



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

Corso di Laurea Magistrale

Biologia Marina

**FOTOGRAMMETRIA LASER COME TECNICA NON INVASIVA PER LA STIMA
DELLA TAGLIA E DEL PESO DI ELASMOBRANCHI IN AMBIENTE
CONTROLLATO**

**LASER PHOTOGRAMMETRY AS A NON-INVASIVE TECHNIQUE FOR
ESTIMATING ELASMOBRANCH BODY SIZE AND WEIGHT IN A
CONTROLLED ENVIRONMENT**

Tesi di Laurea Magistrale di:

Elena Rivali

Relatore:

Chiar.mo Prof.
Carlo Cerrano

Correlatore:

Torcuato Pulido Mantas

Sessione Febbario 2022

Anno Accademico 2020-2021

INDICE

Capitolo primo	4
INTRODUZIONE	4
1.1 <i>Evoluzione elasmobranchi</i>	4
1.2 <i>Anatomia elasmobranchi</i>	11
1.3 <i>Ecologia elasmobranchi</i>	24
1.4 <i>Metodologie di studio</i>	28
1.5 <i>Scopo del lavoro</i>	30
Capitolo secondo.....	32
MATERIALI E METODI.....	32
2.1 <i>Luogo di indagine e specie indagate</i>	32
2.2 <i>Realizzazione supporto laser</i>	46
2.2.1 <i>Studio dei modelli preesistenti</i>	46
2.2.2 <i>Progettazione dello strumento</i>	49
2.2.3 <i>Realizzazione dello strumento</i>	50
2.3 <i>Protocollo calibrazione laser</i>	54
2.4 <i>Raccolta dati</i>	58
2.5 <i>Elaborazione fotogrammi</i>	62
2.5.1 <i>Osservazione video</i>	62
2.5.2 <i>Eliminazione effetto fisheye</i>	62

2.5.3	<i>Selezione fotogrammi</i>	63
2.5.4	<i>Calcolo lunghezza animale</i>	64
2.5.5	<i>Calcolo peso animale</i>	65
	Capitolo terzo.....	67
	RISULTATI.....	67
3.1	<i>Carcharhinus melanopterus</i>	67
3.2	<i>Triaenodon obesus</i>	70
3.3	<i>Carcharhinus humani</i>	73
3.4	<i>Carcharias taurus</i>	76
3.5	<i>Ginglymostoma cirratum</i>	78
	Capitolo quarto	79
	DISCUSSIONI.....	79
4.1	<i>Carcharhinus melanopterus</i>	79
4.2	<i>Triaenodon obesus</i>	81
4.3	<i>Carcharhinus humani</i>	82
4.4	<i>Confronto squali in crescita</i>	83
4.5	<i>Carcharias taurus</i>	85
	Capitolo quinto.....	88
	CONCLUSIONI.....	88
	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	90

Capitolo primo

INTRODUZIONE

1.1 Evoluzione elasmobranchi

La comparsa degli Elasmobranchi, ovvero squali e razze, assieme ad altri pesci cartilaginei chiamati Olocefali (o Chimere), risale a prima del Devoniano. I primi fossili (denti e spine) vennero ritrovati in strati di roccia appartenenti al quarto periodo del Paleozoico, circa 370 milioni di anni fa (Di Crescenzo, 2017).

I primi denti erano costituiti da un piatto disco basale sormontato da una cuspidi centrale di forma conica, ai lati della quale si trovavano due o più punte di dimensioni minori. Tale modello di struttura venne definito cladodonte, di conseguenza tutti gli squali che mostrano tale carattere furono denominati *Cladodonti* (Lund, 1988). La bocca, di tipologia terminale o lievemente subterminale, presentava la mascella superiore rigidamente fissata alla scatola cranica, permettendo piccoli movimenti utili alla predazione, mentre la mascella inferiore era sostenuta dalle cartilagini del secondo arco branchiale. Questa tipologia di struttura primitiva è oggi definita anfistilica. Tra i *Cladodonti* importanti da ricordare troviamo quelli del genere *Cladoselache* (Lund, 1988) (fig. 1) (tardo Devoniano): raggiungevano i 2 metri di lunghezza,

le mascelle erano lunghe e sottili, la pinna caudale eterocerca, il dorso caratterizzato da due pinne dorsali con spine poste anteriormente, mentre il ventre era caratterizzato da pinne pettorali triangolari; erano presenti cinque archi branchiali e gli occhi erano in posizione antero-posteriore circondati da placche a formare un anello (Di Crescenzo, 2017).

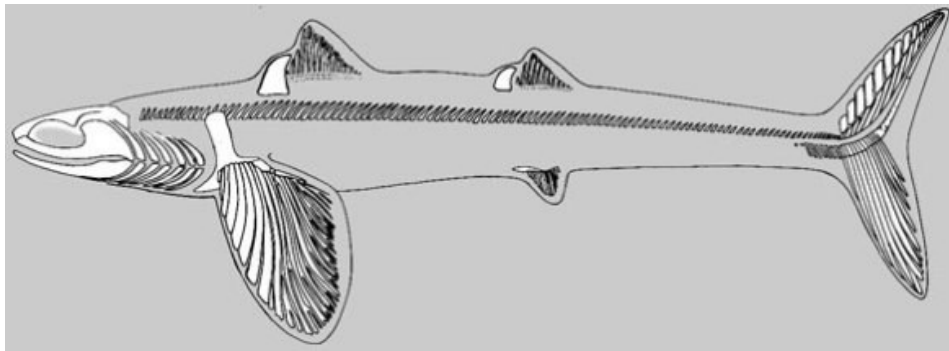


Fig.1-Cladodonte del genere Cladoselache (pterosaurheresies.wordpress.com)

Gli squali del genere *Cladoselache* assieme ad altri della famiglia dei Cladodontidi si estinsero nel Mississippiano, periodo nel quale si svilupparono gli Euselaci, in particolare l'ordine dei Ctenacantiformi (fig. 2), i quali lasciarono poche testimonianze fossili. I Ctenacantiformi popolavano soprattutto i mari delle coste Americane e del continente nordeuropeo.

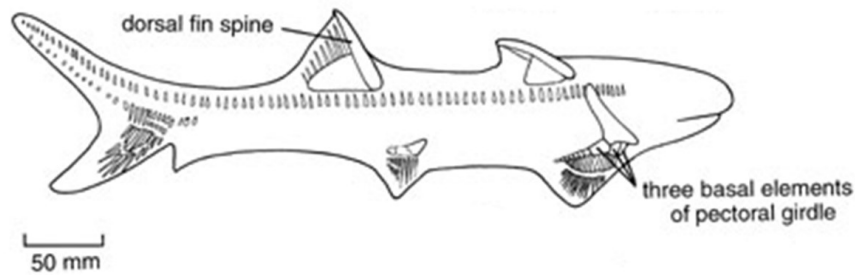


Fig 2 – Esempio appartenente ai Ctenacantiformi (Di Crescenzo, 2017)

Il seguente passo evolutivo portò allo sviluppo dell'ordine degli Ibodontiformi (fig. 3), apparsi nel tardo Devoniano; colonizzarono sia gli oceani che le acque dolci, diventando gli squali dominanti tra Triassico e Giurassico, costituendo anche la congiunzione tra Cladoselaciformi e squali attuali. In tale ordine l'articolazione della mascella divenne più mobile ed elastica, pur conservando una struttura anfistilica, favorita dalla riduzione della lunghezza del muso. Le pinne pari divennero più affusolate e mobili, consentendo, di conseguenza, maggiore possibilità di manovra in acqua. I maschi presentano gli pterigopodi, ciò dimostra come la fecondazione interna degli squali rappresenta un carattere acquisito da tempo. Le pinne dorsali erano sostenute da una robusta spina, mentre la pinna anale, unica, era posta prima della caudale, la quale risultava eterocerca, con il lobo superiore maggiormente sviluppato rispetto a quello inferiore. I denti posseduti dagli Ibodontiformi erano di due tipi: di forma acuminata se anteriori, mentre i denti posteriori erano arrotondati o a forma di molare. Ciò portò ad ipotizzare una dieta molto varia per tale ordine,

comprendente pesci, molluschi e crostacei. Le dimensioni, molto variabili, potevano passare dai 15 centimetri delle specie più piccole di tale ordine ai 2,5 metri dei rappresentanti più grandi (Di Crescenzo, 2017).

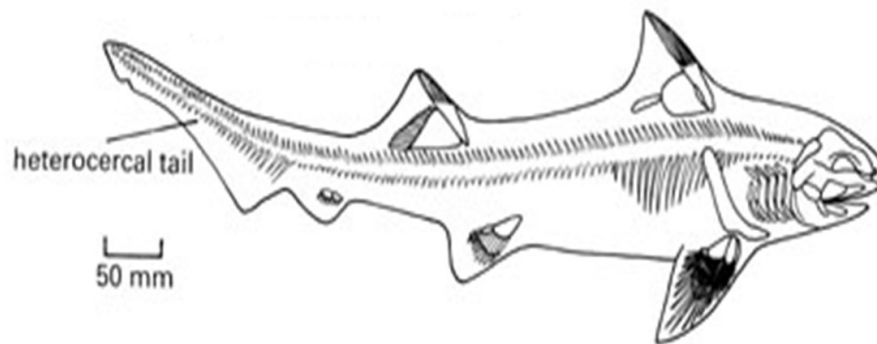


Fig. 3 – Esempio appartenente agli Ibodontiformi (Di Crescenzo, 2017)

Estinguendosi nel Cretaceo, gli Ibodontiformi, lasciarono il passo agli squali moderni. Le mascelle si trasformarono da anfistiliche in iostiliche, comparve uno scheletro assiale con vertebre calcificate che sorreggevano gli archi emali e neurali, mentre le ossa del cinto pelvico si fusero ventralmente. Tali caratteri anatomici influenzarono positivamente le potenzialità di locomozione e predazione, che portarono alla massima diffusione degli squali moderni nel Cretaceo, contemporaneamente all'affermazione dei Telostei, destinati a diventare la principale preda per la maggior parte degli Elasmobranchi. Oggigiorno esistono ancora tre famiglie appartenenti all'ordine degli Ibodontiformi: Clamidoselacidi, Eterodontidi ed Exanchidi. Questi conservano

caratteri primitivi, tanto da essere considerati anelli intermedi tra Ibodontidi ed Elasmobranchi moderni (Di Crescenzo, 2017).

I Clamidoselacidi, rappresentati dal *Chlamidoselachus anguineus* (Garman, 1884), catturato per la prima volta in acque giapponesi nella seconda metà del diciannovesimo secolo, sono squali adattati alla vita in acque profonde. *C. anguineus* è considerato un fossile vivente per via delle sue particolari caratteristiche anatomiche tra cui: corpo allungato, capo simile ad un serpente con bocca terminale, mascelle anfistiliche e denti a tre punte, sei paia di branchie con ampi bordi ondulati. Proprio dalla presenza di queste particolari branchie deriva il suo nome comune “squalo dal collare”. La linea laterale è quasi interamente esterna, mentre la notocorda, assente negli squali odierni, è presente e costituita da una serie di segmenti cartilaginei, che si estendono dal cranio alla punta della coda.

Gli Exanchidi, comparsi verso la metà del Giurassico, sono una famiglia di squali dal corpo massiccio con sei branchie, del genere *Hexanchus* (Rafinesque, 1810), o sette branchie, del genere *Heptranchias* (Rafinesque, 1810). La struttura delle mascelle è molto variabile, in quanto in *Hexanchus* è anfistilica, mentre in *Heptranchias* è iostilica. La notocorda, presente anche in questo gruppo è continua con degli anelli calcificati. Gli Eterodontidi, o squali testa di toro, posseggono pinne dorsali con robuste spine anteriori e i loro denti sono

considerati di tipo ibodontide, anche se modificati, mentre le mascelle sono di tipo anfistilico. Ciò permette di identificarli come discendenti degli Ibodontidi. Il genere più antico tra gli squali moderni è il *Paleospinax* (Agassiz, 1843), vissuto nelle regioni meridionali della Gran Bretagna durante il Giurassico inferiore e caratterizzato da mascelle iostiliche, molto mobili grazie allo svincolamento della mascella superiore dal cranio che permette allo squalo la possibilità di effettuare morsi protrattili, inoltre presentava vertebre calcificate. Esistono diverse teorie riguardo i diretti discendenti del *Paleospinax*, tra le quali la più accreditata è quella che identifica come successori evolutivi gli Squalidi, mentre le altre ipotesi propendono per gli Eterodontidi e i Lamniformi. Infine, esiste un'ipotesi riguardo la presenza di un antenato comune per gli Squalidi e i Lamniformi. Negli ultimi 50 milioni di anni le varie specie si sono lentamente evolute dando origine a sottospecie “cronologiche”, spesso differenti solo per dimensioni (Di Crescenzo, 2017).

Nel Cretaceo superiore comparve il *Carcharodon megalodon* (Agassiz, 1843) (fig. 4), il più grande tra gli Elasmobranchi ad aver popolato i mari temperati, il quale raggiunse la sua massima diffusione tra i 25 e i 10 milioni di anni fa.

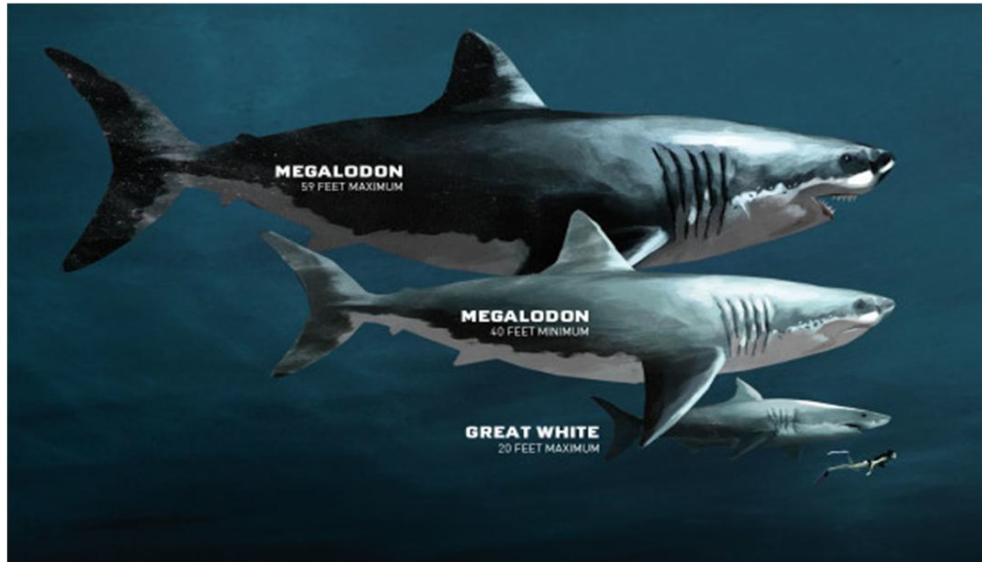


Fig 4 – Rappresentazione dimensioni Carcharodon megalodon a confronto con le dimensioni di uno squalo bianco e di un uomo (scienze notizie.it)

I resti di questo predatore sono ben pochi, ad eccezione dei denti, i quali sono stati ritrovati in diversi siti americani, australiani, europei ed africani. Estinto con alta probabilità all'inizio del Pliocene, venne studiato con grande dedizione con alta probabilità all'inizio del Pliocene, venne studiato con grande dedizione dall'esperto di denti fossili Agassiz, il quale descrisse il megalodonte nel 1843. Da allora gli studi si intensificarono ed indirizzarono sul problema delle ipotetiche dimensioni, le quali oggi vengono ipotizzate tra i 12 e i 18 metri di lunghezza, con pinne che potevano raggiungere i 4 metri nel caso delle caudali e quasi 2 metri per le pettorali, per un peso totale che poteva raggiungere le 14 tonnellate. Tale modello fu realizzato ed esposto nel 1985 allo Smithsonian Institution grazie a rapporti statistici e geometrici, che mettevano in relazione le dimensioni della mascella con quelle totali,

prendendo come riferimento i rapporti appartenenti allo squalo bianco, ritenuto a lungo discendente del più grande squalo che nuotò nei mari della Terra. (Di Crescenzo, 2017).

1.2 Anatomia elasmobranchi

Morfologia generale del corpo: il corpo degli squali si presenta di forma appiattita o affusolata, a seconda della specie e dell'habitat di appartenenza. Convenzionalmente, il corpo di uno squalo si può suddividere in tre regioni cefalica, addominale e caudale (fig. 5).

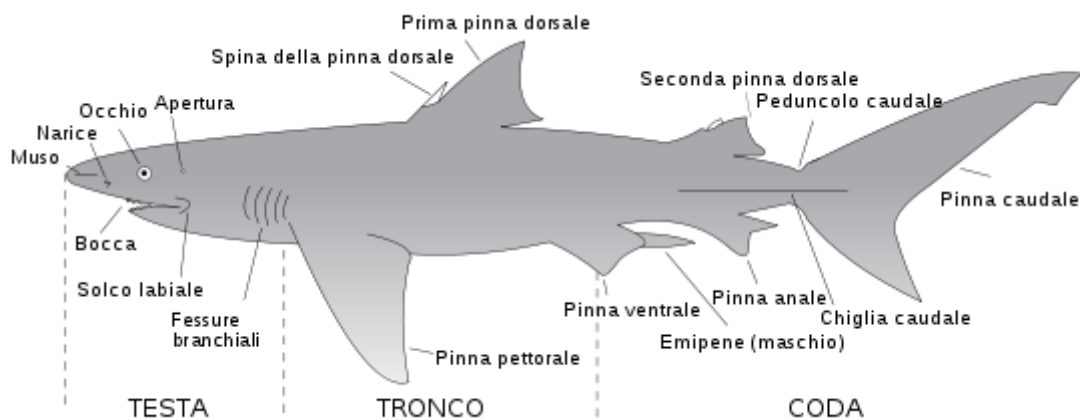


Fig. 5 – Immagine schematica del corpo di uno squaliforme (squali.jimdofree.com)

La regione cefalica comprende il muso, o “rostro” nel caso dei pristioforiformi, la bocca, le narici, lo spiracolo e le fessure branchiali dello squalo, le quali possono variare in numero a seconda degli ordini presi in esame. La regione

addominale riguarda la sezione compresa tra le pinne pettorali e le pinne pelviche, nella quale tutti gli squali presentano una pinna dorsale, due pinne pettorali e due pinne pelviche, mentre la seconda dorsale, a seconda degli ordini, può essere presente o meno. Inoltre, negli ordini convenzionalmente considerati più primitivi possono essere presenti spine, poste anteriormente alle pinne dorsali. La regione caudale è quella che parte dalle pinne pelviche, comprendente la pinna anale, se presente, e l'intera pinna caudale (Di Crescenzo, 2017).

Le pinne degli squali, così come molte altre loro parti anatomiche, sono il risultato di un processo evolutivo molto complesso. Nei primi squali le pinne erano poco flessibili per via della loro struttura interna, mentre negli squali attuali le pinne sono molto più flessibili ed elastiche adattandosi agli scopi cui sono designate: stabilità, cambi di direzione e propulsione. Le pinne possono essere di due tipologie, pari o impari. Negli squali, così come nei pesci ossei, le pinne si definiscono "pari" quando sono di numero pari a due, della stessa tipologia e disposte simmetricamente sui lati opposti del corpo. Tipicamente, sono pinne pari le pettorali e le pelviche. Al contrario, le pinne "impari", corrispondenti alla prima e seconda dorsale, la caudale e l'anale, sono singole e, a seconda dello squalo, possono essere presenti o meno. Le pinne dorsali possono essere di forma trapezoidale o arrotondata e la loro posizione sul corpo

dell'animale fornisce alcune informazioni sulle abitudini di vita della singola specie. In quelle adattate alla vita bentonica tendono ad essere più arretrate, mentre sono molto più sviluppate e posizionate più anteriormente nelle specie prettamente pelagiche. La funzione principale delle pinne dorsali è conferire stabilità nel nuoto controbilanciando la spinta laterale impressa dalla pinna caudale. In questo modo gli Elasmobranchi acquisiscono la capacità di procedere in linea retta, evitando rollii sull'asse longitudinale. La stessa funzione è attribuita alle pinne pelviche, le quali sono unite tra loro tramite una struttura cartilaginea detta cinto pelvico. Inoltre, negli esemplari maschili, sotto le pinne pelviche, sono presenti gli pterigopodi, gli organi sessuali esterni utilizzati durante l'atto riproduttivo (Di Crescenzo, 2017).

Così come tramite le pinne dorsali è possibile intuire le abitudini degli squali, anche tramite lo studio delle pinne pettorali è possibile ottenere le stesse informazioni. In esemplari adattati a vivere in ambienti di mare aperto queste sono prevalentemente allungate, mentre in squali adattati alla vita di fondale sono sviluppate in larghezza, oppure, in casi di adattamento alla vita attorno ai reef, le dimensioni sono molto ridotte. La loro funzione è quella di garantire portanza al corpo degli Elasmobranchi durante il nuoto: a seconda della variazione dell'inclinazione delle pinne pettorali, prodotta per mezzo di robusti muscoli in grado di modificarne la posizione, lo squalo in movimento può

inclinare il corpo, facilitando azioni di risalita o discesa. La pinna caudale ricopre la funzione di mezzo di propulsione e, a seconda della sua tipologia, può essere simmetrica o asimmetrica. Quest'ultima tipologia è la più diffusa tra le varie specie di squali. Una significativa differenza tra le pinne caudali degli squali e quelle dei pesci ossei è riscontrabile nella struttura ossea che le sostiene. Nei Condritti, la colonna vertebrale si curva verso l'alto fino a raggiungere l'apice del lembo superiore della pinna caudale, struttura definita eterocerca. Diversamente negli Osteitti la colonna vertebrale si interrompe prima della pinna caudale, la quale possiede di conseguenza una struttura definita omocerca, di tipologia simmetrica, con lobo superiore ed inferiore di uguali dimensioni (Di Crescenzo, 2017).

Scheletro: una delle caratteristiche fondamentali degli squali e, più in generale, dei pesci cartilaginei è riscontrabile nello scheletro (fig. 6), nel quale vi è la pressoché totale assenza di una struttura ossea calcificata, rimpiazzata da elementi cartilaginei ricchi di fibre di collagene, i quali conferiscono allo scheletro di questi animali leggerezza ed elasticità. Solo in alcuni squali adulti e di dimensioni ragguardevoli si possono riscontrare piccole porzioni di scheletro leggermente calcificate e ricoperte da un sale di calcio, l'apatite, che le rende più rigide e resistenti. Proprio a causa dell'assenza di sali di calcio nelle ossa degli squali il ritrovamento di reperti fossili adeguatamente

conservati è un evento di estrema rarità, rendendo particolarmente ardua la formulazione di ipotesi in merito alla morfologia della maggior parte degli squali di epoche preistoriche (Di Crescenzo,2017).

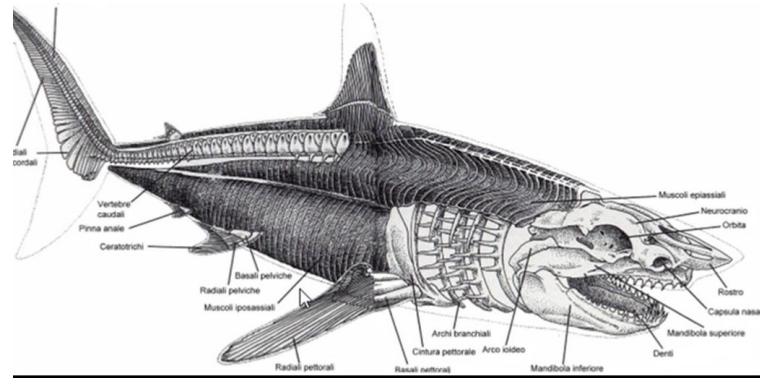


Fig. 6 – Rappresentazione scheletro di un Carcharodon carcharias (Linnaeus, 1758) (Di Crescenzo, 2017)

Dentelli dermici: il corpo degli squali è rivestito da dentelli dermali, ovvero scaglie formate da una piccola lamella rigida, classificata come parte del sistema tegumentario e disposta con la punta verso la pinna caudale dell'animale e quella di conferire ai pesci protezione al contempo mantenendo inalterata l'elasticità potenziale dei movimenti utili allo spostamento. Le scaglie più primitive, chiamate anche dentelli dermici o denticoli dermali, sono le placoidi, descrivibili come piastre basali incluse tra l'epidermide e il derma, dalle quali si erge un dentino smaltato, con punta diretta verso l'estremità caudale. Le scaglie placoidi sono variabili a seconda delle varie specie e a

seconda del distretto corporeo, manifestando carene, cuspidi e solchi differenti (Di Crescenzo,2017).

Mandibola e denti: la bocca è formata da un'arcata mandibolare inferiore ed una superiore. Quest'ultima è fissata al cranio unicamente per mezzo di legamenti elastici che consentono allo squalo di estroflettere la mascella superiore durante il morso, con evidenti benefici in termini di presa. I denti, i quali posseggono forma, dimensione e disposizione differente a seconda delle varie specie, sono privi di radici, di conseguenza vengono persi frequentemente. Tale evento è del tutto naturale e non necessariamente legato a episodi traumatici. Le differenze morfologiche dei denti, oltre che tra specie, possono essere riscontrate anche in un solo individuo, in quanto questi si modificano in forma e dimensione durante l'accrescimento dell'esemplare, in funzione della variazione ontogenetica del regime alimentare. Inoltre i denti dell'arcata superiore spesso differiscono da quelli dell'arcata inferiore. Ciò è dovuto alla necessità di ottimizzare il morso. Alla base del dente possono essere presenti delle strutture denominate cuspidi, che rappresentano un importante carattere tassonomico (Di Crescenzo,2017).

Sistema muscolare e locomozione: la sagoma degli Elasmobranchi si è evoluta nel corso di milioni di anni per essere il più idrodinamica possibile, producendo, di conseguenza, una resistenza minima al fluido. Ciò è reso

possibile da una forma riconducibile a quella di una goccia allungata, in cui la sezione maggiore si trova all'incirca ad un terzo della lunghezza totale, mentre procedendo verso la zona posteriore il corpo tende ad assottigliarsi (Di Crescenzo,2017).

Sistema digerente: il materiale utile all'alimentazione dell'animale, entrato dalla bocca dell'animale, transita attraverso la faringe e l'esofago, finendo nello stomaco, il quale possiede una capacità non indifferente, infatti, vi sono stati ritrovati anche diversi mammiferi interi. L'organo più grande dell'apparato digerente è il fegato, il quale, oltre che svolgere il suo compito all'interno del complesso sistema digestivo, è di fondamentale importanza ai fini dell'assetto idrostatico, in quanto le sue dimensioni e l'elevata concentrazione di sostanze oleose, sfruttate dagli squali per alleggerire il loro peso specifico e migliorare il galleggiamento. Inoltre il fegato, che cresce proporzionalmente al celoma e quindi allo squalo, è una riserva energetica in grado di immagazzinare nutrienti utili a sopravvivere per lunghi periodi di digiuno (Di Crescenzo,2017).

Sistema respiratorio: gli squali presentano un complesso sistema respiratorio (fig.7) atto ad ottimizzare la superficie di scambio tra acqua e tessuti, aumentando esponenzialmente l'assorbimento di ossigeno, favorito anche dallo scambio controcorrente. Il flusso dell'acqua attraverso le branchie può avvenire secondo due modalità. Alcune specie aspirano acqua per espansione della

faringe e apertura della bocca, una fase in cui le lamelle branchiali aderiscono al corpo, alla quale segue una rapida contrazione della faringe e chiusura della bocca, che costringe l'acqua a passare velocemente attraverso le aperture branchiali. Altre specie sfruttano il movimento, prodotto durante il nuoto, per far passare l'acqua attraverso le branchie. Il primo meccanismo è tipico degli squali bentonici, mentre il secondo è tipico degli squali pelagici, costretti ad un moto continuo. Alcune specie, come lo squalo toro e lo spinarolo, sono in grado di sfruttare entrambi i sistemi, a seconda della necessità e delle situazioni, allo scopo di soddisfare le necessità metaboliche riducendo al minimo il dispendio energetico (Di Crescenzo,2017).

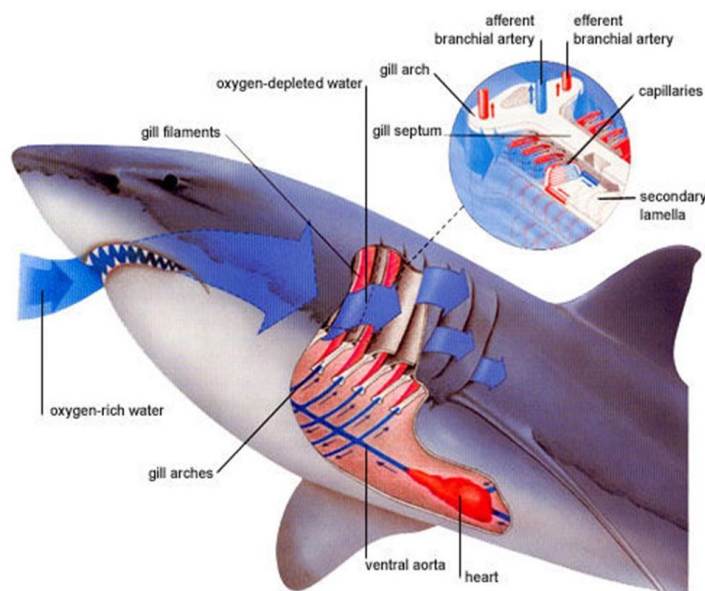


Fig. 7 – Rappresentazione della respirazione di uno squalo pelagico (Di Crescenzo, 2017)

Sistema riproduttivo: sebbene sia molto difficile osservare in natura l'accoppiamento tra squali, studi incentrati sulla riproduzione degli elasmobranchi hanno permesso di comprendere come avvenga la riproduzione nei pesci cartilaginei. I maschi degli Elasmobranchi sono provvisti di due organi copulatori, chiamati pterigopodi, posti alla base delle pinne pelviche, indispensabili per la fecondazione interna. Durante l'atto copulativo solo uno dei due pterigopodi è ruotato di 90° rispetto all'asse longitudinale dell'individuo maschile, per migliorare la sua capacità di penetrazione e nello stesso tempo consentire il riempimento d'acqua di un'apposita sacca sottopelle, denominata sifone. Il maschio afferra la femmina mordendola sul dorso o sulle pinne, motivo per cui in molte specie la pelle della femmina è molto più spessa di quella del maschio. A penetrazione avvenuta, la contrazione dei muscoli, che controllano il sifone, provoca un getto d'acqua che convoglia il fluido seminale nella cloaca della femmina, arrivando fino alla ghiandola nidamentale, ove avverrà la fecondazione. Sono state descritte tre modalità principali di riproduzione: ovipara, nella quale la femmina depone capsule ovigere contenenti embrioni nutriti dal loro sacco vitellino; ovovivipara aplacentale, nella quale la femmina produce piccoli nutriti nell'utero dal sacco vitellino; ovovivipara placentale, nella quale la femmina produce piccoli nutriti nell'utero da una struttura simile ad una placenta. È possibile suddividere

ulteriormente la modalità riproduttiva ovovivipara aplacentale secondo due meccanismi fondamentali: l'oofagia, dove gli embrioni nell'utero si cibano di uova non fecondate dalla madre (es., squalo bianco), e l'adelfofagia, nella quale gli embrioni si cibano dei loro fratelli presentanti nell'utero, dando origine ad un evento denominato cannibalismo intrauterino (es., squalo toro). Inoltre nei Condritti vi è la completa assenza di cure parentali, in quanto non esiste alcun tipo di rapporto tra i piccoli e i loro genitori dopo la nascita, nonostante la madre si curi di trovare località opportune per la sopravvivenza dei suoi piccoli, sia scegliendo i substrati migliori per la deposizione, nel caso delle specie ovipare, sia recandosi prima del parto in particolari zone dette *nurseries*, nel caso di quelle vivipare (Di Crescenzo,2017).

Osmoregolazione: a differenza della maggior parte dei pesci ossei, con l'eccezione dei celacanti, il sangue e gli altri tessuti degli Elasmobranchi, in generale sono isotonici rispetto all'ambiente marino, ciò indica che la concentrazione di soluti internamente ed esternamente al corpo dello squalo possiedono valori simili e di conseguenza lo scambio netto di sostanze risulta nullo. Tale proprietà viene conferita loro dall'alta concentrazione di urea e di trimetilammine all'interno del corpo e consiste nell'instaurazione di un equilibrio osmotico tra sangue ed acqua salata (Di Crescenzo,2017).

Termoregolazione corporea: la termoregolazione corporea negli squali può variare tra le diverse famiglie. I membri della famiglia Lamnidae (es., squalo mako e squalo bianco) sono omeotermi, ovvero in grado di mantenere una temperatura corporea costante durante le fasi di nuoto attivo. Ciò garantisce una migliore efficienza metabolica muscolare concessa dalla temperatura corporea superiore rispetto a quella dell'acqua circostante. In questi squali, una striscia di muscoli rossi contratti, situata vicino al centro del corpo, genera il calore che viene trattenuto attraverso un meccanismo di scambio controcorrente tramite un sistema di vasi sanguigni chiamato “rete mirabilis”. Tuttavia, molti squali sono pecilotermi, ovvero posseggono una temperatura corporea interna equivalente a quella dell’ambiente circostante (Di Crescenzo,2017).

Organi sensoriali: gli Elasmobranchi sono animali in grado di percepire l’ambiente esterno mediante quattro meccanismi principali: chemiorecezione, meccanorecezione, fotorecezione ed elettrorecezione. Questi sfruttano stimoli a cui gli squali sono sensibili, come suoni, odori, vibrazioni a basse frequenze, deboli campi elettromagnetici e stimoli visivi. Ogni organo di senso risulta indispensabile all’animale per individuare possibili prede ed esemplari della stessa specie, ma ognuno di essi ricopre un ruolo con importanza variabile a seconda del momento e della distanza dall’obiettivo. Procedendo da grandi a

piccole distanze il primo organo sensoriale ad entrare in azione è l'olfatto, seguito dall'udito e dalla captazione delle vibrazioni che si propagano in acqua, ad opera della linea laterale, poi dalla vista ed infine dall'elettrorecezione.

Olfatto: Il senso olfattivo è affidato alle aperture nasali anteriori e posteriori distinte negli Elasmobranchi in grado di determinare la direzione di un determinato odore, basandosi sulla regolazione del rilevamento in ogni narice.

L'acqua entra, durante lo spostamento, attraverso le narici e passa ai sacchi nasali, forniti di lamelle o filamenti di tessuto tappezzati di recettori olfattivi.

Nelle specie in grado di respirare anche in situazioni di riposo, viene utilizzato anche un secondo sistema nel quale l'acqua viene pompata direttamente dalle narici quando l'animale si trova in stato di quiete. Durante il moto gli squali seguono la traccia odorosa individuata, la quale viene utilizzata per rintracciare potenziali prede, ma anche per localizzare la posizione di altri esemplari della stessa specie nel periodo riproduttivo, mediante la captazione dei feromoni.

Udito: benché sia molto difficile testarlo, gli squali possono percepire una preda, fino ad una distanza massima di circa 250 metri, grazie all'udito, in quanto essi possiedono una piccola apertura su entrambi i lati della testa che conduce direttamente all'orecchio interno attraverso un sottile canale. Le onde sonore captate sono per la maggior parte a bassa frequenza, nonostante ciò,

possono percepire suoni che si propagano con onde appartenenti ad un range di frequenza compreso tra i 10 Hz e gli 800 Hz.

Linea laterale: la linea laterale, presente sia nei pesci cartilaginei che nei pesci ossei, è collegata all'ambiente esterno attraverso una serie di cellule sensoriali chiamate pori di linea laterale, disposti lungo i fianchi, in grado di percepire movimenti e vibrazioni nell'acqua con una banda di frequenza compresa tra i 25 Hz e i 150 Hz. Udito e linea laterale, essendo organi sensoriali utili ad individuare oggetti posti a grandi distanze, sono collegati tra loro in quanto sono innervati dallo stesso nervo e forniscono informazioni correlate fra loro.

Vista: gli occhi degli elasmobranchi sono paragonabili agli occhi degli altri vertebrati, essendo dotati di cristallino, cornea e retina, nonostante la loro vista sia ben adattata all'ambiente marino, adattamento reso possibile da un tessuto chiamato *tapetum lucidum*. Inoltre gli squali possono contrarre e dilatare le loro pupille, come gli esseri umani, abilità non sviluppata dai pesci ossei, adattando la vista alle variazioni di intensità luminosa. Per difendere i loro occhi alcune specie possiedono membrane nittitanti, in grado di proteggere gli occhi mentre lo squalo caccia o quando viene attaccato. Altre specie non possiedono tale struttura, bensì roteano gli occhi all'indietro per proteggerli durante l'atto predatorio.

Elettrorecezione ed Ampolle di Lorenzini: negli Elasmobranchi la sensibilità ai campi magnetici ed elettrici deriva dalla presenza di alcuni recettori collegati ai pori presenti sul muso, chiamati ampolle di Lorenzini, le quali sono descrivibili come ciglia immerse in un gel, le quali vengono sollecitate dalle variazioni di campo elettromagnetico, tramite l'azione di una pompa protonica. L'elettrorecezione sostituisce l'olfatto sulle brevi distanze, inoltre, in condizioni di visibilità pessima, è in grado di sostituire anche la vista.

L'identificazione della posizione delle prede diventa utile soprattutto quando esse si nascondono sotto la sabbia del fondale marino o all'interno delle fessure presenti nei reef, in quanto, anche in quei momenti esse producono dei campi elettrici. Un ulteriore utilizzo dell'elettrorecezione è adibito all'orientamento, in quanto le correnti oceaniche, generate dal campo magnetico terrestre, producono anch'esse dei campi elettromagnetici, utilizzate dagli squali per rendere meno dispendiose, da un punto di vista energetico, le migrazioni. (Di Crescenzo, 2017).

1.3 Ecologia elasmobranchi

Gli elasmobranchi sono un gruppo di pesci estremamente specializzati che occupano, in molti casi, il ruolo di superpredatori al vertice delle piramidi alimentari degli ecosistemi marini. Essi hanno, pertanto, un ruolo ecologico

notevole e rappresentano un modello sperimentale chiave per la gestione e la conservazione degli ecosistemi marini (Coppola, 2012). Gli animali che rientrano nella categoria dei *top predator* si trovano all'apice della catena trofica, con il compito di controllo biologico naturale sulle specie poste ai livelli trofici sottostanti. Ogni ecosistema possiede i suoi *top predators*, anche se con popolazioni dalle dimensioni ridotte. Gli impatti ambientali provocati dall'uomo, soprattutto quelli che causano riduzione di densità di una specie, ripercuotono i loro effetti sull'ecologia dell'ecosistema, il quale potrebbe subire fenomeni di cascate trofiche, di cascate ecologiche o di estinzione a cascata nel peggiore dei casi. Ciò accade quando una *keystone species*, ovvero una specie in grado di influenzare l'organizzazione di una comunità biologica in modo molto marcato, modifica la propria dimensione di popolazione. (Di Crescenzo, 2017).

Negli ultimi 50 anni la pressione della pesca è aumentata sostanzialmente negli oceani del mondo, con conseguente rapido declino delle grandi comunità di pesci predatori. I grandi elasmobranchi, che sono particolarmente vulnerabili a causa della loro crescita lenta, la tarda età di maturità e il basso tasso di riproduzione, destano particolare preoccupazione (Myers & Worm, 2005).

Diversi studi riportano una riduzione delle popolazioni di squali in diverse aree del pianeta, come ad esempio nel Golfo del Messico in cui la popolazione di

Pinna Bianca Oceanico *Carcharhinus longimanus* (Poey, 1861) è diminuita di oltre il 99% tra gli anni '50 e '90 (Baume & Myers, 2004), mentre le specie costiere di elasmobranchi sono diminuite del 96-99% tra il 1972 e il 2002 (Sheperd & Myers, 2005); In Atlantico nordoccidentale invece diverse specie di grandi squali sono diminuite di più del 75% in soli 15 anni dal 1986 (Baum et al. 2003).

Per quanto riguarda il Mediterraneo sono state studiate tendenze di popolazione sui grandi squali migratori negli ultimi 200 anni ed è stato trovato che tutte le specie studiate sono diminuite di numero e di dimensioni nel tempo, suggerendo che queste specie sono a rischio estinzione, soprattutto se la pressione della pesca non diminuirà in futuro (Serena, 2013).

Un altro grave problema che minaccia gli squali è senza dubbio la pratica del *finning* (fig. 8), ovvero il taglio delle pinne dello squalo mentre questo è ancora vivo e il successivo rilascio in mare, dove, ancora agonizzante, troverà la morte per asfissia nel caso di squali pelagici, o per fame nel caso di squali bentonici; in alcuni casi la morte sopraggiunge per dissanguamento (Di Crescenzo, 2017).



Fig. 8 – Pinne di squalo ottenute tramite la pratica del finning (wisesociety.it)

Incluso tra le minacce verso gli elasmobranchi vi è sicuramente il fenomeno del *bycatch* (fig.9), ovvero la cattura involontaria di esemplari non economicamente utili durante una battuta di pesca commerciale (Di Crescienzo, 2017).



Fig. 9 – Esempio di squalo catturato tramite bycatch (essereanimali.org)

1.4 Metodologie di studio

Alla luce delle minacce che incombono sulla conservazione degli elasmobranchi, e del loro ruolo fondamentale negli ecosistemi marini, risulta indispensabile individuare metodi non invasivi per studiarli.

Le misurazioni delle dimensioni del corpo e la morfometria sono importanti per la comprensione della storia della vita di un organismo. La morfometria è stata utilizzata per stimare diversi parametri, come ad esempio la crescita individuale (Clark et al. 2000), fisica e maturità sessuale (Waters & Whitehead, 1990), differenze fenotipiche in specie strettamente imparentate (Perryman & Lynn, 1993) o la segregazione per classi dimensionali in una popolazione (Cubbage & Calambokidis, 1987). Identificare l'esistenza del dimorfismo sessuale in una popolazione attraverso la morfometria può aiutare a comprendere le strategie riproduttive, la competizione intrasessuale, e la scelta del compagno (Breuer et al. 2007).

La maggior parte dei metodi utilizzati per le indagini morfometriche risultano invadenti, disturbanti e possono comportare la cattura o uccisione dell'animale. La possibilità di ottenere misurazioni dimensionali da remoto elimina molti di questi rischi. Nell'ultimo decennio, grazie alla consapevolezza e alla volontà di poter eseguire ricerche non invasive, si è cercato di sviluppare nuovi metodi e

nuove tecnologie in grado di fornire gli stessi dati morfometrici, ma evitando di fatto il contatto diretto con l'animale (Di Crescenzo,2017).

Risultato di questi studi è stato l'utilizzo della fotogrammetria, una tecnica non invasiva che permette l'estrazione di misure accurate partendo da un'immagine. Grazie all'accoppiamento di fotogrammetria e tecnologia laser, è stata soddisfatta la necessità di avere sempre un riferimento metrico sulle immagini, rendendo la tecnica più versatile ed economica. L'utilizzo di questi laser, posizionati parallelamente fra di loro e a distanza nota, permette infatti di impostare una scala sull'immagine tramite la quale è possibile risalire ad altre dimensioni.

L'affidabilità di questo metodo è già stata testata in passato, ed è stato definito che l'errore percentuale medio atteso su misurazioni effettuate tramite fotogrammetria laser fosse compreso tra 0.39% e 0.54%, risultando, di conseguenza, un metodo valido e preciso (Deakos, 2010).

1.5 Scopo del lavoro

Lo studio dei caratteri morfometrici risulta fondamentale per comprendere la storia della vita di un organismo. La maggior parte dei metodi per ottenere informazioni riguardo tali aspetti, utilizzati sugli organismi acquatici di notevoli dimensioni sia in ambiente controllato sia in mare aperto, risultano ancora invasivi e poco precisi, causando spesso stress e danni all'animale. Risulta quindi necessario sperimentare e applicare metodi di indagine più accurati e meno invasivi, considerando anche la situazione di vulnerabilità nella conservazione di molte specie, come ad esempio quella degli elasmobranchi. Risultato di questi sforzi è stata l'introduzione in campo ecologico della fotogrammetria laser. Tale approccio è stato utilizzato negli ultimi anni per lo studio di varie specie di elasmobranchi, sia in mare aperto che in ambiente controllato.

L'obiettivo di questo studio è quello di fornire un contributo alla definizione e validazione del metodo per lo studio di alcune specie di elasmobranchi in ambiente controllato. In particolare, si è progettato e costruito uno strumento idoneo all'indagine sulle specie di squali presenti in acquario e allo stesso tempo resistente e preciso.

Lo strumento, equipaggiato con puntatori laser e action cam, ha permesso di effettuare misurazioni precise, condotte da dicembre 2020 a dicembre 2021,

presso l'Acquario di Cattolica. I dati ottenuti hanno permesso, grazie all'utilizzo del software Image J (Rasband, 1997-2018), di stimare la lunghezza degli animali presi in esame e seguendo il protocollo descritto da Tirasin nel 1933, calcolarne il peso corporeo.

Capitolo secondo

MATERIALI E METODI

2.1 Luogo di indagine e specie indagate

Il luogo presso cui si sono svolti i campionamenti è l'Acquario di Cattolica, sito in Cattolica (RN), Emilia Romagna, e si affaccia sul Mar Adriatico (fig.10). Si tratta dell'acquario più grande della costa adriatica, e secondo in Italia dopo Genova. L'Acquario si trova all'interno di edifici risalenti agli anni '30, le cui forme richiamano una flotta navale (da qui prenderà il nome di "Parco Le Navi"). La struttura era stata originariamente concepita come colonia marina per ospitare i figli degli italiani residenti all'estero. Nel giugno 2000 fu portato a termine un attento restauro conservativo, sotto l'egida della Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici, che ha riportato al suo antico splendore gli edifici e ha valorizzato l'intera area, ricca di storia e tradizioni marinare. L'Acquario si estende su una superficie di 110 mila metri quadrati, affacciata sul mare, perfettamente integrata nel tessuto urbano della città di Cattolica. Sono presenti inoltre ampi spazi verdi fruibili liberamente come parco pubblico (oltre 49 mila metri quadrati) (Acquario di Cattolica.it).



Fig. 10 – Posizione dell'Acquario di Cattolica, veduta dell'Acquario di Cattolica lato mare

L'Acquario è diviso in 4 sezioni, a seconda dell'habitat in cui vivono i diversi gruppi di animali: ingresso Blu, ingresso Verde, ingresso Giallo e ingresso Viola.

I campionamenti utili a questo studio sono stati eseguiti interamente all'interno del percorso Blu: si tratta di un'area che rappresenta la riproduzione degli ecosistemi marini dal Mar Mediterraneo agli Oceani Atlantico, Pacifico e Indiano in cui sono presenti diverse aree tematiche incentrate su diversi ecosistemi, dalle mangrovie alle barriere coralline che si articola in circa 100 vasche ospitanti diversi animali (fig.11).



Fig. 11 – mappa dell’Acquario di Cattolica. In evidenza il percorso Blu, in cui vi sono le vasche oggetto di studio. (Acquario di Cattolica.it)

Questo studio si è concentrato esclusivamente su due vasche: la Grande Vasca Squali e la Vasca Recchi.

Vasca Recchi: questa vasca ospita squali di dimensioni ridotte tipici dell’ambiente di barriera corallina; la temperatura è compresa in un range tra i 23°C e i 26°C, e al di sopra della vasca è presente una finestra dalla quale filtra la luce solare. Le specie oggetto di studio qui presenti sono: 1 esemplare di Squalo Pinna Nera *Carcharhinus melanopterus* (Quoy & Gaimard, 1824), 1 esemplare di Squalo Pinna Bianca *Triaenodon obesus* (Ruppel, 1837), 1

esemplare di Squalo Humani *Carcharhinus humani* (White & Weigmann, 2014).

Grande vasca squali: fulcro dell'Acquario di Cattolica, ospita gli squali più grandi della struttura, ovvero 4 grandi squali toro (*Carcharias taurus*, (Rafinesque, 1810)) e 5 squali nutrice (*Ginglymostoma cirratum*, (Bonnaterre, 1788)), oltre ad altri pesci più piccoli come orate e cernie. La temperatura della vasca è mantenuta costante tutto l'anno, con variazioni di massimo 1°C; la vasca non è esposta a luce naturale.

Carcharhinus melanopterus: Lo Squalo Pinna Nera del reef (fig.12) è una specie di squalo che appartiene al genere *Carcharhinus* ed alla famiglia Carcharhinidae. Si tratta di una delle specie più diffuse nelle barriere coralline delle zone tropicali degli Oceani Indiano e Pacifico: Golfo Persico, Mar Rosso, e Africa orientale fino alle Hawaii e l'arcipelago di Tuamotu, a nord fino al Giappone e a sud fino all'Australia (Carpenter et al. 1997).

Predilige le acque poco profonde e sotto costa (20m-75m) (Myers, 1999). È stato ritrovato anche nelle aree di mangrovie (Last et al. 1994) e anche in acque dolci vicine al mare (Compagno et al. 1998).

Di solito si trovano individui singoli o in piccoli gruppi (Allen, 2004).

La sua dieta si basa preferibilmente su pesci ma si nutrono anche di crostacei, cefalopodi e altri molluschi (Last et al. 1994).

Si tratta di una specie vivipara (Dulvy et al. 1997). Di solito nascono 2-4 squali dopo una gestazione di 8-9 mesi (Compagno, 1984). Alla nascita misurano 33-52 cm (Compagno, 1984). Raggiungono la maturità sessuale quando misurano tra i 91cm e i 120 cm (Compagno et al. 1989), la lunghezza massima registrata è di 200 cm (Compagno et al. 1989), e il peso massimo stimato è di 13,550 kg (database of IGFA, Fort Lauderdale, USA).

E' facilmente identificabile per le vistose chiazze nere all'estremità delle pinne (in particolare della prima dorsale e della caudale); presenta un piccolo muso corto e arrotondato, occhi ovali e denti a cuspide stretta (Compagno et al.1989).

La IUCN inserisce questa specie nella Lista Rossa, identificabile come vulnerabile (IUCN 2021).

Questa specie è comunemente presente negli acquari pubblici (Allen et al. 2004).



Fig.12 – esemplare di Carcharhinus melanopterus (IUCN 2021)

Gli individui appartenenti a questa specie presenti in Vasca Recchi erano originariamente due, ma per un caso sfortunato uno dei due esemplari è deceduto poco dopo l'inizio dei campionamenti, riducendo le misurazioni ad un solo esemplare.

L'esemplare analizzato è di sesso femminile ed è arrivato all'Acquario di Cattolica il giorno 8 aprile 2019; l'età stimata al momento dell'arrivo si inserisce in un range tra i 6 mesi e l'anno. Stando alla stima d'età effettuata al momento dell'arrivo, questo esemplare all'inizio di questo studio avrebbe dovuto avere tra i 2 anni e i 2 anni e 8 mesi. Valutando questo range anagrafico, si è considerato questo individuo in fase di crescita, quindi è stata stimata, oltre

alle dimensioni corporee in ogni singolo giorno di misurazione, anche la curva di crescita inerente la lunghezza e conseguentemente l'accrescimento del peso corporeo.

Triaenodon obesus: lo squalo pinna bianca del reef (*Triaenodon obesus*) (fig.13) è una specie di squalo della famiglia dei Carcarinidi, unico membro del suo genere. E' associato agli ambienti di barriera corallina, con distribuzione batimetrica tra 1m e 330m, ma preferibilmente si trova tra 8m e 40m (Compagno, 1984). Lo si può trovare nella regione Indo-Pacific: Mar Rosso e Africa orientale fino all'Indonesia e nel Mare di Arafura, a nord fino a Ryukyu e a Ogasawara, a sud fino a all'Australia (New South Wales), Nuova Caledonia, e in Micronesia; nella regione del Pacifico Orientale: nelle isole Cocos e Galapagos, Panama e Costa Rica (Russel et al. 1989).

E' un abitante di lagune e scogliere in prossimità del mare dove si trova spesso a riposare in grotte o sotto sporgenze coralline durante il giorno (Last et al, 1994).

Si nutre di animali bentonici come pesci, polpi, aragoste e granchi (Compagno, 1984).

E' una specie vivipara (Dulvy, 1997); di solito nascono 1-5 squali alla volta dopo una gestazione di almeno 5 mesi (Compagno, 1984), e alla nascita i

piccoli misurano tra i 52cm e i 60 cm (Compagno et al, 1998). La maturità sessuale viene raggiunta di solito tra i 105cm e i 109cm; la lunghezza massima registrata è di 213 cm (Compagno, 1984) mentre il peso massimo stimato è di 18,3 kg (International Game Fish Association, 1991). L'età massimo stimata è di 25 anni (Randall, 1977).

Si tratta di un piccolo squalo snello con un muso corto e largo, occhi ovali e punte bianche vistose sulla prima pinna dorsale e sulla pinna caudale superiore; è di colore grigio nella parte superiore e più chiaro in quella inferiore, talvolta presenta delle macchie scure ai lati (Compagno et al. 1989)

La IUCN inserisce questa specie nella Lista Rossa, identificabile come vulnerabile (IUCN 2021).

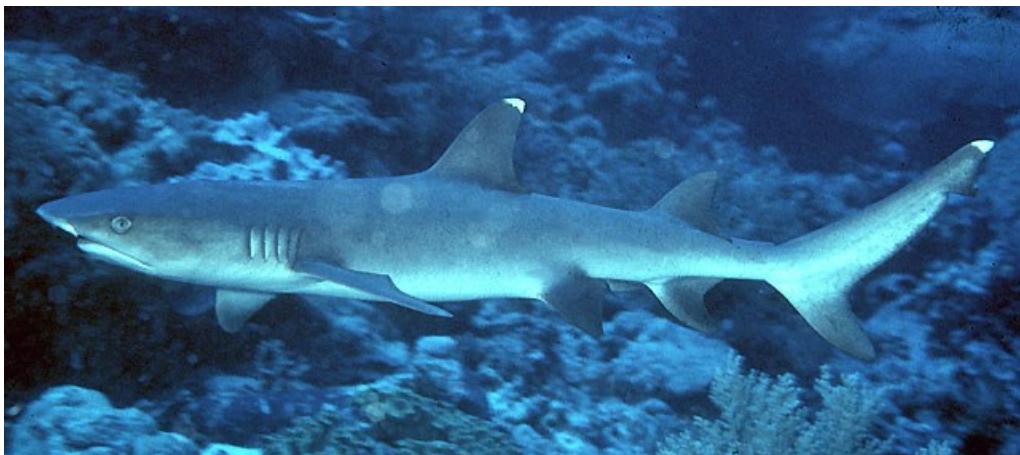


Fig.13 – esemplare di Triaenodon obesus (Randall, 1977)

A questa specie appartiene un individuo analizzato durante questo studio. L'animale esaminato è di sesso femminile, è arrivato in Acquario nel febbraio

del 2018. L'età stimata all'inizio di questo lavoro di tesi è tra i tre anni e i tre anni e mezzo circa. Valutando questo range anagrafico, si è considerato l'esemplare in fase di crescita, quindi, anche per questo animale, si è ragionevolmente proceduto con la stima della curva di crescita annuale, oltre che alle misure di lunghezza e peso del singolo giorno di campionamento.

Carcharhinus humani: lo squalo Humani (*Carcharhinus humani*) (fig.14) è uno squalo ad oggi poco conosciuto e studiato, per questo motivo poche sono le nostre conoscenze su questa specie. Appartiene al genere *Carcharhinus* ed alla famiglia Carcharhinidae. Vive tra i 36 m e i 43 m (White et al. 2014). La sua presenza è stata riscontrata Nell'Oceano Indiano Occidentale: dal Kuwait nel Golfo Persico, fino a Socotra; a sud Fino al Mozambico e Sud Africa (White et al. 2014).

Si distingue per i seguenti caratteri: presenta un rostro moderatamente lungo e strettamente arrotondato, i denti anteriori superiori sono obliqui e a forma di lama, grossolanamente seghettati, il margine laterale è intagliato e con numerose cuspidi; i denti anteriori inferiori sono più stretti, leggermente obliqui, i margini laterali sono dentellati e con cuspidi basali lisce. La prima pinna dorsale è moderatamente alta e leggermente falcata; la seconda pinna dorsale è triangolare con estremità scura. La colorazione verte dal marrone

chiaro al grigio scuro dorsalmente, mentre è bianco ventralmente (White et al. 2014). La lunghezza massima registrata è di 84,4 cm (White et al. 2014).

Non sono presenti dati circa il grado di vulnerabilità IUCN.

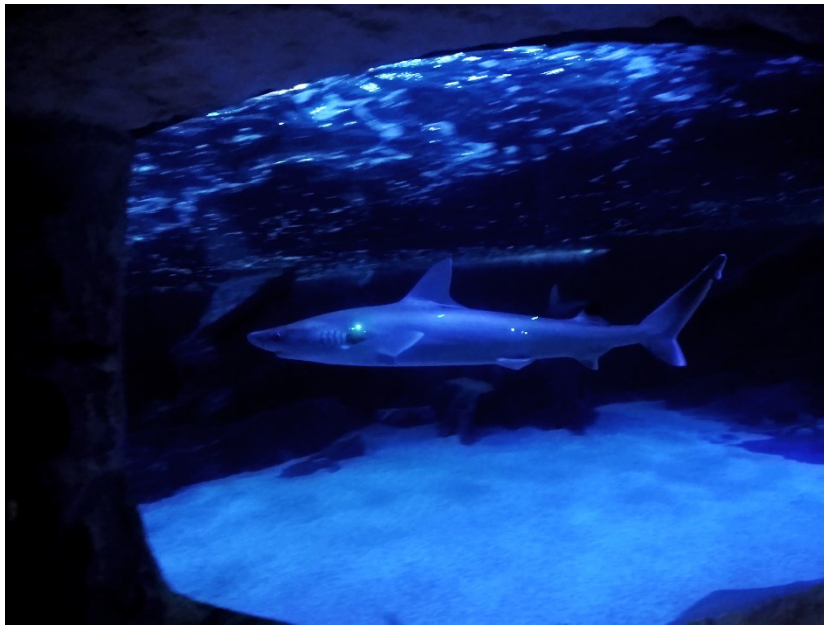


Fig. 14 – *esemplare di Carcharhinus humani ospitato nell'Acquario di Cattolica*

Anche di questa specie è stato studiato un solo individuo in acquario. L'esemplare, di sesso femminile, è arrivato all'Acquario di Cattolica nel febbraio del 2018 e l'età stimata al momento dell'inizio delle misurazioni è in range di 3 anni-3 anni e mezzo circa. Valutando questo range di età, anche questo individuo è stato considerato in crescita, quindi oltre alle misure puntuali sono state stimate delle curve di crescita riguardanti la lunghezza totale e il peso corporeo.

Carcharias taurus: appartiene alla famiglia Odontaspidae, ed è l'unico esemplare vivente del suo genere. E' uno squalo principalmente litoraneo ed è spesso associato a reef, spesso sopra o vicino al fondo, ma può essere trovato anche a mezz'acqua o in superficie (Compagno et al. 1984).

Ha una distribuzione circumtropicale, escludendo forse il Pacifico orientale (Compagno et al. 1998); nell'Indo-Pacifico orientale lo si trova in Mar Rosso, al largo delle coste del Sud Africa, in Giappone, Corea e Australia (Compagno et al, 1998). E' presente nel Mare di Arafura (Compagno et al, 1998). In Atlantico occidentale lo troviamo dal Golfo del Maine all'Argentina. Ci sono delle registrazioni anche nelle Bermuda, nel sud del Brasile (Smith, 1997). In Atlantico orientale si trova dal Mediterraneo al Camerun. Atlantico nordoccidentale: in Canada (Scott et al. 1988).

Si nutre principalmente di pesci ossei, piccoli squali, razze, calamari, granchi e aragoste (Compagno et al. 1989).

E' una specie ovovivipara, gli embrioni si nutrono delle altre uova prodotte dalla madre (cannibalismo uterino) e generalmente nascono 2 squali dopo 9-12 mesi di gestazione (Dulvy et al. 1997). La lunghezza alla nascita è di circa 100 cm (Bass et al. 1986). La maturità sessuale viene raggiunta alla lunghezza di

220 cm- 230 cm. La lunghezza massima registrata è di 330 cm (Murdy et al. 1997).

Si tratta di uno squalo con muso corto e appuntito, occhi piccoli, denti sporgenti simili a punte e pinne dorsali e anali piccole e di uguali dimensioni; la pinna caudale ha una tacca subterminale pronunciata e lobo ventrale corto (Compagno et al. 1998). E' di colore marrone chiaro o grigio, più chiaro ventralmente, con macchie scure che appaiono sbiadite negli adulti; pinne lisce (Bass et al. 1986).

La IUCN inserisce questa specie nella Lista Rossa, identificabile come vulnerabile (*IUCN 2021*).

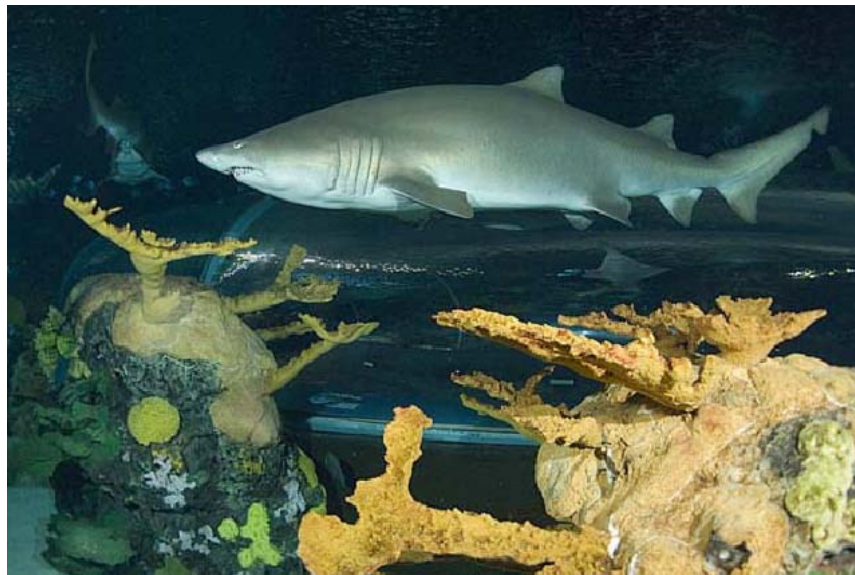


Fig. 15 – esemplare di Carcharias taurus (Fishbase.it)

Gli esemplari appartenenti a questa specie analizzati in questo studio sono quattro: 3 femmine (Brigitte, Crusca, Naomi) e un maschio (Sfrangy).

Questi esemplari sono tutti sopra i venti anni di età e non più in crescita.

Ginglymosotma cirratum: lo squalo nutrice (fig.16) appartiene alla famiglia Ginglymostomatidae, genere *Ginglymostoma*.

E' stato trovato sulle piattaforme continentali e insulari, spesso sdraiato sul fondo (Frimodt, 1995); è possibile trovarlo associato ai reef (Compagno, 2001).

La distribuzione di questa specie è limitata all'Oceano Atlantico (Del Moral-Flores et al. 2015).

Si nutre principalmente di invertebrati bentonici come aragoste, gamberi, granchi, ricci di mare, calamari, polpi, gasteropodi e bivalvi, e di pesci come il pesce gatto, cefali e razze (Frimodt, 1995).

E' una specie ovovivipara, caratterizzata dalla nascita di 21-28 piccoli alla volta (Frimodt, 1995). La maturità sessuale viene raggiunta a 230 cm- 240 cm; la lunghezza massima registrata è di 430 cm (Love et al. 2005) e il peso massimo registrato è di 109,6 kg (IGFA database, 2001); l'età massima registrata è di 25 anni (Clark, 1963).

Si può riconoscere per i barbigli moderatamente lunghi, solchi nasali e bocca ben davanti agli occhi; la coda precaudale è più corta della testa e del corpo, le

pinne dorsali sono largamente arrotondate, e la pinna caudale è abbastanza lunga. Il colore varia da giallo-marrone a grigio-marrone, con o senza piccole macchie scure (Smith, 1997).

La IUCN inserisce questa specie nella Lista Rossa, identificabile come vulnerabile (*IUCN 2021*)



Fig. 16 – Esempio di Ginglymostoma cirratum (enciclopedino.it)

Gli esemplari presenti in acquario oggetto di questo studio sono 5: 3 femmine e 2 maschi.

2.2 Realizzazione supporto laser

La realizzazione del supporto necessario a effettuare le misurazioni è stata parte integrante del lavoro di tesi, di cui ha costituito una fase fondamentale. Lo strumento infatti è stato studiato, progettato e realizzato ex novo, in maniera autonoma in modo da rispondere perfettamente alle specifiche esigenze che lo studio richiedeva. La realizzazione è stata affrontata in maniera analitica e si è articolata in 3 fasi:

1. Studio dei modelli preesistenti;
2. Progettazione dello strumento;
3. Realizzazione dello strumento;

2.2.1 Studio dei modelli preesistenti

La necessità di misurare animali di diverse taglie in ambiente controllato prevedeva di avere uno strumento che fosse versatile e al tempo resistente ed ergonomico, ed eventualmente in grado di venire impiegato anche in acqua. Il primo passo è stato studiare i modelli già costruiti in precedenza (fig.17) valutandone le caratteristiche e i limiti, cercando di comprendere se questi fossero idonei per soddisfare i requisiti necessari alle misurazioni. I progetti analizzati sono stati due del centro studio squali, e uno impiegato presso

l'acquario oceanografico di Valencia. I modelli hanno dimostrato di non attagliarsi perfettamente a quanto richiesto dal lavoro di tesi in quanto:

- Non permettevano di avere un elevato livello di precisione durante la misurazione;
- Presentavano una struttura fissa e non facilmente modulabile;
- Non permettevano di aggiungere più fotocamere affiancate;
- Presentavano componenti artigianali e pertanto difficilmente riproducibili senza errori;
- Non erano particolarmente ergonomici, presentando difficoltà di manovrabilità;
- Erano limitati allo studio di determinate specie e non prevedevano ulteriori possibili applicazioni future.



Fig. 17 – esempi di modelli preesistenti di strumenti per fotogrammetria laser (Di Crescienco,2017)

Partendo da quelle che sono i limiti evidenziati si è cercato di migliorare ogni singolo aspetto puntando ad ottenere uno strumento preciso, modulabile, resistente ed ergonomico, impiegando materiali prodotti industrialmente e quindi nel rispetto delle normative in vigore sia da un punto di vista di caratteristiche dei materiali sia per quanto concerne la sicurezza degli stessi.

2.2.2 Progettazione dello strumento

La progettazione è partita dalla ricerca di un binario sul quale ancorare i laser e la fotocamera: il supporto doveva essere resistente, leggero e il più possibile privo di imperfezioni che aumentassero eventuali errori. Il supporto della fotocamera doveva poter essere adattato a diverse tipologie di apparecchi, facilmente smontabile e in grado di sostenere saldamente la fotocamera anche durante le riprese in acqua. Per quanto riguarda i laser essi dovevano avere dei supporti regolabili sia per quanto riguarda la distanza, sia per quanto riguarda l'altezza dal supporto in modo da potersi allineare a diverse tipologie di fotocamere, era inoltre necessario avere la possibilità, una volta fissati di provvedere ad una regolazione fine dei raggi laser in modo da allinearli perfettamente.

Per quanto riguarda l'ergonomia e la facilità di impiego si è pensato di dotare il supporto di due impugnature smontabili ed eventualmente dotate di pulsanti in grado di azionare i laser e la fotocamera senza dover lasciare l'impugnatura e di una cinghia di trasporto per scaricare il peso sulla schiena riducendo la fatica sulle braccia e aumentando al contempo la stabilità e la precisione dello strumento. In fine si è progettato il tutto in modo che fosse facilmente smontabile in singoli pezzi, assemblabile al fine di prevenire rotture o disallineamenti tipici di una struttura fissa, durante il trasporto.

2.2.3 Realizzazione dello strumento

Il supporto principale è composto da un binario in alluminio nero. La scelta è caduta su tale materiale in quanto esso presentava delle peculiarità uniche che ben si atteggiavano a quanto richiesto, esso infatti è un materiale resistente alla corrosione e che non necessita di ulteriori trattamenti dopo la filatura, sufficientemente resistente e leggero. Il binario è dotato di uno slider centrale dove posizionare la fotocamera e sul quale è presente una bolla per centrare lo strumento che, insieme ad altre due bolle magnetiche, permettono di ottenere una buona precisione durante le fasi di misurazione. Lo slider è libero di muoversi mediante 4 rotelle e può essere bloccato tramite una ghiera centrale rossa.

Lo strumento può essere utilizzato mediante impugnature da un operatore, su un supporto fisso mediante dei piedini laterali, o su uno slider più grande in caso si volesse misurare o riprendere un animale di grandi dimensioni fermo facendo scorrere la telecamera. I supporti dei laser, anch'essi di alluminio, sono solidali alla struttura ma possono all'occorrenza essere spostati facilmente e presentano due anelli nei quali inserire i laser, dotati di perni di centraggio per l'allineamento di precisione.

I laser sono stati collocati ad una distanza di 26 cm in quanto questa misura garantisce una scala di riferimento appropriata per misurare sia gli squali più

piccoli e sia quelli di maggiori dimensioni, minimizzando l'errore e facilitando il trasporto del supporto.

Ai bordi del supporto sono presenti dei piedini ripiegabili e modulabili per posizionare lo strumento su una superficie piana durante le operazioni di allineamento dei laser o eventualmente durante le riprese, qualora si voglia adoperare lo strumento su un supporto fisso, sono inoltre presenti due anelli di ancoraggio per la cinghia di trasporto. Sotto il binario sono presenti due impugnature in plastica che possono essere agganciate al supporto tramite due viti a ghiera girevole che permettono di poter manovrare lo strumento in maniera agevole e precisa. Tutte le componenti non presentano spigoli vivi o parti taglienti e sono dotati di zone con un grip elevato in modo da poter essere facilmente afferrate o regolate anche in acqua. La fotocamera utilizzata è stata una go pro hero 6 inserita in una custodia impermeabile e azionabile mediante due pulsanti esterni. La go pro, insieme all'intero strumento nasce con la finalità di poter essere anche utilizzata in immersione, ove c'è la possibilità di entrare nella vasca o di effettuare riprese in mare aperto.



Fig.18 – Supporto laser realizzato per questo studio

Per quanto riguarda la sicurezza dell'operatore è stato fatto un esame dei rischi possibili dovuti all'impiego dei laser e alla possibilità di essere colpiti da un raggio riflesso durante le misurazioni. La frequenza dei raggi laser utilizzati è di 532nm, che in alcune situazioni potrebbe essere dannosa per la vista nel momento in cui dovesse colpire l'occhio in maniera diretta o riflessa, pertanto è stato necessario fare uno studio per individuare il modello di occhiali in grado di filtrare i raggi impedendo eventuali danni all'operatore e al tempo stesso in grado di permettere di vedere lo spot laser all'interno della vasca. In alcuni casi infatti una specifica colorazione della lente, pur essendo perfettamente idonea

a schermare il raggio laser potrebbe renderlo invisibile in quanto schermerebbe completamente anche il colore del laser stesso. Si è optato quindi per un occhiale a lente verde, che schermasse la frequenza di emissione dei puntatori laser utilizzati.

2.3 Protocollo calibrazione laser

Molto importante al fine di avere dati attendibili è il perfetto allineamento dei 2 puntatori laser. Parte integrante di questo studio è stata infatti mettere a punto un protocollo per il corretto allineamento dei laser prima di effettuare le misurazioni, che permettesse di mantenere la distanza di 26 cm impostata tra i due punti maneggiando lo strumento anche per diverse ore.

La calibrazione dello strumento avveniva sempre appena prima di iniziare le misurazioni e si può dividere in diversi steps:

-La prima fase prevedeva di segnare su un foglio quadrettato due punti a distanza di 26 cm l'uno dall'altro e 13 cm dal margine inferiore; 26 cm è la distanza che intercorre tra i due puntatori, mentre 13 cm è la distanza da terra al quale sono stati posizionati i laser, con strumento privo di maniglie e appoggiato sui piedini. Questo foglio veniva poi fissato al muro (fig.19), con il lato inferiore appoggiato al pavimento e parallelo ad esso.

-Il secondo passaggio prevedeva di posizionare il supporto laser sul pavimento di fronte alla griglia di allineamento (fig.19) avendo prima svitato le maniglie ed eretto i piedini di posizionamento. La corretta collocazione dello strumento avveniva sia tramite un metro, che permetteva di calcolare la distanza che intercorreva tra il foglio e lo strumento, e sia tramite 2 bolle magnetiche che

venivano posizionate sopra ciascun laser per garantire che questi fossero perfettamente paralleli al pavimento; un'ulteriore bolla era integrata nel binario di alluminio principale del supporto al fine di garantire che anche quest'ultimo fosse parallelo. Il primo allineamento avveniva a una distanza da 1 metro dal foglio, poi a 2 metri e infine a 3 metri. Non vi era bisogno di testare l'allineamento a distanze maggiori in quanto gli animali target nuotavano quasi sempre in prossimità del vetro della vasca e quindi a una distanza dall'operatore massima di 1-1,5 metri; solo occasionalmente è capitato che qualche animale non nuotasse vicino al vetro e si doversero effettuare misurazione a 2-3 metri. Una volta posizionato correttamente lo strumento, controllavo che le batterie dei laser fossero cariche a sufficienza, e, una volta accertato, andavo ad inserire i 2 puntatori laser negli appositi sostegni.



Fig.19 – Posizionamento supporto laser davanti alla griglia di allineamento

-La fase successiva prevedeva di accendere i puntatori e calibrare i laser girando le viti di regolazione fino a che i fasci di luce colpissero perfettamente i 2 punti segnati sulla griglia di allineamento; questo è stato sicuramente il passaggio che richiedeva più attenzione e tempo, in quanto anche un errore di pochi millimetri poteva aumentare notevolmente su distanze maggiori.

-Una volta regolati i laser alla distanza di 1 metro, venivano svolte le successive due prove a 2 metri e 3 metri, e se i laser risultavano perfettamente centrati

si procedeva con il montaggio delle maniglie per l'impugnatura e lo strumento era pronto per essere utilizzato.

2.4 Raccolta dati

Una volta montato il supporto e calibrati i laser, si poteva procedere con le misurazioni, senza dimenticare di indossare gli occhiali di protezione anti-laser per evitare che la luce riflessa dal vetro della vasca o dall'acqua colpisse l'occhio.

Per le misurazioni si procedeva posizionandosi di fronte al vetro delle vasche e azionando la go pro in modalità video (fig.20): per riuscire a catturare l'animale nella posizione più parallela possibile al laser venivano infatti avviate delle riprese video, dalle quali in seguito si estrapolava il singolo fotogramma.

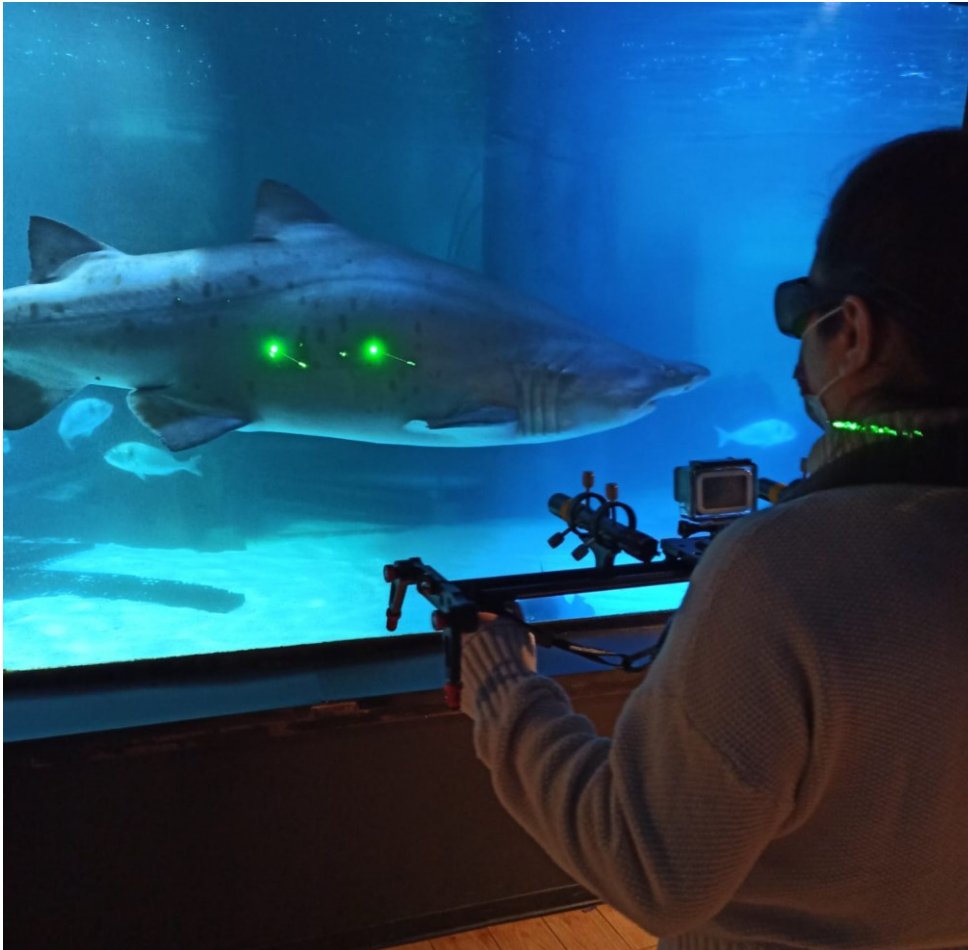


Fig.20– Operatore in fase di misurazione

La necessità di posizionarsi il più parallelamente possibile all'animale nasce per minimizzare l'errore di parallasse, che si verifica quando il soggetto target non è perfettamente parallelo rispetto al sistema di misurazione (Di Crescenzo, 2017). Studi sull'errore causato dalla parallasse sono stati effettuati nel 2017 da Di Crescenzo, il quale ha stimato che per ottenere delle misure valide bisogna considerare esclusivamente fotogrammi per i quali è possibile ipotizzare angoli di incidenza minori di 10° (Di Crescenzo, 2017). Per questo sono stati filmati gli animali solo nei momenti in cui nuotavano vicini al vetro

della vasca, assicurandosi che non fossero in posizioni anomale al fine della buona riuscita dei video, potendo così escludere dalle misurazioni il calcolo dell'errore di parallasse.

La durata delle riprese variava molto in base al comportamento degli animali durante i campionamenti; vi erano giorni in cui si riusciva ad avere fotogrammi conformi in poco tempo, e altri giorni in cui le riprese potevano durare svariate ore. In media il tempo richiesto per campionare tutti gli animali target era circa 2 ore. Un fattore che poteva determinare la rapida riuscita delle riprese era sicuramente la turnazione della cibatura: nei giorni in cui gli squali mangiavano essi si dimostravano più agitati ed era dunque difficile ottenere buone misurazioni, oltre al fatto che la pastura buttata in acqua poteva causare torbidità e quindi video meno nitidi.

Ogni 10 minuti circa si procedeva a controllare che i laser fossero ancora correttamente allineati: si tornava davanti alla griglia di allineamento e si verificava che i fasci di luce colpissero ancora perfettamente i due punti di riferimento; se i laser fossero risultati allineati la misurazione era conforme, se fossero risultati disallineati, si sarebbero cancellati i video e si sarebbe proceduto con riprese ex novo, minimizzando così possibili errori di misurazione.

I dati sono stati raccolti nel periodo che va dal 28.12.2020 al 22.12.2021, con cadenza mensile. Essendo stato l'Acquario di Cattolica aperto al pubblico per gran parte del periodo di tesi, le misurazioni sono state eseguite in orari e giorni in cui non vi fosse interferenza con gli ospiti, soprattutto per una ragione di sicurezza inerente al riflesso che i fasci laser potevano causare durante l'uso; tale riflesso poteva risultare infatti nocivo per gli occhi di persone senza occhiali di protezione.

2.5 Elaborazione fotogrammi

L'extrapolazione dei fotogrammi e la successiva elaborazione avvenivano in più fasi distinte:

- 1- osservazione video
- 2-eliminazione effetto fisheye
- 3- selezione fotogrammi
- 4-calcolo lunghezza animale
- 5- calcolo peso animale

2.5.1 Osservazione video

Una fase molto importante di questo lavoro di tesi è stata sicuramente l'osservazione a pc dei video eseguiti al fine di selezionare le immagini migliori su cui lavorare. Dopo ogni giornata di campionamenti in osservavano tutti i video, e una volta scelti quelli in cui gli animali apparivano più nitidi e posizionati parallelamente alla camera si procedeva con il passaggio successivo.

2.5.2 Eliminazione effetto fisheye

Il problema maggiore di registrare tramite action camera era dovuto al fatto che le riprese venivano acquisite con l'effetto "fisheye", ovvero il grandangolo.

Questo effetto causa una distorsione delle immagini che va ad interferire con l'elaborazione dei fotogrammi, andando ad alterare le vere misure dell'animale e conducendo a stime errate. Si è reso così necessario eliminare l'effetto grandangolo dai filmati, tramite il software Go Pro Studio, un programma gratuito di Go Pro in grado di correggere completamente la distorsione dovuta all'effetto fisheye. Una volta eliminato l'effetto, il video era pronto per essere elaborato.

2.5.3 Selezione fotogrammi

La fase che richiedeva più tempo era sicuramente quella in cui venivano selezionati i fotogrammi sui quali si sarebbero applicate le formule di misurazione. Questa fase consisteva nel visionare il video con un software che permettesse di effettuare screenshot (è stato utilizzato VLC Media Player). A questo punto si fermava il video al minuto in cui l'animale target era posizionato il più parallelamente possibile alla camera, facendo scorrere i fotogrammi fino all'individualizzazione del fotogramma migliore; una volta individuato si acquisiva uno screenshot e si salvava come immagine.

Il fotogramma per essere considerato valido doveva soddisfare i seguenti requisiti: i) l'esemplare si presenta parallelo all'osservatore, con un angolo di incidenza $\alpha < 10^\circ$ (al fine di escludere errore di parallasse); ii) l'esemplare si presenta non incurvato; iii) l'esemplare si presenta non inclinato verso il fondo

o la superficie; iv) l'esemplare si presenta non deformato dagli effetti ottici prodotti dall'acqua; v) l'esemplare è stato catturato interamente nel fotogramma (punta del muso e della pinna caudale presenti); e vi) la presenza netta, chiara e distinta dei due laser sul corpo dell'esemplare.

2.5.4 Calcolo lunghezza animale

Una volta ottenuto il fotogramma idoneo si procedeva al calcolo della lunghezza dell'animale.

Per lunghezza si intende la distanza tra l'estremo cefalico dato dall'inizio del rostro e dall'estremo caudale (Total Length TL).

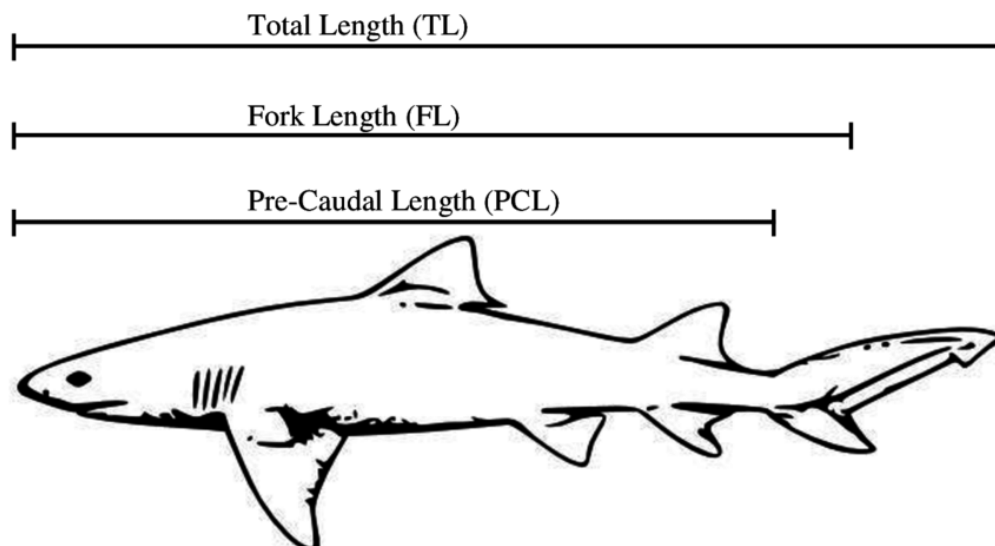


Fig.21 – Rappresentazione dei diversi metodi di misurazioni della lunghezza di uno squaliforme (Kessel, 2010)

Per calcolare la TL è stato utilizzato il programma IMAGE J (Rasband, 1997-2018), un software gratuito per editare immagini di facile utilizzo.

Tramite Image J è stato possibile impostare una scala metrica su ogni immagine analizzata grazie alla distanza nota dei due punti laser presenti sull'animale: si è proceduto selezionando la distanza tra i due punti-> analyze-> set scale->26cm. Da qui è stato possibile ottenere diverse grandezze, come la PCL (pre-caudal-length) e la TL (total length). Dalla TL in particolare è stato possibile procedere con il calcolo del peso corporeo.

2.5.5 Calcolo peso animale

Una volta calcolata la lunghezza di ogni singolo animale, si è potuto procedere con il calcolo del peso stimato di ognuno di essi, e con la stima della variazione del peso durante il periodo di campionamento.

Il calcolo del peso totale WT (Total Weight) è collegato alla lunghezza totale dell'animale (TL). Generalmente nei pesci il rapporto lunghezza-peso è dimostrato dall'equazione:

$$(WT) = a(TL)^b$$

dove WT è il peso totale espresso in grammi, TL è la lunghezza totale espressa in cm, e “a” e “b” rappresentano le costanti specifiche per ogni specie (Tıraşın, 1993; Filiz, 2002).

Le costanti utilizzate per questo studio sono le seguenti:

Specie	a	b	Source
Squalo toro	0,00000259	3,17	Smith et al.2004
Squalo nutrice	0,00407	3,08	Froese et al.2014
Squalo pinna nera	0,00856	3,04	Froese et al.2014
Squalo pinna bianca	0,00339	3,13	Froese et al.2014
Squalo umani	0,01000	3,04	Froese et al.2014

Tab.1 – costanti bayesiane per la relazione lunghezza-peso della 5 specie prese in esame.

Capitolo terzo

RISULTATI

Dai video ottenuti tramite le misurazioni è stato possibile stimare la lunghezza e il peso degli animali presi in esame in questo studio. Di seguito vengono riportate i risultati ottenuti suddivisi per appartenenza ai diversi esemplari.

3.1 *Carcharhinus melanopterus*

Di seguito si riporta la curva di crescita considerando la lunghezza totale (TL) dell'esemplare target nel periodo di campionamento:

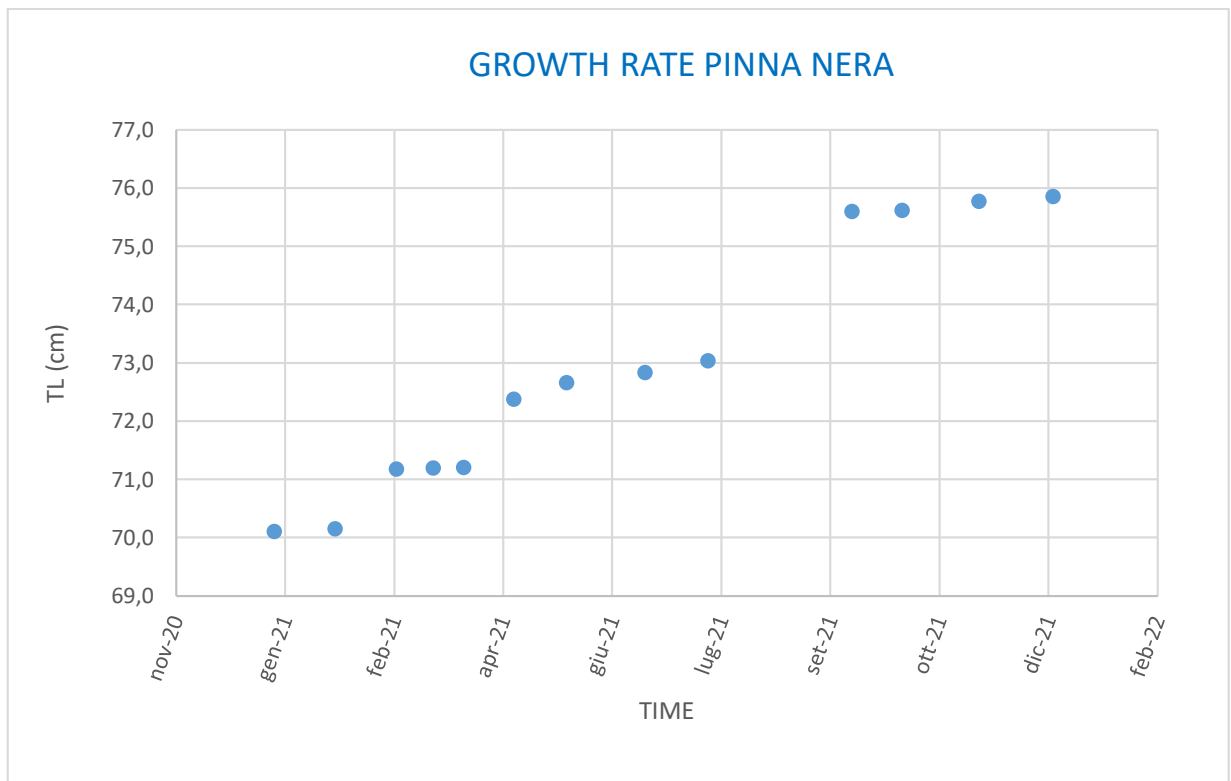


Fig. 22 – Curva di crescita *Carcharhinus melanopterus* nel periodo 30/12/2020-22/12/2021

Dal grafico si evince come durante il periodo di campionamento l'animale preso in esame sia cresciuto in lunghezza totale.

Al 30/12/2020 l'animale misurava circa 70,10 cm; quasi un anno dopo (22/12/2022) misurava circa 75,84 cm. L'accrescimento corporeo in lunghezza totale ammonta dunque a 5,74 cm, con un incremento del 8,2%. Come si evidenzia dal grafico, il maggior accrescimento è stato registrato tra marzo e aprile e tra luglio e settembre.

Di seguito viene riportato il grafico inerente all'aumento di peso espresso in grammi dell'esemplare analizzato durante il periodo di campionamento:

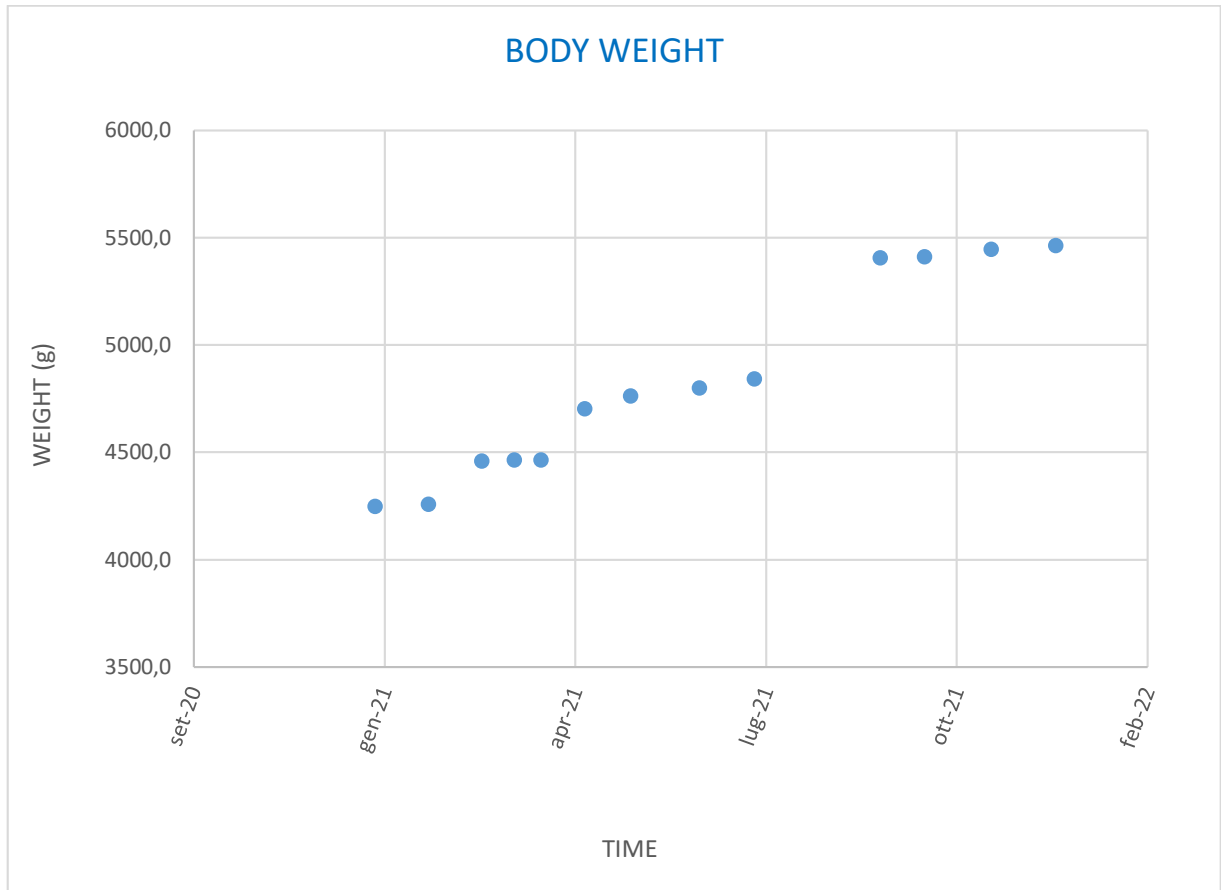


Fig.23 – Accrescimento in grammi Carcharhinus melanopterus nel periodo 30/12/2020-22/12/2021

A inizio misurazioni l'animale presenta un peso stimato di 4248,76 g; mentre a fine misurazioni pesava 5462,64 g; durante il periodo di campionamento l'esemplare ha acquisito circa 1213,88 g.

Si può sottolineare come a un aumento della lunghezza dell'animale sia corrispondente un aumento costante di peso, con un incremento pari a 28,57%.

3.2 *Triaenodon obesus*

Di seguito si riporta la curva di crescita considerando la lunghezza totale (TL) dell'esemplare target nel periodo di campionamento:

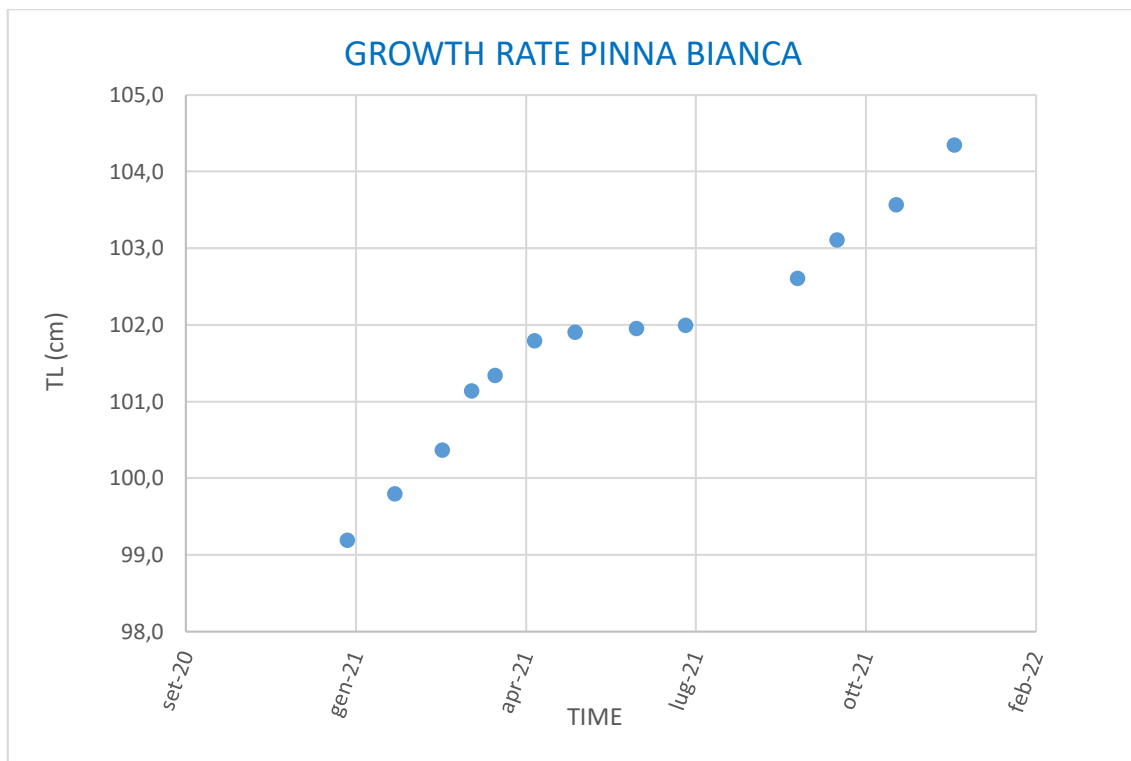


Fig.24 – Curva di crescita *Triaenodon obesus* 30/12/2020-22/12/2021

Dal grafico si può notare come durante il periodo di campionamento l'individuo esaminato sia cresciuto in lunghezza.

Al 30/12/2020 lo squalo misurava circa 99,18cm; al 22/12/2021 misurava circa 104,34 cm. L'accrescimento totale ammonta circa a 5,16 cm, un incremento pari al 5,2%.

Dal grafico si può notare un costante aumento di lunghezza durante l'anno, con una ripidità maggiore della curva da settembre a dicembre.

Di seguito viene riportato il grafico inerente all'aumento di peso espresso in grammi dell'esemplare analizzato durante il periodo di campionamento:

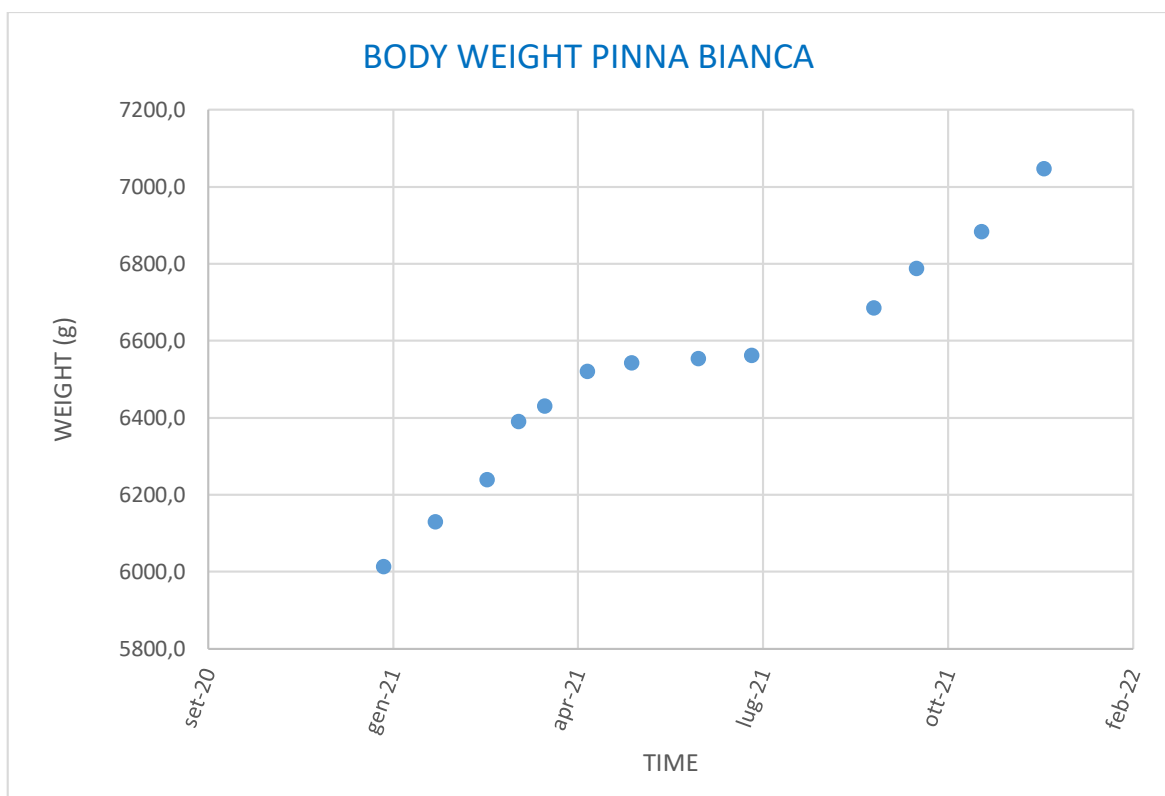


Fig.25 - *Accrescimento in grammi Triaenodon obesus nel periodo 30/12/2020-22/12/2021*

A inizio misurazioni l'animale pesava circa 6012,78 g; a fine misurazioni pesava circa 7047,40 g; durante l'anno preso in esame il soggetto ha acquisito circa 1034,61g.

Come si nota dalle curve, a un costante aumento della lunghezza totale corrisponde un aumento di peso, con un incremento pari al 17,21%.

3.3 *Carcharhinus humani*

Di seguito si riporta la curva di crescita considerando la lunghezza totale (TL) dell'esemplare target nel periodo di campionamento:

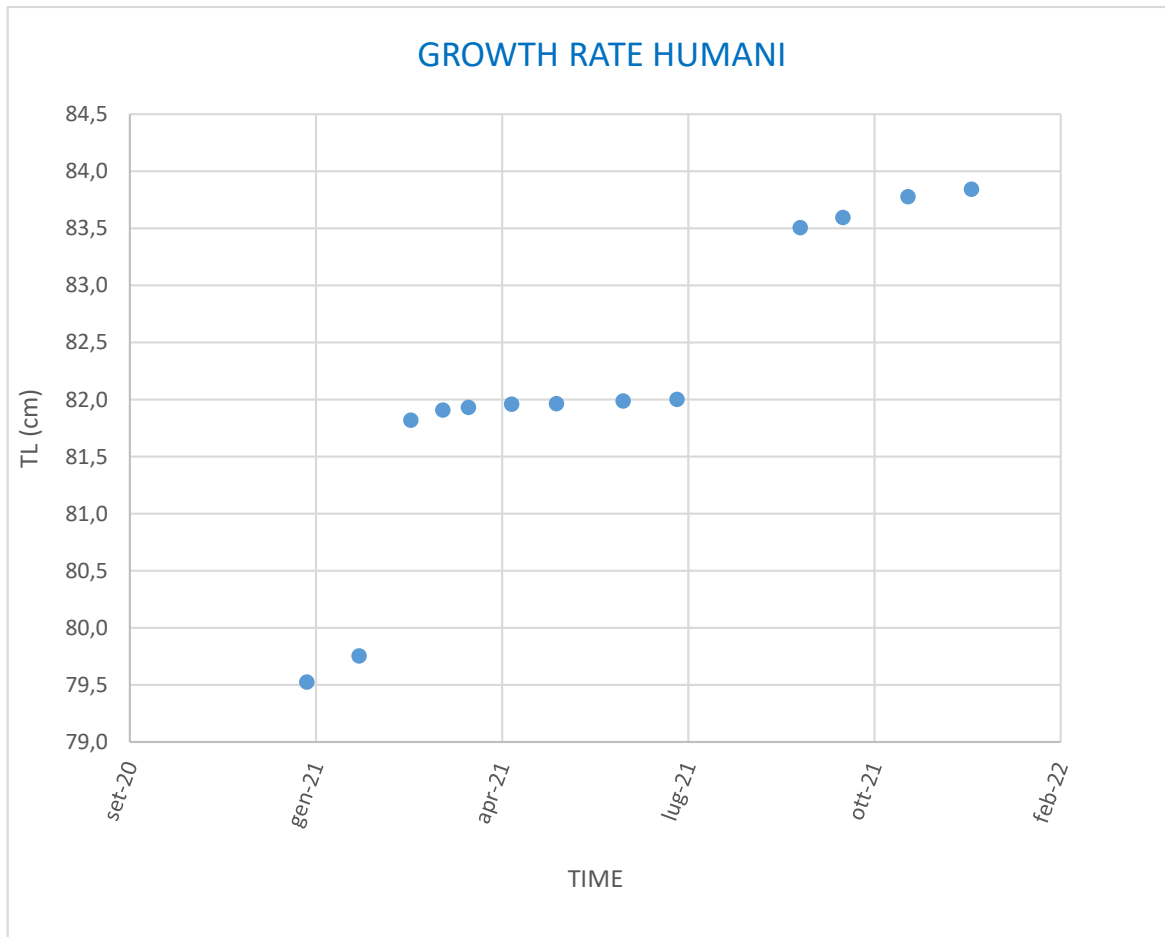


Fig.26 – Curva di crescita *Carcharhinus humani* 30/12/2020-22/1/2021

Dal grafico si nota una crescita corporea in lunghezza nell'arco dell'anno di campionamenti.

Al 30/12/2020 l'animale misurava circa 79,52 cm; al 22/12/2021 misurava circa 83,83 cm. L'accrescimento in lunghezza calcolato è di 4,31 cm, con un incremento pari al 5,42%

Dal grafico si nota un picco di crescita tra gennaio e febbraio, seguito da un periodo di stasi, seguito da un altro picco verso fine estate.

Di seguito viene riportato il grafico inerente all'aumento di peso espresso in grammi dell'esemplare analizzato durante il periodo di campionamento:

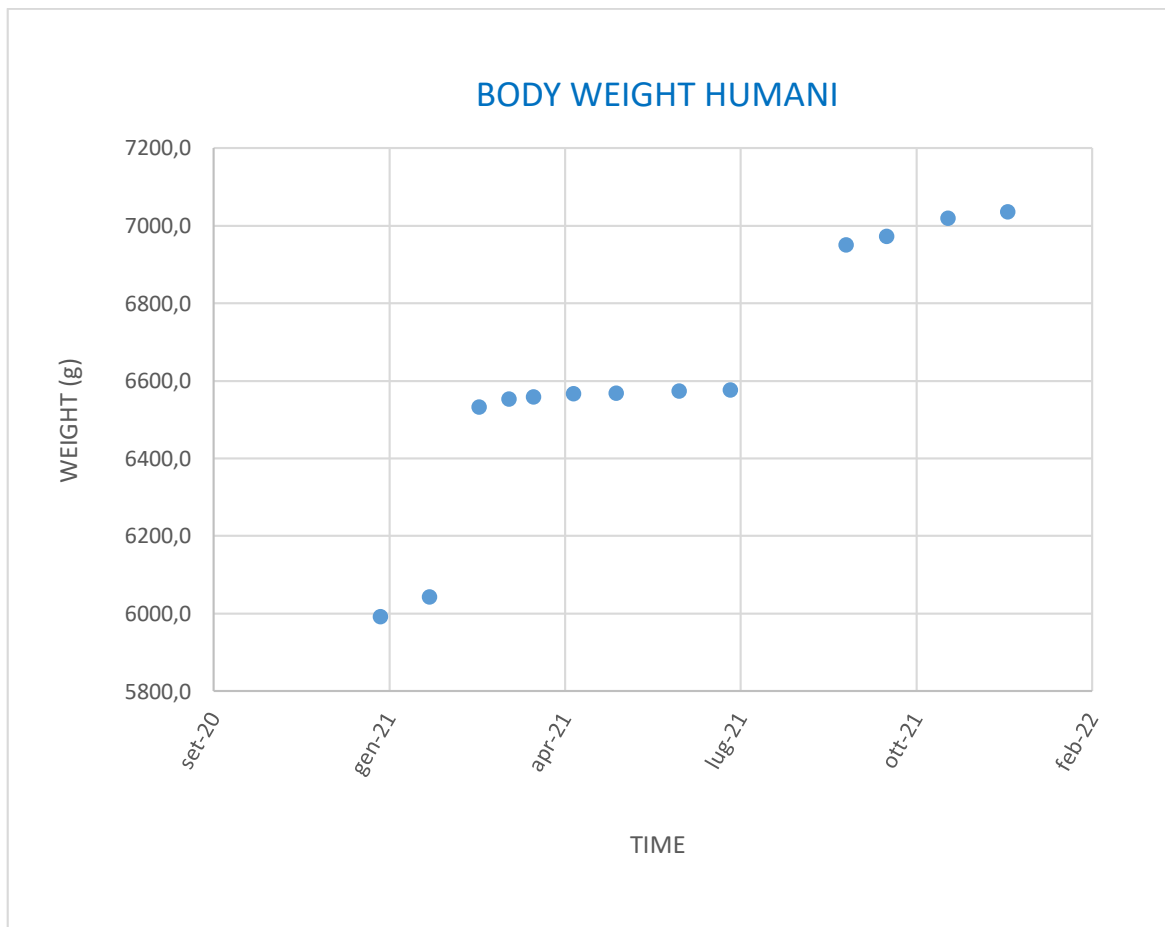


Fig.27 – Accrescimento in grammi *Carcharhinus humani* 30/12/2020-22/12/2021

A inizio misurazioni l'animale pesava circa 5991,44 g; a fine misurazioni pesava circa 7034,68g; durante l'anno preso in esame lo squalo ha acquisito circa 1043,24g.

L'aumento di peso corrisponde all'aumento della lunghezza, con un incremento pari a 17,41%.

3.4 *Carcharias taurus*

Nel grafico viene riportato il trend di crescita dei quattro *C. taurus* presenti in acquario:

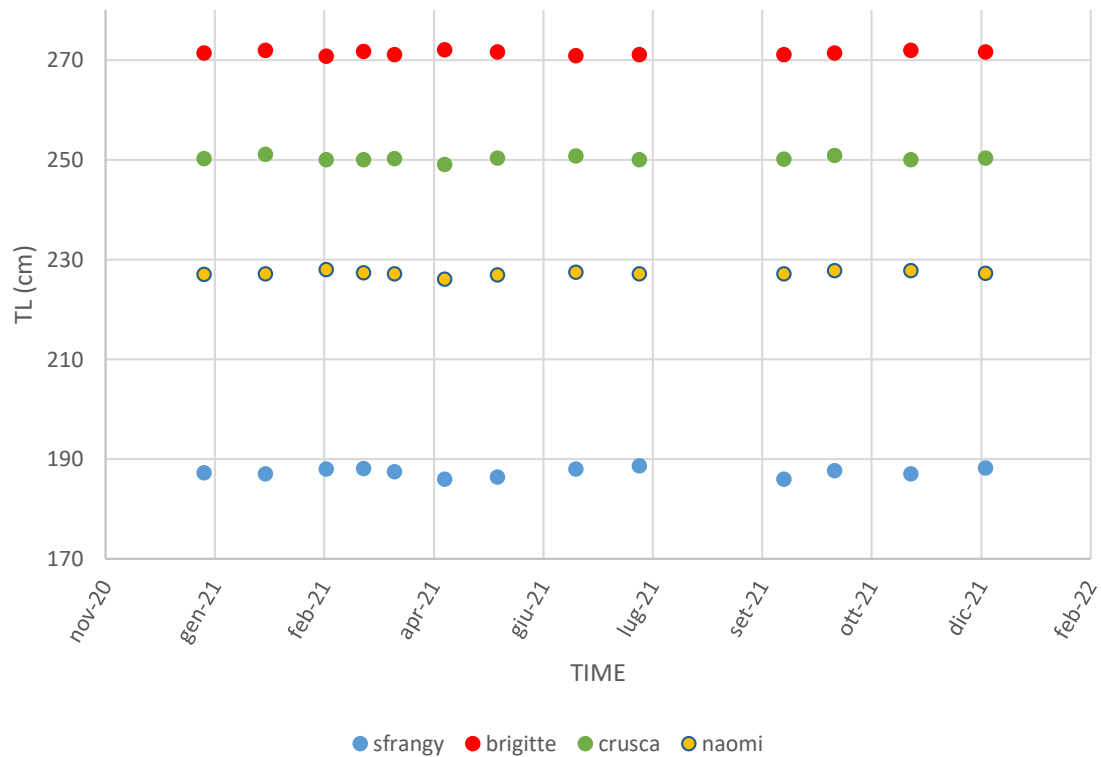


Fig.28 – confronto curve di crescita dei 4 esemplari di *C. taurus*

Come si può notare, durante il periodo di campionamento nessuno dei 4 esemplari è cresciuto in lunghezza.

Nella tabella seguente si illustrano i risultati ottenuti circa la media delle misure stimate durante l'anno di campionamenti; viene riportato anche il peso stimato:

Squalo	età	lunghezza totale (cm)	peso stimato (kg)	peso stimato (kg)
Anno		2021	2019	2021
Brigitte	24	271,33	132	134,12
Crusca	20-21	250,19	125	103,70
Naomi	22-23	227,00	92	100,73
Sfrangy	22-23	187,23	70	84,16

Tab.2 – dati stimati squali toro, da sinistra a destra: individuo, età, TL, peso stimato nel 2019, peso stimato nel 2021

Si può notare come le stime del peso differiscano dalle stime effettuate nel 2019, in particolare: il peso di Brigitte è stato stimato 2,12kg in più rispetto al 2019; il peso di Crusca risulta 21,3kg in meno rispetto al 2019; Naomi risulta più pesante di 8,73kg; il maschio Sfrangy è stato stimato pesare 14,16kg in più rispetto al 2019.

L'individuo di maggiori dimensioni e più pesante è Brigitte, poi viene Crusca, poi Naomi e infine Sfrangy, il maschio.

3.5 Ginglymostoma cirratum

Gli esemplari analizzati durante questo studio si sono rivelati inadatti all'applicazione del protocollo studiato, in quanto avevano un comportamento incompatibile con la buona riuscita delle misurazioni. Essi avevano infatti un temperamento tipico di squali bentonici; molto difficoltoso era vederli nuotare e soprattutto raramente si sono avvicinati al vetro della vasca per permettere all'operatrice di ricavare delle riprese nitide e precise. Per questo motivo, nonostante siano state effettuate molteplici registrazioni e nonostante sia stato applicato il protocollo di elaborazione dei fotogrammi ottenuti, si è deciso di escludere gli squali nutrice dalle indagini sulle stime per mancanza di dati.

Capitolo quarto

DISCUSSIONI

Le stime ottenute in questo studio tramite fotogrammetria laser sono state analizzate e comparate con studi precedenti, per verificarne la validità.

4.1 Carcharhinus melanopterus

Comparando i dati ottenuti con uno studio svolto nel 2013 da Chin et al. in cui viene stimato il rapporto tra l'età e la lunghezza totale della specie *C. melanopterus* a partire da analisi sulle vertebre e altri 5 modelli di crescita, si può notare come le misure ottenute in questo studio rientrino nel range indicato per esemplari di 2-3 anni di età:

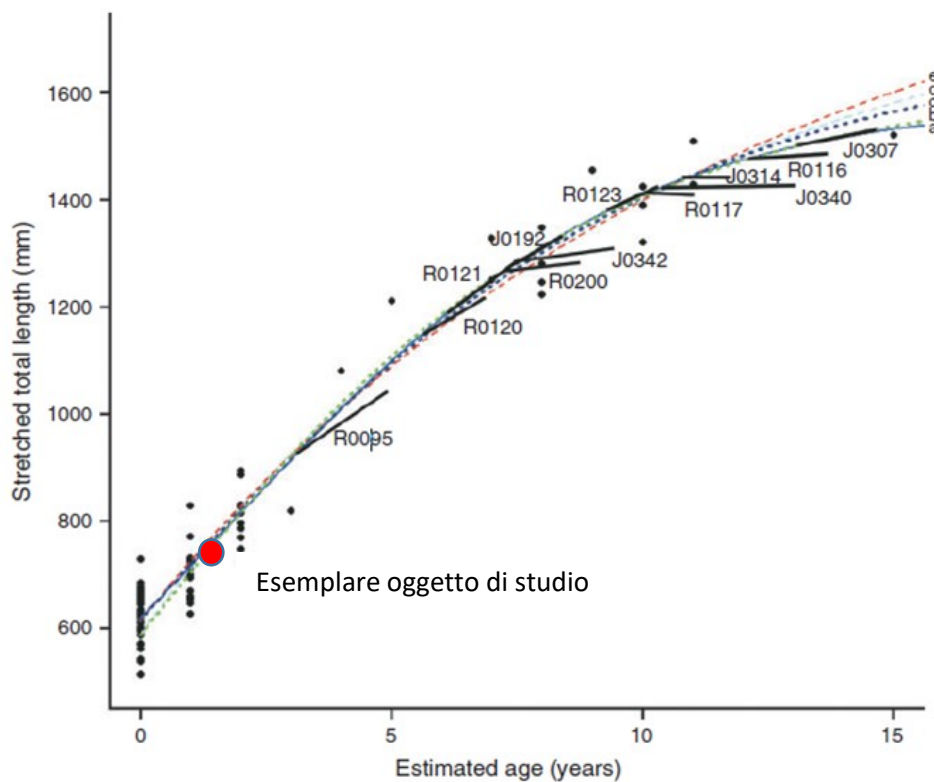


Fig.29 – Curva di età e crescita per lo squalo pinna nera del reef utilizzando le stime dell'età dei conteggi vertebrali e cinque modelli di crescita: logistico (a), Gompertz a tre parametri (b), Gompertz a 2 parametri (c), Von Bertalanffy a due parametri (d), Von Bertalanffy a tre parametri (e). (Chin,2013) – edit.

Si può dunque presumere che l'applicazione delle tecniche di fotogrammetria sperimentate in questo studio siano applicabili alla specie in esame, fornendo dati validi e riscontrabili in letteratura.

4.2 *Triaenodon obesus*

Confrontando i dati ottenuti con uno studio condotto da John E. Randall del 1977 in cui, oltre ad altri parametri, si studia il rapporto che vi è tra il peso e la lunghezza della specie, si evince che le misure ottenute in questo lavoro di tesi rientrano perfettamente nel range stimato da Randall.

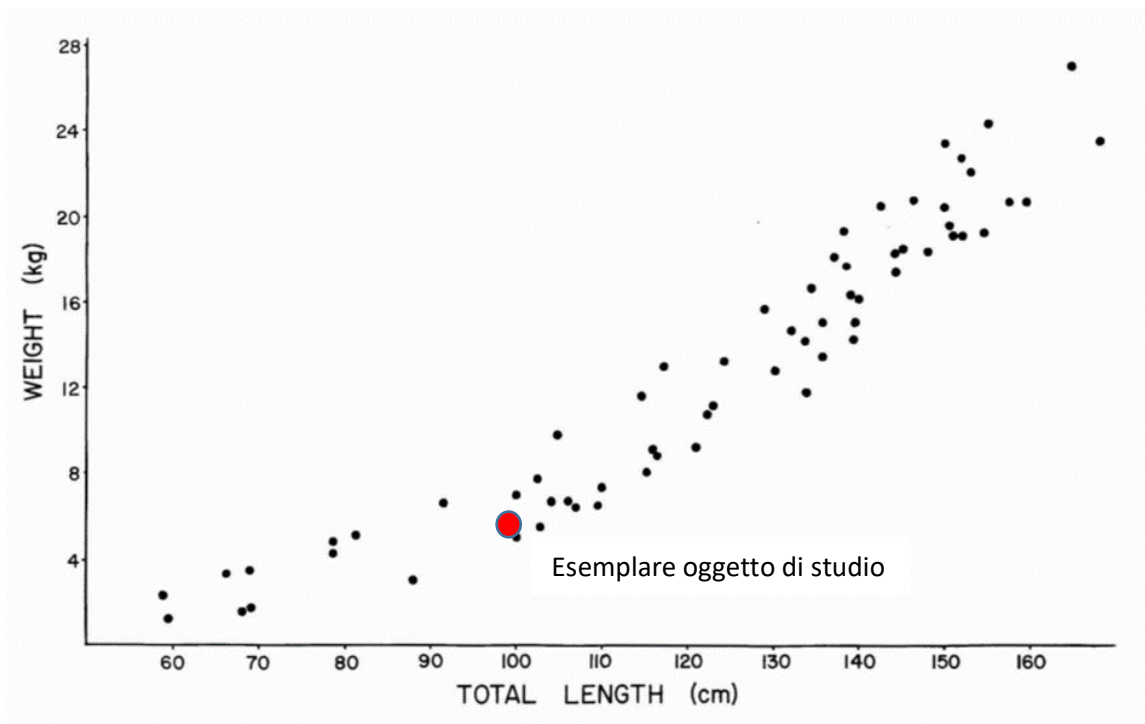


Fig.30 – Relazione peso-lunghezza in *Triaenodon obesus* (Randall, 1977) - edit

Anche per questa specie si può dunque sostenere che l'applicazione della fotogrammetria per determinare le misure corporee sia una tecnica affidabile.

4.3 Carcharhinus humani

Purtroppo questa specie di elasmobranchi è ancora poco studiata e poche sono le informazioni e gli studi reperibili a riguardo, dunque non è stata trovata letteratura idonea per confrontare i dati ottenuti con studi precedenti; la specie infatti è stata identificata solo nel 2014.

Le analisi effettuate in questo studio potrebbero divenire il punto di partenza per sviluppi futuri circa le stime di crescita (e non solo) del *C. humani*.

Indispensabile è infatti l'ampliamento delle conoscenze in letteratura anche sulle specie scoperte da poco, le quali potrebbero contribuire ad una migliore comprensione del funzionamento degli ecosistemi.

Implementare le conoscenze circa il rapporto lunghezza/età potrebbe servire inoltre per validare le costanti bayesiane riportate da Froese nel 2014 e utilizzate in questo studio, validando allo stesso tempo le misure stimate per l'esemplare preso in esame.

4.4 Confronto squali in crescita

I grafici rappresentanti le curve di crescita dei tre squali appartenenti alla vasca Recchi sono stati confrontati tra loro:

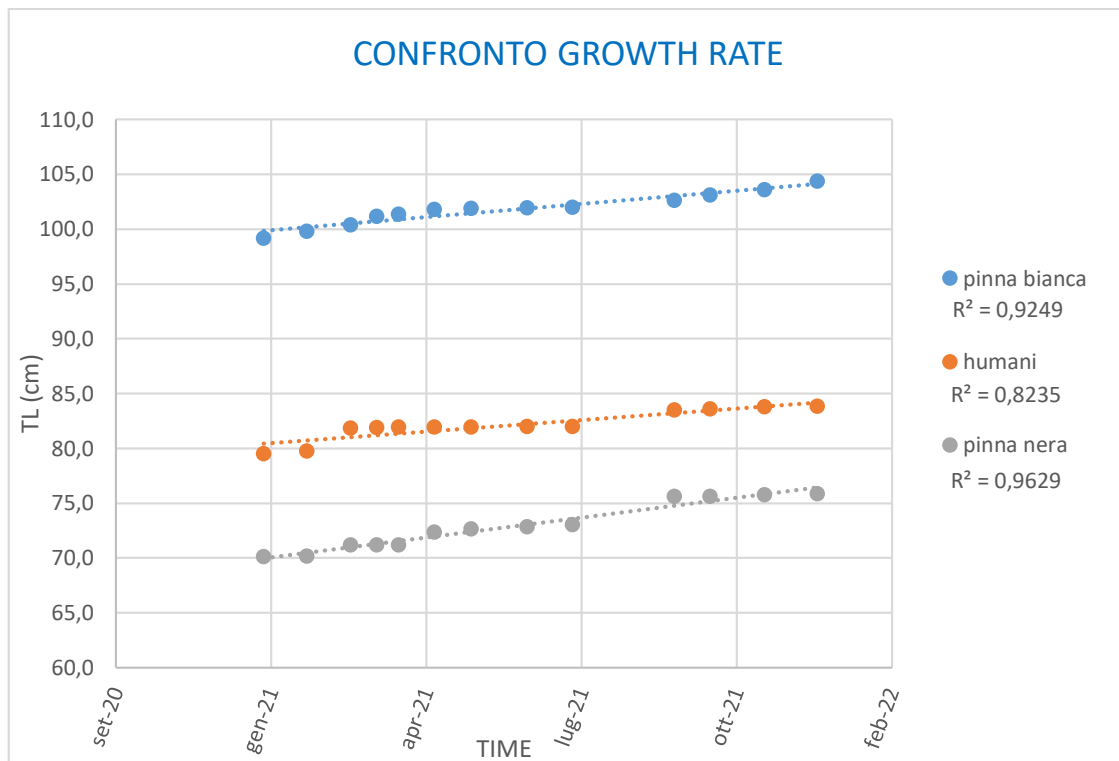


Fig.31: Confronto tasso di crescita squali vasca Recchi.

Si può notare come il *C. melanopterus* abbia una curva leggermente più pronunciata rispetto alle altre due specie, indice di una crescita più rapida. La stessa condizione si riscontra anche per quanto riguarda il peso. In ogni caso tutte e tre le specie target sono cresciute durante l'anno di misurazioni sia in lunghezza che in peso.

La crescita più rapida del *C. melanopterus* potrebbe essere dovuta alla minore età rispetto al *T. obesus* e al *C. humani*. Osservando il grafico inerente la curva di crescita di *C. melanopterus* si può notare che la specie presenta una crescita lineare fino ai 10 anni di età circa, dove il trend sembra poi appiattirsi. Ulteriori studi potrebbero essere condotti riguardo al rapporto lunghezza/età delle altre due specie prese in esame al fine di poter fare maggiori confronti.

4.5 Carcharias taurus

Le differenze di peso riscontrate tra le stime effettuate nel 2019 dall'Acquario di Cattolica e le stime elaborate in questo studio possono derivare dalla differente metodologia con il quale si sono approcciate le misurazioni: gli operatori dell'Acquario non hanno infatti utilizzato tecniche di fotogrammetria, ma si sono serviti di una scala metrica posizionata sul vetro della vasca squali; le stime della lunghezza venivano prese al momento del passaggio dell'animale vicino al vetro provvisto di scala numerata; da qui è stato poi stimato il peso tramite la medesima formula utilizzata in questo studio.

Confrontando i dati ottenuti con lo studio condotto da Govender nel 1991 in cui è stata stimata una curva che rapporta l'età degli squali toro alla lunghezza corporea, possiamo notare che gli squali analizzati in questo studio risultano inseriti nel range, che prevede un raggiungimento dei 220-240cm verso il dodicesimo anno di età, per poi vedere una crescita molto più lenta se non nulla, come dimostrano i risultati di questo lavoro.

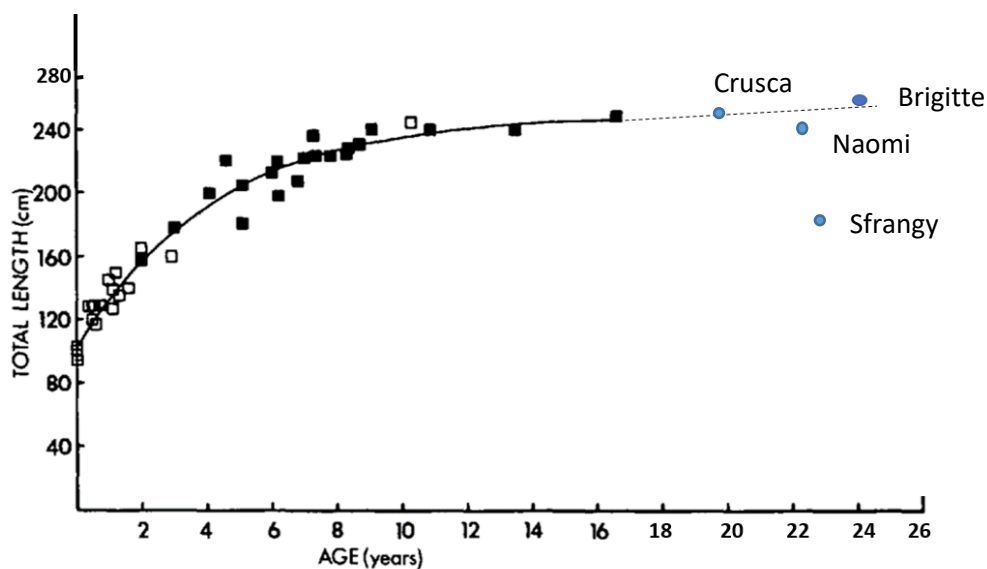


Fig.32. – Rapporto tra lunghezza totale ed età in *Carcharias taurus* (Govender,1991) - edit

L'esemplare di sesso maschile, Sfrangy, non rientra nel range stimato e risulta essere sottotaglia, ma in realtà lo studio condotto da Govender non ha tenuto conto dell'identificazione di genere degli squali su cui si sono basate le analisi. E' infatti noto che vi è un consistente dimorfismo sessuale tra maschi e femmine, che prevede maggiori dimensioni nelle femmine (database Acquario di Cattolica). Studi futuri potrebbero essere rivolti all'identificazione di una curva di crescita in base al sesso dell'animale.

Un ulteriore sviluppo potrebbe essere un'indagine su eventuali differenze di crescita tra esemplari in cattività e in mare aperto: l'influenza che può avere la vita in acquario su elasmobranchi è infatti tuttora oggetto di dibattito scientifico, e si trovano pareri discordanti.

Un altro motivo che può spiegare una ridotta lunghezza stimata dell'individuo maschile risiede nell'errore delle tecniche utilizzate dettato dal comportamento molto diverso che presentava il maschio rispetto alle femmine: esso nuotava infatti molto energicamente, quasi sempre in superficie e lontano dal vetro della vasca: questa distanza potrebbe aver causato un aumento della distorsione dell'immagine dovuta all'effetto di parallasse precedentemente descritto, causando una sottostima delle dimensioni.

Essere in grado di stimare le dimensioni di un esemplare risulta infine molto utile per valutarne lo stato di salute: avere una tracciabilità dei cambiamenti di peso di un animale può aiutare il personale dell'acquario a identificare tempestivamente malnutrizione o malattie, evidenziando eventuali squilibri nel rapporto taglia/peso, e allo stesso tempo vengono facilitati i calcoli circa la quantità di mangime o medicinale da somministrare.

Capitolo quinto

CONCLUSIONI

Concludendo si può ritenere la fotogrammetria laser un metodo di indagine vantaggioso per lo studio delle dimensioni corporee e della crescita di elasmobranchi in ambiente controllato.

Vantaggi emersi:

- non invasività della tecnica nei confronti degli squali: gli animali non sono sembrati disturbati dall'utilizzo dello strumento di misurazione, oltre al fatto che non sono stati approcciati fisicamente;
- affidabilità delle stime: le misure ottenute sono riscontrabili in letteratura grazie a studi precedentemente condotti;
- costi ridotti: la strumentazione prevede bassi costi sia iniziali che di manutenzione;
- adattabilità a diverse specie: gli studi effettuati si sono rivelati validi per 4 delle 5 specie analizzate in questo studio.

Limitazioni:

E' stato riscontrato un limite della tecnica dovuto al comportamento degli animali: è risultato infatti difficile, se non impossibile, avere dati validi per quegli individui che presentavano un comportamento più criptico ed elusivo, come ad esempio *G. Cirratum* o l'esemplare maschio tra i *C. taurus* (Sfrangy).

Sviluppi futuri:

Essendo il comportamento degli animali non prevedibile e modificabile dall'operatore, sarebbe opportuno studiare un sistema autonomo per ovviare questo problema.

Un' idea potrebbe essere l'introduzione del *machine learning*.

L'intelligenza artificiale potrebbe infatti essere protagonista di sviluppi futuri riguardanti le tecniche di fotogrammetria: il focus potrebbe essere quello di istruire un sistema al fine di attivarsi in caso di passaggio della specie target, evitando in questo modo all'operatore di attendere anche diverse ore prima di avere un'immagine idonea.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Allen, G.R., 2004. Handy pocket guide to tropical coral reef fishes. Periplus Editions (HK) Ltd. 64 p.
- Bass, A.J.; Compagno, L.J.V. 1986. Odontaspidae. p. 104-105. In M.M. Smith and P.C. Heemstra (eds.) Smiths' sea fishes. Springer-Verlag, Berlin.
- Baum, J.; Myers, R. 2004. Shifting baselines and the decline of pelagic sharks in the Gulf of Mexico. *Ecology Letters*. 7. 135 - 145.
10.1111/j.1461-0248.2003.00564.x.
- Baum, J.; Myers, R.; Kehler, D.; Worm, B.; Harley, S.; Doherty, P. 2003. Collapse and conservation of shark populations in the Northwest Atlantic. *Science* (New York, N.Y.). 299. 389-92.
10.1126/science.1079777.
- Breuer, T.; Robbins, M.; Boesch, C. 2007. Using photogrammetry and color scoring to assess sexual dimorphism in wild western gorillas. *Am J Phys Anthropol* 134:369–382.
- Carpenter, K.E.; Krupp, F.; Jones, D.A.; Zajonz U. 1997. Living marine resources of Kuwait, eastern Saudi Arabia, Bahrain, Qatar, and the United Arab Emirates. FAO species identification field guide for fishery purposes. 293p + 17 col. plates. Rome, FAO.

- Carrier, J.C.; Musick, J.A.; Heithaus, M. R. Sharks and their relatives (II edizione). New York, CRC Press, 2012.
- Chin, A.; Simpfendorfer, C.; Tobin, A.; Heupel, M. 2013. Validated age, growth and reproductive biology of *Carcharhinus melanopterus*, a widely distributed and exploited reef shark. Marine and Freshwater Research. 64. 965-975. 10.1071/MF13017.
- Clark, J., 1963. Aquarium records. Not given.
- Clark, S.; Odell, D.; Lacinak, C.; 2000. Aspects of growth in captive killer whales (*Orcinus orca*). Mar Mamm Sci 16:110–123.
- Compagno, L.J.V., 1984. FAO Species Catalogue. Vol. 4. Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2 - Carcharhiniformes. FAO Fish. Synop. 125(4/2):251-655. Rome: FAO.
- Compagno, L.J.V.; V.H. Niem, 1998. Carcharhinidae. Requiem sharks. p. 1312-1360. In K.E. Carpenter and V.H. Niem (eds.) FAO Identification Guide for Fishery Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Pacific. FAO, Rome.
- Coppola, F. Contributo alla conoscenza di Elasmobranchi nel Tirreno Meridionale: distribuzione spazio-temporale, studio della dieta ed indagini parassitologiche. Archivio digitale Università di Pisa, 2012.

- Cubbage, J.; Calambokidis, J.; 1987. Size-class segregation of bowhead whales discerned through aerial stereophotogrammetry. *Mar Mamm Sci* 3:179–185
- Deakos, M. 2010. Paired-laser photogrammetry as a simple and accurate system for measuring the body size of free-ranging manta rays *Manta alfredi*. *Aquatic Biology*. 10. 1-10. 10.3354/ab00258.
- Di Crescenzo, S. Application of laser photogrammetry on *C. carcharias* in natural environment. 2017.
- Dulvy, N.K.; J.D. Reynolds, 1997. Evolutionary transitions among egg-laying, live-bearing and maternal inputs in sharks and rays. *Proc. R. Soc. Lond., Ser. B: Biol. Sci.* 264:1309-1315.
- Filiz, H. 2002. A Preliminary Study on Length-Weight Relationships for Seven Elasmobranch Species from North Aegean Sea, Turkey. *Su Ürünleri Dergisi*. 19.
- Frimodt, C., 1995. Multilingual illustrated guide to the world's commercial warmwater fish. Fishing News Books, Osney Mead, Oxford, England. 215 p.
- Froese, R., Thorson J.; Reyes R.B.Jr., 2014. A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes. *J. Appl. Ichthyol.* 30(1):78-85.

- Govender; A.; Kistnasamy, N.; Elst, R.. (1991). Growth of spotted ragged-tooth sharks *Carcharias taurus* (Rafinesque) in captivity. South African Journal of Marine Science. 11. 10.2989/025776191784287718.
- IGFA, 2001. Database of IGFA angling records until 2001. IGFA, Fort Lauderdale, USA
- Last, P.R.; Stevens, J.D. 1994. Sharks and rays of Australia. CSIRO, Australia. 513 p
- Love, M.S.; Mecklenburg C.V.; Mecklenburg, T.A.; Thorsteinson, L.K. 2005. Resource inventory of marine and estuarine fishes of the West Coast and Alaska: A checklist of North Pacific and Arctic Ocean species from Baja California to the Alaska-Yukon border. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division, Seattle, Washington, 98104
- Lund, R. New information on *Squatinactis caudispinatus* (chondrichthyes, cladodontida) from the chesterian bear gulch limestone of montana. Journal of Vertebrate Paleontoly (8)3:340-342, 1988.
- Myers, R; Worm, B. Extinction, survival or recovery of large predatory fishes. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2005 Jan 29;360(1453):13-

20. doi: 10.1098/rstb.2004.1573. PMID: 15713586; PMCID:
PMC1636106.

- Myers, R.F., 1999. Micronesian reef fishes: a comprehensive guide to the coral reef fishes of Micronesia, 3rd revised and expanded edition. Coral Graphics, Barrigada, Guam. 330 p.
- Murdy, E.O.; Birdsong R.S.; Musick, J.A. 1997. Fishes of Chesapeake Bay. Smithsonian Institution Press Washington and London. 324 p
- Perryman, W.; Lynn, M.; 1993. Identification of geographic forms of common dolphin (*Delphinus delphis*) from aerial photogrammetry. Mar Mamm Sci 9:119–137.
- Randall, J.E., 1977. Contribution to the biology of the whitetip reef shark. Pac. Sci. 31(2):143-164.
- Russell, B.C.;W. Houston, 1989. Offshore fishes of the Arafura Sea. Beagle 6(1):69-84.
- Scott, W.B.; Scott, M.G.; 1988. Atlantic fishes of Canada. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci. 219:731 p.
- Serena, F. Measure programmes for conservation and management of the elasmobranchs- conferenza su biologia, ecologia e conservazione degli elasmobranchi, Massa marittima (GR). 2013.

- Shepherd, T.D.; Myers, R.A. 2005. Direct and indirect fishery effects on small coastal elasmobranchs in the northern Gulf of Mexico. *Ecology Letters*, 8: 1095-1104.
- Smith, C.L., 1997. National Audubon Society field guide to tropical marine fishes of the Caribbean, the Gulf of Mexico, Florida, the Bahamas, and Bermuda. Alfred A. Knopf, Inc., New York. 720 p.
- Tıraşın, E. M. 1993. Investigation of growth parameters of fish populations (in Turkish). *Doğa Tr. J. Zool.* 17:29-82.
- Waters, S.; Whitehead, H.; 1990. Population and growth parameters of Galapagos sperm whales estimated from length distributions. *Rep Int Whaling Comm* 40:225–235.
- White, W.; Weigmann, S. 2014. *Carcharhinus humani* sp. nov., a new whale shark (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) from the western Indian Ocean. *Zootaxa* 3821(1):071-087
- <https://www.acquariodicattolica.it/chi-siamo/gli-edifici-e-la-storia>
- <http://www.enciclopedino.it/Pes.asp?identificativo=ginglymostoma%20cirratum>
- <https://www.essereanimali.org/2018/10/bycatch-colpisce-squali/>
- <https://www.fishbase.de/summary/Carcharias-taurus.html>

- Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018.
- IUCN. 2021. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3. <https://www.iucnredlist.org>. Accessed on [day month year].
- <https://pterosaurheresies.wordpress.com/2019/05/11/cladoselache-enters-the-lrt/>
- <https://squali.jimdofree.com/anatomia-anatomy/>
- <https://wisesociety.it/ambiente-e-scienza/finning/>