



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

## **Tesi di tirocinio di formazione e orientamento**

(Convenzione stipulata tra ISPRA e l'Università di Messina del 26/02/2010 )

### **METODO DI RICOSTRUZIONE DELLA BIOMASSA DI TELEOSTEI PELAGICI DA OTOLITI, QUALE STRUMENTO DA UTILIZZARE NEGLI STUDI DI ECOLOGIA TROFICA**

***Dr. Danilo Malara***

**Tutor ISPRA: Dr.ssa Teresa Romeo**

**ANNO 2010**

Data	Firma Tirocinante	Firma del Tutor ISPRA	Firma Responsabile Servizio ISPRA
	Firma del Tutor Ente Promotore*		

\* Il Tutor dell'Ente Promotore sarà citato solo in presenza della firma

## 1. ABSTRACT

---

La presente tesi ha lo scopo di creare un metodo per la ricostruzione della biomassa di teleostei da poter utilizzare negli studi di ecologia trofica. La digestione della preda all'interno degli stomaci è un processo rapido che porta al deterioramento delle parti molli dei tessuti muscolari, rendendo difficile il riconoscimento delle specie. Gli otoliti (sagitta, asterisco e lapillo) sono strutture ossee dell'orecchio interno del pesce con funzione di equilibrio, e risultano essere uno strumento diagnostico di riconoscimento da utilizzare negli studi di ecologia trofica in quanto specie-specifiche altamente resistenti alla digestione. Sono stati rilevati i parametri morfometrici di specie ittiche spiaggiate lungo le coste dello Stretto di Messina e delle rispettive sagitte. Sono state calcolate per ciascuna specie (n.16) le relazioni tra dimensioni dell'otolite e dimensione del pesce al fine di creare le rispettive equazioni di biomassa.

## 2. PREFAZIONE

---

La presente tesi prende in esame la ricostruzione della biomassa di pesci pelagici da otoliti; tali strutture sono state individuate come strumento di riconoscimento che contribuisce agli studi di ecologia trofica dei grandi predatori marini.

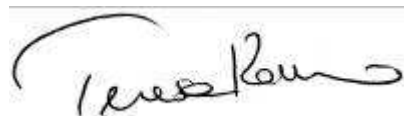
L'attività dello stage formativo si è articolata in 6 differenti fasi:

1. Raccolta giornaliera dei campioni di specie ittiche batipelagiche e mesopelagiche “spiaggiati” lungo le coste dello Stretto di Messina al fine di ottenere un campione sufficiente per le analisi;
2. Attività di laboratorio mirata al riconoscimento tassonomico delle specie, alla rilevazione dei parametri di lunghezza e peso di ciascun esemplare raccolto, suddividendo il campione per specie;
3. Estrazione, pulitura e conservazione dell'otolite per specie;
4. Misurazione degli otoliti e successiva fotografia al microscopio;
5. Inserimento dati su protocollo e successivo input su foglio di calcolo excel;
6. Calcolo delle equazioni.

Le attività di laboratorio sono state eseguite presso la sede ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) di Milazzo nell'anno 2010.

Il Tutor

Dr.ssa Teresa Romeo



### 3. INDICE

---

1.	<b>COPERTINA</b> .....	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
2.	<b>ABSTRACT</b> .....	1
3.	<b>PREFAZIONE</b> .....	2
4.	<b>INDICE</b> .....	3
5.	<b>INTRODUZIONE</b> .....	5
5.1.0	<i>Ruolo ecologico di specie mesopelagiche e batipelagiche</i> .....	5
5.2.0	<i>L'ambiente pelagico</i> .....	6
5.3.0	<i>Migrazioni</i> .....	9
5.3.1	<i>Specie nectoniche che effettuano migrazioni nictimerali</i> .....	11
5.4.0	<i>Ruolo trofico delle specie mesopelagiche e batipelagiche</i> .....	11
5.5.0	<i>Identificazione delle prede attraverso gli otoliti negli studi di ecologia trofica</i> .....	12
5.5.1	<i>Otoliti</i> .....	14
	<i>Sulcus acusticus</i> .....	15
	<i>Ostium</i> .....	16
	<i>Cauda</i> .....	17
5.5.2	<i>Ricostruzione della biomassa delle prede attraverso analisi di otoliti negli studi di ecologia trofica</i> .....	17
6.	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
6.1.0	<i>Area di studio</i> .....	19
6.1.1	<i>Morfologia dello Stretto di Messina</i> .....	19
6.1.2	<i>Correnti e maree nello Stretto di Messina</i> .....	20
6.2.0	<i>Spiaggiamento di fauna mesopelagica e batipelagica nello Stretto di Messina</i> .....	23
6.3.0	<i>Attività di laboratorio</i> .....	25
6.4.0	<i>Relazioni utilizzate per gli otoliti</i> .....	26
7.	<b>CORPO DELLA TESI</b> .....	28

<i>7.1.0 Descrizione delle famiglie .....</i>	<i>28</i>
<i>7.1.1 Teleostei .....</i>	<i>28</i>
<i>7.2.0 Dati morfometrici .....</i>	<i>35</i>
<i>7.2.1 Morfologia otoliti .....</i>	<i>38</i>
<i>7.3.0 Analisi dati otoliti .....</i>	<i>43</i>
<b>8. CONCLUSIONI .....</b>	<b>46</b>
<b>9. RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>50</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>51</b>

## 4. INTRODUZIONE

---

### 4.1.0 Ruolo ecologico di specie mesopelagiche e batipelagiche

I pesci mesopelagici e batipelagici sono specie che vivono nelle masse d'acqua intermedie e profonde (Salvanes & Kristoffersen, 2001; Bello, 1985), con un'ampia distribuzione verticale (Gjøsaeter & Kawaguchi, 1980) e giocano un ruolo ecologico importante nel trasferimento di energia tra le acque epipelagiche e l'ambiente profondo.

Essi infatti effettuano grandi spostamenti trasferendosi durante la notte verso la superficie per cibarsi di plancton e micronecton e ritornando in acque profonde durante le ore diurne per evitare la predazione (Marshall, 1960).

Queste specie rappresentano quindi una componente fondamentale del necton pelagico e la loro elevata biomassa in tutti gli oceani (Gjøsaeter & Kawaguchi, 1980; Mann, 1984; Lam & Pauly, 2005) costituisce un'importante fonte di cibo nella rete trofica marina. Tale risorsa rientra infatti nella dieta di grandi predatori marini quali mammiferi (Hassani et al., 1997; Pauly et al., 1998; Springer et al., 1999; Dolar et al., 2003; Ohizumi et al., 2003), uccelli (Springer et al., 1999), cefalopodi (Marabello et al., 1996; Watanabe et al., 2004) e pesci (Alverson, 1963; Abrams et al., 1996; Hassani et al., 1997; Lebourges-Dhaussy et al., 2000; Moteki et al., 2001; Consoli et al., 2008),

Tuttavia, negli studi dell'ecologia trofica dei grandi predatori marini non è sempre facile identificare e stimare la biomassa di queste specie predate. Spesso, infatti, le prede sono già digerite e si rinvencono solo resti di strutture dure (es: otoliti e vertebre di teleostei e becchi di cefalopodi).

Per queste ragioni, assumono grande importanza negli studi di ecologia trofica i manuali e le chiavi sistematiche sull'identificazione degli otoliti, nonché i contributi scientifici sulla stima della biomassa delle prede mediante la ricostruzione della loro dimensione corporea a partire da tali strutture (metodi di back-calculation).

#### **4.2.0 L'ambiente pelagico**

Il dominio pelagico comprende le acque libere che si estendono dalla superficie fino agli abissi delle fosse oceaniche, dove vivono organismi che vengono trasportati passivamente dalla corrente (plancton) (fig. 1) e che svolgono gran parte del loro ciclo vitale lontano dal fondo del mare e organismi che nuotano, in grado di vincere la corrente (necton) (fig.2).

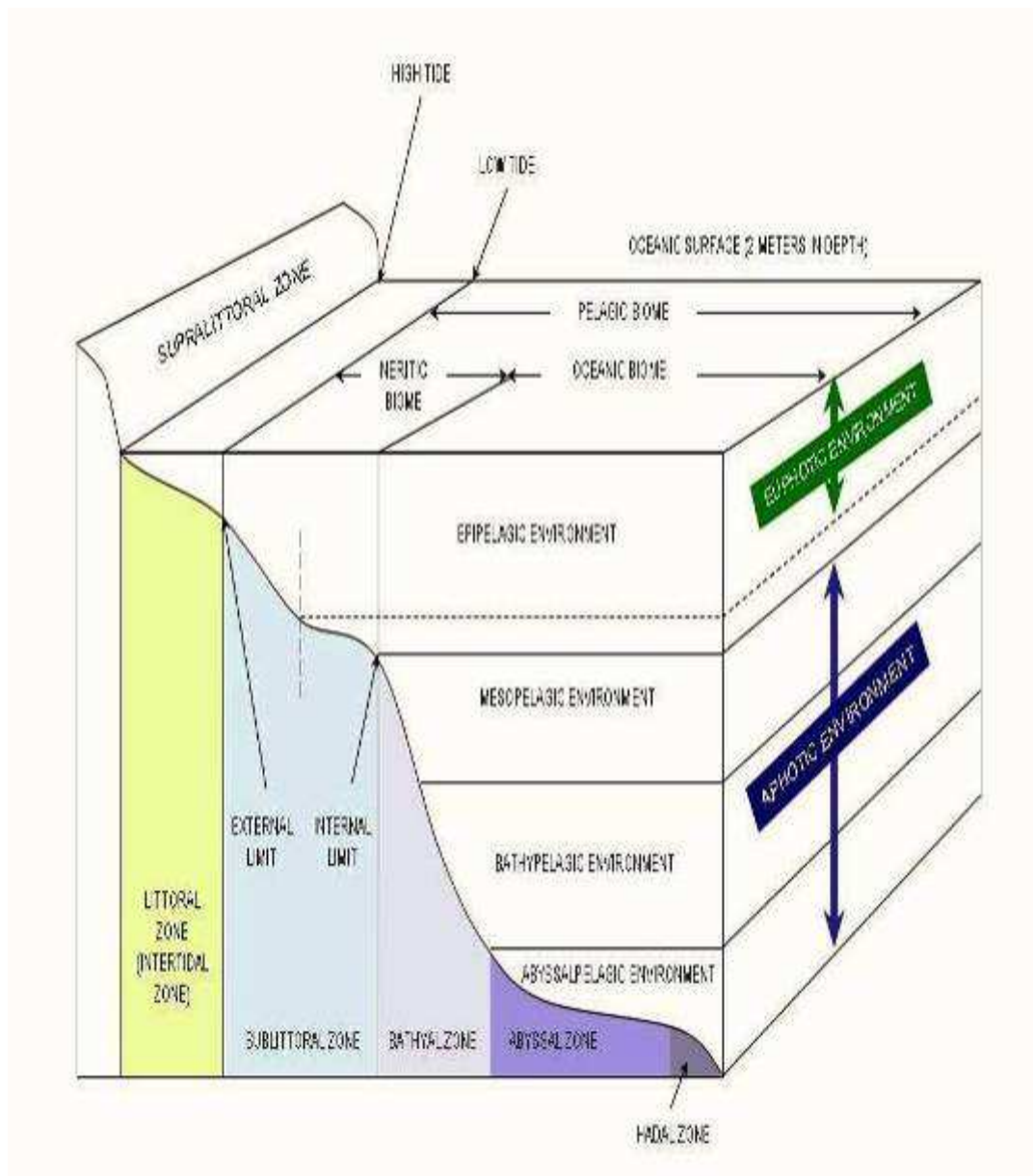


**Figura 1 - Esempio di organismi planctonici.**



**Figura 2 - Esempio di organismi nectonici.**

Esso è suddiviso, in senso orizzontale, in regione neritica, formata dalle acque aperte al di sopra della piattaforma continentale, e regione oceanica, che comprende le acque sovrastanti i bacini oceanici ed è costituita da un sistema in continuo movimento che a prima vista può sembrare alquanto omogeneo.



**Figura 3 - Rappresentazione schematica delle zonazioni.**

In figura 3 è schematizzata una semplice zonazione della regione oceanica:

- zona epipelagica, che si estende dalla superficie fino a circa 200 m di profondità;
- zona mesopelagica, compresa tra 200 e 1000 m;
- zona batipelagica, da 1000 a 4000 m;
- zona abissopelagica da 4000 a 6000 m;
- zona adipelagica al di là dei 6000 m di profondità.

Il problema principale è definire questi limiti facendo riferimento a fattori quali temperatura, luce, salinità, ecc., anche in considerazione del fatto che in Mediterraneo, oltre i 200 m di profondità, esiste un'omeotermia intorno ai 13°C. Tali limiti divengono



aleatori soprattutto in zone ad elevato idrodinamismo, come le aree di upwelling, in cui si hanno fenomeni di risalita di acque profonde, fredde e ricche di nutrienti. La fauna pelagica, soprattutto le componenti micronectoniche o nectoniche, è poco conosciuta a causa delle difficoltà che si riscontrano nel campionamento. Infatti, la valutazione quantitativa e qualitativa di tali risorse è stata spesso limitata dall'inadeguatezza degli strumenti di campionamento convenzionali, portando pertanto ad una sottostima della loro biodiversità e biomassa (Rodhouse, 1990; Orsi Relini et al., 1994).

Inoltre i cambiamenti della composizione specifica in una determinata area possono essere rilevanti e repentini, poiché il dominio pelagico è un ambiente dinamico e lo spostamento delle masse d'acqua e il mutamento dei fattori ambientali possono rapidamente modificare la composizione dei popolamenti (es: fioriture planctoniche).

Gli organismi che popolano l'ambiente pelagico si sono adattati a svolgere il proprio ciclo vitale in determinati strati della colonna d'acqua, con tutta una serie di adattamenti fisiologici alle condizioni di luminosità, pressione, temperatura e alla poca disponibilità di cibo degli strati più profondi. Come risultato di tali adattamenti, molte specie della fascia mesopelagica e batipelagica hanno sviluppato l'abitudine a compiere migrazioni verticali giornaliere.

#### **4.3.0 Migrazioni**

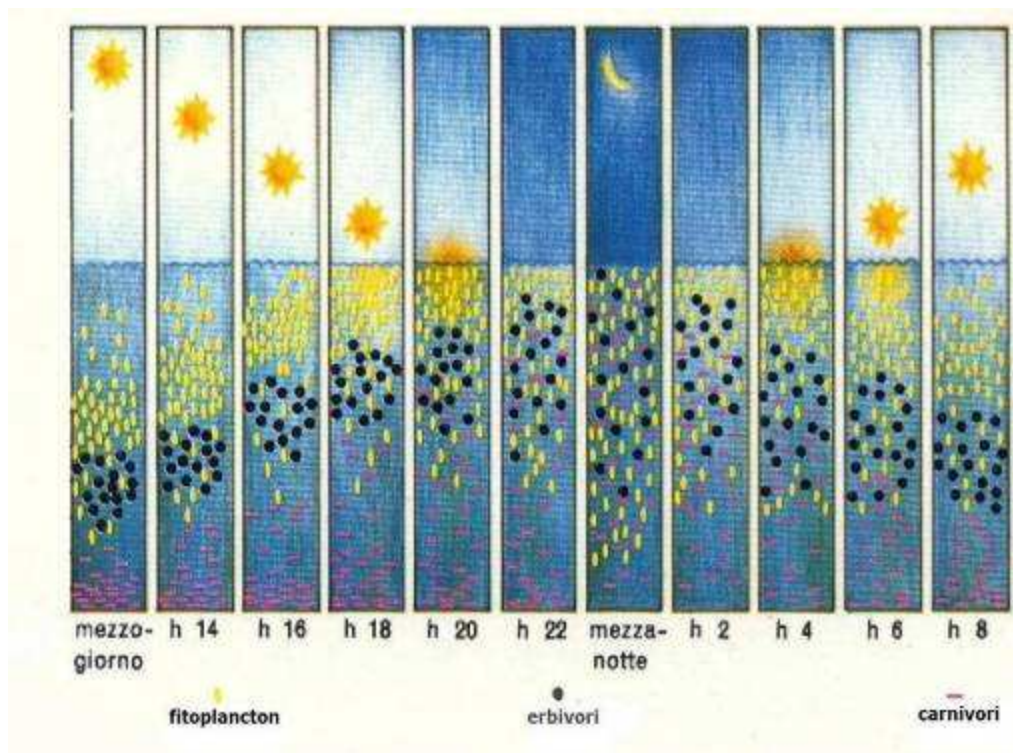
L'habitat di un animale è un complesso di fattori fisici e biotici che determina o caratterizza il luogo in cui esso vive (Partridge, 1978).

Per molte specie ittiche la selezione dell'habitat varia in funzione degli stadi di vita, in quanto le aree riproduttive e quelle trofiche sono spesso differenti. Sono poche le specie ittiche in cui gli individui rimangono in una stessa area per tutto il corso della loro vita (specie sedentarie). La maggior parte delle specie effettua movimenti su scala diversa nel corso del ciclo vitale. Questi possono essere piccoli spostamenti locali e legati ad attività che contribuiscono alla crescita, sopravvivenza e riproduzione, oppure possono essere vaste migrazioni oceaniche o tra ambienti differenti.

I pesci possono, infatti, spostarsi su vaste aree in branchi formando "schooling", o vivere isolati la maggior parte del tempo per poi formare coppie con animali di sesso diverso durante il periodo riproduttivo, o ancora compiere spostamenti (circadiani) all'interno della stessa area lungo la colonna d'acqua in funzione dell'intensità luminosa. Inoltre per ottimizzare le proprie prestazioni molte specie cambiano habitat con ritmi circadiani o stagionali e talvolta annuali (Harden Jones, 1968; McCleave et al., 1982; Dingle, 1996). Così con il termine migrazione si intende ogni movimento direzionale di massa da un'area a un'altra, che abbia caratteristiche di regolarità nel tempo o in relazione con la fase biologica.

Tra i vari tipi di migrazioni rientrano anche quelle nictimerali, anche se ancora poco chiaro l'utilizzo del termine migrazione per tali movimenti. Si tratta, infatti, di spostamenti verticali giornalieri a cui comunque si attribuisce il termine di "migrazioni", che avvengono principalmente per motivi trofici e coinvolgono soprattutto zooplankton e micro-necton. Essi assumono un grande significato ecologico nella catena trofica dell'ambiente pelagico, poiché sono alla base dei flussi di energia che caratterizzano il funzionamento di questo ecosistema.

Gli organismi "migranti" vivono in profondità durante il giorno per evitare la predazione e salgono al tramonto negli strati superficiali per cibarsi di fitoplancton e trasferirsi in profondità alle prime ore dell'alba (fig. 4).



**Figura 4 - Migrazioni nictimerali di zooplancton e fitoplancton.**

Gli organismi erbivori vengono seguiti in tali spostamenti anche dai carnivori che trovano nelle acque epipelagiche le loro risorse di cibo.

Le migrazioni nictimerali in termini di spostamento verticale possono essere più o meno ampie e in un singolo giorno possono essere percorsi più di 600-700 metri. Ciò che stimola gli organismi ad iniziare la migrazione è l'intensità luminosa. Il motivo ecologico delle migrazioni nictimerali risiede nella necessità da parte degli organismi di procurarsi il cibo, ma al tempo stesso di evitare la predazione (Marshall, 1960). Gli strati profondi, caratterizzati dalla quasi assenza di radiazioni luminose, sono infatti il rifugio ideale per molte di queste specie, che evitano durante il giorno di sostare nella zona eufotica per non essere individuati dai predatori.

Il significato ecologico che tali spostamenti giornalieri assumono nell'ecosistema pelagico è davvero elevato, poiché esse sono lo strumento più importante per il trasferimento di energia dagli strati superficiali in cui avviene la produzione primaria, a quelli più profondi, dove la fotosintesi non può avvenire.

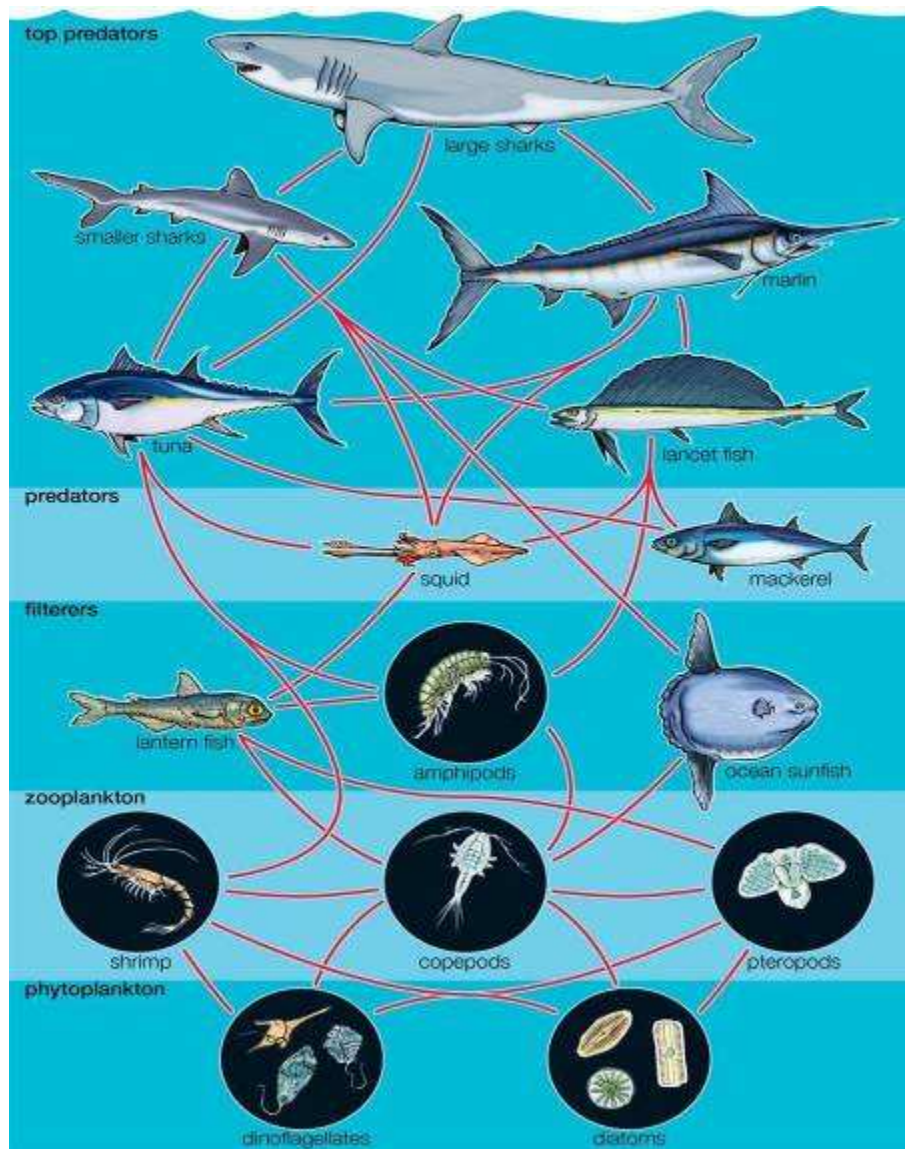
#### **4.3.1 Specie nectoniche che effettuano migrazioni nictimerali**

Tra le specie mesopelagiche e batipelagiche che effettuano migrazioni nictimerali, gli organismi nectonici (in particolare il micro-necton) svolgono un ruolo importante nella catena trofica, poiché sono caratterizzati da elevate biomasse e rappresentano una consistente parte dello “strato riflettente profondo” o DSL (deep scattering layer) (Benoit-Bird & Au, 2003). In particolare i Gonostomatidae con il genere *Cyclothone* sono stati stimati come i pesci più abbondanti di tutti gli oceani e mari temperati (Herring, 2002). Tra i più importanti poi vi sono le specie appartenenti alla famiglia Myctophidae con circa 30 generi (Salvenes & Kristoffersen, 2001). Le abitudini migratorie di alcuni mictofidi (specie del genere *Hygophum*) sono state ben studiate da Linkonwski (1996), che ha evidenziato differenti comportamenti migratori in specie affini in relazione al ciclo lunare. Rispetto ai mictofidi, le specie appartenenti alla famiglia Sternoptychidae fanno registrare un’attività migratoria più modesta, con escursioni batimetriche che interessano uno strato di circa 200-400 m (Kinzer & Schulz, 1988; Gjøsaeter & Kawaguchi, 1980). Altre famiglie importanti sono Phosichthyidae, Stomiidae e Paralepididae.

#### **4.4.0 Ruolo trofico delle specie mesopelagiche e batipelagiche**

Le specie mesopelagiche e batipelagiche che compiono migrazioni verticali giocano un ruolo ecologico importante nel trasferimento di energia tra le acque epipelagiche e l’ambiente profondo.

Considerando che nelle reti trofiche la trasmissione di energia sotto forma di sostanza organica (dai produttori primari ai consumatori), è di circa il 10-20%, è facile comprendere come l’alta biomassa delle comunità mesopelagiche e batipelagiche in tutti gli oceani, specialmente nei mari subtropicali e tropicali (Gjøsaeter & Kawaguchi, 1980; Mann, 1984; Lam & Pauly, 2005), sia una importante risorsa di cibo nella rete trofica marina.



**Figura 5 - Esempio di rete trofica marina.**

Studi sul comportamento alimentare hanno confermato che le specie che popolano le acque intermedie sono una risorsa trofica primaria per i pesci pelagici commercialmente importanti quali tonni e sgombrì (Alverson, 1963; Abrams et al., 1996; Hassani et al., 1997; Lebourges-Dhaussy et al., 2000; Moteki et al., 2001; Castriota et al., 2008; Consoli et al., 2008; Karakulak et al., 2009; Romeo et al., 2009). Inoltre, diversi altri predatori, come mammiferi marini (Hassani et al., 1997; Pauly et al., 1998; Springer et al., 1999; Dolar et al., 2003; Ohizumi et al., 2003), uccelli marini (Springer et al., 1999) e cefalopodi (Marabello et al., 1996; Watanabe et al., 2004), insistono su questa risorsa di cibo.

#### **4.5.0 Identificazione delle prede attraverso gli otoliti negli studi di ecologia**

## **trofica**

Lo studio dell'ecologia trofica dei predatori marini che prevede l'identificazione e la quantificazione delle prede è un percorso molto complesso. Spesso gli esemplari da identificare sono parzialmente o completamente digeriti e quindi non classificabili con le usuali chiavi di identificazione tassonomica. In questi casi, quindi, le uniche caratteristiche diagnostiche che possono essere considerate per riconoscere i teleostei sono le strutture più resistenti alla digestione (otoliti e vertebre) e che permangono più a lungo all'interno degli stomaci (Harvey, 1989; Tollit et al., 1997; Recchia & Read, 1989; Pierce & Boyle, 1991; Granadeiro & Silva, 2000; Pierce et al., 1991). Altre volte (nell'analisi della dieta di mammiferi ed uccelli marini) sorge la necessità di utilizzare metodi non invasivi, che consistono nell'esame delle feci o dei rigurgiti e che quindi riguardano campioni caratterizzati da materiale molto o completamente digerito (Prime & Hammond, 1990; Pierce & Boyle, 1991; Pierce et al., 1991; Duffy & Laurenson, 1983; Johnstone et al., 1990).

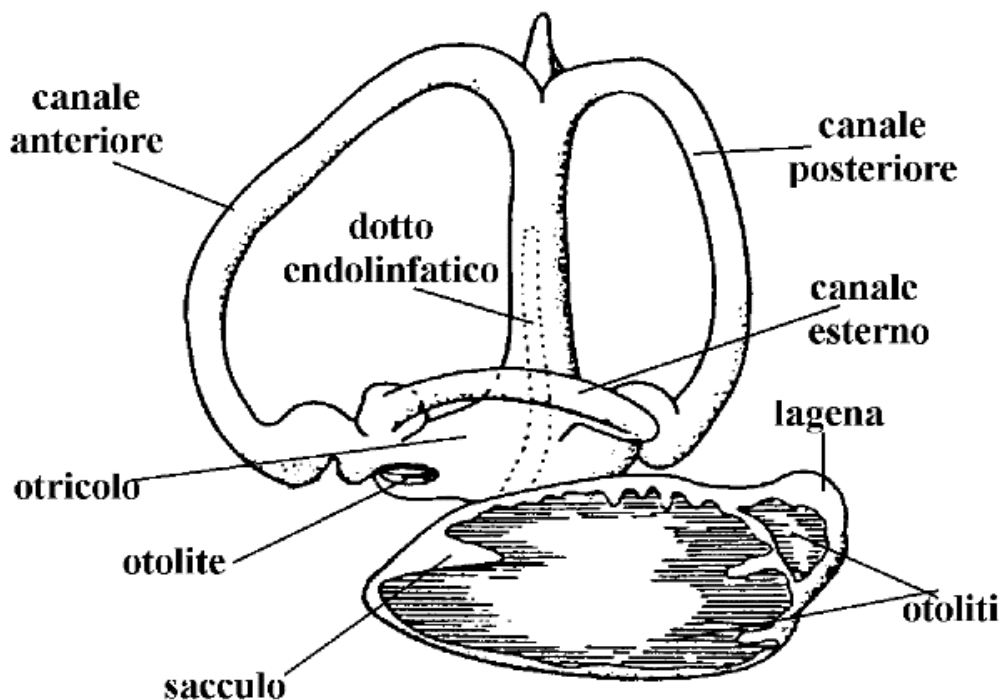
L'importanza tassonomica di queste strutture altamente specie-specifiche è inoltre documentata nelle analisi della dieta dei cefalopodi, i quali usano i loro becchi per tagliare e sminuzzare le proprie prede tra cui teleostei (Watanabe et al., 2004) che in questi casi sono riconoscibili dalla morfologia della sagitta (Morrow, 1979; Smale et al., 1995).

L'importanza degli otoliti negli studi della dieta dei predatori marini ha incoraggiato quindi la produzione di chiavi e guide tassonomiche per l'identificazione di teleostei (Nolf, 1985; Härkönen, 1986; Smale et al., 1995; Campana, 2004; Lombarte et al., 2006; Tuset et al., 2008) a partire da tali strutture.



#### 4.5.1 Otoliti

Gli otoliti sono composti da carbonato di calcio sotto forma di aragonite in una matrice proteica detta *otolina* costituita da aspartato e glutammato. Tutti i pesci ossei (osteitti) hanno 3 paia di otoliti: sagitta, asterisco e lapillo. Essi si trovano in corrispondenza di aree ovali costituite da epitelio sensoriale associate a rami del nervo acustico dette “*Macule*” che sono collocate in strutture sacciformi (*Utricolo* e *Sacculo*) e su una depressione a forma di tasca detta *Lagena* (fig.6).



**Figura 6 - Rappresentazione schematica orecchio interno.**

La sagitta è il più grande e si trova nel *Sacculo*, il lapillo si forma nell'*utricolo* mentre nella *lagena* è posizionato l'asterisco.

La sagitta ha un corpo ellittico compresso lateralmente e concavo distalmente (fig.7). Il lato convesso o prossimale è orientato verso l'asse centrale ed è diviso in due aree da un solco profondo (*sulcus acusticus*) dove si connettono le fibre nervose.

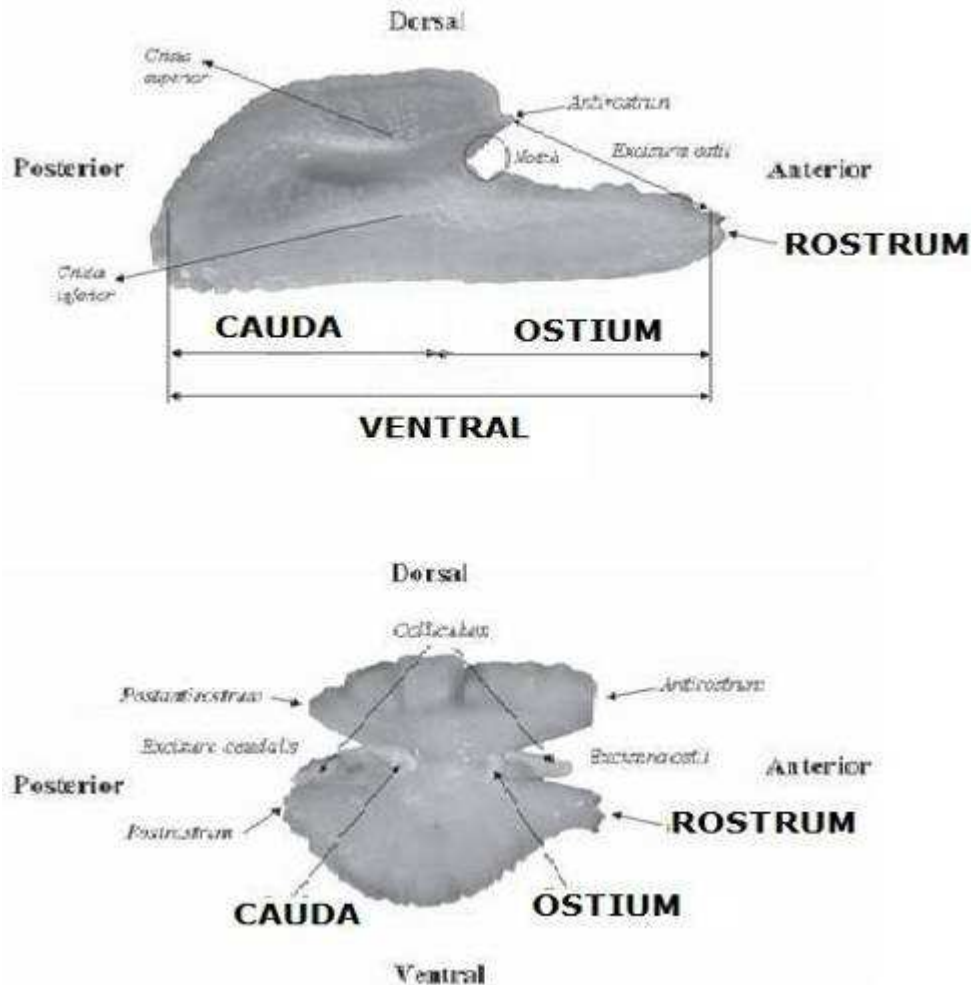


Figura 7 - Rappresentazione schematica della sagitta.

### Sulcus acusticus

È la struttura più importante della sagitta, chiamato anche Sulcus, permette l'identificazione delle specie a seconda dell'apertura e della sua posizione ed in base alla morfologia dell'ostium e della cauda (Tuset et al., 2008).

In base all'apertura il *sulcus* può essere classificato in:

- *Ostiale (Ostial)*: se il *sulcus* possiede l'*Ostium* ampiamente aperto nel margine anteriore dell'otolite, e la *Cauda* è distintamente chiusa lontano dal margine posteriore.
- *Caudale*: il *sulcus* possiede una *cauda* ampiamente aperta al margine dell'otolite, mentre l'*ostium* è chiuso.
- *Pseudo-ostiocaudale*: le estremità del *sulcus* sono molto vicine alle opposte dell'otolite, le aperture sono poco aperte o non definite e con canali stretti.
- *Mediano*: *sulcus* normale fortemente ridotto, chiuso ad entrambe le estremità e



normalmente molto lontano dal margine dell'otolite.

- *Pseudo-ostiale*: *sulcus* con un *ostium* chiuso vicino al margine anteriore dell'otolite, la *cauda* invece è chiusa e decisamente lontana dal margine posteriore.
- *Para-ostiale*: *sulcus* che si apre al margine dell'otolite attraverso un ridotto e stretto canale, mentre la *cauda* è normalmente chiusa e lontano dal margine dell'otolite.
- *Ostio-caudale*: il *sulcus* con l'*ostium* e la *cauda* entrambi ampiamente aperti ai margini opposti dell'otolite.

Il *sulcus* separa una zona dorsale ed una ventrale nella faccia mediana dell'otolite e a seconda della sua posizione può essere identificato come:

- *Inframediano*: *sulcus* generalmente posizionato sotto l'asse longitudinale della linea ventrale dell'otolite; la zona ventrale è notevolmente inferiore a quella dorsale.
- *Mediano*: *sulcus* generalmente posizionato sulla linea mediana longitudinale dell'otolite; la zona ventrale e dorsale hanno la stessa misura.
- *Sopramediano*: *sulcus* generalmente posizionato sopra la linea mediana longitudinale dell'otolite, la zona ventrale è più grande di quella dorsale.

In base alla relazione tra *ostium* e *cauda* possono essere definiti i seguenti tipi di *sulcus*:

- *Archaeulsulcoid*: *sulcus* semplice ed indefinito con senza una chiara divisione tra *ostium* e *cauda*. la transizione delle due componenti è quasi indistinguibile.
- *Pseudo-archaeulsulcoid*: *sulcus* con una poco definita transizione tra *ostium* e *cauda* ma caratterizzato da una leggera pendenza o da una diversa sezione trasversale.
- *Homosulcoid*: *sulcus* con *ostium* e *cauda* chiaramente differenziati, ma simili nella forma e quasi simmetrici.
- *Heterosulcoid*: *sulcus* con *ostium* e *cauda* chiaramente differenziati ma con forme diverse.

### Ostium

L'*ostium* è il componente, in termini di forma, più vario del *sulcus*. La sua diversità non dipende solo dalla regione anteriore dove si trova il *sulcus*, ma anche nella regione dove la *cauda* si connette all'*ostium*, nella regione di confluenza che impone l'incurvatura delle pareti del *sulcus*. Quindi possiamo avere i seguenti tipi di *ostium*:

- *Curvato-concavo*: la *cauda* si connette ad uno dei lati dell'*ostium* (normalmente nella regione dorsale) invece che al centro. La parete dell'*ostium* è dritta e forma una curva

regolare lungo il *sulcus*, mentre la parte ventrale forma una regione grande ma nettamente concava curvata.

- *Curvato*: la *cauda* si connette ad uno dei lati dell'*ostium* (dorsalmente) piuttosto che nel mezzo. La parete dell'*ostium* è dritta forma una curva regolare lungo il *sulcus*, mentre ventralmente forma una grande e dritta curva.
- *Tubulare*: l'*ostium* è piuttosto lungo e le sue pareti sono dritte o curve ma seguono un percorso parallelo della regione di confluenza con la *cauda* nella punta anteriore.
- *Laterale*: entrambe le pareti dell'*ostium* si incurvano immediatamente dopo la connessione con la *cauda*. L'*ostium* ha la larghezza maggiore in questa zona e restringe anteriormente.
- *Discoidale*: l'*ostium* forma un disco al limite delle *creste* dorsale e ventrale.
- *Imbuto*: le pareti dell'*ostium* sono semplici o concavi ma più o meno simmetriche e si estendono lontano dalla regione anteriore
- *Rettangolare*: l'*ostium* è simile al tubulare, ma molto breve.
- *Rotondo-ovale*: simile la circolare.
- *Ellittico*: *ostium* lungo ed ellittico.

#### Cauda

La forma della *cauda* può essere:

- *Tubulare*: varia in base alla grandezza della curvatura (rettilinea posteriore, lievemente curva, fortemente curva, nettamente curva, arricciata o sinuosa). La curvatura può avvenire nella regione anteriore, a metà o nella regione posteriore.
- ellittico ovale;
- rotonda.

#### **4.5.2 Ricostruzione della biomassa delle prede attraverso analisi di otoliti negli studi di ecologia trofica**

Per comprendere meglio il reale ruolo trofico degli organismi mesopelagici e batipelagici, è importante considerare il contributo dell'energia della preda nella dieta dei predatori, valutando la loro biomassa e la loro abbondanza numerica. Nei casi in cui le prede risultano in avanzato stato di digestione, può essere utile ricostruire le dimensioni reali del corpo e la biomassa della preda, utilizzando la misura degli otoliti ed applicando

la back-calculation.

## 5. METODOLOGIA

---

Il materiale biologico esaminato in questa tesi è stato collezionato lungo le coste siciliane dello Stretto di Messina e più precisamente lungo l'arenile di Capo Peloro.

### 5.1.0 Area di studio

#### 5.1.1 Morfologia dello Stretto di Messina

Lo Stretto di Messina dal punto di vista morfologico può essere paragonato ad un imbuto capovolto con la parte stretta rivolta a nord, compresa tra Capo Peloro (Sicilia) e Torre Cavallo (Calabria). Mentre il limite della parte settentrionale è facilmente identificabile, quello meridionale si fa coincidere con una linea ideale che congiunge Capo Taormina (Sicilia) e Capo dell'Armi (Calabria).

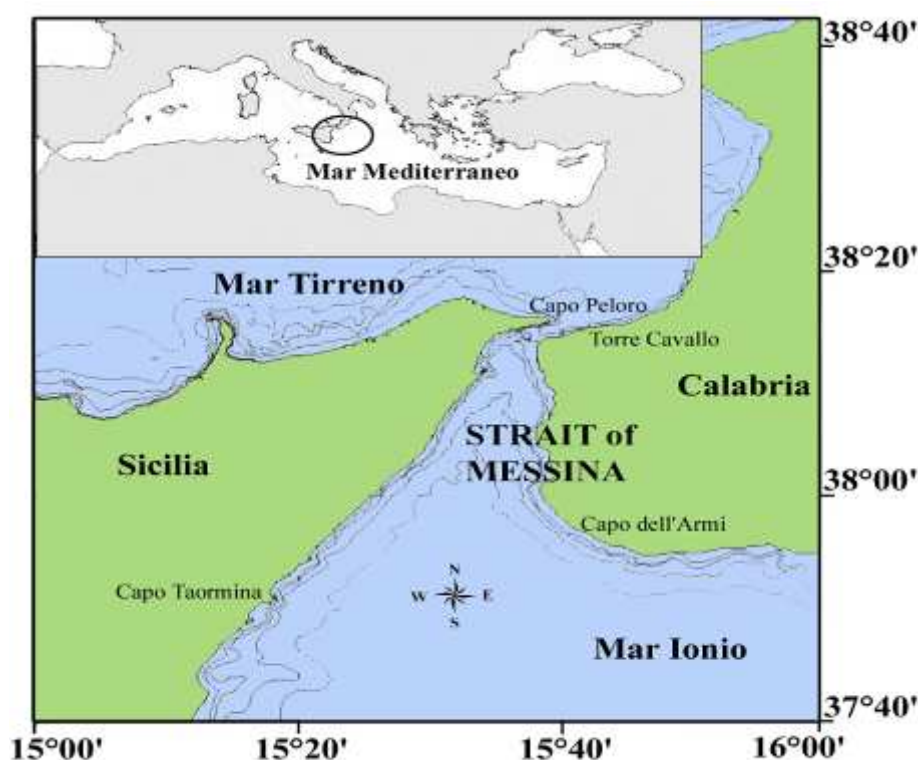


Figura 8 - Batimetria area idrologica dello Stretto di Messina.

Il profilo sottomarino dello Stretto può essere paragonato ad un monte con i versanti aventi pendenze nettamente differenti. Nel versante tirrenico il fondo marino degrada dolcemente fino ai 1000 metri di profondità nell'area di Milazzo. Nel versante ionico il fondale è molto ripido e tra le città di Messina e Reggio Calabria si oltrepassano i 500

metri di profondità, fino ad arrivare a 2000 metri al centro della congiungente tra Capo Taormina e Capo dell'Armi.

La parte più stretta si trova lungo la congiungente tra Ganzirri (Sicilia) e Punta Pezzo (Calabria), dove è presente una “sella” sottomarina che raggiunge la minore profondità nell'area dello Stretto (circa 80 metri). In questa zona si ha la presenza di un solco mediano irregolare, profondo circa 115 metri, che divide una zona occidentale irregolare chiamata Banco di Ganzirri da una orientale detto Banco di Punta Pezzo più profonda e pianeggiante. A nord dello Stretto si ha un'ampia valle (valle di Sicilia), con la parte profonda e ripida a circa 200 metri di profondità. Nel mar Tirreno la valle si appiattisce e diventa meno ripida e prende il nome di Bacino di Palmi. Nella zona sud si ha un'ampia e irregolare depressione detta Valle di Messina. Oltre i 500 metri di profondità la Valle di Messina si stringe diventando più profonda e dando origine ad un canyon ripido (Canyon di Messina), che raggiunge la piana batiale dello Ionio, che è la principale via di trasporto dei sedimenti e si estende dalla costa siciliana a quella calabrese (De Domenico E., 1987).

### **5.1.2 Correnti e maree nello Stretto di Messina**

Lo Stretto di Messina è il punto di separazione tra due bacini: lo Ionio e il Tirreno. Essi nonostante siano contigui, risultano fisiograficamente distinti con masse d'acqua aventi caratteristiche fisico-chimiche completamente differenti. Il Tirreno è caratterizzato mediamente da acque più fredde e meno salate rispetto a quelle ioniche. Nello Stretto però, a causa della morfologia del fondale e dei fenomeni di “upwelling”, giungono in superficie acque ioniche profonde, che risultano avere densità maggiore rispetto a quelle tirreniche ed essere più ricche di nutrienti.

In sintesi nello Stretto si ha la presenza di due tipi di correnti che percorrono un senso per circa 6 ore per poi invertire la direzione (Vercelli, 1925):

- correnti stazionarie, che a livello della “sella” sottomarina scorrono verso sud fino a 30 metri di profondità ed in senso inverso da 30 metri al fondo con velocità che possono raggiungere i 50 cm/sec (Vercelli, 1925; Defant, 1940);
- le correnti di marea, che hanno fase opposta ma con stessa ampiezza di quelle stazionarie. Le correnti di marea dipendono anche e soprattutto dalla posizione del sole e della luna, così durante le quadrature (primo ed ultimo quarto) si hanno maree minime con correnti meno potenti e veloci; nelle sigizie (plenilunio e novilunio) le maree sono notevoli e le correnti fortissime; può anche capitare che le maree di perigeo (con luna più vicina alla

terra) si sommano a quelle sigiziali con la formazione di correnti ancora più forti (Berdar A. & Riccobono F., 1986).



**Figura 9 - Fasi lunari ed effetti sulle masse d'acqua.**

Quando le due correnti si sommano (con velocità che lungo la sezione Ganzirri - Punta Pezzo, i 200 cm/sec) e quando il mar Tirreno presenta bassa marea al confine settentrionale dello Stretto, il contiguo mar Ionio si trova in alta marea e le acque pesanti interessano il centro del bacino affondando su quelle tirreniche più leggere (corrente montante) e si riversano nel mar Tirreno una volta oltrepassata la “sella”. Viceversa avviene nel successivo cambio di marea quando (corrente scendente) le acque del Tirreno (più superficiali e leggere) scorrono su quelle ioniche (profonde e pesanti) finché tutta la parte centrale dello Stretto sia riempita da queste acque fluenti verso sud.

Inoltre il dislivello di marea può raggiungere circa 27 cm e causa il riversamento periodico delle acque di un bacino in quello opposto (De Domenico E., 1987).

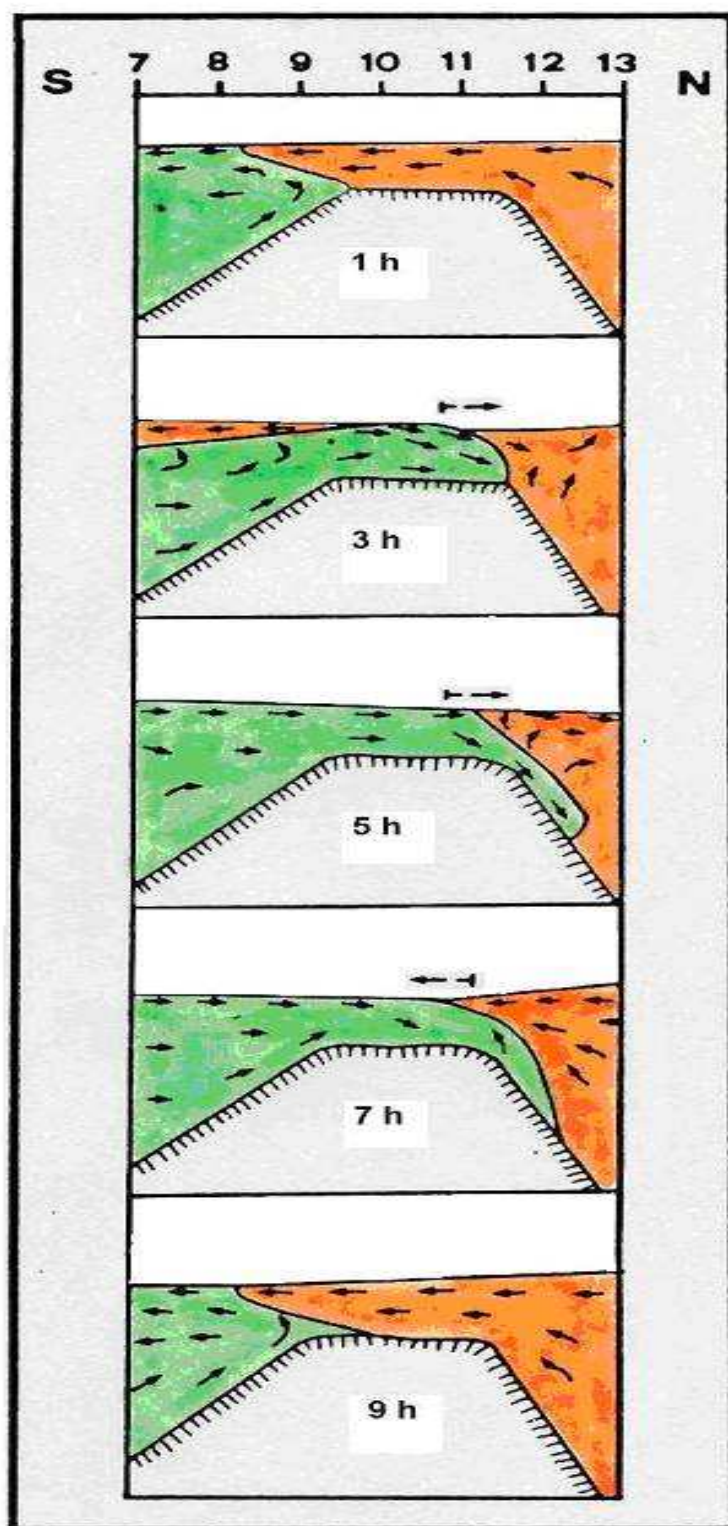


Figura 10 - Variazione temporale delle correnti nello stretto secondo Defant (1940).



Può anche verificarsi che a causa della diversa pressione atmosferica tra Ionio e Tirreno, si ha il passaggio per molte ore di una sola corrente.

Quando le masse d'acqua ioniche e tirreniche si incontrano determinano l'insorgenza di fenomeni particolari responsabili della manifestazione di spettacolari fenomeni di turbolenza quali “tagli” e “scale di marea” (sviluppo orizzontale), “garofali”, “bastardi” e “macchie d'olio” (sviluppo verticale).



**Figura 11 - Esempio di turbolenza nello Stretto di Messina.**

Quelli a sviluppo orizzontale sono vere e proprie onde di discontinuità che si sviluppano in particolari punti (Ganzirri, Torre Faro e Punta Pezzo), si estendono nella parte centrale dello stretto e possono ampliarsi ed intensificarsi ad opera dell'azione di forti venti.

I fenomeni a sviluppo verticale invece sono dei gorgi formati dall'incontro di correnti opposte e favoriti dall'irregolarità del fondo (De Domenico E., 1987; Vercelli, 1925; Mazzei, 1936).

#### **5.2.0 Spiaggiamento di fauna mesopelagica e batipelagica nello Stretto di Messina**

Lo Stretto di Messina definito “Bosforo d'Italia” per la sua bellezza, e “Oasi tra due deserti d'acqua” (Tirreno e Ionio) grazie alla sua ricchezza di plancton, fu anche considerato “il paradiso degli zoologi” dallo studioso August David Krohn (1803-1891),



grazie alla preziosa fauna batifila affiorante o spiaggiata, che può essere ritrovata sui litorali delle due sponde. Lo Stretto è infatti uno dei rari posti al mondo dove si ha lo spiaggiamento di fauna batifila (Berdar A. & Riccobono F., 1986). Il ritrovamento di queste specie lungo le coste dello Stretto dipende principalmente dalle forti correnti di marea, dall'upwelling e dall'abitudine di queste specie a compiere le migrazioni nictimerali. Il fenomeno è poi influenzato da altri fattori, come il vento di scirocco (per quel che riguarda le spiagge messinesi), le onde, le variazioni delle linee di costa, la pressione atmosferica ed altri fenomeni naturali poco conosciuti (Berdar A. & Riccobono F., 1986). Il periodo migliore per lo spiaggiamento è tra l'autunno e la primavera, soprattutto nei giorni di sigizie nelle zone di Capo Peloro e S. Ranieri per la costa siciliana e Cannitello per quella calabrese, anche se non è raro il ritrovamento di specie nei periodi di quadratura (Berdar A. & Riccobono F., 1986). Le prime notizie di fauna mesopelagica spiaggiata nello Stretto di Messina risalgono agli studi di Anastasio Cocco nella prima metà del XIX secolo. Altri importanti contributi si devono ad altri autori tra cui Berdar che dedicò più di 40 anni alla conoscenza di questo fenomeno (Mazzarelli, 1909; Genovese et al., 1971; Berdar et al., 1977, 1983; Spalletta et al., 1995). Il materiale spiaggiato nel tempo è servito a far conoscere nuove specie, forme esotiche, reperti utilizzati successivamente per studi di tassonomia, embriologia, fisiologia, biometria, teratologia, parassitologia, merceologia ed ecologia (Berdar et al., 1983). L'importanza di tale fenomeno quindi è stata fin da subito compresa dagli studiosi, che hanno avuto in questi decenni la possibilità di studiare organismi non facilmente catturabili e il cui campionamento in altre aree richiederebbe l'organizzazione di campagne oceanografiche con l'utilizzo di costose attrezzature.

Lo spiaggiamento fornisce quindi materiale prezioso, tra cui anche specie rare, ed esemplari freschi ed integri, a volte anche vivi.

La raccolta degli esemplari spiaggiati è stata effettuata giornalmente nel triennio 2007-2010 dalle ore 5 alle 7:30 della mattina. Il campionamento è stato pianificato prima del sorgere del sole per evitare la competizione con gli uccelli marini, formiche e vespe che solitamente si cibano di questi esemplari o li danneggiano. Tale strategia ha avuto anche lo scopo di prevenire l'eccessiva disidratazione delle specie oggetto di studio dovuta ai raggi solari.

La fauna spiaggiata è stata successivamente trasportata in laboratorio per l'identificazione tassonomica e le successive analisi.

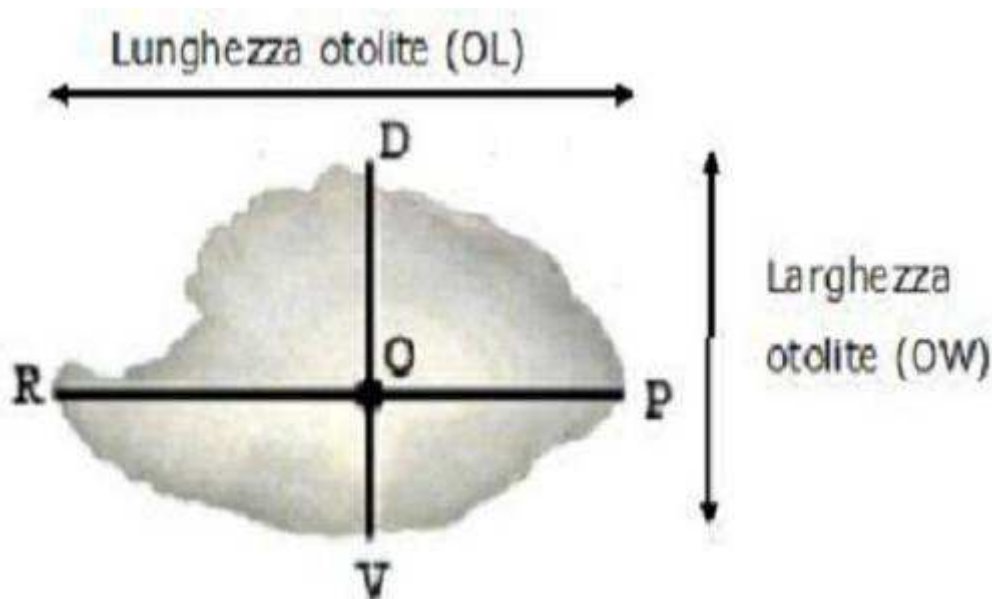
### 5.3.0 Attività di laboratorio

Per l'identificazione tassonomica della fauna batifila sono stati utilizzati i testi di riferimento di Whitehead et al., (1984-1986). Gli esemplari sono stati successivamente fotografati con fotocamera digitale Nikon Coolpix 5600.

Ciascun esemplare, dopo essere stato classificato e fotografato, è stato misurato con un calibro (approssimazione è di 0,1 mm) per la rilevazione dei dati morfometrici: in particolare è stata considerata la lunghezza standard in mm (SL) per i teleostei (secondo Tortonese, 1970) anziché la lunghezza totale (TL) in quanto spesso la pinna caudale risultava danneggiata.

Successivamente è stato registrato il peso totale (W) di ogni esemplare in grammi, con un'accuratezza di 0.01 g

Le sagitte dei teleostei sono state rimosse, pulite e conservate a secco con un codice identificativo. Le dimensioni delle sagitte sono state rilevate grazie ad un microscopio stereoscopico Zeiss Stemi 2000-C dotato di un oculare micrometrico. La lunghezza dell'otolite (OL) è stata misurata come distanza massima tra la punta del rostro e il bordo posteriore, parallelamente al *sulcus acusticus*. La larghezza di ogni sagitta (OW) è stata invece determinata considerando la distanza massima tra il margine dorsale dell'otolite e quello ventrale, perpendicolarmente al *sulcus acusticus* (Harvey et al., 2000) (fig. 12).



**Figura 12** - Schema delle misure prese dalla sagitta: O = fuoco dell'otolite, R = rostro, P = bordo posteriore, V = bordo ventrale, D = bordo dorsale, OW = larghezza otolite, OL = lunghezza otolite.

#### 5.4.0 Relazioni utilizzate per gli otoliti

La relazione lunghezza-peso per ogni specie è stata descritta usando la funzione potenziale:  $W = a \cdot SL^b$  dove “W” è il peso totale, “SL” la lunghezza standard “a” è l'intercetta della linea di regressione e “b” il coefficiente di regressione, indicando la crescita isometrica quando uguale a 3 (Anderson & Neumann, 1996).

I parametri “a” e “b” sono stati stimati dalla trasformazione (ln) dell'equazione della regressione lineare.

Per controllare l'isometrica teorica ( $b = 3$ ) o la crescita allometrica ( $b \neq 3$ ), è stato impiegato il *t-student* o t-test (Snedecor & Cochran, 1967).

La relazione delle dimensioni dell'otolite del pesce sono state determinate usando una regressione lineare dei minimi quadrati per i seguenti parametri: lunghezza otolite (OL) - lunghezza pesce (SL) e larghezza otolite (WO) - lunghezza pesce (SL). Queste equazioni sono state prima calcolate per entrambi gli otoliti destri e sinistri e il *t-test* è stato usato per controllare l'eventuale differenza tra le regressioni. I coefficienti di regressione sono stati confrontati e qualora non venivano trovate differenze significative ( $P < 0.05$ ) l'ipotesi  $H_0$  ( $b_{\text{destro}} = b_{\text{sinistro}}$ ) veniva accettata. Quando l'equazione non differiva statisticamente, la singola regressione lineare veniva riportata per ogni parametro (OW;OL), scegliendo in modo casuale un otolite destro e uno sinistro per ogni esemplare. Il significato della

regressione lineare è stato verificato usando l' $F$ -test.

## 6. CORPO DELLA TESI

---

### 6.1.0 Descrizione delle famiglie

Nel periodo di campionamento considerato sono state analizzate le seguenti famiglie:

- Argonautidae
- Gonostomatidi
- Microstomidae
- Myctophidae
- Ommastrephidae
- Onychoteuthidae
- Phosichthyidae
- Sepiidae
- Sternoptychidae
- Stomiidae

Di seguito si riporta una breve descrizione di ogni specie:

### 6.1.1 Teleostei

#### *Argyropelecus hemigymnus* (Cocco, 1829)



Chiamato anche “pesce accetta” o “ascia d’argento” è una specie diffusa nell’Oceano Atlantico e nel Mar Mediterraneo e vive a circa 3000 metri di profondità. E’ una specie pelagica appartenente alla famiglia *Sternoptychidae* che compie migrazioni durante la notte spostandosi a minori profondità per cibarsi di crostacei planctonici.

*Ceratoscopelus maderensis* (Lowe, 1839)



Conosciuto anche come “pesce lanterna” esso vive nell’Oceano Atlantico ed in Mar Mediterraneo prediligendo zone calde. È una specie pelagica di profondità appartenente alla famiglia *Myctophidae* che vive tra i 200 e 2000 metri di profondità. Si nutre di crostacei pelagici e viene pescato occasionalmente con reti a strascico o retini da plancton.

*Chauliodus sloani* (Bloch & Schneider, 1810)



Conosciuto come “pesce vipera” o “vipera di mare” vive in acque tropicali e temperate di tutti gli oceani ed appartiene alla famiglia *Stomiidae*. Vive tra i 500 e 3000 metri di profondità durante il giorno e si sposta in superficie la notte per cibarsi di crostacei e pesci che cattura con la sua enorme bocca.

***Diaphus holti*** (Tåning, 1918)



Conosciuto con il nome di “occhio lucente minore” appartiene alla famiglia *Myctophidae*; è una specie batipelagica che vive oltre i 600 metri di profondità e compie migrazioni verticali fino ai 200 metri raggiungendo durante la notte la superficie per cibarsi di zooplancton.

***Electrona risso*** (Cocco, 1829)



È una specie mesopelagica appartenente alla famiglia *Myctophidae*, vive isolata solitamente tra i 300 e 1000 metri di profondità e si nutre di organismi planctonici

***Gonostoma denudatum*** (Rafinesque, 1810)





Chiamato “bocca spinosa” appartiene alla famiglia *Gonostomatidae*. È una specie mesopelagica che vive intorno ai 700 metri di profondità; durante la notte si sposta in superficie per cibarsi di piccoli crostacei e plancton. Si trova nel mar Tirreno, Ionio e Adriatico.

***Gonychthys cocco* (Cocco, 1829)**



Appartiene alla famiglia *Myctophidae* è una specie rara nei nostri mari e fino ad oggi è stato ritrovato solo nello Stretto di Messina. Si trova a circa 300 metri di profondità e si nutre di organismi planctonici.

***Hygophum benoiti* (Cocco, 1838)**





Conosciuto anche come “pesce lampadina”, è una specie appartenente alla famiglia *Myctophidae* si trova al largo della Sardegna e nello Stretto di Messina. È una specie mesopelagica che vive tra 500 e 1000 metri di profondità, ma è possibile trovarlo in superficie dove si ciba di zooplancton.

***Hygophum hygomii* (Lütken, 1892)**



Conosciuto anche come “pesce lampada”, è una specie appartenente alla famiglia *Myctophidae* poco comune; è stata segnalata nel mar Tirreno e nel mar Ionio e spiaggia raramente nello Stretto di Messina. Vive tra i 500 e i 1600 metri di profondità e si nutre di zooplancton.

***Ichthyococcus ovatus* (Cocco, 1838)**



L'ittiococco è una specie mesopelagica appartenente alla famiglia *Phosichthyidae*, vive a 500 metri di profondità ed effettua migrazioni notturne per cibarsi di microplankton. E' stato ritrovato nello Stretto di Messina e nel mar Tirreno tra la Sicilia e la Sardegna.

***Lampanyctus pusillus* (Johnson, 1890)**



Chiamato anche “pesce lanterna minore” appartiene alla famiglia *Myctophidae* ed è una specie batipelagica che vive a 1000 metri di profondità nutrendosi principalmente di invertebrati. È raro nei nostri mari ma è stato segnalato nel mar Ligure, Ionio, Adriatico e spiaggiato nello Stretto di Messina.

***Maurolicus muelleri* (Gmelin, 1789)**



È una specie mesopelagica appartenente alla famiglia *Sternoptychidae*, vive a 500 metri di profondità ed è comune nello Stretto di Messina, mar Ligure e mar Adriatico. Si ciba principalmente di crostacei e zooplancton.

***Microstoma microstoma* (Risso, 1810)**



È una specie mesopelagica appartenente alla famiglia *Microstomatidae* che vive tra i 700 e i 1200 metri. La sua alimentazione è caratterizzata da organismi planctonici. È stato ritrovato nel mar Ligure e nello Stretto di Messina.

***Myctophum punctatum* (Rafinesque, 1810)**



Chiamato “pesce lanterna puntato” è una specie mesopelagica appartenente alla famiglia *Myctophidae*. Vive tra i 400 e 600 metri ma può spingersi fino ai 2000 metri. Compie migrazioni nictimeriali per cibarsi di microorganismi planctonici. È molto comune nel mar Ligure e nello Stretto di Messina, è raro nel mar Adriatico, Tirreno e Ionio.

***Nansenia oblita* (Facciola, 1887)**



È una specie pelagica appartenente alla famiglia *Microstomatidae*. È poco conosciuto e sembra vivi a 500 metri di profondità ove si ciba di copepodi e zooplancton. Potrebbe trattarsi di una specie endemica dello Stretto di Messina ed è stata segnalata anche nel mar Ligure e Ionio.

***Vinciguerria attenuata* (Cocco, 1838)**



Chiamato comunemente “vinciguerria sottile” questo pesce mesopelagico appartiene alla famiglia *Phosichthyidae*. Vive a 600 metri e si alimenta di organismi planctonici; è presente nel mar Ionio, Tirreno e Stretto di Messina.

### 6.2.0 Dati morfometrici

Nella tabella 1 sono riportati il numero totale degli esemplari campionati (n), il range di lunghezza standard (SL) in mm ed il range di peso (W) in g di ogni specie di teleosteo. Durante il periodo di studio il pesce lanterna di Benoit, *Hygophum benoiti* è risultata la specie con maggior numero di individui n = 288 seguito dal *Electrona risso* con n = 233. L'esemplare più piccolo è risultato *Lampanyctus pusillus* (SL = 7.8 mm) mentre la lunghezza standard maggiore è stata riportata per *Chauliodus sloani* (SL = 203 mm).

**Tabella 1 - Elenco delle specie ittiche mesopelagiche campionate nello Stretto di Messina, con l'indicazione del numero di individui (n), range di taglia (SL mm) e range di peso (W g) per ciascuna specie.**

<b>Specie</b>	<b>Nome comune</b>	<b>Famiglia</b>	<b>n</b>	<b>SL range (mm)</b>	<b>W range (g)</b>
<i>Argyroleucus hemigymnus</i> (Cocco, 1829)	Pesce accetta	Sternoptychidae	138	8.3 – 41.0	0.01 – 1.75
<i>Ceratoscopelus maderensis</i> (Lowe, 1839)	Pesce lanterna di madeira	Myctophidae	15	14.5 – 68.7	0.04 – 4.97
<i>Chauliodus sloani</i> (Bloch & Schneider, 1810)	Vipera di mare	Stomiidae	83	68.0 – 203.0	0.60 – 116.20
<i>Diaphus holti</i> (Tåning, 1918)	Occhio lucente minore	Myctophidae	23	13.5 – 53.0	0.06 – 2.66
<i>Electrona risso</i> (Cocco, 1829)	elettrona	Myctophidae	233	9.6 – 50.0	0.01 – 3.95
<i>Gonostoma denudatum</i> (Rafinesque, 1810)	Bocca spinosa	Gonostomatidae	65	26.5 – 131.2	0.12 – 15.90
<i>Gonychthys cocco</i> (Cocco, 1829)	Pesce lanterna nasuto	Myctophidae	16	23.5 – 47.7	0.14 – 1.17
<i>Hygophum benoiti</i> (Cocco, 1838)	Pesce lampadina	Myctophidae	288	16.0 – 58.0	0.04 – 3.37

<b>Specie</b>	<b>Nome comune</b>	<b>Famiglia</b>	<b>n</b>	<b>SL range (mm)</b>	<b>W range (g)</b>
<i>Hygophum hygomii</i> (Lütken, 1892)	Pesce lampada	Myctophidae	45	16.8 – 30.2	0.05 – 0.47
<i>Ichthyococcus ovatus</i> (Cocco, 1838)	ittiococco	Phosichthyidae	40	16.9 – 38.1	0.11 – 1.27
<i>Lampanyctus pusillus</i> (Johnson, 1890)	Pesce lanterna minore	Myctophidae	27	7.8 – 41.1	0.01 – 0.82
<i>Maurolicus muelleri</i> (Gmelin, 1789)	maurolicus	Sternoptychidae	93	12.0 – 50.0	0.02 – 2.10
<i>Microstoma microstoma</i> (Risso, 1810)	microstoma	Microstomatidae	49	18.3 – 186.3	0.03 – 27.40
<i>Myctophum punctatum</i> (Rafinesque, 1810)	Pesce lanterna puntato	Myctophidae	82	20.3 – 73.7	0.06 – 5.72
<i>Nansenia oblita</i> (Facciola, 1887)	nansenia	Microstomatidae	80	15.3 – 78.0	0.04 – 4.66
<i>Vinciguerria attenuata</i> (Cocco, 1838)	Vinciguerria sottile	Phosichthyidae	136	15.3 – 36.5	0.03 – 0.65

### 6.2.1 Morfologia otoliti

In tabella 2 sono riportate le caratteristiche più importanti della sagitta delle 16 specie di teleostei considerati. Nelle figure 13 e 14 sono riportate le foto degli otoliti.

Per la descrizione delle sagitte si è seguito il modello di Tuset (Tuset et al., 2008), di seguito vengono descritte le sagitte delle specie non presenti in tale guida:

**Microstomatidae:** regione anteriore liscia e posteriore tonda. Rostro ampio e appuntito. Margine dorsale lobato e ventrale irregolare. *Sulcus acusticus* mediano ostiale, *ostium* tubulare e *cauda* dritta.

- *Microstoma microstoma* (fig. 13B) otoliti fusiformi.
- *Nansenia oblita* (fig. 13C) otoliti fusiformi e a forma di freccia.

**Myctophidae:** otoliti discoidali con doppio picco nella regione anteriore e posteriore rotonda. Rostro corto e ampio. *Sulcus acusticus* mediano ostiale.

- *Diaphus holti* (fig. 13E) *margin*e ventrale seghettato e dorsale sinuoso. *Ostium* ad imbuto e *cauda* tondo-ovale.
- *Electrona risso* (fig. 13F) *margin*e da sinuoso a dentellato, *ostium* ovale e *cauda* tondo-ovale.
- *Hygophum benoiti* (fig. 13H), *margin*e sinuoso, *ostium* ad imbuto e *cauda* tondo-ovale.
- *Hygophum hygomii* (fig. 14A) *margin*e lobato, *ostium* ad imbuto e *cauda* tubulare leggermente curva.
- *Lampanyctus pusillus* (fig. 14B) la regione anteriore non ha doppio picco ma è approssimativamente appiattita; *margin*e intero e rostro molto corto; *ostium* rettangolare *cauda* rotonda-vale.

**Phosichthyidae:** *Ichtyococcus ovatus* (fig. 14D) otolite alto e pseudo-triangolare ed intaccato in posizione pseudo anteriore con *margin*e lobato, regione posteriore rotonda con *margin*e intero sinuoso; rostro allungato. *Sulcus acusticus* mediano pseudo ostiale, *ostium* ellittico *cauda* rotondo-ovale.

- *Vinciguerria attenuata* (fig. 14E) otoliti piriformi con regione anteriore a picco e posteriore rotonda; rostro allungato e appuntito; la sagitta ha margini irregolari, *Sulcus acusticus* mediano ostiale, *ostium* ad imbuto e *cauda* tubulare dritta.

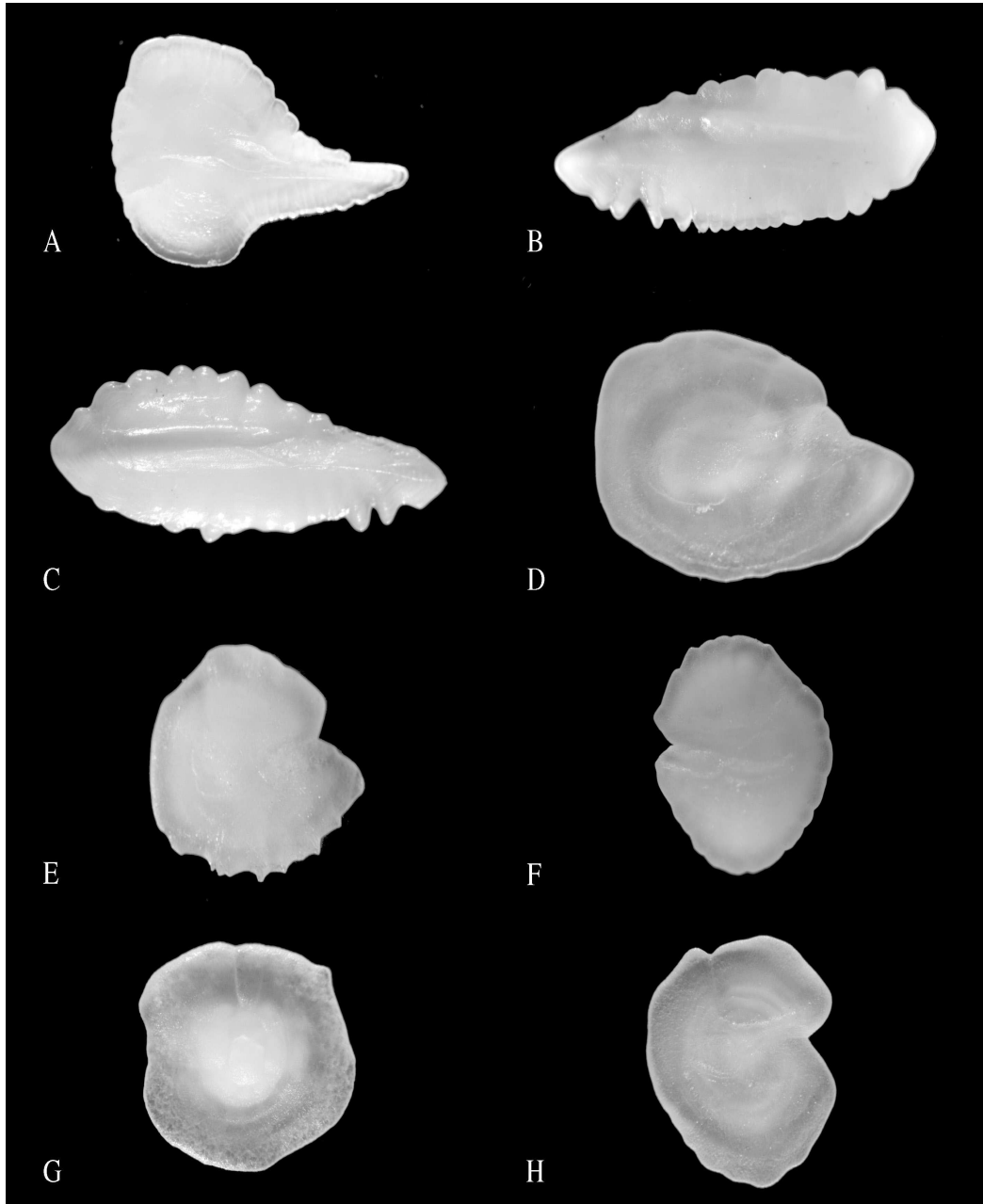


**Tabella 2 - Breve descrizione degli otoliti delle specie piaggiate.**

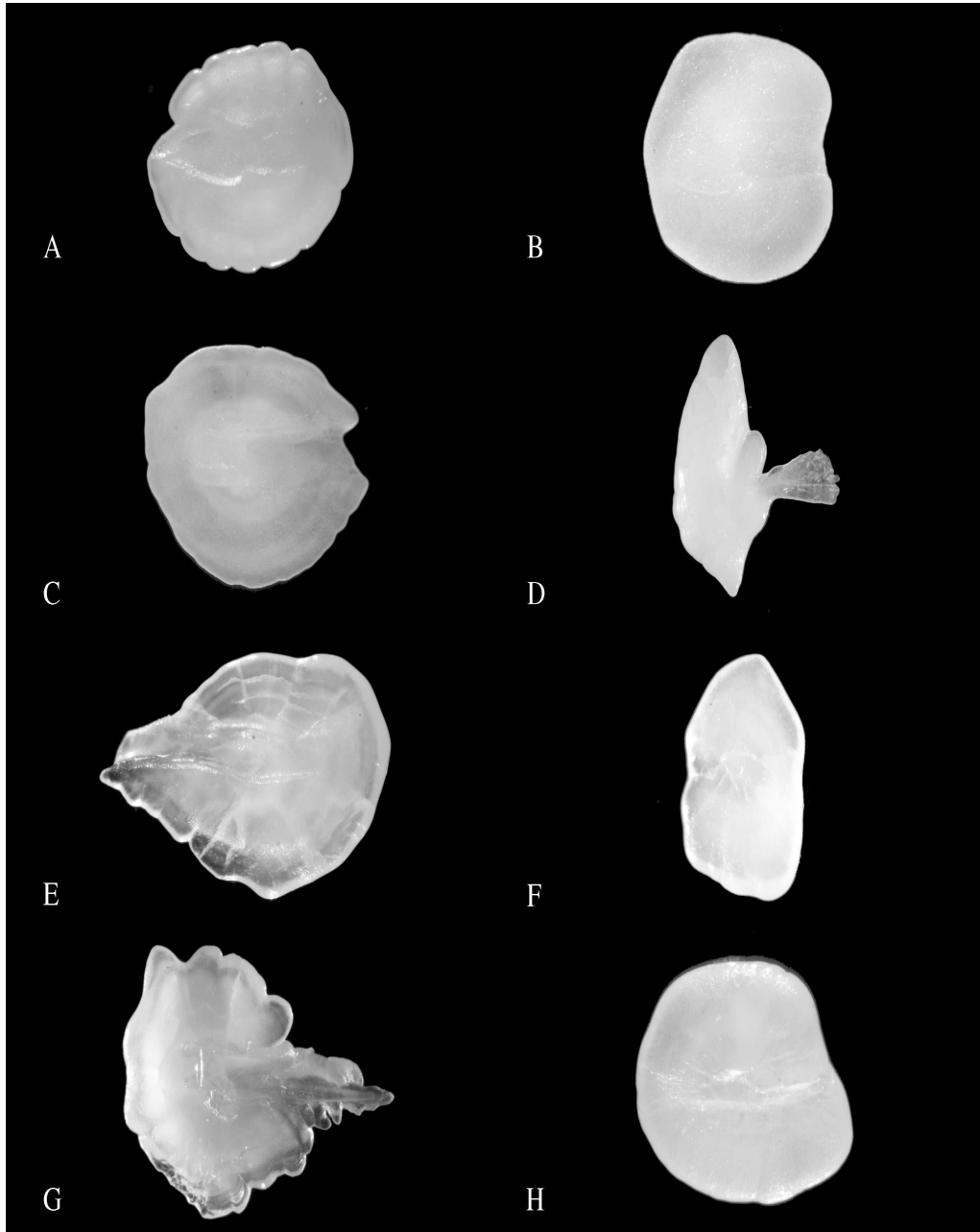
<b>Specie</b>	<b>Forma</b>	<b>Sulcus acusticus</b>	<b>Ostium</b>	<b>Cauda</b>	<b>Regione anteriore</b>	<b>Regione posteriore</b>	<b>Rostro</b>	<b>Margine dorsale e ventrale</b>
<i>Argyropelecus hemigymnus</i>	considerevol e	Ostiale, mediano.	tubulare	Tubulare leggermente dritta	Appiattita	Appiattita rotonda	Piccolo e rotondo	
<i>Ceratoscopelus maderensis</i>	Ellittico	Ostiale e mediano	Ad imbuto	Arrotondato-ovale	Appuntito	rotonda	rosto lungo e appuntito	sinuoso
<i>Chauliodus sloani</i>	Discoidale	Ostiale e mediano	ad imbuto	Tubulare dritta	rotonda	A cerchio	rostro molto corto	
<i>Diaphus holti</i>	discoidali	Mediano ed ostiale.	Ad imbuto	Rotonda-ovale	Ampio picco	rotonda	Corto ed ampio	Sinuoso e dentellato.
<i>Electrona risso</i>	discoidali	Mediano ostiale	Ad imbuto	Rotondo-ovale	Ampio a picco	Rotunda	Corto ed ampio	Da sinuosi a dentellati
<i>Gonostoma denudatum</i>	Piriforme	Ostiale e mediano	Ad imbuto	Tubular leggermente incurvata	A punta	Arrotondato o appiattito	Da piccolo a lungo	
<i>Gonychthys cocco</i>	Discoidale pentagonale	ostiale e mediano	Ad imbuto	Rotondo-ovale	rotondo	angolato	Piccolo e rotondo	
<i>Hygophum benoiti</i>	Discoidali	Mediano e ostiale	Ad imbuto	Rotondo-ovale	Ampio a picco	Rotonda	Corto ed ampio	sinuosi



<b>Specie</b>	<b>Forma</b>	<b>Sulcus acusticus</b>	<b>Ostium</b>	<b>Cauda</b>	<b>Regione anteriore</b>	<b>Regione posteriore</b>	<b>Rostro</b>	<b>Margine dorsale e ventrale</b>
<i>Hygophum hygomii</i>	Discoidale	Mediano ostiale	Ad imbuto	Tubulari leggermente curvati	Ampio a picco	Rotonda	Corto ed ampio	lobati
<i>Lampanyctus pusillus</i>	discoidale	Mediano ostiale	rettangolare	Rotondo ovale	Quasi appiattita	rotondo	Molto corto	intero
<i>Maurolicus muelleri</i>	Piriforme	Ostiale e mediano	Ad imbuto	Tubulare dritta	Appuntita	arrotondata	Lungo e appuntito	irregolari
<i>Microstoma microstoma</i>	fusiformi	Median, ostial	Tubular	Tubulare dritto	liscia	Tonda a picco	appuntito	irregolari
<i>Myctophum punctatum</i>	Discoidale	Heterosulcoide, ostiale, mediano	Tubolare	Tubolare dritta	Ampio picco	rotondo	Piccolo appuntito	sinuosi
<i>Nansenia oblita</i>	Fusiforme o sagittiforme	Mediano, ostiale	Tubolare	Tubulare dritto	liscia	Tonda a picco	Ampio e appuntito	irregolare
<i>Vinciguerria attenuata</i>	piriforme	Mediano ostiale	Ad imbuto	Tubulare dritta	A picco	rotonda	Allungato ed appuntito	irregolari



**Figura 13.** A = *Gonostoma denudatum* (SL = 118.2 mm; W = 8.10 g), otolite sinistro (OL = 4.18 mm; OW = 2.59 mm); B = *Microstoma microstoma* (SL = 146.0 mm; W = 18.09 g), otolite destro (OL = 5.37 mm; OW = 1.92 mm); C = *Nansenia oblita* (SL = 78.0 mm; W = 4.66 g), otolite sinistro (OL = 4.01 mm; OW = 1.44 mm); D = *Ceratoscopelus maderensis* (SL = 62.5 mm; W = 2.95 g), otolite sinistro (OL = 2.93 mm; OW = 1.70 mm); E = *Diaphus holti* (SL = 53.0 mm; W = 2.66 g), otolite sinistro (OL = 3.09 mm; OW = 2.93 mm); F = *Electrona risso* (SL = 48.5 mm; W = 3.37 g), otolite destro (OL = 3.29 mm; OW = 3.64 mm); G = *Gonichthys cocco* (SL = 45.5 mm; W = 1.10 g), otolite destro (OL = 1.27 mm; OW = 1.09 mm); H = *Hygophum benoiti* (SL = 51.2 mm; W = 2.40 g), otolite sinistro (OL = 1.86 mm; OW = 1.96 mm).



**Figura 14.** A = *Hygophum hygomii* (SL = 28.7 mm; W = 0.37 g), otolite destro (OL = 1.69 mm; OW = 1.48 mm); B = *Lampanyctus pusillus* (SL = 37.4 mm; W = 0.51 g), otolite sinistro (OL = 1.05 mm; OW = 1.05 mm); C = *Myctophum punctatum* (SL = 73.7 mm; W = 5.72 g), otolite sinistro (OL = 3.29 mm; OW = 2.69 mm); D = *Ichthyococcus ovatus* (SL = 35.7 mm; W = 1.06 g), otolite sinistro (OL = 3.16 mm; OW = 3.88 mm); E = *Vinciguerria attenuata* (SL = 35.8 mm; W = 0.42 g), otolite destro (OL = 1.39 mm; OW = 0.94 mm); F = *Argyropelecus hemigymnus* (SL = 34.0 mm; W = 0.87 g), otolite destro (OL = 0.60 mm; OW = 0.90 mm); G = *Maurolicus muelleri* (SL = 45.0 mm; W = 1.33 g), otolite sinistro (OL = 2.05 mm; OW = 1.61 mm); H = *Chauliodus sloani* (SL = 201.9 mm; W = 18.50 g), otolite sinistro (OL = 0.99 mm; OW = 0.89 mm).

### 6.3.0 Analisi dati otoliti

Le relazioni tra lunghezza-peso e la regressione lineare tra OL e OW dell'otolite in rapporto alla SL del pesce sono rappresentati per ogni specie in tabella 3. Delle 16 specie totali 13 hanno registrato una crescita isometrica. Le analisi statistiche (t-test) rivelano importanti differenze in soli 3 specie, indicando una crescita allometrica: *Hygophum benoiti* ( $n = 288$ ,  $df = 286$ ,  $p < 0.01$ ), *H. hygomii* ( $n = 45$ ,  $df = 43$ ,  $p < 0.001$ ), e *Vinciguerria attenuata* ( $n = 136$ ,  $df = 134$ ,  $p < 0.001$ ). Gli alti coefficienti di correlazione ( $R^2 > 0.93$ ) calcolati per la relazione SL-W sono stati ottenuti in 15 specie, ad eccezione di *Chauliodus sloani*, che ha mostrato un valore inferiore ( $R^2 = 0,833$ ). Nell'analisi dei parametri morfometrici in rapporto alla SL, si è notato che non esistono differenze notevoli tra otolite destro e sinistro determinati dalla prova del *T-test*, quindi è stata tracciata una singola regressione lineare per ogni parametro. I dati sono stati inseriti attentamente al modello di regressione per entrambi i parametri OL e OW in rapporto a SL di ogni specie, come dimostrato dall'alto valore del coefficiente di regressione. Solo in *Argyropelecus hemigymnus* si è notato un valore ( $R^2 = 0.813$ ) che è più basso rispetto agli altri.

**Tabella 3- Relazione fra peso del pesce (W g) e lunghezza standard (SL mm), lunghezza otolite (OL mm) e tra larghezza otolite (OW mm) e lunghezza standard. Sono indicate per ogni equazioni il numero di esemplari (n) e il coefficiente di determinazione ( $R^2$ ).**

			Lunghezza pesce (SL) / peso pesce (W)		Lunghezza otolite (OL)/ lunghezza pesce (SL)		Larghezza otolite (OW)/ lunghezza pesce (SL)	
Famiglia	Specie	N	Equazione	$R^2$	Equazione	$R^2$	Equazione	$R^2$
Gonostomatidae	<i>Gonostoma denudatum</i>	65	$W = 7.8E-05 SL^{2.923}$	0.961	$SL = 28.650 OL + 0.868$	0.964	$SL = 48.906 OW + 2.914$	0.967
Microstomatidae	<i>Microstoma microstoma</i>	49	$W = 1.2E-05 SL^{2.841}$	0.994	$SL = 27.816 OL - 9.621$	0.965	$SL = 81.380 OW - 8.916$	0.985
	<i>Nansenia oblita</i>	80	$W = 3.3E-05 SL^{2.729}$	0.965	$SL = 18.126 OL - 2.005$	0.948	$SL = 53.516 OW - 6.325$	0.953
Myctophidae	<i>Ceratoscopelus maderensis</i>	15	$W = 7.4E-06 SL^{3.144}$	0.996	$SL = 15.858 OL + 12.417$	0.946	$SL = 26.275 OW + 10.893$	0.944
	<i>Diaphus holti</i>	23	$W = 1.3E-05 SL^{3.102}$	0.981	$SL = 15.203 OL - 0.522$	0.953	$SL = 16.678 OW + 0.378$	0.960
	<i>Electrona risso</i>	233	$W = 1.7E-05 SL^{3.156}$	0.990	$SL = 13.438 OL + 2.181$	0.987	$SL = 12.538 OW + 1.846$	0.989
	<i>Gonychthys cocco</i>	16	$W = 7.5E-06 SL^{3.105}$	0.988	$SL = 40.193 OL - 5.554$	0.946	$SL = 49.028 OW - 8.055$	0.943
	<i>Hygophum benoiti</i>	288	$W = 5.8E-06 SL^{3.306}$	0.978	$SL = 29.128 OL - 4.550$	0.913	$SL = 26.641 OW - 3.417$	0.927

			Lunghezza pesce (SL) / peso pesce (W)		Lunghezza otolite (OL)/ lunghezza pesce (SL)		Larghezza otolite (OW)/ lunghezza pesce (SL)	
Famiglia	Specie	N	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>	Equazione	R <sup>2</sup>
Myctophidae	<i>Hygophum hygomii</i>	45	$W = 1.7E-06 SL^{3.676}$	0.962	$SL = 15.941 OL + 1.774$	0.957	$SL = 17.913 OW + 1.940$	0.919
	<i>Lampanyctus pusillus</i>	27	$W = 0.00012 SL^{2.296}$	0.935	$SL = 36.396 OL + 1.445$	0.990	$SL = 37.634 OW + 0.923$	0.992
	<i>Myctophum punctatum</i>	82	$W = 1.4E-05 SL^{2.971}$	0.963	$SL = 22.842 OL - 2.739$	0.950	$SL = 27.335 OW - 1.463$	0.944
Phosichthyidae	<i>Ichthyococcus ovatus</i>	40	$W = 1.4E-05 SL^{3.159}$	0.954	$SL = 11.813 OL - 3.048$	0.936	$SL = 9.470 OW - 0.594$	0.957
	<i>Vinciguerria attenuata</i>	136	$W = 1.4E-06 SL^{3.587}$	0.957	$SL = 2.222 OL + 4.397$	0.964	$SL = 35.026 OW + 3.036$	0.960
Sternoptychidae	<i>Argyropelecus hemigymnus</i>	138	$W = 2.0E-05 SL^{3.064}$	0.960	$SL = 70.699 OL - 5.998$	0.813	$SL = 45.985 OW - 3.172$	0.893
	<i>Maurolicus muelleri</i>	93	$W = 1.6E-05 SL^{2.946}$	0.979	$SL = 24.768 OL - 2.493$	0.978	$SL = 30.470 OW - 1.832$	0.982
Stomiidae	<i>Chauliodus sloani</i>	82	$W = 2.7E-06 SL^{2.984}$	0.833	$SL = 223.830 OL - 21.103$	0.869	$SL = 265.180 OW - 33.160$	0.920

## 7. CONCLUSIONI

---

Questo studio ha una rilevanza importante in quanto fornisce un contributo alla tassonomia di specie mesopelagiche e batipelagiche fornendo una descrizione dettagliata di strutture specie-specifiche quali gli otoliti.

Nello specifico è di rilevante importanza la descrizione strutturale e fotografica di alcuni otoliti mai descritti anche se appartenenti a specie conosciute.

A parte il carattere descrittivo, importante a livello tassonomico, il riconoscimento di tali strutture, permette di approfondire alcuni aspetti importanti di ecologia trofica considerato che nell'ambito di tale disciplina sono ancora numerosi i problemi legati alla determinazione e caratterizzazione della dieta di una specie a causa della presenza di prede in avanzato stato di decomposizione dalle quali risulta difficile stabilire la reale biomassa portando a commettere errori. Pertanto, lo scopo fondamentale dei ricercatori che studiano le abitudini alimentari dei predatori marini è quello di avere stime attendibili sulla biomassa delle prede al fine di poter descrivere la reale biomassa della popolazione delle specie predate (Clarke, 1987), i fenomeni di interazione dei predatori con altre specie (Smru, 1984; Muck & Fuentes, 1987; Thompson et al., 1991; Wickens et al., 1992; Punt e Butterworth, 1995; Woodley e Lavigne, 1995; Pierce & Santos, 1996; Smale, 1996; Piatkowski et al., 2001) al fine di descrivere le fluttuazioni della struttura globale di una comunità (Santos et al., 2001). Risulta pertanto essenziale colmare il divario di informazioni sulla morfologia degli otoliti e sviluppare equazioni specifiche utili per calcolare la misura e la massa delle prede a partire da tali strutture. Gli otoliti hanno un'importanza tassonomica rilevante per l'identificazione di diverse specie di teleostei poiché hanno una variabilità interspecifica. Anche se la classificazione delle prede è facilitata da alcuni testi di riferimento (Campana, 2004; Lombarte et al., 2006; Tuset et al., 2008), solo determinate aree geografiche sono coperte (Santos et al., 2001).

I risultati del presente studio rispondono a questa esigenza fornendo relazioni SL-W, OL-SL, OW-SL di diverse specie mesopelagiche e batipelagiche del Mediterraneo.

In confronto ad altri studi analoghi sul rapporto tra misure del pesce e della lunghezza della sagitta (Wyllie Echeverria, 1987; Gamboa, 1991; Granadeiro & Silva, 2000; Harvey et al., 2000; Waessle et al., 2003), questo lavoro fornisce informazioni aggiuntive importanti, poiché considera anche la larghezza dell'otolite (OW). In molti casi, infatti, è più appropriato calcolare entrambe le equazioni (OL-SL e OW-SL), poiché in alcune



specie la punta del rostro dell'otolite è molto fragile e può risultare danneggiata, rendendo così impossibile misurare la lunghezza della sagitta. Inoltre, in alcuni casi, il coefficiente di determinazione della regressione lineare OW-SL ha raggiunto un valore maggiore rispetto a quello della relazione OL-SL nell'ambito di una stessa specie (tabella 3).

Gli otoliti delle specie studiate non mostrano significanti differenze nella misura tra sagitta destra e sinistra, in contrasto con i risultati di Waessle et al. (2003) e Harvey et al. (2000). Tuttavia, Harvey et al. (2000) ha indicato che la dimensione limitata del campione potesse essere la causa di questa diversità.

La maggior parte delle regressioni di OL con SL pubblicate (Wyllie Echeverria, 1987; Gamboa, 1991; Harvey et al., 2000; Waessle et al., 2003) o le relazioni SL e W (Harvey et al., 2000; Valle et al., 2003; İlkyaz et al., 2008; Mata et al., 2008) riguardano specie commercialmente importanti o costiere. Pochi sono i dati disponibili per le specie batifile.

Per quel che riguarda le specie considerate in questa tesi, lo Sternoptychidae *Maurolicus muelleri* è stato molto studiato ed è stata calcolata la relazione SL-W e OL-SL per una popolazione che vive nel mar di Norvegia (Rasmussen & Giske, 1994; Salvanes & Stockley, 1996; Kristoffersen, 2007). Le relazioni SL-W per *Argyropelecus hemigymnus* e *Hygophum benoiti* da esemplari raccolti nello Stretto di Messina sono state calcolate rispettivamente da Donato et al. (1993) e Potoschi et al. (2003).

Anche se tutti i dati fittano bene con i modelli della regressione lineare (OL-SL e OW-SL) e di equazione potenziale (SL-W), è consigliabile utilizzare queste equazioni entro i range di taglia riportati in tabella 1. Infatti, gli otoliti possono rallentare l'accrescimento in lunghezza, crescendo solo in spessore alla massima dimensione del pesce (Williams & Bedford, 1974) o possono crescere seguendo un modello curvilineo negli stadi giovanili (Nishimura e Yamada, 1988). Inoltre l'accrescimento degli individui appartenenti alla stessa specie può mostrare alcune variazioni in funzione del sesso (Wyllie Echeverria, 1987), dell'area e dello stock (Campana & Casselman, 1993; Reichenbacher et al., 2009).

In particolare Linkowski (1991) descrive un cambiamento della crescita del modello dell'otolite con una dimensione della larva di 12 mm nel mictofide *Ceratoscopelus maderensis* e poi fornisce due differenti regressioni OL-SL per esemplari inferiori a 12 mm e per quelli più grandi. Poiché gli individui di *C. maderensis* raccolti in questa tesi appartengono al range di taglia 14.5–68.7 mm SL, la singola regressione lineare riportata in tabella 4 può essere considerata valida.

Nonostante l'importanza di queste specie nella dieta di top-predators, la loro biologia

ed ecologia fino ad oggi non è stata ancora ben studiata. In realtà, a causa del loro scarso valore commerciale, non sono un obiettivo dell'attività di pesca e possono essere solo campionati con campagne di pesca scientifica. L'opportunità di raccogliere esemplari spiaggiati nella zona dello Stretto di Messina ci ha permesso di approfondire alcuni importanti aspetti biologici ed ecologici su numerose specie considerate talvolta anche rare.

Grazie alle relazioni morfometriche è possibile risalire alla biomassa delle prede e a capire anche l'abbondanza nella dieta di predatori, ove risultano abbondanti ma non sempre identificati. Infatti, fino ad oggi, la mancanza di dati in quest'area non ha sempre consentito un'appropriata quantificazione della biomassa delle prede.

Per tale motivo, questo studio può contribuire a colmare alcuni aspetti non risolti in studi precedenti ove venivano riportate prede di teleostei mesopelagici e batipelagici non identificati in contenuti stomacali di tonno, pescespada, alalunga e altre specie di pesci pelagici predatori (Sinopoli et al., 2004; Romeo et al., 2009; Castriota et al., 2007; Consoli et al., 2008; Falautano et al., 2007; Mostarda et al., 2007; Karakulak et al., 2009;).

Nonostante i vantaggi forniti dal presente studio bisogna prendere in considerazione anche alcune limitazioni nell'uso della ricostruzione della biomassa da misure di otoliti. Gli otoliti sono esposti ad abrasioni chimiche e meccaniche nel tratto digestivo dei predatori (Jobling & Breiby 1986; Granadeiro & Silva, 2000; Pierce & Boyle, 1991; Pierce et al., 1993) così tali strutture possono rovinarsi e causare errori sulla stima delle dimensioni comportando una limitazione del loro uso nell'identificazioni di prede e nella stima della misura. Inoltre la resistenza di tali strutture può portare ad errori di sovrastima (Santos et al., 2001).

Anche se tale indagine offre un importante contributo agli studi di tassonomia e di ecologia trofica di molti predatori, descrivendo e fornendo immagini inedite di importanti strutture specie-specifiche e affrontando aspetti legati alle relazioni tra determinate parti anatomiche (otoliti) e la dimensione (taglia e biomassa) delle specie, i risultati di questa tesi possono avere altri campi di applicazione. Infatti, la resistenza al deterioramento della sagitta, grazie alla loro particolare struttura (calcareo), ha consentito di utilizzarli in studi paleontologici (in paleontologia, paleoecologia, paleobattimetria, paleoclimatologia, paleo biogeografia) (Nolf, 1995). Gli otoliti fossili si trovano in un ampio spettro di ambienti sedimentari e sono comuni in molti sedimenti marini. Dalla loro comparazione con collezioni di riferimento di specie attuali, molti autori hanno contribuito alla conoscenza

tassonomica della fauna antica del pianeta (es: Nolf, 1985, 1995; Girone et al., 2006).

## 8. RINGRAZIAMENTI

---

Ringrazio la Dott.ssa Teresa Romeo per l'aiuto ed i preziosi consigli durante lo svolgimento sia delle attività di ricerca sia della organizzazione della tesi; il Dott. Pietro Battaglia per lo svolgimento dell'attività di ricerca e per l'aiuto durante la stesura della tesi; la Dott.ssa Patrizia Perzia, la Dott.ssa Cristina Pedà ed il Com. Giovanni Ammendolia.

## 9. BIBLIOGRAFIA

---

ABRAMS, P.A., B.A. MENGE, G.G. MITTELBACH, D.A. SPILLER AND P. YODZIS. (1996). The role of indirect effects in food webs. In: G.A. Polis and K.O. Winemiller (eds), *Food Webs. Integration of pattern and dynamics*, pp. 371-395. New York, Chapman and Hall.

ALVERSON, F.G. (1963). The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean, *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 7: 295–396.

ANDERSON, R.O. AND R.M. NEUMANN.( 1996). Length, weight and associated structural indices. In: B.R. Murphy and D. Wills (eds.), *Fisheries Techniques*, pp. 447-481. Bethesda, American Fisheries Society.

BENOIT-BIRD K.J. AND W.W.L. AU. (2003). Echo strength and density structure of Hawaiian mesopelagic boundary community patches. *J. Acoust. Soc. Am.*, 114 (4): 1888-1897.

BERDAR, A., G. CAVALLARO, G. GIUFFRÈ AND A. POTOSCHI. (1977). Contributo alla conoscenza dei Pesci spiaggiati lungo il litorale siciliano dello Stretto di Messina. *Mem. Biol. Mar. Oceanogr.*, 7(5-6): 77-87.

BERDAR A., CAVALIERE A., CAVALLARO G., GIUFFRÉ G., POTOSCHI A. (1983) - Lo studio degli organismi marini spiaggiati nello Stretto di Messina negli ultimi due secoli. *Naturalista sici.* 4-7, (1-4), 3-17.

BERDAR A. e RICCOBONO F.(1986). Le meraviglie dello Stretto di Messina, italy:edas.

CAMPANA, S.E. AND. CASSELMAN. J.M (1993). Stock discrimination using otolith shape analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50: 1062-1083.

CAMPANA, S.E ( 2004). *Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean*, pp. 284. Ottawa, Ontario: NRC Research Press.

CASTRIOTA, L., C. PIPITONE, S. CAMPAGNUOLO, M. ROMANELLI, A. POTOSCHI E F. ANDALORO. (2007). Diet of *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) associated with FADs in the Ionian and Southern Tyrrhenian Seas. *Cybium*, 31: 435-441.

CASTRIOTA, L., FINOLA, G.F., CAMPAGNUOLO, S., ROMEO, T., POTOSCHI, A. & ANDALORO, F. (2008). Diet of *Tetrapturus belone* (Istiophoridae) in the central Mediterranean Sea. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, 88(1): 183-187.

CLARKE E M.R., (1987). Cephalopod biomass—estimation from predation. In: Boyle, P.R. (Ed.), *Cephalopod Life Cycles: Comparative Reviews, Vol. 2 Academic Press, London*, pp. 221-238.

CONSOLI, P., T. ROMEO, P. BATTAGLIA, L. CASTRIOTA, V. ESPOSITO AND F. ANDALORO. (2008). Feeding habits of the albacore tuna *Thunnus alalunga* (Perciformes, Scombridae) from central Mediterranean Sea. *Mar. Biol.*, 155: 113-120.

COSTA F. *Atlante dei pesci dei mari italiani* Mursia, (1991)

DE DOMENICO E. (1987) Caratteristiche fisiche e chimiche delle acque nello Stretto di Messina. in: *Le Detroit de Messine, Evolution Tectono-Sedimentaire Recente (Pliocene et Quaternaire) et Environment Actuel*; Di Geronimo, Barrier, Mantenat (ed.s), Paris, *DOC. ET TRAV. IGAL*, 11: 225-235.

DEFANT A. (1940) Scilla e Cariddi e le correnti di marea nello Stretto di Messina. *Geofis. Pura Appl.*, 2: 93-112.

DINGLE, H. (1996). Migration. The biology of life on the move. *Oxford University Press, Oxford*.

DOLAR, M.L.L., W.A. WALKER, G.L. KOOYMAN AND W.F. PERRIN. (2003). Comparative feeding ecology of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) and Fraser's

- dolphins (*Lagenodelphis hosei*) in the Sulu Sea. *Mar. Mamm. Sci.*, 19: 1-19.
- DONATO, A., E. PIZZUL, L. SALPIETRO, M. SPECCHI AND G. VALLI. – (1993). Osservazioni sulla biologia di *Argyropelecus hemigymnus* Cocco (1829) (Osteichthyes, Sternoptychidae). *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina*, 21: 497-505.
- DUFFY, D.C. AND L.J.B. LAURENSEN. (1983). Pellets of cape cormorants as indicators of diet. *Condor* 85: 305-307.
- DUFFY D.C. & S. JACKSON, (1986). Diet studies of seabirds: A review of methods. *Colon. Waterbirds*, 9: 1-17.
- FALAUTANO, M., L. CASTRIOTA, M.G. FINOIA AND F. ANDALORO. ( 2007). Feeding ecology of little tunny *Euthynnus alletteratus* in the central Mediterranean Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 87: 999-1005.
- GAMBOA, D.A. (1991). Otolith Size versus Weight and Body-Length Relationships for Eleven Fish Species of Baja California, Mexico. *Fish. Bull. U.S.*, 89: 701-706.
- GENOVESE, S., A. BERDAR AND L. GUGLIELMO. (1971). Spiaggiamenti di fauna abissale nello Stretto di Messina. *Atti Soc. Pelor. Sci.*, 17: 331-370.
- GIRONE, A., D. NOLF AND H. CAPPETTA. (2006). Pleistocene fish otoliths from the Mediterranean Basin: *a synthesis*. *Geobios*, 39: 651-671.
- GJØSAETER, J. AND K. KAWAGUCHI. (1980). A review of the world resources of mesopelagic fish. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 193, FIRM/ TI93, pp. 151.
- GRANADEIRO, J.P. AND M.A. SILVA. (2000). The use of otoliths and vertebrae in the identification and size-estimation of fish in predator-prey studies. *Cybiu*, 24: 383-393.
- HARDEN JONES, F.R. (1968). *Fish Migration*. St Martin's Press, New York.
- HARVEY J.T., (1989). Assessment of errors associated with harbour seal (*Phoca vitulina*)



faecal sampling. *Journal of Zoology, London*, 219:101-111.

HARVEY, J.T., T.R. LOUGHLIN, M.A. PEREZ AND D.S. OXMAN. – (2000). Relationship between fish size and otolith length for 63 species of fishes from the eastern north Pacific Ocean. *NOAA Tech. Rep. NMFS*, 150, pp. 35.

HARKONEN T.J., (1986). Guide to the Otoliths of the bony Fishes of the Northeastern Atlantic. 256!p. Hellerup: Danbiu ApS.

HASSANI, S., L. ANTOINE AND V. RIDOUX. (1997). Diets of albacore, *Thunnus alalunga*, and dolphins, *Delphinus delphis* and *Stenella coerulaeoalba*, caught in the northeast Atlantic albacore drift-net fishery: A progress report. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.*, 22: 119-123.

HERRING P., (2002). The biology of the deep ocean.eds:Crawley M.J., Little C., Southwood T.R.E. e Ulfstand S., Oxford University Press, pp. 314.

JOBLING, M. AND A. BREIBY (1986). The use and abuse of fish otoliths in studies of feeding habits of marine piscivores. *Sarsia*, 71: 265-274.

JOHNSTONE, I.G., M.P. HARRIS, S. WANLESS AND J.A. GRAVES. – (1990). The usefulness of pellets for assessing the diet of adult shags *Phalacrocorax aristotelis*. *Bird Study*, 37: 5-11.

KARAKULAK, F.S., SALMAN, A. & ORAY, I.K. (2009). Diet composition of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L. 1758) in the eastern Mediterranean sea, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(6): 757-761.

KINZER J. E SCHULZ K. (1988). Vertical distribution and feeding patterns of midwater fish in the central equatorial Atlantic. II. Sternoptychidae. *Marine Biology*, 99: 261-269.

KRISTOFFERSEN, J.B. (2007). Growth rate and relative otolith size in populations of adult Müller's pearlside *Maurolicus muelleri*. *J. Fish Biol.*, 71: 1317-1330.

İLKYAZ, A.T., G. METIN, O. SOYKAN AND H.T. KINACIGIL. (2008). Length–weight relationship of 62 fish species from the central Aegean Sea, Turkey. *J. Appl. Ichthyol.*, 24: 699-702.

LAM, V. AND D. PAULY. (2005). Mapping the global biomass of mesopelagic fishes. Sea Around Us Project Newsletter July/August 30: 4.

LEBOURGES-DHAUSSY, A., E. MARCHAL, C. MENKÈS, G. CHAMPALBERT AND B. BIESSY. (2000). *Vinciguerria nimbaria* (micronekton), environment and tuna: their relationships in the Eastern Tropical Atlantic. *Oceanol. Acta*, 23: 515-528.

LINKOWSKI, T.B. (1991). Otolith microstructure and growth patterns during the early life history of lanternfishes (family Myctophidae). *Can. J. Zool.*, 69: 1777-1792.

LINKOWSKI T.B. (1996). Lunar rhythms of vertical migrations encoded in otholit microstructure of North Atlantic lanternfishes, genus *Hygophum* (Myctophidae). *Marine Biology* 124:495-508

LOMBARTE, A., Ò. CHIC, V. PARISI-BARADAD, R. OLIVELLA, J. PIERA AND E. GARCÍA-LADONA. (2006). A web-based environment from shape analysis of fish otoliths. The AFORO database (<http://www.cmima.csic.es/aforo/>). *Sci. Mar.*, 70: 147-152.

MANN, K.H. (1984). Fish production in open ocean systems. In: M.J.R. Fasham (ed.), *Flows of energy and materials in marine ecosystems. Theory and practice*, pp. 435-458. New York, Plenum Press.

MARABELLO, F., L. GUGLIELMO, A. GRANATA AND O. SIDOTI. (1996). Studi preliminari sulle abitudini alimentari di *Todarodes sagittatus* (Cephalopoda) nel Tirreno meridionale. In: G. Albertelli, A. De Maio and M. Piccazzo (eds.), *Atti 11° Congresso AIOL (Ass. It. Oceanol. Limnol.)*, pp. 271-278. Genova, Italy.

MARSHALL, N.B. (1960). Swimbladder structure of deep-sea fishes in relation to their systematics and biology. *Disc. Rep.*, 31: 3-122.

MATA, A.J., J. MORALES AND L. MÁRQUEZ. (2008). Weight-length relationships for 26 demersal fish species of the Spanish South-Atlantic coastal waters. *J. Appl. Ichthyol.*, 24: 330-333.

MAZZARELLI, G. (1909). Gli animali abissali e le correnti sottomarine dello Stretto di Messina. *Riv. Mens. Pesca Idrobiol.*, 11: 177-218.

MAZZARELLI G.(1936). Vortici ed altri fenomeni delle acque dello Stretto di Messina-*mem. Biol.mar.oceanog.*, 4:1-12.

MCCLEAVE, J.D., ARNOLD, G.P., DODSON, J.J, NEILL, W.H. (1982). Mechanism of migration in Fishes. *Plenum Press*, New York.

MORROW, J. E. (1979). Preliminary keys to otoliths of some adult fishes of the Gulf of Alaska, Bering Sea, and Beaufort Sea. U.S. Dep. Commer., *NOAA Tech. Rep. NMFS Circ.* 420, 32 p.

MOSTARDA, E., D. CAMPO, L. CASTRIOTA, V. ESPOSITO, M.P. SCARABELLO AND F. ANDALORO., (2007). Feeding habits of the bullet tuna *Auxis rochei* in the southern Tyrrhenian Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 87: 1007-1012.

MOTEKI, M., M. ARAI, K. TSUCHIYA AND H. OKAMOTO. (2001). Composition of piscine prey in the diet of large pelagic fish in the eastern tropical Pacific Ocean. *Fish. Sci.*, 67: 1063-1074.

MUCK, P., AND FUENTES, H., (1987). Sea lion and fur seal predation on the Peruvian anchoveta, 1953-1982. In: Pauly D., Tsukayamaeds I. (Eds.), *The Peruvian Anchoveta and its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change. ICLARM Studies and Reviews.* Callao, Peru, pp. 234-247.

NISHIMURA, A AND J. YAMADA. (1988). Geographical differences in early growth of walleye Pollock *Theragra chalcogramma*, estimated by back-calculation of otolith daily growth increments. *Mar. Biol.*, 97: 459-465.

NOLF D., (1985). Handbook of Paleoichthyology. Vol. 10. Otolithi piscium. 141!p. Stuttgart: Springer Verlag.

NOLF, D. (1995). Studies on fossil otoliths — the state of the art. In: D.H. Secor, J.M. Dean and S.E.

OHIZUMI, H., T. KURAMOCHI, T. KUBODERA, M. YOSHIOKA AND N. MIYAZAKI.B (2003). Feeding habits of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) in the subarctic North Pacific and the Bering Sea basin and the impact of predation on mesopelagic micronekton. Deep-Sea Res. I, 50: 593-610.

ORSI RELINI, L., GARIBALDI, F., PALANDRI, G., CIMA, C., (1994). La comunità mesopelagica e i predatori “di superficie”. *Biologia Marina Mediterranea*, 1(1):105-112.

PARTRIDGE, L. (1978). Habitat selection. In: *Behavioural Ecology* (Eds Krebs, J.R., Davis, N.B.), Oxford : 351-376. Blackwell.

PAULY, D., A.W. TRITES, E. CAPULI AND V. CHRISTENSEN. (1998). Diet composition and trophic levels of marine mammals. ICES J. Mar. Sci., 55: 467-481.

PERES J.M. & PICARD J. (1964) - *Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Recl. Trav. Stn. mar. Endoume*, 47 ( 31): 1-37.

PIATKOWSKI, U., PIERCE, G.J., MORAIS, DA CUNHA, M., (2001). Impacts of cephalopods in the food chain and their interaction with the environment and fisheries: an overview. *Fisheries Research*. 52:5-10.

PIERCE, G.J. AND P.R. BOYLE. (1991). A review of methods for diet analysis in piscivorous marine mammals. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* (London), 29: 409-486

PIERCE, G.J., P.R. BOYLE AND J.S.W. DIACK. (1991). Identification of fish otoliths and bones in faeces and digestive tracks of seals. *J. Zool.* (London), 224: 320-328.

PIERCE G.J., BOYLE P.R., WATT J. & M. GRISLEY, (1993). Recent advances in diet analysis of marine mammals. Symp. Zool. Soc., 66: 214-261.

PIERCE, G.J., SANTOS, M.B., (1996). Trophic interactions of squid *Loligo forbesi* in Scottish waters. In: Greenstreet s.p.r., Tasker M.L. (Eds.), Aquatic Predators and their Prey: *Fishing News Books*, Oxford, pp. 58-64.

PRIME J.H. & P.S. HAMMOND, (1990). The diet of grey seals from the south-western North Sea assessed from analyses of hard parts in faeces. *J. Appl. Ecol.*, 27: 435-447.

POTOSCHI, A., P. BATTAGLIA, G. ROSSI AND M. TRISCARI. (2003). Studio sulla crescita e su alcuni aspetti biologici di *Hygophum benoiti* (Cocco, 1838), Pisces, Myctophidae. *Biol. Mar. Medit.*, 10: 127-137.

PUNT, A.E., BUTTERWOORTH, D.S., (1995). The effects of future consumption by the Cape Fur seal on catch rates of the Cape hakes. 4. Modelling the biological interactions between Cape Fur seal *Arctocephalus pusillus* and the Cape hakes. *Merluccius capensis* and *M. paradoxus*. *South African Journal of Marine Science*, 16:255-285.

RASMUSSEN, O.I. AND J. GISKE. – 1994. Life-history parameters and vertical distribution of *Maurolicus muelleri* in Masfjorden in summer. *Mar. Biol.*, 120: 649-664.

RECCHIA C.A. & A.J. READ, (1989). Stomach contents of harbour porpoises, *Phocoena phocoena* (L.), from the Bay of Fundy. *Can. J. Zool.*, 67: 2140-2146.

REICHENBACHER, B., E. KAMRANI, H.R. ESMAEILI AND A. TEIMORI. – 2009. The endangered cyprinodont *Aphanius ginaonis* (Holly, 1929) from southern Iran is a valid species: evidence from otolith morphology. *Environ. Biol. Fish.*, in press.

RODHOUSE, P. G. & NIGMATULLIN, C. M. (1996). Role as consumers. *Phil. Trans. R. Soc. B* 351, 1003–1022.

ROMEO, T., CONSOLI, P., CASTRIOTA, L. & ANDALORO, F., (2009). An evaluation of resource portioning between two billfish, *Tetrapturus belone* and *Xiphias gladius*, in the

central Mediterranean Sea. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom*, 89(4): 849-857.

SALVANES, A.G.V. AND B.M. STOCKLEY. – 1996. Spatial variation of growth and gonadal developments of *Maurolicus muelleri* in the Norwegian Sea and in a Norwegian fjord. *Mar. Biol.*, 126: 321-332.

SALVANES, A.G.V. AND J.B. KRISTOFFERSEN. (2001). Mesopelagic fishes. In: J.H. Steele, S.A. Thorpe and K.K. Turekian (eds.), *Encyclopedia of ocean sciences*, 3, pp. 1711-1717. Academic Press.

SANTOS, M.B., CLARKE, M.R., PIERCE, G.J., (2001). Assessing the importance of cephalopods in the diets of marine mammals and other top predators: problems and solution. *Fisheries Research*, 52:121-139.

SINOPOLI, M., C. PIPITONE, S. CAMPAGNUOLO, D. CAMPO, L. CASTRIOTA, E. MOSTARDA and F. ANDALORO. – 2004. Diet of young-of-the-year bluefin tuna, *Thunnus thynnus* (Linnaeus, 1758), in the southern Tyrrhenian (Mediterranean) Sea. *J. Appl. Ichthyol.*, 20: 310-313.

SMALE, M. J., G. WATSON, and T. HECHT. (1995). Otolith atlas of southern African marine fishes. *Ichthyol. Monogr. J.L.B. Smith Inst. Ichthyology* 1:1–253.

SMALE M.J., (1996). Cephalopods as prey. IV. Fishes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351:1083-1104.

SMRU, (1984). Interaction between Grey Seals and UK fisheries. A Report on Research conducted for the Department of Agriculture and Fisheries Scotland by Natural Environment Research Council's Sea Mammal Research Unit, 1980-1983. *SMRU, NERC, Cambridge*, 241 pp.

SNEDECOR, G.W. and W.G. COCHRAN. (1967). *Statistical Methods*, 6th edn., pp. 593. Ames, Iowa, USA, *The Iowa State Univ. Press*.

SPALLETTA B., MENTO G., COSTA F., AMMENDOLIA G., GIORDANO D.,

CAPECCHI D., BERDAR A., (1995). Importanza dello spiaggiamento nella raccolta di specie ittiche rare ed endemiche nello Stretto di Messina (cenni di parassitologia). Riv. Parassit. Vol. XII (LVI)-n.2- p 279-297

SPRINGER, A.M., J.F. PIATT, V.P. SHUNTOV, G.B. VAN VLIET, V.L. VLADAMIROVE, A.E. KUZIN and A.S. PERLOV. (1999). Marine birds and mammals of the Pacific Subarctic Gyres. *Progr. Oceanogr.*, 43: 443-487.

THOMPSON, P.M., PIERCE, G.J., HISLOP, J.R.G., MILLER, D., DIACK, J.S.W., (1991). Winter foraging by common seals (*Phoca vitulina*) in relation to food availability in the inner Moray Firth, NE Scotland. *Journal of Animal Ecology*, 60:283-294.

TOLLIT D.J., STEWARD P.M., THOMPSON P.M., PIERCE G.J., SANTOS M.B. & S. HUGHES, (1997). Species and size differences in the digestion of otoliths and beaks: Implications for estimates of pinniped diet composition. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54: 105-119.

TORTONESE, E. (1970). Osteichthyes (Pesci ossei). Parte prima. In: Calderini (ed.), Fauna d'Italia, X, pp. 565. Bologna.

TUSET, V.M., A. LOMBARTE and C.A. ASSIS. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Sci. Mar.*, 72S1: 7-198.

VALLE, C., J.T. BAYLE and A.A. RAMOS. – 2003. Weight-length relationships for selected fish species of the western Mediterranean Sea. *J. Appl. Ichthyol.*, 19: 261-262.

VERCELLI F. (1925) Crociere per lo studio dei fenomeni dello Stretto di Messina. Il regime delle correnti e delle maree nello Stretto di Messina. *Commissione Internazionale del Mediterraneo, Off. Grafiche Ferrari, Venezia*, 209 pp.

WAESSLER, J.A., C.A. LASTA and M. BAVERO. (2003). Otolith morphology and body size relationships for juvenile Sciaenidae in the Río de la Plata estuary (35-36°S). *Sci. Mar.*, 67: 233-240.



WATANABE, H., T. KUBODERA, T. ICHII and S. KAWAHARA. (2004). Feeding habits of neon flying squid *Ommastraphes bartramii* in the transitional region of the central North Pacific. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 266: 173-184.

WHITEHEAD, P.J.P., M.L. BAUCHOT, J.C. HUREAU, J. NIELSEN AND E. TORTONESE (eds.). (1984-1986). Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean. *UNESCO, Paris*.

WICKENS, P.A., SHELTON, P.A., DAVID, J.H.M., FIELD, J.G., OOSTHUIZEN, W.H., ROUX, J.-P., STARFIELD, A.M., (1992). A fur seal simulation model to explore alternative management strategies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49:1396-1405.

WILLIAMS, T. AND B.C. BEDFORD. – 1974. The use of otoliths for age determination. In: T.B. Bagenal (ed.), *The ageing of fish*, pp. 114-123. Surrey, England, Unwin Brothers.

WOODLEY, T.H. AND LAVIGNE, D.M., (1995). Will killing more seals help bring back the fish? IMMA Technical Reports 95(1):1-31.

WYLLIE ECHEVERRIA, T. (1987). Relationship of otolith length to total length in rockfishes from northern and central California. *Fish. Bull.*, 85: 383-387.