nelson, J.G. (2006). Fishes of the World IV ed. John Wiley & Sons Inc., Hoboken New Jersey. 621 pp.

- Notarbartolo di Sciara, G., and Bianchi, I. (1998). Guida degli squali e delle razze del Mediterraneo. Muzzio, Padova.
- Panfili J., de Pontual H., Troadec H., Wright P.J. (2002) Manual of fish sclerochronology. IFREMER-IRD coedition, Brest, France, 464 pp.
- Pauly D. (1980) - On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil CIEM*, **39**(2): 175-192.
- Pauly, D., and Munro, J. L. (1984). Once more the comparison of growth in fish and invertebrates. ICLARM Fishbyte 2. 21 pp.
- Porcu, C., Bellodi, A., Cannas, R., Marongiu, M.F., Mulas, A., Follesa, M.C. (2015). Life-history traits of a commercial ray, *Raja brachyura* from the central western Mediterranean sea. *Mediterranean Marine Science*, **16**(1): 90-102.
- Punt, A.E., Smith, D.C., Smith, A.D.M. (2011). Among-stock comparisons for improving stock assessments of data-poor stocks: the “Robin Hood” approach. *ICES Journal of Marine Science*, **68**: 972–981.
- Ragonese, C.S., Cigala Fulgosi F., Bianchini, M.L., Norrito, G. and Sinacori, G. (2003). Annotated check list of the skates (Chondrichthyes, Rajidae) in the Strait of Sicily (Central Mediterranean). *Biologia Marina Mediterranea*, **10**(2): 874-881.
- Relini, G., Mannini, A., De Ranieri, S., Bitetto, I., Follesa, M.C., Gancitano, V., Manfredi, C., Casciaro, L., Sion, L. (2010). Chondrichthyes caught during the Medits Surveys in Italian waters. *Biologia Marina Mediterranea*, **17**(1): 186-204.
- Richards, F.J. (1959) A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, **10**(2): 290-301.
- Rohlf, F.J. (2005). tpsDig, digitize landmarks and outlines, version 2.16. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.

- Shaklee, J.B., Currens, K.P. (2003). Genetic stock identification and risk assessment. In: Hallerman, E.M. (eds.), *Population Genetics: Principles and Applications for Fisheries Scientists*. *American Fisheries Society, Bethesda*, pp. 291-328.
- Schindler D.E., Essington, T.E., Kitchell, J.F., Boggs, C. & Hilborn, R. (2002). Sharks and tunas: Fisheries impacts on predators with contrasting life histories. *Ecological Applications*, **12**(3): 735-748.
- Serena, F. (2005). *Identification guide to the sharks and rays of the Mediterranean and Black Sea*. Rome, FAO.
- Serena, F., Barone, M., Mancusi, C. Abella, A.J. (2005b). 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 landing. *International Council for the Exploration of the Sea. CM 2005/ 12: 17pp*.
- Serena F., Mancusi C., Barone M., (eds) (2010) – Guida pratica di identificazione delle razze del Mar Mediterraneo. Linee guida per la raccolta e l'analisi dei dati. *Biologia Marina Mediterranea*, **17**(2): 204 pp.
- Serena, F. (2014). Lo stato degli Elasmobranchi nei mari italiani (Elasmostat). Progetto di ricerca 7 – Tematica 3. Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata CIBM Livorno, 311pp.
- Serra-Pereira, B., Figueiredo, I., Bordalo-Machado, P., Farias, I., Moura, T., Serrano Gordo, L., (2005). Description of Portuguese mixed-fisheries with positive landings of *Raja brachyura* Lafont, 1873 and *Raja montagui* Fowler, 1910. *ICES CM Documents 2005*, **18**: 1-10.
- Sion L., D'Onghia G., Carlucci, R. (2002) A simple technique for ageing the velvet belly, *Etmopterus spinax* (Squalidae). In: Proceedings of the 4th European Elasmobranch Association Meeting, Livorno, Vacchi, M., La Mesa, G., Serena, F., Séret, B. (eds.) *ICRAM, ARPAT and SFI*: 135-139.
- Sminkey, T.R., Musick, J.A. (1995). Age and growth of the sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, before and after population depletion. *Copeia*, **4**: 871-883.

- Souplet, A. (1996) - Calculation of abundance indices and length frequencies in the MEDITS survey. In: J.A. Bertrand *et al.*; (eds.), campagne internationale de chalutage demersal en Méditerranée. Campagne 1995. Rapport final vol.III.
- Spedicato, M.T., Lembo, G. Carbonara, P. (2003). Annotated check list of the skates (Chondrichthyes, Rajidae) in the central-southern Tyrrhenian sea. *Biologia Marina Mediterranea*, **10**(2): 941-945.
- Stehmann, M., and Bürkel, D.L. (1984).. Rajidae. In: In, Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., Hureau, J.C., Nielsen, J. & Tortonese, E. (Eds): *Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean*, pp. (pp 163-196). UNESCO., Paris
- Stehmann, M., (1990): Rhinobatidae. In: Check-list of the fishes of the eastern tropical Atlantic, vol. 1. J. C. Quero, J. C. Hureau, C. Karrer, A. Post, L. Saldanha (Eds), UNESCO, Paris, pp. 23–27.
- Stevens, J.D. (1975). Vertebral rings as a means of age determination in the blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of the Marine Biological Association of the U.K.*, **55**: 657-665.
- Stevens, J.D., Bonfil, R., Dulvy, N., Walker, P. (2000). The effects of fishing on sharks, rays, and chimaeras (chondrichthyans), and the implications for marine ecosystems. *ICES Journal of Marine Science*, **57**: 476-494.
- Stobutzki, I.C., Miller, M., Jones, P., Salini, J.P. (2001a). By-catch diversity and variation in a tropical Australian Peacoid fisheries. *Fisheries Research*, **53**: 283-301.
- Stobutzki, I.C., Miller, M., Brewer, D. (2001b). Sustainability of fishery by-catch: a process for assessing highly diverse and numerous by-catch. *Environmental Conservation*, **28**: 167-181.
- Sulikowski, J.A., Morin, M.D., Suk, S.H., Howell, W. (2003). Age and growth estimates of the winter skate (*Leucoraja ocellata*) in the western Gulf of Maine. *Fishery Bulletin*, **101**: 405–413.
- Sutherland, W.J. (1990). "Evolution and fisheries." *Nature*, **344**: 814-815.

- UNEP-MAP RAC/SPA (2010). The Mediterranean Sea Biodiversity: state of the ecosystems, pressures, impacts and future priorities. By Bazairi, H., Ben Haj, S., Boero, F., Cebrian, D., De Juan, S., Limam, A., Lleonart, J., Torchia, G., and Rais, C., Ed. RAC/SPA, Tunis; 100 pages.
- Von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquires of growth laws II). *Human Biology*, **10**: 181–183.
- Walker, T. I., (1998). Can shark resources be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Marine and Freshwater Research*, **49**: 553–572.
- Walker, P.A., Hislop, J.R.G. (1998). Sensitive Skates or Resilient Rays? Spatial and Temporal Shifts in Ray Species Composition in the Central and North-western North Sea Between 1930 and the Present Day. *ICES Journal of Marine Science*, **55**: 392-402.
- Walker, P., Cavanagh, R.D., Ducrocq, M. and Fowler, S.L. (2005). Chapter 7 – Regional Overviews: Northeast Atlantic (including Mediterranean and Black Sea). P86. In: Fowler, S.L., Cavanagh, R.D., Camhi, M., Burgess, G.H., Cailliet, G.M., Fordham, S.V., Simpfendorfer, C.A. and Musick, J.A. (comp. and ed.). (2005). *Sharks, Rays and Chimaeras: The Status of the Chondrichthyan Fishes*. IUCN SSC Shark Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Whitehead, P. J. P., Bauchot, M. L., Hureau, J. C., Nielsen, J., Tortonese, E. (Eds.). (1986). *Fishes of the Northeast Atlantic and Mediterranean*. UNESCO. Paris, France.
- Winsor, C. (1932). The Gompertz curve as a growth equation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **18**: 1-8.
- Yigin, C., and Ismen, A. (2010). Age, growth, reproduction and feed of longnosed skate, *Dipturus oxyrinchus* (Linnaeus, 1758) in Saros Bay, the north Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, **26**: 913-919.
- Zeiner, S.J., and Wolf, P. (1993). Growth characteristics and estimates of age at maturity of two species of skates (*Raja binoculata* and *Raja rhina*) from Monterey Bay,

California. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) *Technical Report NMFS (National Marine Fisheries Service)*, **115**: 87–99.

ELETTRONIC REFERENCES

Eltink, A.T.G.W. (2000). Age reading comparisons. (MS Excel workbook version 1.0 October 2000) Internet: <http://www.efan.no>

FAO General Fisheries Commission for the Mediterranean. Report of the twenty-eighth session. Tangiers, Morocco, 14–17 October 2003. GFCM Report. No. 28. Rome, FAO.2003. 21p.

Froese, R., Pauly, D. (2000). FishBase. Available from www.fishbase.org (accessed Jan. 2014)

Henderson, P.A., and Seaby, R.M. (2006). Growth II. Pisces Conservation Ltd., Lyminster, England.

NOAA Stock Assessment Toolbox. (2010). PSA, Version 1.4. Internet: <http://nft.nefsc.noaa.gov>]

Shark Trust (2008). Identify Your Eggcase. www.eggcase.org.

StatPoint Technologies (2010). STATGRAPHICS Centurion XVI User manual. StatPoint Technologies, Inc. 302pp. Available at: www.STATGRAPHICS.com

Ungaro, N., Serena, F., Dulvy, N.K.D., Tinti, F., Bertozzi, M., Mancusi, C., Notarbartolo di Sciara, G., Ellis, J.E. (2007). *Dipturus oxyrinchus*. In: IUCN 2012. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.

Ungaro, N., Serena, F., Dulvy, N., Tinti, F., Bertozzi, M., Mancusi, C. & Notarbartolo di Sciara, G. (2009). *Raja polystigma*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.3. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 04 January 2015.

Vannucci, S. (2005). Ecologia di alcune specie di Rajidae del Mar Ligure Meridionale con particolare riferimento all'alimentazione. Degree Thesis. University of Pisa.
Available at: <http://etd.adm.unipi.it/t/etd-06292005-122910/>

9. Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare sentitamente il Prof. Angelo Cau e la mia tutor Prof.ssa Anna Maria Deiana per l'aiuto che mi hanno concesso e la fiducia dimostratami in questi anni.

Un ringraziamento di cuore va anche alla Prof.ssa Follesa per la disponibilità e la pazienza mostrata, senza la quale questa tesi sarebbe stata ben diversa.

Un ringraziamento speciale è d'obbligo anche a tutti i miei colleghi che hanno reso questi anni indimenticabili, ed in particolare al Dott. Antonello Mulas per l'amicizia sincera e tutti i consigli forniti, alle Dott.sse Martina Marongiu e Cristina Porcu per il prezioso aiuto ed infine alla Dott.ssa Stefania Vittori la cui forza d'animo l'ha resa una fonte d'ispirazione.

Infine desidero ringraziare tutta la mia famiglia, in particolar modo mia madre che ha saputo in questi anni rendersi un punto di riferimento ancora più solido.

Andrea