

Università Ca' Foscari Venezia

Dottorato di ricerca in Scienze Ambientali, 21° ciclo  
(A. A. 2005/2006 – A.A. 2007/2008)

**ACCRESIMENTO E COMPOSIZIONE DELLE LARVE DI ACCIUGA  
(*ENGRAULIS ENCRASICOLUS*) IN ZONE A DIVERSE CONDIZIONI  
IDROLOGICHE DEL CANALE DI SICILIA**

SETTORE SCIENTIFICO-DISCIPLINARE DI AFFERENZA: BIO/07

Tesi di dottorato di ANTONELLA DI NIERI, 955180

Coordinatore del dottorato  
Prof. BRUNO PAVONI

Tutore del dottorando  
Prof. FABIO PRANOVI

Co-tutor  
Prof. Bernardo Patti

*A Salvo*

La più grande risorsa dell'oceano non è la sostanza, ma  
l'immensa fonte di ispirazione e di benessere che ne ricaviamo

Jacques-Yves Cousteau (1910-1997)

# Indice

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPITOLO I: L'ENGRAULIS ENCRASICOLUS</b> .....	<b>8</b>
I.1. BIOLOGIA ED ECOLOGIA .....	8
<i>I.1.1. FALLIMENTO DEL RECLUTAMENTO.</i> .....	9
<i>I.1.2. ECCESSIVO SFRUTTAMENTO DELLA RISORSA</i> .....	9
<i>I.1.3. CAMBIAMENTI CLIMATICI</i> .....	10
<i>I.1.4. CAMBIAMENTI NEL COMPORTAMENTO</i> .....	10
<i>I.1.5. DISPONIBILITÀ DI CIBO</i> .....	11
<i>I.1.6. INFLUENZA DELLA TEMPERATURA</i> .....	11
I.2. MORFOLOGIA .....	12
I.3. IL CICLO VITALE .....	14
<i>I.3.1. SVILUPPO LARVALE</i> .....	14
<i>I.3.2. LA CRESCITA</i> .....	14
<i>I.3.3. FEEDING.</i> .....	15
<i>I.3.4. LA RIPRODUZIONE.</i> .....	15
<i>I.3.5. LA MORTALITÀ.</i> .....	16
<b>CAPITOLO II: AREA DI STUDIO</b> .....	<b>17</b>
II.1 IL MEDITERRANEO .....	17
II.2 LA CIRCOLAZIONE NEL MAR MEDITERRANEO .....	18
<i>II.2.1. CIRCOLAZIONE SUPERFICIALE</i> .....	19
<i>II.2.2. CIRCOLAZIONE INTERMEDIA</i> .....	20
<i>II.2.3. CIRCOLAZIONE PROFONDA</i> .....	21
II.3 LA CIRCOLAZIONE NEL CANALE DI SICILIA .....	23
II.4 LE CAMPAGNE DI ACQUISIZIONE DATI NEL CANALE DI SICILIA .....	26
<i>II.4.1. GLI STRUMENTI DI CAMPIONAMENTO</i> .....	27
<i>II.4.2. I PIANI DI CAMPIONAMENTO 2004-2006-2007</i> .....	31
<b>CAPITOLO III: ACCRESCIMENTO LARVALE GIORNALIERO E RELAZIONI CON LE VARIABILI OCEANOGRAFICHE</b> .....	<b>36</b>
III.1 INTRODUZIONE .....	36
III.2 MATERIALI E METODI .....	37
<i>III.2.1. MISURAZIONE DELLE LARVE</i> .....	38
<i>III.2.2. ESTRAZIONE DEGLI OTOLITI</i> .....	38

<i>III.2.3. LETTURE ED ANALISI DEI MICROINCREMENTI GIORNALIERI</i> .....	39
<i>III.2.4. MODELLO DI CRESCITA</i> .....	39
<i>III.2.5. ANALISI E RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE</i> .....	40
III.3 RISULTATI .....	41
III.4 DISCUSSIONE.....	56
<b>CAPITOLO IV: ANALISI COMPARATIVA DELLE COMPONENTI BIOCHIMICHE DI LARVE DI ENGRAULIS ENCRASICOLUS NEL CANALE DI SICILIA E NELLA PIATTAFORMA LIBICA ....</b>	<b>67</b>
IV.1 INTRODUZIONE.....	67
IV.2 MATERIALI E METODI.....	69
IV.3 RISULTATI.....	71
IV.4 DISCUSSIONE.....	76
<b>DISCUSSIONE E CONCLUSIONI .....</b>	<b>81</b>
BIBLIOGRAFIA .....	83
RINGRAZIAMENTI.....	98
ABSTRACT .....	99

## INTRODUZIONE

Nell'ultimo decennio diversi paesi del Mediterraneo, sotto la spinta dei risultati ottenuti da grandi progetti di ricerca in Mediterraneo e in oceano Atlantico, hanno realmente preso coscienza del fatto che le risorse marine oggetto di pesca devono essere sottoposte ad uno "sfruttamento razionale". In tale contesto sono nati diversi programmi di cooperazione internazionale (CopeMed, AdriaMed, MedSudMed, ecc.) che hanno promosso attività di ricerca multidisciplinari mirate ad una maggiore comprensione del funzionamento degli ecosistemi al fine di favorire la sostenibilità dello sfruttamento delle risorse ittiche. Se da un lato la conoscenza di base dell'ambiente marino ha fatto grandi progressi dal punto di vista fisico, chimico, biologico e geologico, dall'altro la capacità di previsione delle risposte dell'ecosistema marino all'azione combinata della pesca e delle variazioni climatiche è ancora decisamente rudimentale.

Le popolazioni di piccoli pelagici, ed in particolare l'acciuga (*Engraulis encrasicolus* – Linnaeus, 1758) e la sardina (*Sardina pilchardus* – Walbaum, 1972), rappresentano delle importanti risorse economiche per l'intero territorio Italiano giacché su di esse poggia un vasto settore delle attività di pesca e trasformazione. Tali risorse sono soggette ad ampie fluttuazioni interannuali nell'abbondanza, che rendono complessa la gestione sostenibile della risorsa, salvo adottare un approccio ecosistemico in grado di tenere conto della variabilità ambientale nel medio e nel lungo periodo. Le oscillazioni sono principalmente dovute all'effetto combinato dell'estrema variabilità delle condizioni ambientali propria dell'ecosistema pelagico e della complessità biologica del ciclo di vita di tali specie (Dulvy *et al.*, 2003; Pauly *et al.*, 2005).

Diverse marinerie nel mondo sono in grado di sostenersi esclusivamente sfruttando queste specie; e questo avviene non a causa di un alto prezzo di vendita all'ingrosso, ma soprattutto per le notevoli quantità sbarcate (Mazzola *et al.*, 2002).

Dal punto di vista ecologico, le acciughe e le sardine sono specie ittiche fondamentali degli ecosistemi marini proprio in relazione alla loro significativa biomassa presente a livelli intermedi della catena alimentare; esse, infatti, giocano un ruolo importante nel canalizzare l'energia dalla produzione planctonica ai predatori di ordine superiore (Bakun, 1996).

Il presente lavoro di tesi ha concentrato l'attenzione sugli stadi larvali dell'acciuga campionati nel Canale di Sicilia (Mediterraneo Centrale). Per tale specie Vasconcellos e

Castello (1996) hanno ipotizzato che la sopravvivenza dei primi stadi di vita sia collegata ad un insieme di fattori biotici ed abiotici interdipendenti come la starvazione (dove il successo della sopravvivenza è dipendente dalla disponibilità di cibo), la predazione (cioè l'interazione antagonista in cui un organismo predatore usa come fonte di cibo un altro organismo preda) e l'avvezione (l'influenza delle correnti sulla distribuzione delle larve e del loro cibo).

Bakun e Parrish (1982) hanno suggerito quattro categorie di fattori fisici che influenzano la sopravvivenza delle larve: processi relativi alla stabilità della colonna d'acqua; processi di trasporto orizzontali, processi di convergenza e divergenza, e la temperatura. Di conseguenza, poiché la crescita larvale è principalmente controllata dall'ambiente, i primi stadi di vita sono fortemente influenzati dalle condizioni oceanografiche (Castello L., e Castello J.P., 2003). In effetti, il successo del reclutamento delle specie di *Engraulis* è generalmente controllato dall'arricchimento dei nutrienti, dalla ritenzione di uova e larve vicino le zone costiere di nursery e dalla turbolenza delle acque (Bakun e Parrish, 1991; Borja *et al.*, 1998). Inoltre, diversi autori, primo tra tutti Dulčić (1997), sostengono che la disponibilità di cibo e la temperatura sono probabilmente i fattori più importanti che influenzano la crescita dell'acciuga.

Il Canale di Sicilia collega i due principali bacini del Mar Mediterraneo ed è una delle aree in cui alcuni processi fisici si combinano dando luogo ad un habitat riproduttivo favorevole per l'acciuga (Agostini e Bakun, 2002). Garcia Lafuente *et al.* (2002) hanno proposto un modello che descrive quei fenomeni idrografici che interessano le uova e le larve delle acciughe nel Canale di Sicilia durante la stagione riproduttiva. Dati *in situ* hanno permesso di evidenziare che l'acqua superficiale di origine atlantica (Modified Atlantic Water, MAW), il cui flusso maggiore nella parte nord del Canale di Sicilia prende il nome di Atlantic Ionian Stream (AIS), entrando dallo stretto di Gibilterra segue un percorso che, generalmente, lambisce le coste meridionali della Sicilia, e determina importanti fenomeni idrografici (upwelling, strutture frontali, cicloni etc.), che influenzano i parametri chimico-fisici dell'acqua (Lermusiaux, 1998; Robinson *et al.*, 1999). Inoltre, l'AIS, influenzando la colonna d'acqua, svolge anche una chiara azione sulla strategia riproduttiva di molte specie ittiche, principalmente degli Engraulidae (García Lafuente *et al.*, 2002), e sulla sopravvivenza dei loro primi stadi di vita (Mazzola *et al.*, 2000). E' ipotizzabile infatti che il meccanismo di trasporto dalle aree di deposizione verso il limite meridionale dell'area,

già evidenziato per le uova e larve di acciuga (García Lafuente *et al.*, 2002), sia estendibile anche ad altre specie ittiche.

Studi condotti sulla microstruttura degli otoliti larvali possono fornire spunti preziosi sulla variabilità dell'accrescimento giornaliero e, di conseguenza, sul tasso di crescita sia a livello individuale che di popolazione. Diversi studi hanno dimostrato che la microstruttura degli otoliti è sensibile ai cambiamenti ambientali e alle transizioni ontogenetiche durante le prime fasi di sviluppo. In generale, l'otolite può essere utilizzato come una sorta di "scatola nera" utile per studiare la dinamica della crescita delle larve, ed è considerato importante per riflettere su eventi passati nel corso della loro vita (Ré, 1986.)

Per analizzare la crescita larvale attraverso la lettura degli anelli è stata utilizzata l'equazione di Gompertz che permette di descrivere la crescita larvale nell'intervallo di lunghezze campionate.

Un'altra indagine che permette di valutare le condizioni larvali è quella di misurare i contenuti biochimici delle larve. Lo stato nutrizionale ha una chiara relazione tra la crescita e la potenziale sopravvivenza in quanto la quantità di energia endogena metabolicamente disponibile stabilisce la durata della sopravvivenza in un ambiente adeguato al cibo esogeno che diventa disponibile (Fraser *et al.*, 1988; Håkanson, 1989, 1993; Lochman *et al.*, 1995).

I trigliceridi, principale fonte di energia nei pesci, rispondono rapidamente alle variazioni di alimentazione e sono considerati una variabile critica in una misura della condizione (Fraser *et al.*, 1988; Håkanson, 1989). I lipidi polari sono, componenti della membrana delle cellule, possono essere catabolizzate anche come fonte di energia durante il digiuno (Molony, 1993). Per cui sia i trigliceridi che i lipidi polari sono legati alla probabilità di sopravvivenza della larva (Håkanson, 1993; Lochmann *et al.*, 1995).

Il presente lavoro di tesi si inserisce all'interno del contesto sopra descritto e si accosta agli obiettivi del progetto FAO MedSudMed "Assessment and Monitoring of the Fishery Resources and the Ecosystems in the Strait of Sicily", che vuole tentare di estendere l'approccio multidisciplinare ed ecosistemico allo studio di alcune specie di piccoli pelagici nelle acque dei quattro Paesi (Italia, Malta, Tunisia e Libia) che si affacciano nel Canale di Sicilia.

Il lavoro di ricerca è stato svolto presso l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero CNR di Mazara del Vallo, e ha analizzato il contesto del Canale di Sicilia.



Attualmente, non è disponibile una descrizione dettagliata della dinamica delle masse d'acqua nell'area sud del Canale di Sicilia, in corrispondenza dei mari Libici e Tunisini. L'importanza di acquisire maggiori informazioni sulle caratteristiche fisico-chimiche (temperatura, salinità, etc..) di questi luoghi risiede nel fatto che alcuni di essi potrebbero rappresentare delle aree di ritenzione in cui larve di specie differenti, trasportate dalle correnti di superficie, possono trovare condizioni ambientali favorevoli al loro sviluppo. Per queste ragioni, negli ultimi anni, sono stati dedicati sforzi sempre maggiori allo studio delle relazioni che intercorrono tra la biologia di alcune specie e i processi oceanografici del Canale di Sicilia.

In questo lavoro, una prima analisi ha riguardato lo studio dei ritmi di accrescimento giornaliero delle larve di *E. encrasicolus* mediante l'analisi della microstruttura delle *sagittae*. L'obiettivo è stato quello di analizzare e stimare la crescita delle prime fasi larvali mettendole in relazione con le diverse condizioni oceanografiche.

In secondo luogo è stata valutata la condizione di crescita delle larve di *E. encrasicolus* per verificare l'eventuale differenza tra le due diverse aree di cattura ed interpretarla in relazione alle condizioni oceanografiche. In particolare, sono state effettuate delle analisi sulla composizione lipidica, proteica e sulla composizione dei carboidrati.

Per tali fini, sono stati utilizzati gruppi di campioni diversi: per lo studio dell'accrescimento attraverso l'analisi degli otoliti, sono state utilizzate le larve pescate in due campagne oceanografiche condotte negli anni 2004 e 2007 nel Canale di Sicilia; per la valutazione della condizione nutrizionale sono state utilizzate le larve catturate nella campagna oceanografica condotta nel 2006 in due differenti aree, quella a sud della costa meridionale della Sicilia e quella a nord ovest della piattaforma Libica.

## **OBIETTIVO GENERALE**

Analizzare la variabilità nell'accrescimento e nella condizione biochimica delle larve di acciuga in relazione al loro habitat.

## **OBIETTIVI SPECIFICI**

- ❖ Ottenere e comparare le caratteristiche di accrescimento delle larve nella stessa area in anni diversi
- ❖ Ottenere il growth rate delle larve nell'area di studio e confrontarlo con i valori disponibili in letteratura
- ❖ Ottenere e comparare la composizione biochimica delle larve in habitat differenti
- ❖ Analizzare la variabilità nelle condizioni oceanografiche nelle varie aree e negli anni differenti
- ❖ Studiare le possibili correlazioni fra la variabilità biologica e quella ambientale

# CAPITOLO I

## L'ENGRAULIS ENCRASICOLUS

### I.1 BIOLOGIA ED ECOLOGIA

L'acciuga, facente parte della famiglia Engraulidae, specie pelagica a breve ciclo di vita, rappresenta una delle risorse più importanti sia dal punto di vista scientifico e sia da quello economico in alcune aree del Mediterraneo.

La sua distribuzione lungo le coste del Mediterraneo non è regolare ma piuttosto è costituita da un set di popolazioni indipendenti o unit stock concentrate in particolari zone della parte occidentale del Mediterraneo (il Mar Catalano e il Golfo del Leone) o della parte orientale (Mar Adriatico, Mar Egeo) (Garcia *et al.*, 1994).

Dal punto di vista socio-economico, lo stock di acciughe rappresenta nel Canale di Sicilia, una risorsa rilevante, storicamente sfruttata dai pescatori della costa NE e S della Sicilia (Patti *et al.*, 2004).



**Figura I.1** Esemplare adulto di *Engraulis encrasicolus*

Durante l'autunno e l'inverno vive a profondità maggiori (100-200 m), soggiorna più vicina alla costa per il resto dell'anno. L'acciuga costituisce una componente fondamentale delle catene trofiche pelagiche del Mediterraneo, occupando una posizione intermedia tra i consumatori primari (zooplankton) e quelli terziari (pesci, cetacei, uccelli marini) (Palomera, 2007).

L'acciuga è una specie eurialina (si adatta bene a differenti salinità) e tollera ampie variazioni che le consentono di penetrare, per alimentarsi, in lagune, laghi salmastri ed estuari. Gli individui, giovanili ed adulti, hanno abitudini gregarie (vivono in branchi numerosi) ed effettuano delle migrazioni (Fig. I.1). Le acciughe sono caratterizzate da un'elevata variabilità interannuale in termini di biomassa dovuta al fallimento del reclutamento. Questa variabilità nel reclutamento è fortemente condizionata dalle

fluttuazioni ambientali che sembrano essere molto più importanti degli effetti dovuti alla diversa intensità nello sforzo di pesca (Southward, 1988; Cingolani *et al.*, 1996, Soutar e Issacs, 1974)

Sono state formulate diverse ipotesi su quali possano essere gli eventi in grado di causare tali fluttuazioni; le principali vengono qui di seguito elencate:

- fallimento del reclutamento;
- eccessivo sfruttamento della risorsa;
- cambiamenti climatici;
- cambiamenti nel regime comportamentale;
- disponibilità di cibo;
- influenza della temperatura.

### ***1.1.1 Fallimento del reclutamento***

Per fallimento del reclutamento si intende il mancato raggiungimento dello stadio di adulto. La causa principale di questo fenomeno è l'elevata mortalità degli stadi embrionali, oltreché il critico passaggio allo stadio larvale e successivamente a quello giovanile.

Un alto indice di mortalità durante questi passaggi può, naturalmente, portare ad una riduzione dello stock.

La sopravvivenza, l'accrescimento e lo sviluppo degli stadi larvali normalmente sono collegati al luogo di rilascio e alle sue condizioni idrologiche. Il trasporto delle larve verso opportune zone di nursery o la ritenzione, richiedono che la riproduzione e lo sviluppo larvale coincidano nel tempo e nello spazio con appropriate condizioni oceanografiche e che le larve mostrino un comportamento adeguato agli stimoli ambientali. La coincidenza della deposizione con condizioni ambientali favorevoli per il trasporto delle larve e la produzione di cibo, ha portato ad una specifica evoluzione del periodo riproduttivo e dello spazio riproduttivo. Malgrado ciò le fluttuazioni anno per anno dei fenomeni oceanografici e dei cicli produttivi possono influenzare molto il processo del reclutamento (Garcia Lafuente *et al.*, 2002).

### ***1.1.2 Eccessivo sfruttamento della risorsa***

In alcune regioni del Mediterraneo la pesca dell'acciuga ha avuto, anche a causa dell'eccessivo sfruttamento, dei collassi (ad esempio l'acciuga nel Mar di Alboran nel

1984, Abad *et al.*, 1988 o nell'Adriatico nel 1987, Cingolani *et al.*, 1996). Per cui, una gestione non oculata della risorsa può portare ad un eccessivo sfruttamento durante la stagione di pesca. Questo agisce sulla possibilità della risorsa di riprodursi provocando una riduzione dello stock per la stagione successiva.

### ***1.1.3 Cambiamenti climatici***

Dagli studi effettuati negli ultimi anni, si è avuta evidenza dell'influenza dei cambiamenti climatici sulle fluttuazioni delle popolazioni di acciughe (Regner, 1996; Cingolani *et al.*, 1996; Stergiou e Lascaratos, 1997; Bonanno *et al.*, 2007; Basilone *et al.*, 2007). I cambiamenti nel sistema di circolazione (*gyre-circulation-scale*) sembrano essere i maggiori fattori influenzanti su scala decennale. La letteratura recente propone tre classi di processi fisici tendenti a determinare l'habitat riproduttivo più favorevole a molte specie di piccoli pelagici (Bakun, 1998; Agostini e Bakun, 2002):

1. processi di arricchimento:
  - *upwelling*;
  - mescolamento;
  - formazione di *eddies* ciclonici;
2. processi di concentrazione:
  - formazione di fronti di convergenza;
  - mancanza di dispersione da processi di mescolamento turbolento
3. processi di ritenzione:
  - mancanza di trasporto offshore nello strato superficiale (campo di *Ekman*), nello strato intermedio, etc.
  - instabilità dei modelli di corrente a cui si adattano i cicli vitali.

### ***1.1.4 Cambiamenti nel comportamento***

Emergono due categorie di meccanismi che possono iniziare e sostenere i cambiamenti nel comportamento delle acciughe: continui cambiamenti nell'habitat e episodici eventi ambientali che provocano cambiamenti nella popolazione. Per esempio, una tendenza al riscaldamento delle acque può permettere un'espansione dell'area di deposizione ed una intensificazione della produzione delle uova (Lluch-Belda *et al.*, 1992a).

### ***I.I.5 Disponibilità di cibo***

La disponibilità di cibo è un altro importante fattore che può determinare un aumento della mortalità larvale soprattutto se avviene nel momento in cui le larve passano dall'alimentazione endogena (sacco vitellino) a quella esogena. Il meccanismo che determina questo fenomeno detto starvazione è legato principalmente alle condizioni oceanografiche nonché alla produzione planctonica stessa. La disponibilità di cibo, inoltre, influisce sulla qualità e quantità delle uova deposte e quindi sulla loro sopravvivenza ed eventuale passaggio agli stadi successivi, importanti per il successo del reclutamento.

### ***I.I.6 Influenza della temperatura***

La temperatura dell'acqua è un fattore importante nella regolazione del ciclo riproduttivo della acciuga (Palomera, 1992; Motos *et al.*, 1996). Il momento della deposizione avviene in stretto accordo con l'andamento della temperatura, così come il tempo di schiusa delle larve o la mortalità delle uova.

La temperatura ha una forte influenza principalmente sull'area di deposizione ed inoltre, gioca un ruolo importante sul tempo di schiusa delle uova di acciuga (Coombs *et al.*, 1997; Garcia Lafuente *et al.*, 2002). King (1978) dimostrò come nelle acciughe del sud Africa la probabilità di anomalie nello sviluppo delle uova aumenta in acque con una temperatura inferiore ai 14°C che dovrebbe rappresentare il limite inferiore per il successo riproduttivo. Temperature convenienti per il successo riproduttivo di questa specie sono normalmente maggiori a 14 °C sebbene differiscano da aree geografiche ad altre. Richardson *et al.* (1998) identificarono temperature tra i 16 e i 19°C come il miglior range riproduttivo per l'*Engraulis capensis* nella zona di upwelling del Benguela. In alcune regioni del Mediterraneo, come quella del Golfo del Leone il range di temperatura ideale è tra 19-22°C (Garcia *et al.*, 1994). Diminuzioni della temperatura nel periodo riproduttivo influiscono negativamente, riducendo il potenziale riproduttivo delle femmine attive, che a causa della diminuzione della temperatura vedono degenerare e diventare atresici parte o il totale dei follicoli riproduttivi (Garcia Lafuente *et al.*, 2002). Di contro, una maggiore temperatura dell'acqua riduce il tempo di schiusa delle uova riducendo, così, la mortalità dovuta alla predazione che è legata appunto al tempo di permanenza nell'ambiente allo stadio di uova. Nell'area di studio del Canale di Sicilia il range di temperatura media osservata durante le campagne oceanografiche era di 15-25°C; in questo range il tempo di

schiusa delle uova, sulla base dell'equazione di Regner (1985), varia da 20 a 90 h.

Tutte le possibili cause sopra descritte non devono però essere viste in maniera individuale in quanto esiste una stretta correlazione fra tutte. Ad esempio, cambiamenti nel clima possono provocare cambiamenti nelle popolazioni planctoniche con un conseguente impatto sulle popolazioni di acciughe.

## **I.2 MORFOLOGIA**

Le acciughe (Fig. I.1) mostrano un corpo slanciato con ventre liscio ed arrotondato; la testa è allungata con ampie aperture branchiali ed il muso è a punta e prominente (Fig. I.2). La bocca, nella parte inferiore della testa, è grande ed oltrepassa il margine posteriore degli occhi, che sono di notevoli dimensioni e negli adulti presentano una membrana adiposa. La pinna dorsale è situata circa a metà del corpo in posizione avanzata rispetto alle pinne anali; queste sono di piccole dimensioni e situate in posizione mediana. Le pinne ventrali sono posizionate sull'addome e quelle pettorali sono sottili ed allungate e in posizione ventrale.

La lunghezza massima degli individui mediterranei è di 18-20 cm, mentre più comunemente si trovano esemplari di 11-12 cm.

L'acciuga presenta sessi separati e la maturità sessuale viene raggiunta entro il primo anno di età (Tortonese, 1967). Per esempio, la maturità sessuale delle acciughe del Golfo di Cadice viene raggiunta attorno agli 11 centimetri (Millán, 1999), invece, in Adriatico centro-orientale, la maturità sessuale viene raggiunta prima: a 10 centimetri nei maschi e ad 11 centimetri nelle femmine (Mužinić, 1956).

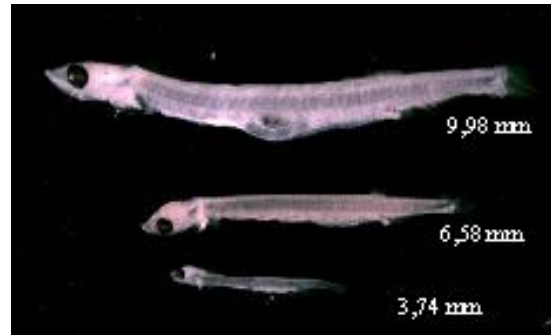
Il periodo riproduttivo si estende da aprile ad ottobre sotto costa (Regner, 1996; Gamulin e Hure, 1983), con massimi a luglio ed agosto, quando viene prodotto l'85% delle uova (Varagnolo, 1964; Vučetić, 1963; Regner, 1972, Piccinetti *et al.*, 1982).

La fecondità di questi pesci è notevole, le femmine producono circa 40.000 uova alla volta che vengono, generalmente, rilasciate negli strati superficiali, a piccoli lotti (Varagnolo, 1965; Ghirardelli, 1967) e, per lo più, in corrispondenza del tramonto (Regner, 1985). Le uova emesse sono galleggianti, di forma ellissoidale, poco più lunghe di 1 millimetro (Varagnolo, 1967; Regner, 1972; Ragusa 2000) che vengono affidate alle correnti marine.

Le larve alla schiusa (Fig. I.3) sono lunghe solo 2 mm e molte di esse sono destinate ad essere predate.

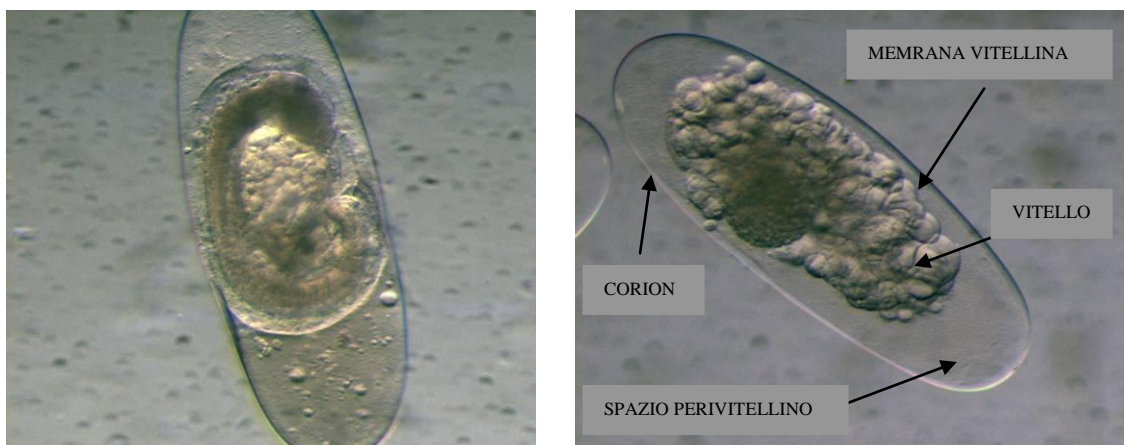


**Figura I.2:** Testa di *Engraulis encrasicolus*



**Figura I.3:** Larve di *Engraulis encrasicolus*

Le uova di acciuga (Fig. I.4) sono prive di gocce oleose e mostrano una membrana esterna, il corion, liscia e trasparente. Inoltre, tale membrana presenta una regione ad imbuto, micropilo, che consente l'ingresso allo spermatozoo. Nelle uova, all'interno della membrana, si trova una massa sferica di vitello, la quale nel caso di tale specie risulta essere segmentata e circondata da uno strato di protoplasma (Tortonese E., 1967). Lo spazio libero, non occupato dalla massa sferica di vitello viene chiamato spazio perivitellino. Le uova schiudono tra 24 e 65 ore in base alla temperatura dell'acqua e le deposizioni possono avvenire in tempi diversi.



**Figura I.4:** Foto di uova di *Engraulis encrasicolus*



### **I.3 IL CICLO VITALE**

Verranno analizzati i seguenti aspetti del ciclo vitale degli engraulidi, ponendo maggiormente in risalto il comportamento larvale:

- sviluppo larvale;
- crescita;
- *feeding*;
- riproduzione;
- mortalità.

#### ***I.3.1 Lo sviluppo larvale***

Lo sviluppo larvale delle acciughe consiste di quattro stadi. Una volta schiusa, la larva si trova nel 1° stadio detto *yolk sac* (prelarva), nel quale presenta i resti di quello che in fase embrionale corrisponde al sacco vitellino. In questo stadio la larva non è ancora autosufficiente: non ha ancora l'apparato boccale e l'intestino funzionanti, e il sacco vitellino fornisce loro nutrimento per il primissimo periodo di vita.

Il 2° stadio corrisponde alla fase di pre-flessione nel quale la larva non ha ancora flessionato l'urostilo, ultima parte della notocorda.

A questa segue il 3° stadio di flessionamento dove nel caso dell'acciuga l'urostilo viene flessionato verso l'alto.

L'ultimo stadio larvale è quello di post-flessione (postlarva) nella quale la larva assume tutti i caratteri morfologici distinti della specie. Questa è la fase in cui l'individuo non è detto più larva ma giovanile (Tortonese E., 1967, Cuttitta, 1999).

#### ***I.3.2 La crescita***

Nelle acciughe si osservano almeno quattro stadi di crescita. Il passaggio da uno stadio all'altro può portare a cambiamenti nei parametri dell'equazione di crescita; alcuni di essi possono essere causati, per esempio, da allometria, cioè il rallentamento che si osserva nella crescita in lunghezza delle larve durante la metamorfosi quando il corpo aumenta in peso e dimensioni, oppure si possono osservare improvvisi rallentamenti nella velocità di crescita sia in lunghezza che in peso nel passaggio dal nutrimento endogeno (stadio di *yolk-sac*) a quello esogeno (*feeding*). La crescita delle larve nelle uova e nel successivo stadio di *yolk-sac*, durante il quale la larva si nutre utilizzando le riserve del proprio corpo,

è funzione principalmente della temperatura (Blaxter e Holliday, 1963) e delle dimensioni delle uova (Blaxter e Hempel, 1963). Le uova di acciuga galleggiano principalmente negli strati superiori della colonna d'acqua e il loro sviluppo dipende dalla temperatura. Il prolungarsi del periodo di sviluppo potrebbe avere un effetto sulla sopravvivenza delle uova in quanto sono delle facili prede.

Alla fine dello stadio di *yolk-sac*, che avviene generalmente 4-5 giorni dopo la schiusa, quando inizia il *feeding*, la crescita diviene funzione della temperatura e dell'abbondanza di cibo.

### ***1.3.3 Feeding***

Le larve di *Engraulis* si nutrono principalmente di zooplancton in particolare di copepodi, cirripedi, larve di molluschi, uova di pesci e larve (Banarescu, 1964; Demir, 1963, 1965a). Il successo del *feeding* risulta essere funzione della dimensione della preda e della larghezza della bocca della larva. Le larve degli engraulidi hanno un caratteristico comportamento durante il *feeding*. Prima di attaccare la preda, infatti, la larva assume una posizione ad S, quindi avanza verso la preda e, una volta raggiunta, apre la bocca, raddrizza il corpo con uno scatto e la ingerisce (Blaxter e Holliday, 1963).

### ***1.3.4 La riproduzione***

Il periodo riproduttivo è correlato sia a parametri fisici dell'ambiente marino, come temperatura e fotoperiodo, che a parametri biologici; in particolare, sembra essere collegato alle fasi del ciclo di produzione del plancton. Questa assunzione si basa su un'ipotesi formulata da Cushing (1967, 1969, 1972, 1975) chiamata del *match-mismatch*, che è stata largamente accettata come spiegazione per il periodo riproduttivo di molti pesci. Vengono presentati vari esempi di deposizione sincrone, per esempio, con il periodo di *upwelling* o di incremento della produzione primaria. Se, quindi, il periodo di riproduzione è in fase con il ciclo di produzione primaria, allora sarà anche soggetto a tutti quei fattori che ne determinano la variabilità. Wyatt (1980) propose che la stagione di crescita del fitoplancton è determinata solo dalla luce e dallo spessore dello strato di mescolamento e quindi può essere definito come il periodo dell'anno in cui la profondità di mescolamento si trova al di sopra della profondità di compensazione (la profondità a cui la velocità di fotosintesi eguaglia quella di respirazione). Questo significa che sotto determinate condizioni di vento, la stagione di crescita aumenterà la sua durata verso le latitudini più

basse dove la luce è maggiormente disponibile e in acque poco profonde poiché la profondità del mescolamento non può estendersi al di sotto del fondo. Variazioni nella forza del vento e nella nuvolosità causeranno le maggiori variazioni nell'inizio e nella fine del ciclo di produzione. Si osserva, infatti, che alle più alte latitudini dove i cicli di produzione sono corti, i periodi di riproduzione degli engraulidi possono essere particolarmente precisi. Alle medie e basse latitudini, invece, la stagione riproduttiva degli engraulidi può essere più lunga ed il periodo di massima deposizione variabile (Palomera *et al.*, 2007; Basilone *et al.*, 2006).

In sintesi, il periodo di deposizione ottimale può dipendere dalle abitudini del cibo larvale, dalla velocità di crescita di larve e giovanili e dai cambiamenti stagionali nella popolazione di zooplancton.

### ***1.3.5 Mortalità***

Le principali cause di mortalità larvale sono la predazione e la scarsa disponibilità di cibo e, di riflesso, queste ultime determinano le variazioni nel reclutamento annuo (May, 1974; Leggett e Deblois, 1994). La scarsa disponibilità di cibo può rappresentare un fattore critico nei primi 3-4 giorni di *feeding* poiché la capacità di catturare la preda incrementa fortemente con la loro crescita così come la capacità di resistere alla fame (infatti concentrazioni di cibo più basse potrebbero essere sufficienti per le larve più vecchie). Per ciò che riguarda la predazione, è difficile stimare che influenza abbia sulla mortalità in questo stadio sebbene sembri essere la causa principale. La predazione può avvenire sulle uova come sulle larve. Sono stati osservati anche fenomeni di cannibalismo. Infatti, dato che gli engraulidi nello stadio di adulto si nutrono prevalentemente di zooplancton, spesso si imbattono in *patch* in cui sono presenti anche larve della stessa specie. In particolare, in anni in cui la biomassa dei depositori cresce essi tendono ad occupare aree più ampie al fine di ridurre la competizione intraspecifica per il cibo ed il fenomeno del cannibalismo degli stessi prodotti di deposizione.

## CAPITOLO II

### AREA DI STUDIO

#### II.1 IL MEDITERRANEO

Numerosi studi condotti nel passato insieme alle più recenti Campagne Oceanografiche, tra cui quelle che verranno descritte nel presente studio, hanno consentito di comprendere ed interpretare il modello di circolazione del Mar Mediterraneo con particolare attenzione al Canale di Sicilia. Tali indagini risultano fondamentali per definire i complessi processi ecologici che interessano, e per certi versi rendono unico, questo tratto di mare posto alla confluenza del bacino Mediterraneo occidentale con quello orientale. Questa caratteristica di “area di passaggio”, attribuisce al Canale di Sicilia un ruolo importante sia per la circolazione dell’intero bacino Mediterraneo sia per gli aspetti ecologici ed oceanografici.

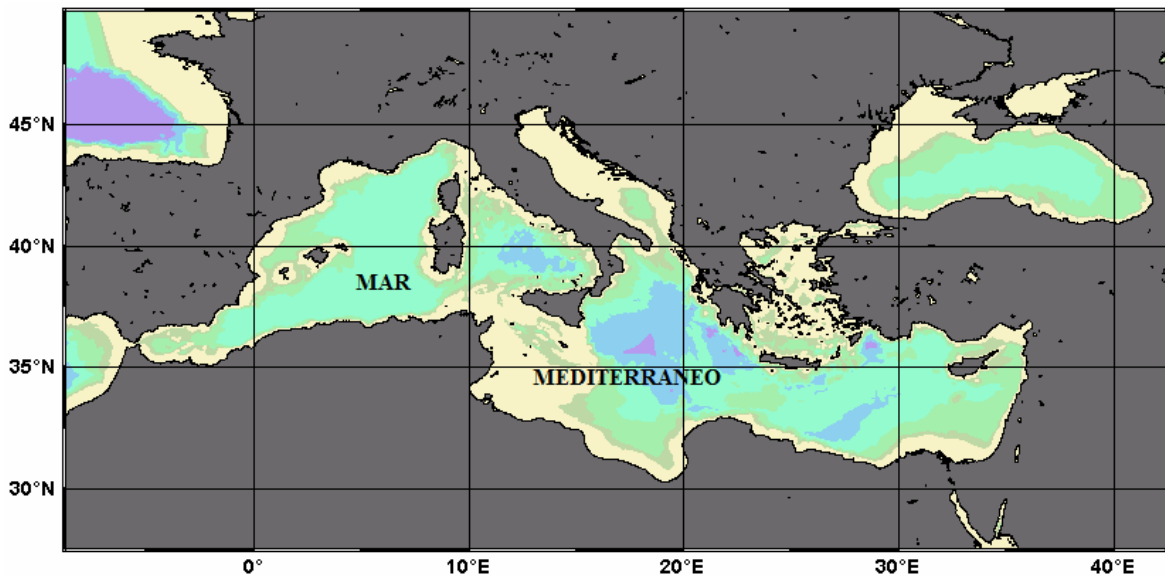


Figura II.1: Il bacino del Mare Mediterraneo (ODV software)

La regione del Canale di Sicilia è stata studiata approfonditamente sia per ciò che riguarda gli aspetti strettamente oceanografici (Gacic *et al.*, 1999; Lermusiaux e Robinson, 2001; Warn-Varnas *et al.*, 1999; Lipiatou, *et al.*, 1999) e sia per quanto riguarda lo studio

dell'influenza delle forzanti oceanografiche nell'area sulle risorse marine (Mazzola *et al.*, 2000; Cuttitta *et al.*, 2003; Garcia Lafuente *et al.*, 2002).

## **II.2 LA CIRCOLAZIONE NEL MAR MEDITERRANEO**

Il Mar Mediterraneo è un mare intercontinentale situato tra Europa, Africa e Asia, collegato ad ovest all'Oceano Atlantico, attraverso lo stretto di Gibilterra e ad est al mar Nero attraverso il mar di Marmara. Per tali caratteristiche si può ritenere un bacino semichiuso e di concentrazione (Marsigli, 1681; Waitz, 1755; Nielsen, 1912), la cui superficie libera presenta un bilancio d'acqua annuale negativo che è compensato da un apporto di acqua dall'Atlantico ed il cui contenuto di sale è costante nel tempo. Per equilibrare sia il bilancio di acqua che quello di sale il sistema Mediterraneo trasforma l'acqua atlantica entrante superficialmente, concentrata e raffreddata dall'evaporazione, diluita dalle precipitazioni e dall'apporto dei fiumi, in acqua densa e salata, tipicamente mediterranea che rifluisce nell'Atlantico attraverso la parte profonda dello Stretto di Gibilterra. Una particolare caratteristica oceanografica del Mar Mediterraneo è la temperatura delle sue acque, mentre negli altri mari del mondo, si osserva normalmente una diminuzione della temperatura dalla superficie al fondo del mare, in Mediterraneo si hanno fluttuazioni stagionali molto elevate con una conseguente escursione termica nelle acque superficiali fino a 14°C. In aggiunta, in profondità, la temperatura si mantiene sempre costante, sia d'estate che d'inverno, intorno ai 13°C.

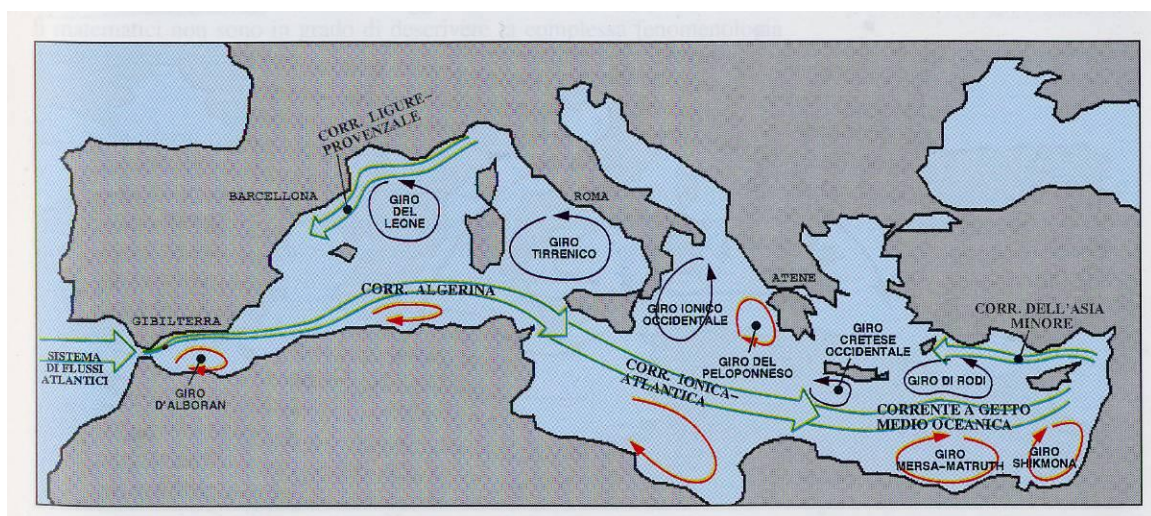
Il Mediterraneo ha una complessa topografia; la presenza di isole e penisole, nonché di un fondale poco regolare, determina forti vincoli alla dinamica delle masse d'acqua. Per ciò che riguarda l'orografia il Canale di Sicilia è largo circa 120 km nella sua sezione più stretta, avendo un'ampiezza sufficiente a sostenere strutture a mesoscala ben sviluppate come vortici o meandri. A 200 m di profondità vi è un allargamento della piattaforma nella zona NW che viene chiamato Banco Avventura, che riduce l'ampiezza del Canale a 30 km. Questo banco e la piattaforma continentale maltese ad est sono i fattori topografici dominanti nell'area.

Lo schema di circolazione più semplice individua il Mediterraneo come un sistema di masse d'acqua a tre strati:

1. uno strato a circolazione superficiale, tra la superficie e la profondità di 150-200 m, costituito prevalentemente da acqua atlantica, con salinità inferiore a quella media del Mediterraneo e temperatura fortemente variabile stagionalmente;
2. uno strato a circolazione intermedia, tra le profondità di 200 e 500 m, più salato e denso determinato dall'afflusso delle acque del bacino orientale;
3. uno strato a circolazione profonda particolarmente omogeneo.

### II.2.1 Circolazione superficiale

La circolazione superficiale del mar Mediterraneo è determinata dall'ingresso delle acque dell'Oceano Atlantico, attraverso lo stretto di Gibilterra (largo solo 13 km e profondo 320 m); acque relativamente calde e poco salate (15°C, 36.2 ‰) (Bryden *et al.*, 1994; Tsimplis e Bryden, 2000) denominate “Modified Atlantic Water” (MAW) (Warn-Varnas *et al.*, 1999).



**Figura II.2:** Circolazione superficiale nel Mar Mediterraneo

La corrente superficiale che ha origine nello Stretto di Gibilterra presenta un ramo principale che si dirige verso Est (Fig. II.2). Tale ramo segue la costa algerina, entra nel bacino ionico attraverso lo Stretto di Sicilia e si dirige verso il bacino levantino (verso le coste di Israele). Nel suo complesso in entrambi i bacini, occidentale e orientale, la circolazione è ciclonica (verso antiorario) ma presenta delle eccezioni in corrispondenza del Golfo della Sirte, del Mar di Alboran e del Golfo di Gabes (circolazione anticiclonica).

Nella parte occidentale del mare di Alboran l'acqua atlantica, entrando con velocità piuttosto forte in direzione ENE, viene deviata a SE con conseguente formazione di una circolazione anticiclonica a S del bacino che dà luogo ad una corrente che circola verso W lungo le coste dell'Africa. Un caso analogo si verifica al largo della Sirte dove l'acqua atlantica proveniente dal Canale di Sicilia, ostacolata dal massiccio promontorio della Cirenaica, penetra nel Golfo della Sirte e segue la costa formando una controcorrente diretta verso ponente. Le acque superficiali, nel loro movimento verso Est, incontrano temperature medie più elevate e venti dominanti caldi e secchi provenienti dai deserti africani; si determina così un progressivo aumento della salinità superficiale che ha valori minimi di 36.2 ‰ presso lo Stretto di Gibilterra e supera il 39 ‰ nel bacino Levantino.

### II.2.1 Circolazione intermedia

Le acque dello strato intermedio si formano nel bacino Levantino. Una massa d'acqua trasformata, calda e salata, nota come acqua superficiale levantina (Levantine Surface Water, LSW) è presente in tale bacino durante l'estate e l'autunno (Fig. II.3). In estate, l'aumento di salinità (fino a 38,8 ‰ -38,9 ‰) è bilanciato dal parallelo aumento della temperatura che mantiene bassa la densità; ma durante l'inverno, a causa del raffreddamento, la densità dell'acqua degli strati più superficiali aumenta fino ai mesi di Febbraio e Marzo durante i quali si manifestano eventi di mixing profondo. In tale periodo la LSW viene miscelata con l'acqua sottostante fino a profondità di 200 – 400 m e dà luogo alla ben nota acqua intermedia levantina (Levantine Intermediate Water, LIW), più fredda e salata (13.5°C, 38.4 ‰) (Bryden *et al.*, 1994; Tsimplis e Bryden, 2000).

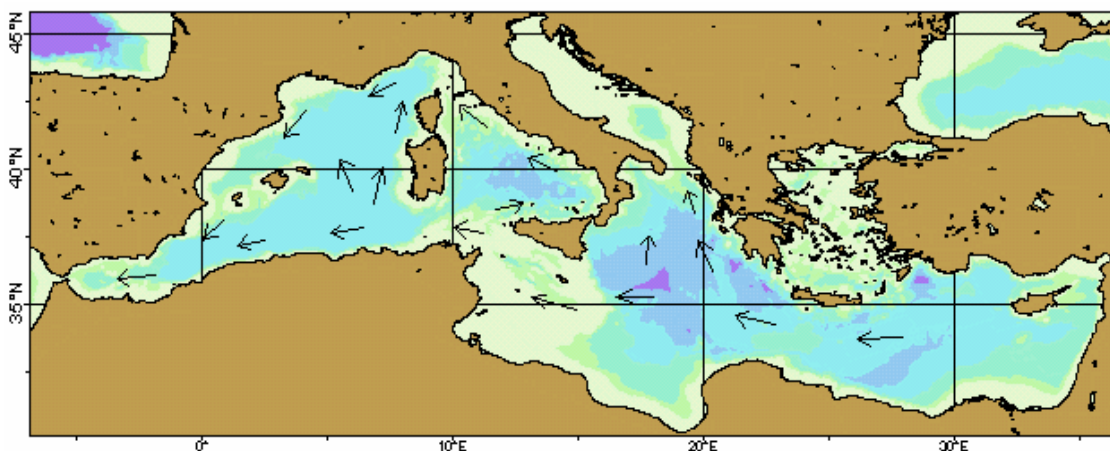


Figura II.3: Circolazione intermedia (LIW) nel Mar Mediterraneo

Inizia per queste acque il ritorno verso Ovest. Infatti, nel bacino occidentale la LIW si espande e si miscela con altre masse d'acqua ma rimane ben distinta e facilmente individuabile. Tale strato è caratterizzato da valori di salinità di circa 38.7 ‰ e da una temperatura media di circa 14 °C. Il movimento generale delle acque levantine o intermedie è diretto verso ovest e, in tale movimento, tendono a seguire traiettorie cicloniche nei vari bacini.

### ***II.2.3 Circolazione profonda***

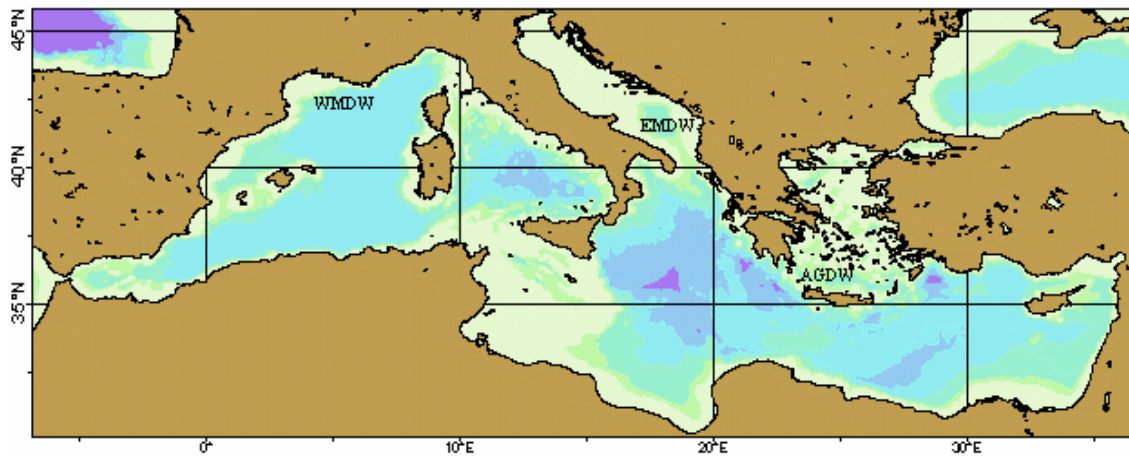
Le acque dello strato profondo del Mediterraneo sono originate, specie nei mesi invernali, dall'affondamento delle acque superficiali divenute bruscamente più dense per l'azione dei venti freddi e secchi settentrionali (Tramontana, Maestrale e Bora). La formazione delle acque profonde è caratteristica di tre particolari regioni: il Golfo del Leone ed il Mar Ligure; il Mare Adriatico meridionale; la zona Cipro – Rodi (Fig. II.4).

Nella prima regione, quella del golfo del Leone e del Mar Ligure il processo viene denominato Western Mediterranean Deep Water (**WMDW**) ed è caratterizzato dal raffreddamento dell'acqua superficiale e dall'aumento della salinità in superficie a causa dell'elevata evaporazione. In alcune zone la densità ( $\sigma_t$ ) supera il valore di 29.1 kg/m<sup>3</sup> alla superficie, valore che, essendo più elevato degli strati d'acqua inferiori, compromette la stabilità verticale della colonna d'acqua (Send *et al.*, 1999; Stommel, 1972; Mertens e Schott, 1998).

Si ha dunque un rimescolamento (mixing) che può interessare uno strato d'acqua che dalla superficie si estende fino a 2000 m. Il mixing di tale acqua superficiale e dell'acqua intermedia genera l'acqua profonda (deep water). Generalmente tale meccanismo si sviluppa nei mesi di Febbraio e Marzo.

La formazione di acqua profonda nel Mediterraneo nord-occidentale è un processo che trasforma rapidamente l'acqua superficiale in quella profonda. In realtà si assiste contemporaneamente ad una risalita di nutrienti dagli strati più bassi a quelli più superficiali.





**Figura II.4:** Siti di formazione dell'acqua profonda nel Mar Mediterraneo

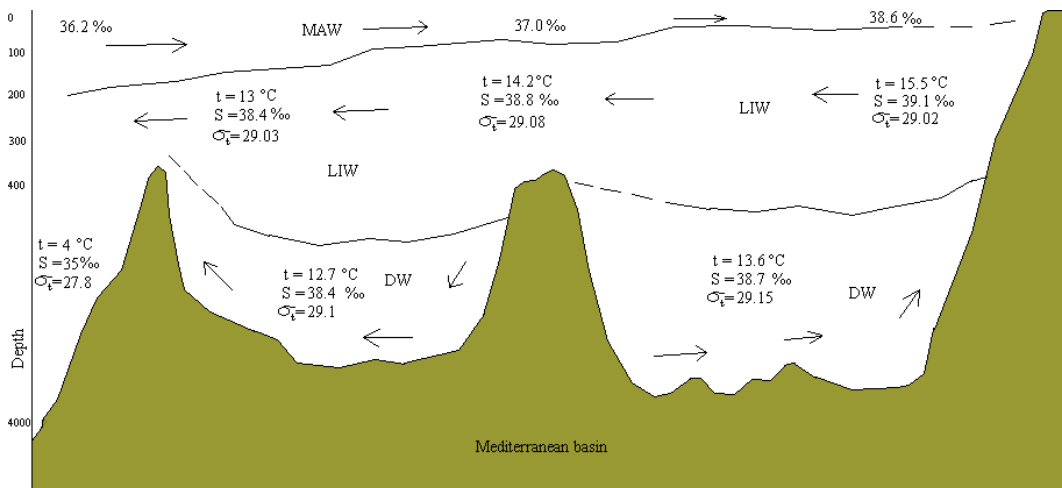
Nella seconda regione, quella del Mare Adriatico meridionale, il processo viene denominato Eastern Mediterranean Deep Water (**EMDW**) (Schiltzer *et al.*, 1991; Malanotte-Rizzoli *et al.*, 1997).

In tale bacino si può assistere alla formazione di acqua profonda. Durante l'inverno si sviluppa una convezione profonda a causa di venti molto freddi e secchi. Il processo di formazione non è dettagliatamente noto ma è il risultato del rimescolamento tra l'acqua superficiale e l'acqua intermedia (LIW) che entra in Adriatico attraverso il Canale d'Otranto. La EMDW appena formata esce dall'Adriatico attraverso lo stesso Canale d'Otranto, sprofonda nel bacino dello Ionio e si muove lungo il bordo occidentale del bacino ionico.

Nella terza regione quella del Mar Egeo il processo di formazione dell'acqua profonda è denominato Aegean Deep Water (**AEDW**) ed è generato principalmente dal vento freddo che soffia durante l'inverno (Roether *et al.* 1996).

Inoltre, recenti studi hanno evidenziato la formazione, durante inverni particolarmente freddi, di acqua profonda anche nel bacino Levantino denominata LDW (Levantine Deep Water) dove stagionalmente si forma la LIW.

La successiva figura (Fig. II.5) schematizza la struttura della circolazione secondo una sezione che taglia il bacino del Mediterraneo da Ovest a Est attraverso il Canale di Sicilia.



**Figura II.5:** Schema della circolazione lungo la sezione W-E del bacino del Mediterraneo

### II.3 LA CIRCOLAZIONE NEL CANALE DI SICILIA

Il Canale di Sicilia si estende dalla zona di mare che divide le coste di Capo Bon in Tunisia da quelle di Mazara del Vallo in Sicilia (distanza minima del Canale pari a circa 120 km) avanzando verso Est fino al Mar Ionio e raggiungendo la massima larghezza (distanza tra la costa Africana e quella Siciliana) di circa 500 Km.

Il Canale è caratterizzato da un fondale poco profondo. La piattaforma continentale siciliana (il Banco Avventura, area con profondità sino a 200 m), ad Ovest, si estende fino in prossimità dell'isola di Pantelleria, nella parte centrale a sud della Sicilia si restringe, e raggiunge la fine della Isola estendendosi fin verso l'isola di Malta.

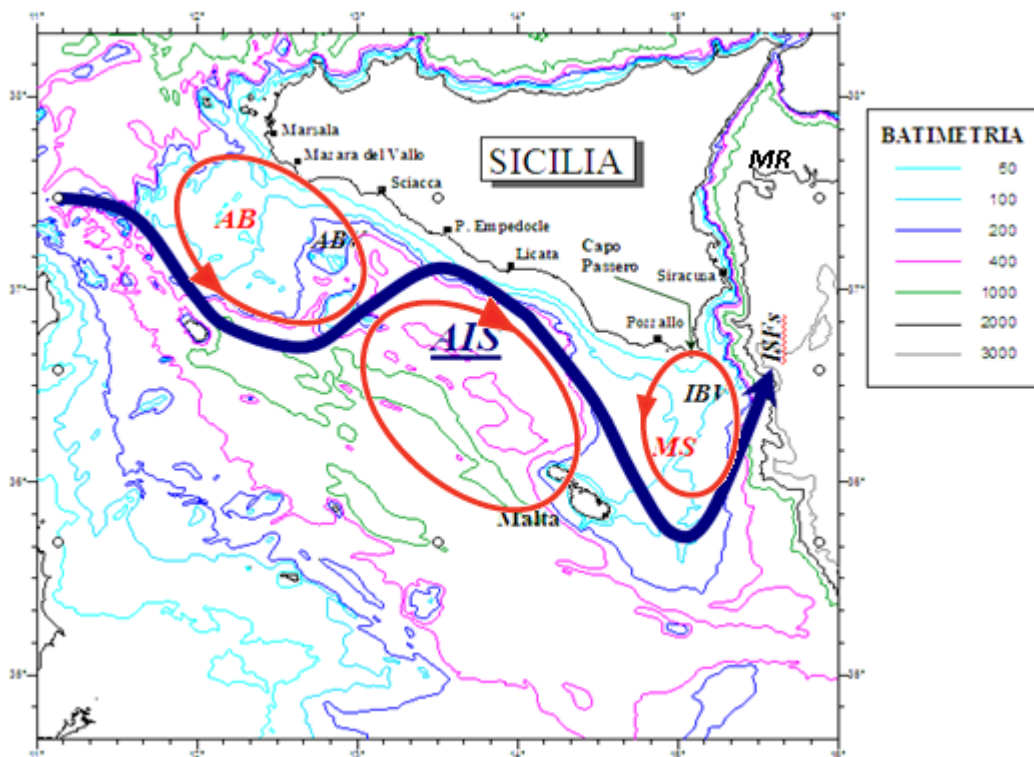
La piattaforma continentale tunisina da Capo Bon si va estendendo verso Est e circonda l'isola di Lampedusa.

All'estremo Ovest tra Capo Bon e Capo Granitola vi sono due soglie dove la profondità è massima: "main wester sill", che raggiunge la profondità di circa 430 m e "secondary wester sill" dove la profondità non supera i 365 m circa. Procedendo verso est, superata Pantelleria, si trova un piccolo bacino la cui profondità raggiunge i 700-800 m circa; qui una stretta fossa segue l'asse del Canale raggiungendo profondità anche di 1700 m. All'estremo orientale il passaggio più profondo "eastern sill" (560 m) è situato tra Malta e Banco Medina, vicino al meridiano 15°E.

La complessa morfologia del Canale di Sicilia comporta lo sviluppo di particolari dinamiche e processi fisici, chimici e biologici (Betroux, 1980; Manzella *et al.*, 1988; Robinson *et al.*, 1999; Garcia Lafuente *et al.*, 2002).

Nel Canale di Sicilia la circolazione può essere schematizzata con un modello a due strati che prevede, come già detto, il fluire verso Est della MAW nello strato più superficiale ed il fluire verso Ovest della LIW nello strato più profondo, in controcorrente rispetto alla MAW (Béranger *et al.*, 2005).

Il modello di circolazione prevede inoltre che, in corrispondenza della parte più occidentale del Canale di Sicilia, la MAW si biforchi dando origine all'“Atlantic Ionian Stream” (AIS) (Robinson *et al.*, 1999), una corrente che trasporta acqua Atlantica, più calda e meno salata, verso il mar Ionio e alla “Atlantic Tunisian Current” (ATC) che fluisce verso la costa tunisina (Lermusiaux e Robinson, 2001; Béranger *et al.*, 2005).



**Figura II.6:** Schematizzazione delle caratteristiche della circolazione superficiale individuate da Robinson *et al.* (1998) nello Stretto di Sicilia. La freccia in blu traccia il percorso dell’AIS (Robinson *et al.*, 1999). **AB:** Adventure Bank; **MS:** maltese Shelf. In nero sono riportate le principali strutture oceanografiche superficiali: ABV: Adventure Bank Vortex; IBV: Ionian Shelf Break Vortex; MRV: Messina Rise Vortex; ISFs: Ionian Shelf Fronts

Un tipico pattern di circolazione prevede che l’AIS entri nel Canale di Sicilia da ovest, e che lungo la sua traiettoria, si distacchino due rami di corrente dando origine a due vortici

ciclonici (Fig. II.6): il primo sul Banco Avventura (Adventure Bank Vortex, ABV) ed il secondo intorno alla piattaforma maltese poco a sud di Capo Passero ( Ionian Shelf Break Vortex, IBV), mentre il ramo principale della corrente descrive un pronunciato meandro anticiclonico tra questi due vortici. Un terzo vortice ciclonico, sempre derivante dal ramo di corrente principale dell'AIS, si forma talvolta lungo la costa orientale della Sicilia, tra Capo Passero a sud e lo Stretto di Messina a nord [Messina Rise Vortex (MRV)]. I toponimi utilizzati seguono i lavori di Lermusiaux (1998), Robinson *et al.* (1999) e Lermusiaux e Robinson (2001).

Il percorso dell'AIS determina importanti fenomeni idrografici nell'area, quali l'upwelling e le strutture frontali, e nello stesso tempo influisce sulla temperatura superficiale, come già evidenziato da altri autori (Lermusiaux, 1998; Robinson *et al.*, 1999). Inoltre, la differente struttura termoalina indotta dall'AIS rispetto a quella già presente nel bacino del Mediterraneo, modifica la struttura chimico-fisica del mare, inducendo cambiamenti alle intensità degli scambi energetici superficiali esistenti tra mare e bassa atmosfera, generando variazioni alla quota dello strato rimescolato superficiale. La temperatura dell'acqua all'interno dei vortici è tipicamente molto più bassa rispetto alle acque lontane dalla costa, il che rende le aree a circolazione ciclonica facilmente individuabili dai rilevamenti satellitari.

In queste aree dominate dalla circolazione ciclonica dove si verifica il fenomeno dell'upwelling si assiste alla risalita di acque ricche di nutrienti (García Lafuente *et al.*, 2002) che fertilizzano gli strati superiori della colonna di acqua.

Altre strutture idrografiche che si osservano annualmente in tale area, sono i cosiddetti fronti Ionici di piattaforma (Ionian Slope Fronts, ISFs) (Lermusiaux, 1998), generalmente localizzati in corrispondenza della piattaforma continentale siciliana del lato ionico, lungo il margine orientale dell'IBV e del MRV.

In accordo con Lermusiaux e Robinson (2001), i fronti si formano in diverse posizioni e a diverse profondità. In superficie la formazione di tali strutture idrografiche è strettamente dipendente dalla temperatura e cioè dall'incontro dell'acqua fredda veicolata dall'AIS con le acque più calde del basso Ionio; in profondità il fattore determinante è invece rappresentato dall'instaurarsi di un netto gradiente di salinità dovuto alla risalita di acqua intermedia [Levantine Intermediate Water (LIW)].

Nella specifica area prospiciente Capo Passero e lungo la costa orientale siciliana tale fenomeno raggiunge notevoli livelli in quanto l'elevata pendenza della scarpata continentale agevola la risalita dell'acqua intermedia. Nella parte superiore della colonna d'acqua i fronti sopradescritti e generati rispettivamente da gradienti termici e salini, si sovrappongono e, agendo in senso opposto, determinano un fronte superficiale di densità (Lemursiaux e Robinson, 2001).

Naturalmente, il percorso dell'AIS presenta un'elevata variabilità a causa di forzanti esterne la cui scala temporale può variare da alcuni giorni (effetti di marea e fluttuazioni atmosferiche) a periodi più lunghi di carattere stagionale (ciclo solare) o interannuale.

#### **II.4 LE CAMPAGNE DI ACQUISIZIONE DATI NEL CANALE DI SICILIA**

Nel presente lavoro di tesi è stato utilizzato un set di dati multidisciplinari acquisiti dal Gruppo Interdisciplinare di Oceanografia dell'IAMC-CNR di Mazara del Vallo.

Tali dati fanno riferimento alle campagne oceanografiche svolte nel Canale di Sicilia nel periodo compreso tra il 2004 ed il 2007, a bordo della Nave Oceanografica N/O Urania del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Fig. II.7).



**Figura II.7:** Nave Oceanografica N/O Urania

I dati analizzati sono stati acquisiti nel corso di progetti nazionali ed europei sviluppati dall'Istituto; più precisamente ci si riferisce a:

- progetto AMECO (Alice MEditerranea, Crescita ed Oceanografia) svolto nel periodo 2004-2006, e dal tema: “Scienze marine applicate alla gestione delle risorse rinnovabili del mare: il *case study* della popolazione di alici nello Stretto di Sicilia”. Tale progetto è stato finanziato dal Ministero dell’Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica. Le attività di ricerca condotte all’interno del progetto AMECO sono state finalizzate allo studio della popolazione di acciuga nello Stretto di Sicilia in relazione ai processi fisici e biologici.  
Nell’ambito di tale progetto sono state condotte le campagne oceanografiche ed ittiplanctoniche: ANSIC04 e BANSIC06.
- Progetto MedSudMed “Small Pelagic Fish: Stock Identification and Oceanographic Processes Influencing their abundance and distribution”, incentrato sullo studio della popolazione e della distribuzione e abbondanza di uova e larve di piccoli pelagici, nonché di acciuga, nelle acque del Canale di Sicilia e del Canale Libico in relazione ai processi fisici e biologici. Campagna oceanografica MedSudMed06.
- Progetto MIPAF “Valutazione elettroacustica della abbondanza e distribuzione dei piccoli pelagici nel Canale di Sicilia in relazione ai dati ambientali”. In particolare si è occupata di valutare l’abbondanza e la distribuzione dei piccoli pelagici nel Canale di Sicilia. Ha focalizzato l’attenzione sulle specie di piccoli pelagici più importanti dal punto di vista commerciale e cioè la sardina (*Sardina pilchardus*) e l’acciuga (*Engraulis encrasicolus*).  
Campagna oceanografica BANSIC07.

#### **II.4.1 Gli strumenti di campionamento**

Le operazioni ed i campionamenti effettuati nelle stazioni previste e durante i trasferimenti lungo i transetti sono di seguito elencati:

- 1) Misurazioni dei parametri fisico-chimici della colonna d’acqua. I profili delle variabili fisiche del mare sono stati acquisiti attraverso la sonda multiparametrica CTD (Conductivity-Temperature-Depth) SBE 9 plus (Underwater Unit) ed il modulo SBE 11 plus V2 (Deck Unit) della SEA-BIRD ELECTRONICS Inc. In corrispondenza di ciascuna stazione la sonda CTD è stata calata in acqua attraverso un verricello idraulico a doppio tamburo e cavo in acciaio da 8 mm, dalla superficie al fondo con una velocità costante di 60 m/min.

Nella fase di acquisizione la sonda ha acquisito i dati con una frequenza di 24 Hz ed i *raw data* sono stati registrati in formato binario su un PC (Fig. II.9) asservito al sistema della SEA-BIRD.

La sonda multiparametrica, nella più completa configurazione, è dotata di sensori che misurano pressione, temperatura, conducibilità, ossigeno, trasmissione della luce e fluorescenza. I “raw” data CTD sono stati processati mediante la procedura suggerita (SEASOFT–Win32, 2002) e poi analizzati mediante il software Ocean Data View (<http://www.awibremerhaven.de/GEO/ODV>).

I sensori della sonda multiparametrica sono installati all’interno di una struttura di contenimento e protezione detto rosette (Figura II.8), costituito anche, oltre che dai sensori citati, da 22 bottiglie Niskin con sistema di chiusura programmato automaticamente, per il prelievo di campioni di acqua a diverse profondità.

La rosette viene calata a velocità pressoché costante fino alla profondità richiesta, e nel caso di campionamento delle acque avviene la chiusura delle bottiglie Niskin secondo un determinato ordine ed a differenti profondità.



**Figura II.8:** Sonda multiparametrica CTD (Conductivity-Temperature-Depth)



**Figura II.9:** Laboratorio di acquisizione dati interno alla nave Urania

In questo modo il CTD acquisisce i parametri chimico-fisici della colonna d'acqua durante la fase di discesa, mentre attraverso le bottiglie Niskin avviene il prelievo dei campioni d'acqua nella fase di risalita.

2) Campionamenti Zooplanctonici con retini BONGO40 e BONGO60.

Il Bongo40 e il Bongo60 sono campionatori composti entrambi da due retini conici (con maglia di filtraggio di 200  $\mu\text{m}$ ) accoppiati, con bocche di diametro rispettivamente di 40 e 60 cm, tenuti assieme da una struttura in acciaio con due anelli a cui è anche collegato un depressore per la stabilità durante il traino. Le operazioni di messa in mare e di traino avvengono attraverso un verricello con cavo d'acciaio sulla parte destra della N/O. Le due reti sono entrambi dotate di due collettori in plexiglass, collegati al retino attraverso delle fascette, per permettere la raccolta del campione filtrato (Fig. II.10 b).

La cala del BONGO40 avviene con nave in movimento (velocità di circa 2 nodi) e viene eseguita in maniera obliqua dal fondo alla superficie o da 100 metri di profondità alla superficie per le stazioni in cui la profondità è maggiore di 100 m. Durante le operazioni il bongo viene trainato facendo raggiungere al cavo un'inclinazione di circa 45 gradi, rispetto alla verticale.



Quando la rete raggiunge la profondità desiderata si stabilizza fermando il verricello per 30 secondi. Trascorso tale intervallo, la rete viene ritirata a bordo ad una velocità di 20 m/minuto (Figg. II.10 a e b).



**Figura II.10 a) e b):** Operazioni di recupero della rete Bongo 40 a bordo della nave

Il Bongo 60 è stato impiegato per campionare lo strato a più elevata densità planctonica osservato grazie all'impiego dell'ecoscandaglio scientifico BIOSONIC DT6000 e generalmente attestato nello strato immediatamente sovrastante il termoclino.

All'interno della bocca di ciascun bongo è inserito un flussimetro (G.O. model 2030R – Figura II.11), utile per misurare il volume d'acqua filtrato da ciascuna rete e permetter quindi di stimare le densità (larve per m<sup>3</sup>) per ogni specie catturata. Il flussimetro alloggia un'elica azionata dal flusso dell'acqua; un contatore meccanico o elettronico fornisce il numero dei giri effettuati dall'elica nel corso della stazione.

Le dimensioni delle maglie del retino (200 µm) determinano le dimensioni degli organismi catturati. Di conseguenza, in relazione a ciò che si intende campionare, vengono utilizzati retini con maglia differente (Tranter, 1974; Steedman, 1976; Jacques, 1978; Magazzù *et al.*, 1978, Sournia, 1978; Innamorati *et al.*, 1990).

A bordo della nave, dopo le fasi di campionamento e lavaggio dei retini del Bongo40 e del Bongo60, i campioni mesozooplanctonici vengono sottoposti al sorting. Ovvero

i campioni vengono osservati allo stereo-microscopio binoculare per l'individuazione, l'isolamento ed il conteggio di larve e uova di *Engraulis encrasicolus*. Gli esemplari larvali di *Engraulis encrasicolus* individuati sono stati conservati singolarmente, alcuni in azoto liquido (-170°C) dentro eppendorf criogenico mentre altri in provette Eppendorff con alcool al 70%. Completato il sorting, la rimanente parte mesozooplantonica è stata conservata in bottiglie cartel di polietilene da 200 ml, fissati con 60 ml di formalina (formaldeide al 4% tamponata con Borace) e portati a 200 ml con aggiunta di acqua di mare per evitare eventuali deterioramenti.



**Figura II.11:** Flussometro (G.O. Environmental, model 2030R)

#### ***II.4.2 I piani di campionamento 2004-2006-2007***

I periodi in cui si sono svolte le campagne oceanografiche considerate in questo studio, sono riportati nella seguente tabella:

**Tabella II.1:** Periodi di svolgimento delle campagne oceanografiche multidisciplinari

<i>Survey</i>	<i>Periodo</i>
Ansic 04	17/06/2004 – 08/07/2004
Bansic 06	29/07/2006 – 11/08/2006
Med-Sud-Med 06	12/08/2006 – 24/08/2006
Bansic 07	28/06/2007 – 17/07/2007

Le campagne oceanografiche in oggetto hanno permesso di effettuare misure interdisciplinari (Figg. II. 12, II. 13, II. 14, II. 15) sulla piattaforma continentale

prospiciente la costa meridionale della Sicilia, da Mazara del Vallo a Capo Passero, la costa orientale fino a Siracusa e la piattaforma continentale Africana attorno l'isola di Lampedusa.

La campagna MedSudMed 06 (Fig. II. 15) ha inoltre permesso di investigare l'inesplorata piattaforma africana lungo le coste occidentali della Libia.

Tutti i campionamenti effettuati sulla piattaforma siciliana sono stati eseguiti percorrendo una serie di transetti costa-largo dall'estremità nord-occidentale dell'area di studio verso sud-est secondo un grigliato di stazioni di 6 miglia nautiche nelle zone più vicine alla costa e di 12 miglia nautiche nelle zone più al largo.

L'area attorno a Capo Passero è stata investigata secondo una rete di campionamento più fitta: una stazione ogni 4 miglia nautiche, mentre durante il trasferimento dalla costa meridionale siciliana all'isola di Lampedusa sono state effettuate stazioni ogni 12 miglia nautiche. Per lo studio della distribuzione e abbondanza delle larve di *Engraulis encrasicolus*, sono stati effettuati i campionamenti biologici, il cui numero è riportato nel seguente schema:

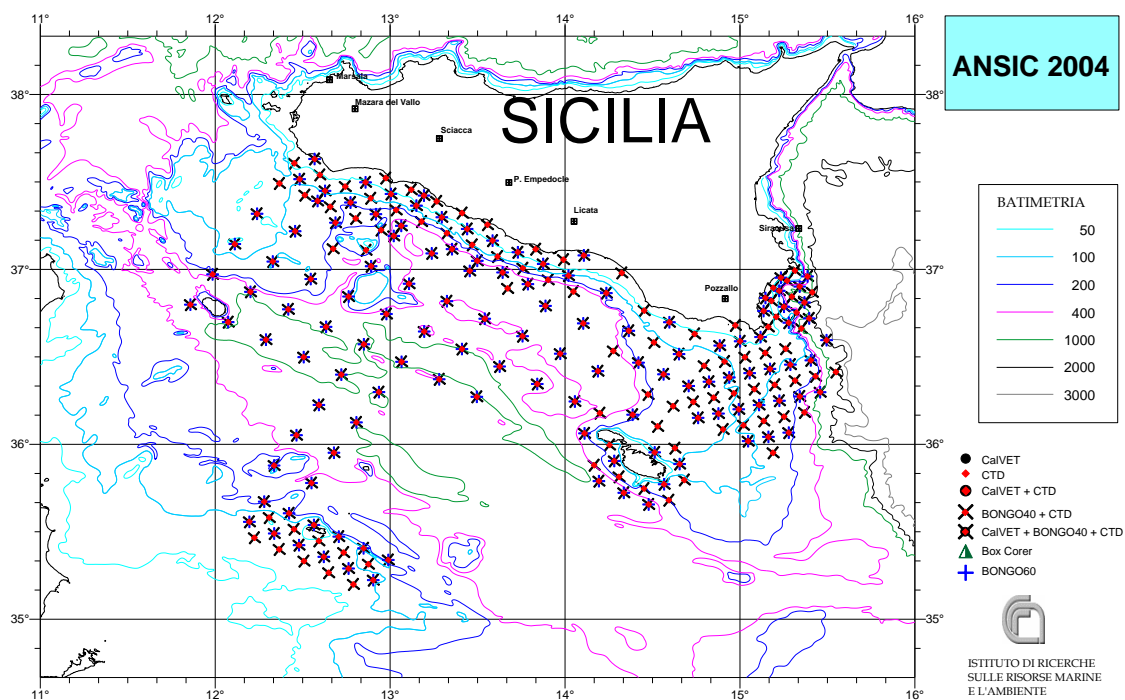
**Tabella II.2:** Numero stazioni BONGO 40 e BONGO 60 effettuate per ognuna delle campagne

<i>Survey</i>	<i>N. Staz. BONGO 40</i>	<i>N. Staz. BONGO 60</i>
Ansic 04	248	146
Bansic 06	123	1
MedSudMed 06	65	2
Bansic 07	161	5

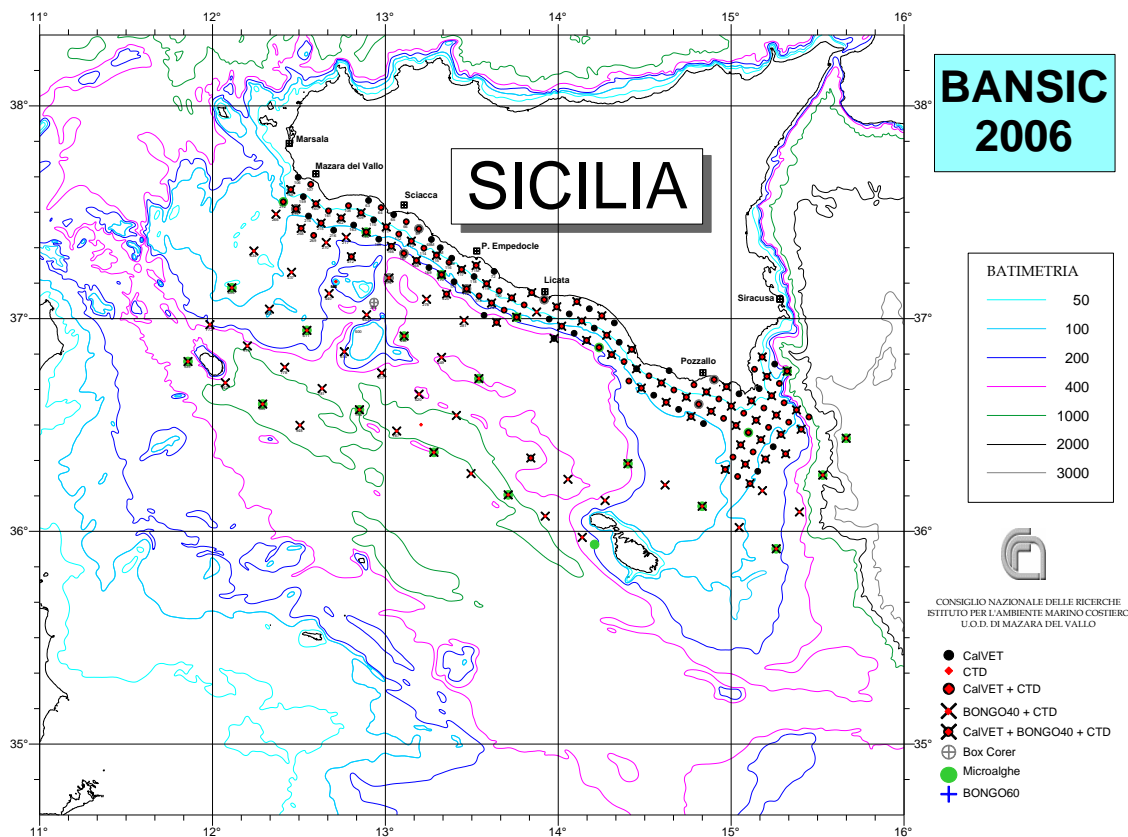
Nella seguente tabella vengono riportati i numeri totali di stazioni in cui sono stati effettuati i campionamenti con sonda multi-parametrica CTD.

**Tabella II.3:** Numero di stazioni CTD effettuate per ognuna delle campagne

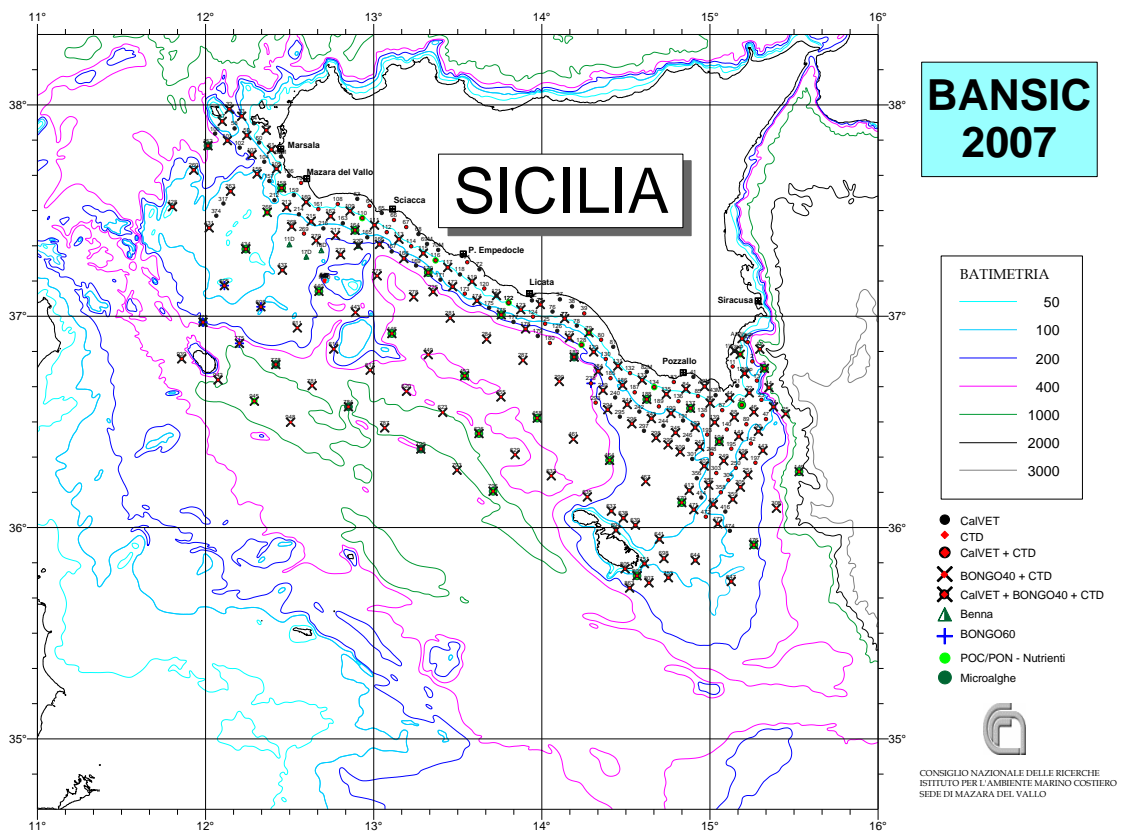
<i>Survey</i>	<i>Numero stazioni CTD</i>
Ansic 04	208
Bansic 06	165
MedSudMed 06	56
Bansic 07	210



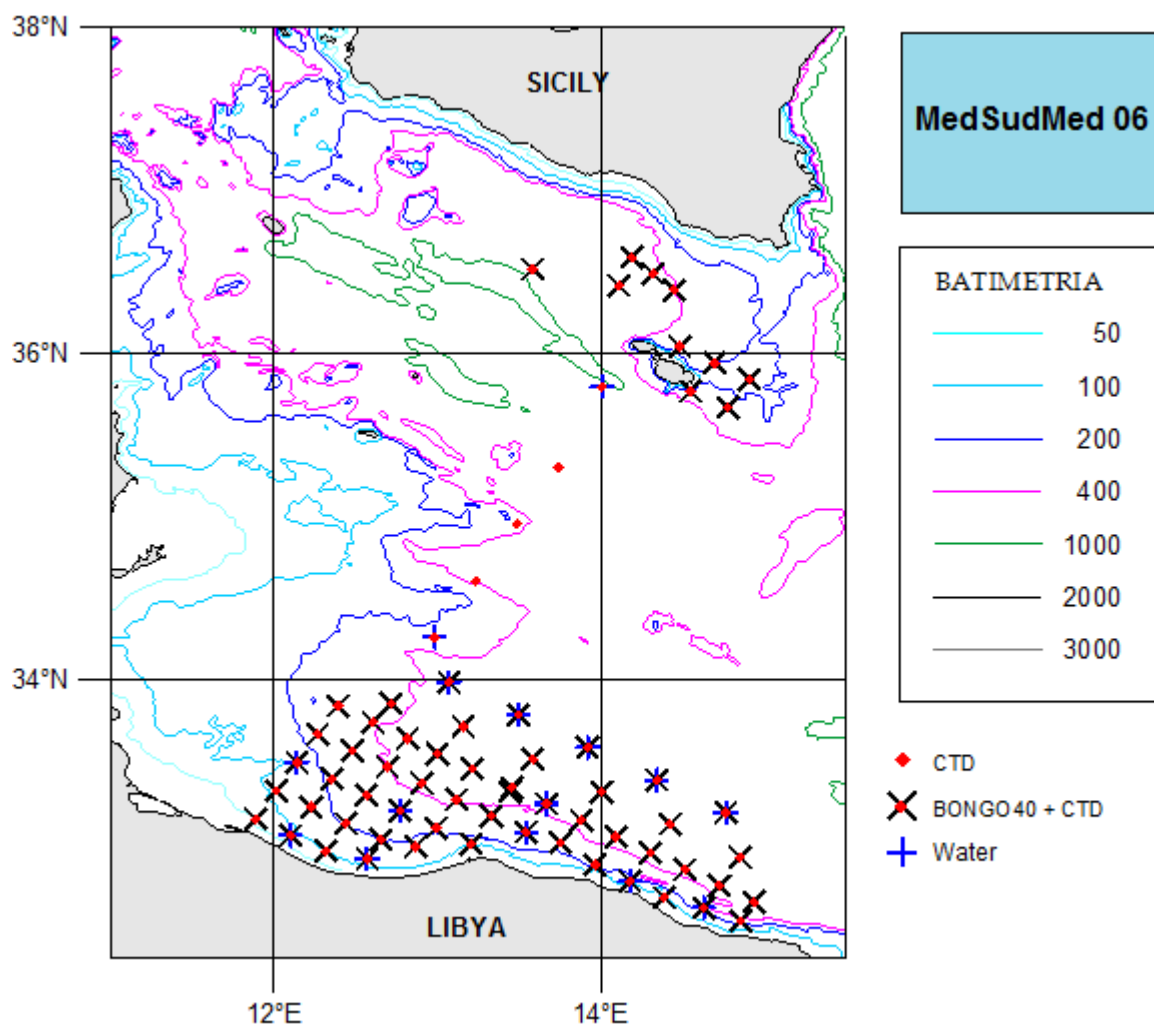
**Figura II.12:** Posizione delle stazioni Bongo 40, Bongo 60 e CTD effettuate nel corso della campagna oceanografica BANSIC04 a bordo della N/O Urania



**Figura II.13:** Posizione delle stazioni Bongo 40, Bongo 60 e CTD effettuate nel corso della campagna oceanografica BANSIC06 a bordo della N/O Urania



**Figura II.14:** Posizione delle stazioni Bongo 40, Bongo 60 e CTD effettuate nel corso della campagna oceanografica BANSIC07 a bordo della N/O Urania



**Figura II.15:** Posizione delle stazioni Bongo 40 e CTD effettuate nel corso della campagna oceanografica MedSudMed06 a bordo della N/O Urania

## CAPITOLO III

### ACCRESIMENTO LARVALE GIORNALIERO E RELAZIONI CON LE VARIABILI OCEANOGRAFICHE

#### III.1 INTRODUZIONE

I teleostei presentano all'interno del sistema vestibolare 3 paia di otoliti (*sagittae*, *lapilli* e *asterischi*) contenute in 3 diverse camere, chiamate sacche epiteliali, ma comunicanti fra di loro attraverso 3 canali semicircolari (Dunkelberger *et al.*, 1980; Platt *et al.*, 1981).

Nei pesci gli otoliti hanno funzione uditiva, intercettando le onde sonore, e di mantenimento dell'equilibrio attraverso la presenza sul pavimento delle camere otiche di cellule ciliate, sensibili alla pressione, movimento e vibrazione (Lowenstein, 1971).

Chimicamente essi sono formati da una matrice costituita da carbonato di calcio e una proteina simil-cheratinosa (Mugiya, 1987).

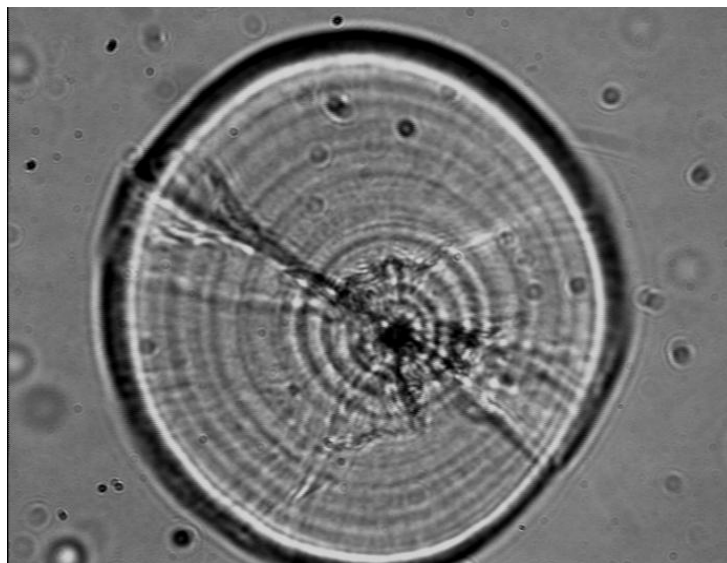
Essi si formano per effetto della precipitazione del carbonato di calcio presente nel fluido del sacco endolinfatico in specifici siti di enucleazione (Gauldie *et al.*, 1995), regolata da una combinazione di fattori endogeni ed esogeni all'individuo stesso (Morales - Nin, 2000).

Gli otoliti, data la loro crescita ritmica (stagionale), vengono utilizzati per studi relativi alla struttura di età di popolazioni, attraverso l'identificazione delle bande di accrescimento ricollegabili ai cambiamenti stagionali e giornalieri. Infatti, oltre agli anelli di crescita annuali, essi presentano anche dei microscopici anelli che si depositano giornalmente. Tali anelli di accrescimento, caratterizzati da tipiche alternanze opache e ialine, fin dal diciannovesimo secolo sono stati utilizzati come utili *marker* per la determinazione dell'età dei pesci (Morales-Nin, 2000). La scoperta degli incrementi giornalieri negli otoliti (Pannella, 1971) ha fatto sì che l'interpretazione della microstruttura degli otoliti diventasse il principale strumento per lo studio delle prime fasi di vita dei teleostei.

Inoltre, l'identificazione degli anelli di accrescimento degli otoliti adulti, ed in particolare quelli larvali, ha permesso di determinare indici di *stock assessment* (valutazione degli stock ittici), permettendo di relazionare la crescita larvale e i parametri fisico - chimico dell'ambiente.

In questo contesto, la possibilità di valutare l'incidenza delle variabili ambientali (temperatura, salinità, correntometria, etc.) e biologiche (grado di eutrofizzazione, densità e composizione delle popolazioni zoo e ittioplanctoniche associate) sui ritmi di crescita larvale di specie a rapidissima crescita, quali l'*Engraulis encrasicolus* e tutte le specie affini degli Engraulidi, rappresenta un importantissimo strumento per la valutazione previsionale della sopravvivenza larvale e quindi del successivo reclutamento (Ré, 1987)

Gli otoliti delle larve di acciuga sono di forma circolare con un nucleo centrale ben definito, e presentano, dal centro verso il margine, numerose ed evidenti strutture ad anello. Solamente una determinata e definita frazione di queste strutture ad anello rappresenta gli incrementi di crescita giornalieri (Ré, 1987; Palomera *et al.*, 1988). Nella fase finale dell'assorbimento del sacco vitellino, all'interno di tale nucleo centrale (regione di circa 5µm di diametro), sono visibili due anelli sottili, posti prima del primo incremento di crescita mentre attorno al nucleo si riscontra una zona scura discontinua.



**Figura III.1:** Microstruttura della *sagitta* di un esemplare di larvale di *Engraulis encrasicolus* osservata al microscopio ottico in luce trasmessa a 600 X

### III.2 MATERIALI E METODI

Gli esemplari utilizzati per lo studio e la descrizione della crescita dei primi stadi larvali di *Engraulis encrasicolus*, attraverso l'analisi della microstruttura delle *sagittae*, derivano dal



campionamento biologico effettuato durante le campagne oceanografiche multidisciplinari: Ansic 2004 e Bansic 2007, realizzate a bordo della nave da ricerca N/O Urania.

Per quanto riguarda il periodo temporale, le finalità specifiche delle campagne oceanografiche, le metodologie di campionamento e di conservazione del campione biologico si rimanda alla sessione II.4 “Le campagne di acquisizione dati nel Canale di Sicilia”, Capitolo 2 del presente lavoro.

### ***III.2.1 Misurazione delle larve***

In laboratorio si è proceduto allo scongelamento graduale delle eppendorf, conservate ad una temperatura di -80 °C, attraverso fasi successive a temperature intermedie, fino a portare le provette a temperatura ambiente.

La misurazione delle larve non è stata sempre agevole a causa dello stato di conservazione dei campioni, alcuni esemplari infatti hanno presentato rotture del tronco, delle pinne e della testa.

La lunghezza standard (SL: lunghezza standard  $\pm$  0,01 mm) di ciascun esemplare larvale intero è stata misurata dall'estremo anteriore della mandibola superiore al margine posteriore degli ipurali in formazione negli stadi di flessione e postflessione, con l'utilizzo del software di analisi di immagini Image-Pro<sup>+</sup> Plus 4.1, connesso attraverso videocamera ad uno stereo-microscopio Leica Mz 12,5.

### ***III.2.2 Estrazione degli otoliti***

L'estrazione delle *sagittae* è avvenuta manualmente, con l'utilizzo di aghi da dissezione, con l'ausilio di uno stereo-microscopio a ingrandimenti di 80X e 100X a luce polarizzata. A ciascun esemplare, opportunamente immerso in una goccia di acqua, sono state dapprima asportate le capsule otiche e quindi, isolati i canali semicircolari, sono state estratte le due *sagittae*. Una volta isolate e pulite da eventuali tracce di materiale organico con brevi immersioni in alcol 70% e l'ausilio di un pennello a punta fine, le *sagittae* sono state adagiate su vetrini portaoggetto e fissate con una goccia di resina trasparente (Entellan<sup>+</sup>) a rapida essiccazione. Il corretto posizionamento della *sagitta*, è risultato essere determinante per la successiva osservazione.

Il protocollo utilizzato per l'estrazione, la purificazione e il montaggio delle *sagittae* finalizzato alla successiva lettura è quello suggerito da Ré (1983; 1984) per le larve di *Sardina pilchardus*.

### **III.2.3 Lettura ed analisi dei microincrementi giornalieri**

Per l'osservazione delle *sagittae* opportunamente preparate e fissate come sopra descritto si è utilizzato il sistema integrato microscopio – fotocamera – interfaccia di acquisizione – software. Per questa specifica finalità è stato impiegato un microscopio ottico in luce trasmessa Leica DMR, con capacità di ingrandimento fino a 1000X.

Gli accrescimenti giornalieri sono stati valutati a partire dal nucleo, primo anello che segna la schiusa della larva (Fig. III. 1).

Per ogni otolite sono state fatte diverse letture ed è stato preso in considerazione solamente il valore ottenuto con maggiore frequenza. Per ogni esemplare larvale le misure sugli otoliti sono state quelle determinate attraverso la media delle due *sagittae* (Dulčić, 1997).

Gli otoliti di non chiara lettura o che durante la preparazione si sono danneggiati sono stati scartati. L'analisi degli otoliti larvali ha rivelato una chiara successione di incrementi, secondo un pattern definito e costante nei campioni esaminati, dalla zona del *core* al margine di ciascuna *sagitta* (Fig. III. 2).

Il criterio applicato per distinguere gli incrementi di crescita degli otoliti è stato quello di distinguere chiaramente attorno all'otolite le unità discontinue. Ogni alternanza di un anello chiaro e di uno scuro, lungo il raggio maggiore, è stata considerata come un incremento di crescita completo. Inoltre, gli anelli neri sul bordo esterno dell'otolite sono stati considerati come incrementi ancora in fase di formazione e quindi non sono stati contati (Dulčić, 1997).

Per ogni otolite è stato determinata, inoltre, la misura del raggio. Tale valore è stato stimato misurando, lungo l'asse maggiore, la distanza tra l'area centrale otticamente densa e la periferia.

### **III.2.4 Modello di crescita**

Il modello usato per esprimere la crescita larvale è stato quello di Gompertz, proposto da Zweifel e Lasker (1976).

L'equazione del modello di Gompertz è:

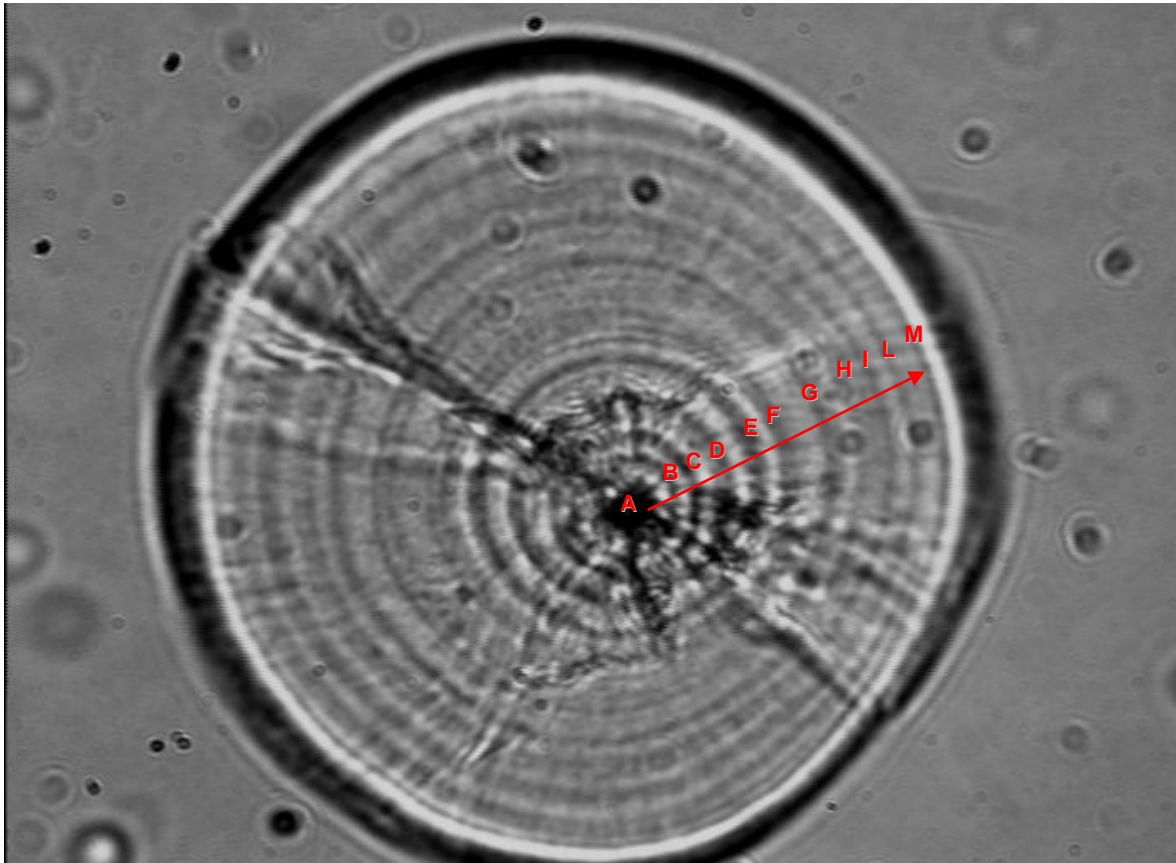
$$l_t = a \cdot e^{(-b \cdot e^{-ct})}$$

dove  $l_t$  è la lunghezza della larva al tempo  $t$ ,  $a$  è un asintoto,  $b$  e  $c$  sono costanti.

I parametri della funzione sono stati calcolati dai dati sull'età ottenuti dalle letture degli otoliti e sulle lunghezze delle larve attraverso una procedura iterativa usando il Programma STATISTICA della STATSOFT, Inc.

### ***III.2.5 Analisi dati e rappresentazioni grafiche***

Tutti i dati acquisiti durante le campagne oceanografiche e quelli ricavati da successive elaborazioni e analisi condotte in laboratorio hanno permesso di poter realizzare anche delle mappe di distribuzione nel Canale di Sicilia in relazione alle temperature medie della colonna d'acqua compresa tra 0 e 40 m di profondità. I parametri relativi alle abbondanze delle larve, lunghezze standard, numero di anelli di crescita, sono state mappate per le due campagne (Ansic2004 e Bansic2007). Per tali realizzazioni è stato utilizzato il programma Surfer 8 della Golden Software, Inc.



**Figura III.2:** Microstruttura della *sagitta* di un esemplare di larvale di *Engraulis encrasicolus* osservata al microscopio ottico in luce trasmessa a 600 X. A – rappresenta il nucleo; B – il check di clozazione; C - D - E - F - G - H - I - L - M – rappresentano rispettivamente il primo, secondo, terzo, quarto, quinto, sesto, settimo, ottavo e nono anello. La freccia rappresenta il raggio, il verso indica il senso di percorrenza della lettura degli incrementi

### III.3 RISULTATI

Il numero di stazioni Bongo ed il numero di larve catturate nelle campagne oceanografiche considerate nel presente studio sono riportati schematicamente nella seguente tabella.

**Tabella III.1:** Numero stazioni BONGO 40 e BONGO 60 effettuate per ognuna delle campagne; numero totale di larve pescate con i diversi campionatori zooplanctonici

Survey	N.Staz. Bongo 40	N.Staz. Bongo 60	N. larve di <i>E. encrasicolus</i> pescate
Ansic 04	248	146	795
Bansic 07	161	5	453

La tabella III.2, invece, mostra il numero di larve destinate all'estrazione, il numero di vetrini realizzati, il numero di vetrini leggibili ed infine il range di misura delle larve esaminate.

**Tabella III.2:** Informazioni sulle larve utilizzate per lo studio degli otoliti

Survey	N larve destinate all'estrazione	N di vetrini realizzati	N di vetrini leggibili	Range di misura delle larve analizzate
Ansic 04	196	104	83	3.6 – 20 mm
Bansic 07	140	114	88	3.6 – 18.3 mm

Le estrazioni manuali delle *sagittae* di *E. encrasicolus* di lunghezza inferiore a 3,689 mm, non sono state effettuate, in quanto al di sotto di tale lunghezza la percentuale di riuscita della fase di estrazione è risultata estremamente bassa. In riferimento al campione larvale relativo all'anno 2004, dal totale degli esemplari larvali catturati è stato scelto un sottocampione di 196 individui sui quali effettuare l'estrazione delle *sagittae*, in modo da coprire uniformemente la distribuzione in taglie del campione a disposizione. L'estrazione degli otoliti dagli esemplari scelti ha portato come ultimo risultato a 104 coppie di *sagittae* larvali, correttamente montate su vetrino.

Di queste solo 83 (79 %) sono risultate leggibili al fine del conteggio degli anelli di crescita. Le larve di acciuga analizzate avevano una taglia compresa tra 3,658 e 20,00 mm (media = 8,41 mm, SD =  $\pm 2,8$ ).

Nella tabella III.3 sono presentati in maniera riassuntiva i risultati delle letture degli incrementi giornalieri delle *sagittae* esaminate per l'anno 2004.

Il range di distribuzione degli incrementi di crescita osservati mostra il minimo nelle classi di incremento "3", "4" e "31" con un solo esemplare; le classi maggiormente rappresentate sono quelle con numero di incrementi 7, 8 e 10.

In riferimento al campione larvale relativo all'anno 2007, dal totale degli esemplari larvali catturati è stato scelto un sottocampione di 140 individui sui quali effettuare l'estrazione delle *sagittae*, in modo da coprire uniformemente la distribuzione in taglie del campione a disposizione. L'estrazione degli otoliti dagli esemplari scelti ha portato come ultimo risultato a 88 (77 %) coppie di *sagittae* larvali sulle 114 preparate correttamente, montate su vetrino e perfettamente leggibili al fine del conteggio e interpretazione degli incrementi di crescita.

**Tabella III.3:** Statistica riassuntiva relativa al campione considerato per lo studio della crescita larvale di *Engraulis encrasicolus* attraverso il conteggio e l'interpretazione della microstruttura delle *sagittae*. Campagna oceanografica Ansic 2004

N. incr.	N. ind.	SL range (mm)	SL media (mm)	Std SL media	(1,96*( $\sigma/\sqrt{N}$ ))
3	1		3,6	-	-
4	1		4,7	-	-
5	7	5 - 7	5,81	0,601	0,45
6	7	5,6 - 6,8	6,39	0,405	0,30
7	13	6,1 - 7,8	6,98	0,485	0,26
8	11	7,6 - 10,4	8,35	0,733	0,43
9	6	7,3 - 8,9	8,48	0,657	0,53
10	14	8 - 10,5	9,56	0,637	0,33
11	8	9,8 - 12	10,63	0,648	0,45
12	4	10 - 11,4	10,63	0,558	0,55
13	4	11 - 12	11,38	0,377	0,37
16	2	12,6 - 13,6	13,10	0,500	0,69
18	2	14,5 - 15	14,75	0,250	0,35
20	2	16,6 - 17	16,80	0,200	0,28
31	1		20,00	-	-

83

Le larve di acciuga analizzate avevano una taglia compresa tra 3,6 mm e 18,36 mm (media = 8,33 mm SD =  $\pm 2,25$ ).

Nella tabella III.4 sono presentati i risultati delle letture degli incrementi giornalieri delle *sagittae* esaminate per l'anno 2007.

Il range di distribuzione degli incrementi di crescita osservati mostra che la classe con minore incremento è la "4" con 4 esemplari e il massimo numero di incrementi corrispondente alla classe di incremento "34" con un solo esemplare; le classi rappresentate maggiormente sono quelle con 6, 7, 8 e 9 incrementi.

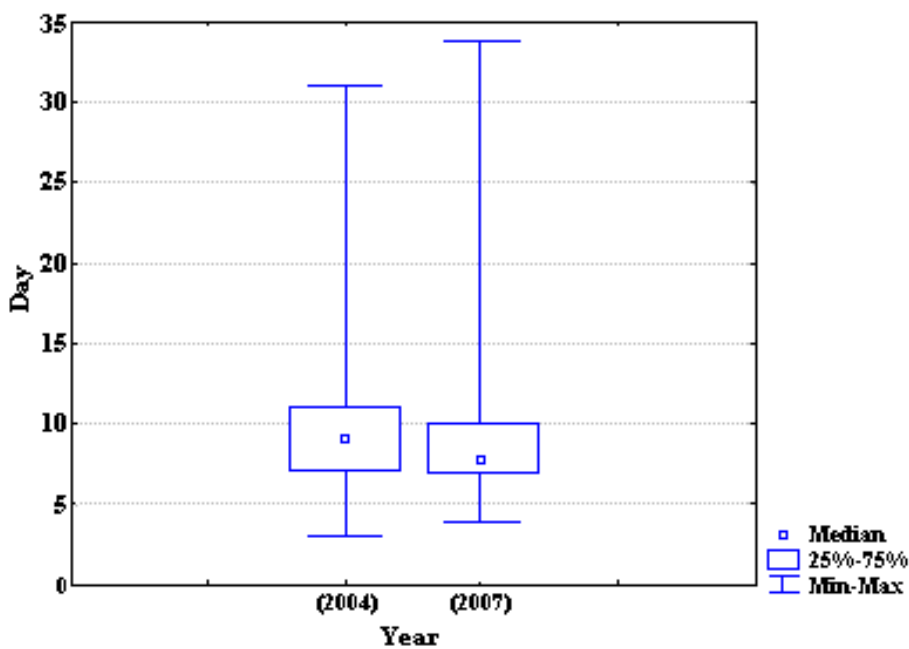
Successivamente, sono stati realizzati i Box Plot relativi al numero di incrementi giornalieri e alle lunghezze standard negli esemplari larvali degli anni 2004 e 2007 (Figg. III. 3 e III. 4).

I Box Plot effettuati sulle età stimate per le larve analizzate nei due periodi non mostrano una differenza statisticamente significativa tra i due set di larve, verificata attraverso il test U di Mann-Whitney per la non-normalità delle distribuzioni ( $p = 0,24$ ).

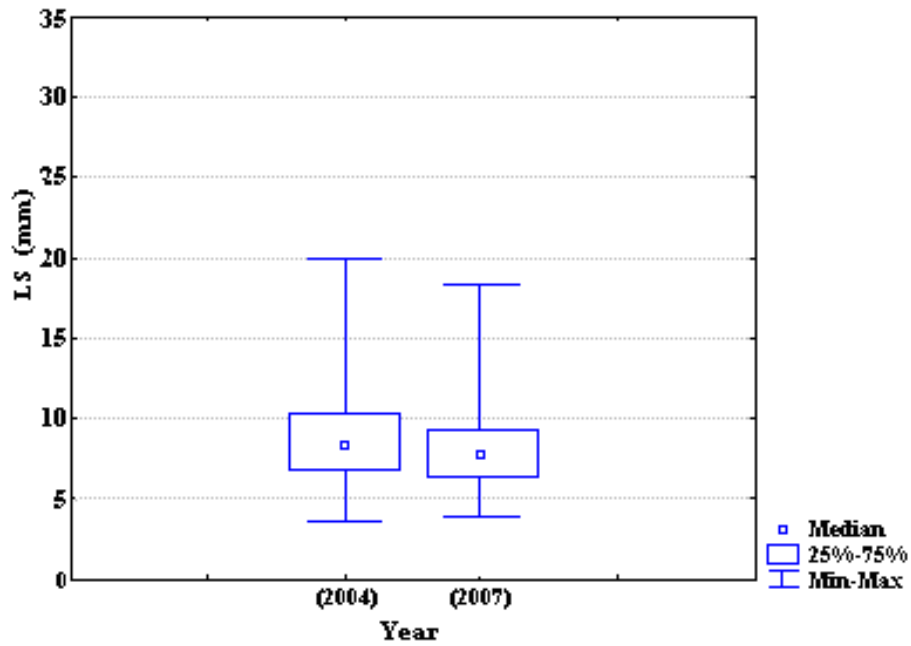
**Tabella III.4:** Statistica riassuntiva relativa al campione considerato per lo studio della crescita larvale di *Engraulis encrasicolus* attraverso il conteggio e l'interpretazione della microstruttura delle *sagittae*. Campagna oceanografica Bansic 2007

N. incr.	N. ind.	SL range (mm)	SL media (mm)	Std SL media	(1,96*( $\sigma/\sqrt{N}$ ))
4	4	3,689 - 5,916	5,09	0,913	0,894
5	5	5,166 - 6,005	5,63	0,286	0,251
6	12	5,573 - 7,810	6,49	0,569	0,322
7	17	6,209 - 8,674	7,28	0,629	0,299
8	17	7,299 - 8,956	8,24	0,432	0,205
9	10	7,498 - 9,717	8,76	0,583	0,361
10	6	9,155 - 10,093	9,57	0,281	0,225
11	3	7,352 - 10,855	9,34	1,470	1,663
12	3	9,904 - 10,743	10,19	0,392	0,443
13	3	10,021 - 12,084	11,13	0,848	0,960
14	2	11,829 - 11,970	11,90	0,071	0,098
15	2	11,605 - 12,137	11,87	0,266	0,369
16	1	-	10,23	-	-
17	1	-	12,29	-	-
21	1	-	15,99	-	-
34	1	-	18,31	-	-

88

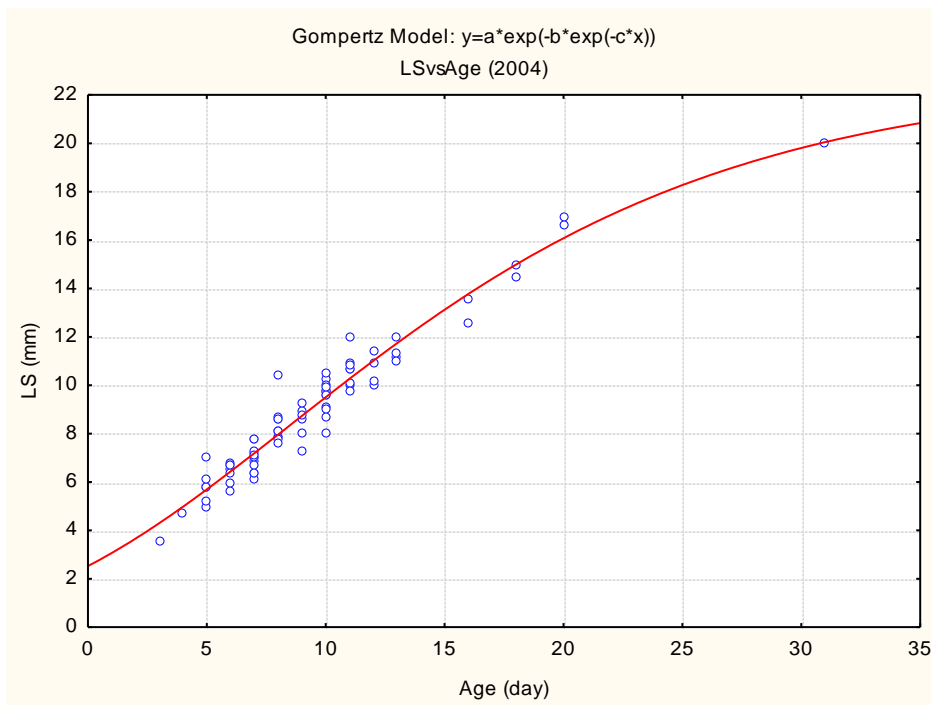


**Figura III.3:** Box plot dell'età per le campagne del 2004 e del 2007



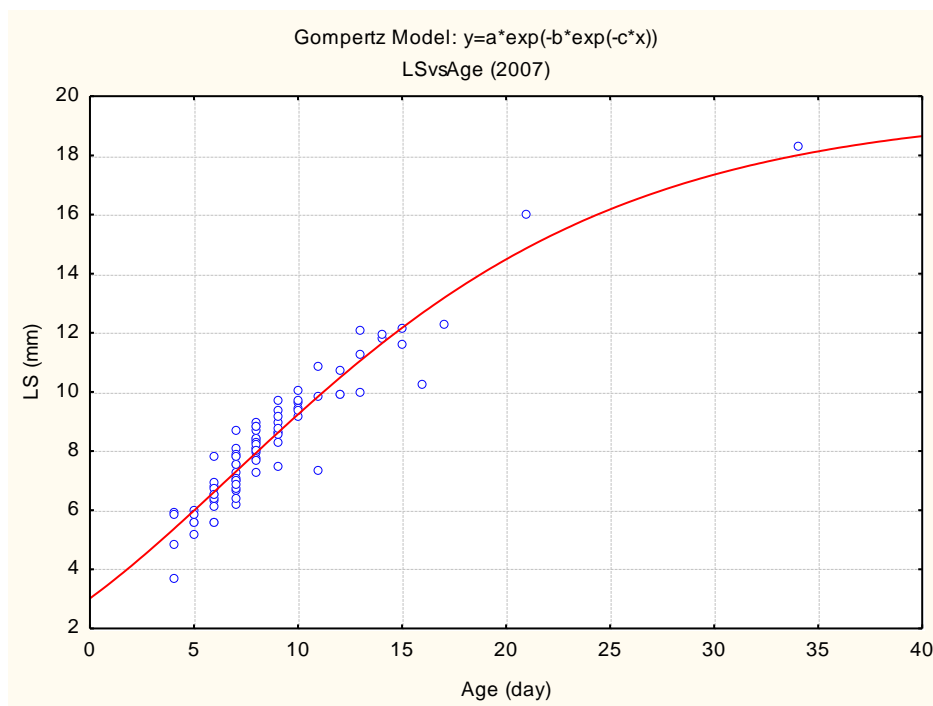
**Figura III.4:** Box plot della lunghezza delle larve (mm) per le campagne del 2004 e del 2007

Anche i Box Plot delle lunghezze delle larve analizzate nei due periodi presi in esame non mostrano nessuna differenza statisticamente significativa (test U di Mann-Whitney,  $p=0,26$ ). Di seguito vengono riportati i grafici delle curve ricavate dal modello di Gompertz per gli anni 2004 e 2007 (Figg. III. 5 e III. 6).



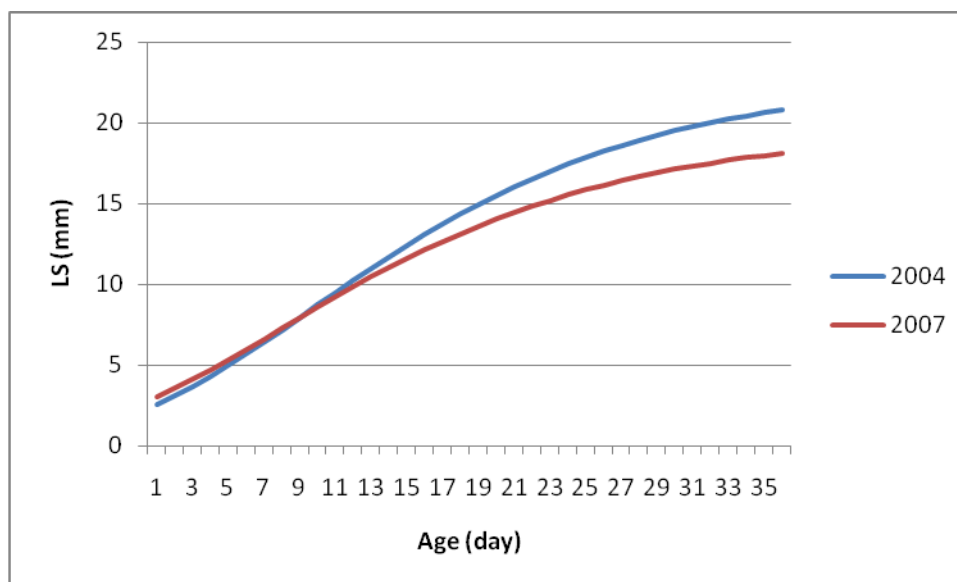
**Figura III.5:** Curva di crescita per il 2004 (Gompertz)





**Figura III.6:** Curva di crescita per il 2007 (Gompertz)

Nella figura III.7 viene invece riportato il confronto tra le curve ricavate per gli anni 2004 e 2007.



**Figura III.7:** Equazioni di Gompertz per gli anni 2004 e 2007

Nella tab. III.5 sono riportati i valori stimati dei parametri dell'equazione di Gompertz. Per ognuno di essi è stato calcolato sia l'errore standard che i limiti di confidenza. Dalla

tabella, inoltre, si evince che la funzione mostra alti livelli di correlazione ( $R$ ) = pari a 0,973 e 0,949 rispettivamente per l'anno 2004 e 2007.

**Tabella III. 5:** Valori dei parametri stimati per la funzione di Gompertz

Survey	$a$	Errore stand.	Conf Lim (95%)	$b$	Errore standard	Conf Lim (95%)	$c$	Errore stand.	Conf Lim (95%)	$R$
Ansic 04	22.715	1.223	±2.41	2.197	0.061	±0.122	0.092	0.008	±0.015	0.973
Bansic 07	19.569	1.222	±2.32	1.873	0.066	±0.131	0.091	0.010	±0.018	0.949

Poiché stiamo usando lo stesso modello per fittare le curve di crescita, ed essendo i parametri calcolati delle stime per le quali abbiamo l'errore standard, è possibile confrontare le due curve valutando la significatività delle differenze tra i parametri che le caratterizzano.

Il limiti di confidenza stimati sui parametri delle due curve mostrano una differenza significativa ( $p < 0,05$ ) solo per il parametro  $b$ , mentre nessuna differenza è stata riscontrata per gli altri due parametri.

Il confronto delle curve di crescita può essere effettuato attraverso approcci alternativi che meglio si prestano all'analisi dei dati reali. Tra questi vi sono i test univariati e multivariati (Cerrato, 1990). Kimura (1980) ha mostrato, effettuando un confronto tra i diversi test (t-test,  $\chi^2$  univariato, Likelihood ratio test e Hottelling T-test) che il Likelihood ratio test è quello che meglio descrive la realtà dei dati. L'applicazione del test proposto da Kimura (1980) trova inizialmente il miglior fitting per ognuna delle curve separatamente, e quindi in sequenza confronta la somma totale degli scarti quadratici residuali fra il caso base con quelli ottenuti aggiungendo i vari vincoli. Dapprima si assume che entrambi i dataset possano essere descritti da una sola curva e successivamente, se delle differenze significative esistono, allora si assume che a turno i singoli parametri siano gli stessi. Nel caso di parametri  $a, b$  e  $c$  dapprima si assume che  $a$  sia identico nelle due curve e successivamente che lo siano  $b$  e poi  $c$ , testando separatamente queste ipotesi (vincoli). Se vi sono differenze si può concludere che esiste evidenza che le curve differiscono e che siamo in grado di identificare quali parametri sono diversi fra le due curve.

I risultati relativi al "Likelihood ratio test" (Tab III. 6) relativi al confronto delle due curve, mostrano una significativa differenza ( $p < 0.001$ ); in seguito, confrontando nel

dettaglio i tre parametri, l'unico che è risultato significativamente diverso nei due periodi considerati è K ( $p < 0.001$ ).

**Tabella III. 6:** Risultati del “Likelihood ratio test” per le larve di acciuga del 2004 e del 2007. Il caso base corrisponde al caso in cui due curve distinte sono fittate separatamente; la colonna “coincidenti” corrisponde al considerare i due dataset contemporaneamente. SSQ si riferisce alla somma dei quadrati di tutti i residui di entrambe le curve fittate insieme.  $\chi^2$ =la distribuzione chi quadro; df= numero di gradi di libertà; P= livello di significatività della differenza

<i>Risultati</i>	<i>Caso base</i>	<i>Coincidenti</i>	<i>Linf =</i>	<i>K=</i>	<i>G=</i>
<i>L inf-2004</i>	22.72	21.05	21.47	22.66	22.85
<i>K-2004</i>	2.20	2.05	2.21	2.07	2.19
<i>G 2004</i>	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09
<i>L inf-2007</i>	19.65	21.05	21.47	18.56	19.50
<i>k-2007</i>	1.86	2.05	1.87	2.07	1.86
<i>G-2007</i>	0.09	0.09	0.08	0.11	0.09
<i>SSQ</i>	76.78	88.00	78.18	82.63	76.79
$\chi^2$		22.79	3.02	12.28	0.03
<i>df</i>		3	1	1	1
<i>P</i>		0.000	0.082	0.000	0.859

Considerando che il dataset del 2004 è costituito anche da campioni larvali catturati in un'area ben distinta da quella campionata nel 2007 (area attorno a Lampedusa), si è scelto di valutare l'effetto di tali stazioni sul confronto tra le due curve di crescita.

Il risultati del Likelihood ratio test senza le stazioni attorno a Lampedusa non ha però evidenziato differenze significative rispetto alla precedente analisi (Tab. III. 7)

**Tabella III. 7:** Risultati del “Likelihood ratio test” per le larve di acciuga del 2004 senza le stazioni di Lampedusa e del 2007

<i>Risultati</i>	<i>Caso base</i>	<i>Coincidenti</i>	<i>Linf =</i>	<i>K=</i>	<i>G=</i>
<i>L inf-2004</i>	22.54	21.10	21.38	22.69	22.88
<i>K-2004</i>	2.24	2.03	2.26	2.07	2.22
<i>G 2004</i>	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09
<i>L inf-2007</i>	19.65	21.10	21.38	18.63	19.30
<i>k-2007</i>	1.86	2.03	1.87	2.07	1.87
<i>G-2007</i>	0.09	0.09	0.08	0.11	0.09
<i>SSQ</i>	67.29	78.66	68.56	73.52	67.39
$\chi^2$		22.62	2.71	12.83	0.20
<i>df</i>		3	1	1	1
<i>P</i>		0.000	0.099	0.000	0.655

I tassi di crescita delle larve di *Engraulis*, attraverso il rapporto  $(LS_t - LS_{t-1}) / (Età_t - Età_{t-1})$  stimata in corrispondenza di una lunghezza delle larve pari a 8 mm sono rispettivamente 0.77 mm/day per il 2004 e 0.65 mm/day per il 2007. Nella tab. III.8 vengono riportati i valori dei tassi di crescita in diverse aree di mare e per diverse specie di *Engraulis* (García e Palomera, 1996).

**Tabella III.8:** Tasso di crescita larvale per diverse specie di *Engraulis* in diverse aree di mare

Species	Area	Authors	Medium	Growth model	Growth rate (mm/day)	Temp. °C
<i>Engraulis capensis</i>	S Atlantic	Thomas, 1986	Sea	Linear	0.7**	22
<i>E. japonicus</i>	E Pacific	Fukuhara & Takao, 1988	Lab.	Linear	0.4 – 0.6	20 - 27
		Mitani, 1988	Sea	Linear	0.4 – 0.69	-
<i>E. mordax</i>	N Pacific	Kramer & Zewifel, 1970	Lab.	Exponential	0.4*	15
		Methot & Kramer, 1979	Sea	Gompertz	0.37*	15
<i>E. encrasicolus</i>	Adriatic	Regner, 1980	Lab.	Gompertz	1.15*	21.3
	N Atlantic	Rè, 1987	Est.	Linear	0.4	16 - 19
	NW Mediterr.	Palomera <i>et al.</i> 1988	Sea	Gompertz	0.9*	20
		Garcia <i>et al.</i> , 1995a	Sea	Exponential	0.56	18

\* Tasso di crescita a 8 mm di lunghezza, \*\* Stime effettuate dai dati dell'Autore.

In relazione alla misurazione del raggio, nel 2004 su un totale di 104 coppie di *sagittae* fissate su vetrino sono stati ottenuti 80 campioni dai quali è stato possibile effettuare con esattezza la misurazione dei raggi.

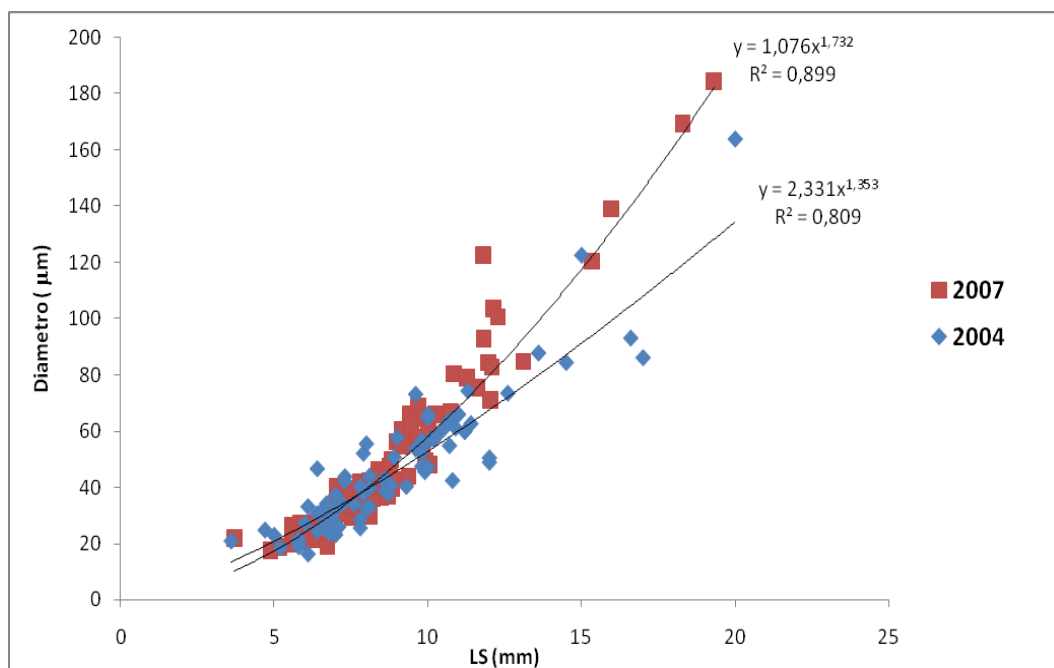
Nel 2007 è stato possibile misurare il raggio di 94 coppie di *sagittae* su un totale di 114 vetrini realizzati.

La relazione tra il diametro dell'otolite e la lunghezza della larva è stata modellizzata con l'equazione  $y = AX^B$  in cui  $y$  è il diametro e  $X$  la lunghezza larvale. I parametri sono risultati essere:  $A = 2,331$  e  $B = 1,353$  ( $R^2 = 0,809$ , Tab. III.9) per l'anno 2004 e  $A = 1,076$  e  $B = 1,732$  ( $R^2 = 0,899$ , Tab. III.9) per l'anno 2007. Nella figura III.8 vengono riportati entrambi i set di misure con le relative curve di tendenza, e quello che si evince è che tra i due andamenti la curva relativa all'anno 2007 ha una pendenza maggiore, cioè a parità di LS delle larve il diametro ha dimensioni maggiori. Tale circostanza è confermata dalla significatività della differenza ( $p < 0,05$ ) nei parametri A e B tra i due anni (Tab. III.9).

**Tabella III. 9:** Valori dei parametri stimati per la funzione  $y = AX^B$

Survey	A	Errore standard	Conf Lim (95%)	B	Errore standard	Conf Lim (95%)	R <sup>2</sup>
Ansic 04	2,331	0,362	±0,720	1,353	0,064	±0,127	0,809
Bansic 07	1,076	0,116	±0,231	1,733	0,044	±0,086	0,899

Per gli stessi anni sono state analizzati alcuni parametri chimico-fisici della colonna d'acqua al fine di individuare possibili cause per le differenze notate nelle *sagittae*. La tabella III. 10 riassume i valori medi di temperatura, fluorescenza, salinità e ossigeno per le campagne oceanografiche del 2004 e del 2007 e i valori minimi e massimi degli stessi parametri. Tali valori medi sono stati calcolati nello strato 0-40 m per le stazioni dove sono state catturate le larve che sono state utilizzate per l'estrazione e l'analisi delle *sagittae*.

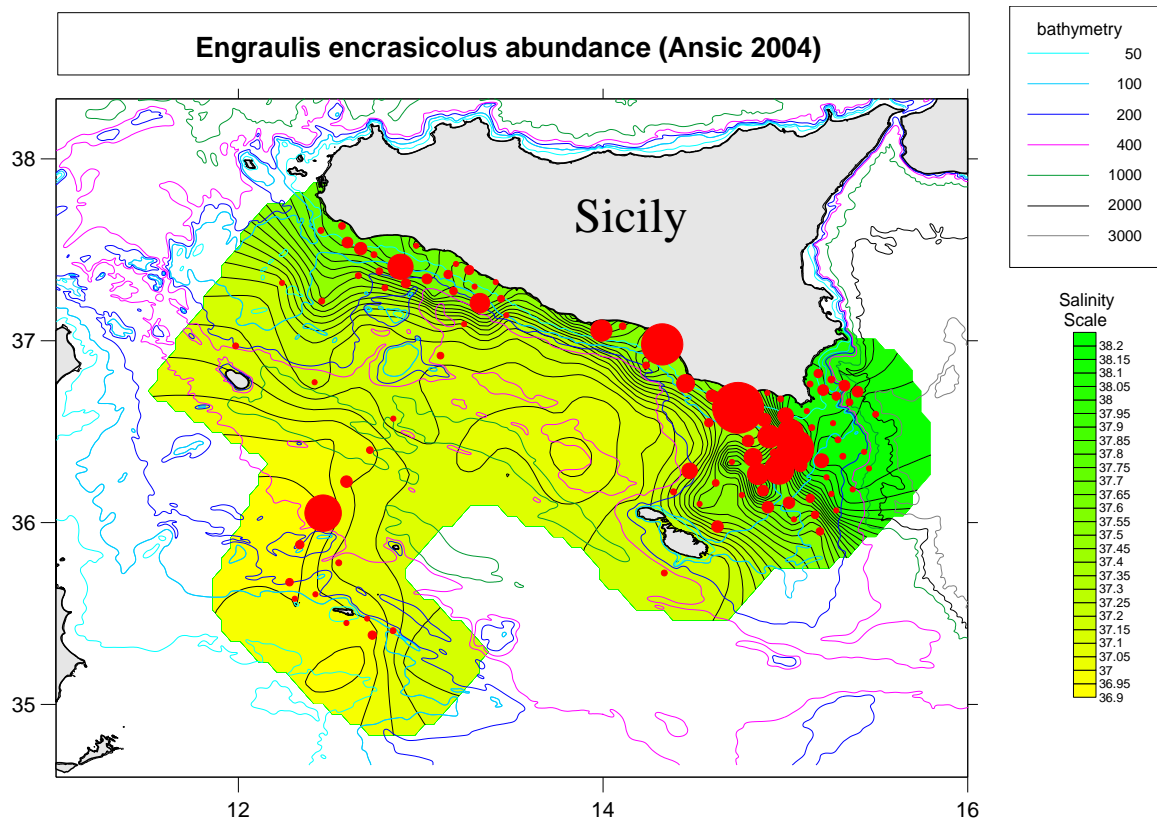


**Figura III.8:** Confronto tra le relazioni Diametro-Lunghezza Standard per le campagne 2004 e 2007

**Tabella III.10:** Valori medi delle temperature, fluorescenze, salinità e ossigeno delle stazioni di riferimento

Survey	T [°C]	min - max	F [µg/l]	min - max	S [‰]	min - max	O <sub>2</sub> [mg/l]	min - max
2004	19,43	16,00 - 21,41	0,13	0,096 - 0,229	37,89	37,17 - 38,64	7,46	7,19-7,72
2007	20,13	17,26 - 23,04	0,06	0,019 - 0,236	37,43	37,00 - 38,09	7,91	7,32- 8,19

Nella figura III.9 viene riportata la distribuzione spaziale di larve di *Engraulis encrasicolus* durante la campagna del 2004. Da un'attenta analisi si evince che la presenza delle larve si attesta principalmente nella zona costiera che va da Mazara fino a Capo Passero.

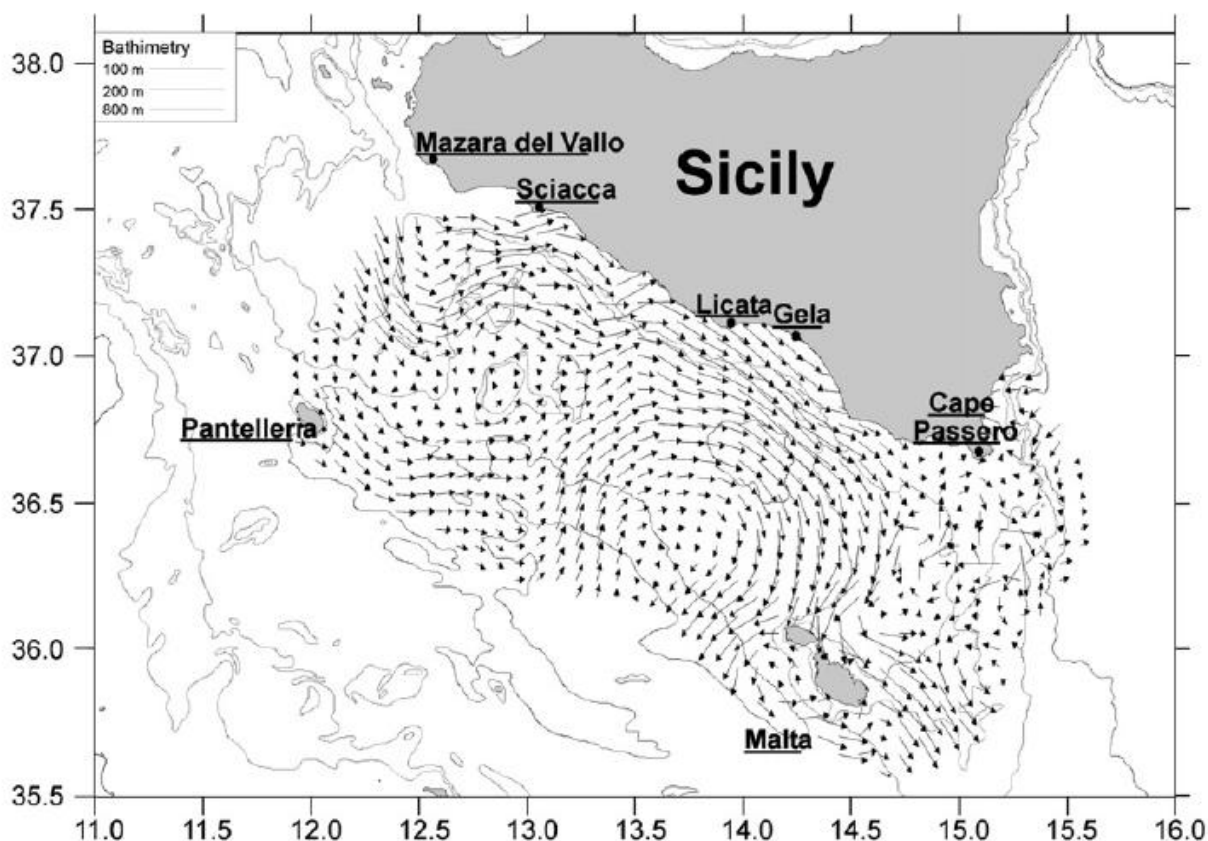


**Figura III.9:** Mappa di distribuzione dell'abbondanza di *Engraulis encrasicolus* nel corso della campagna Ansic 04. Il diametro dei cerchi risulta essere proporzionale al numero di larve catturate per stazione

Nella zona compresa tra la costa siciliana e l'isola di Lampedusa sono presenti stazioni con un numero esiguo di larve.

Il maggior numero di larve per stazione è stato rinvenuto tra Licata e Capo Passero.

I campi di temperatura e salinità, ottenuti dall'analisi dei dati CTD, mettono in evidenza che il meccanismo di trasporto da parte dell'AIS verso l'area di ritenzione a Sud-Est di Capo Passero risulta essere attivo. In particolare, l'AIS, dopo avere percorso parte del suo cammino intorno al Banco Avventura (circolazione ciclonica), si avvicina alla costa meridionale Siciliana per poi allontanarsi e circondare la piattaforma siculo-maltese (sempre in senso ciclonico) (Fig. III. 10).

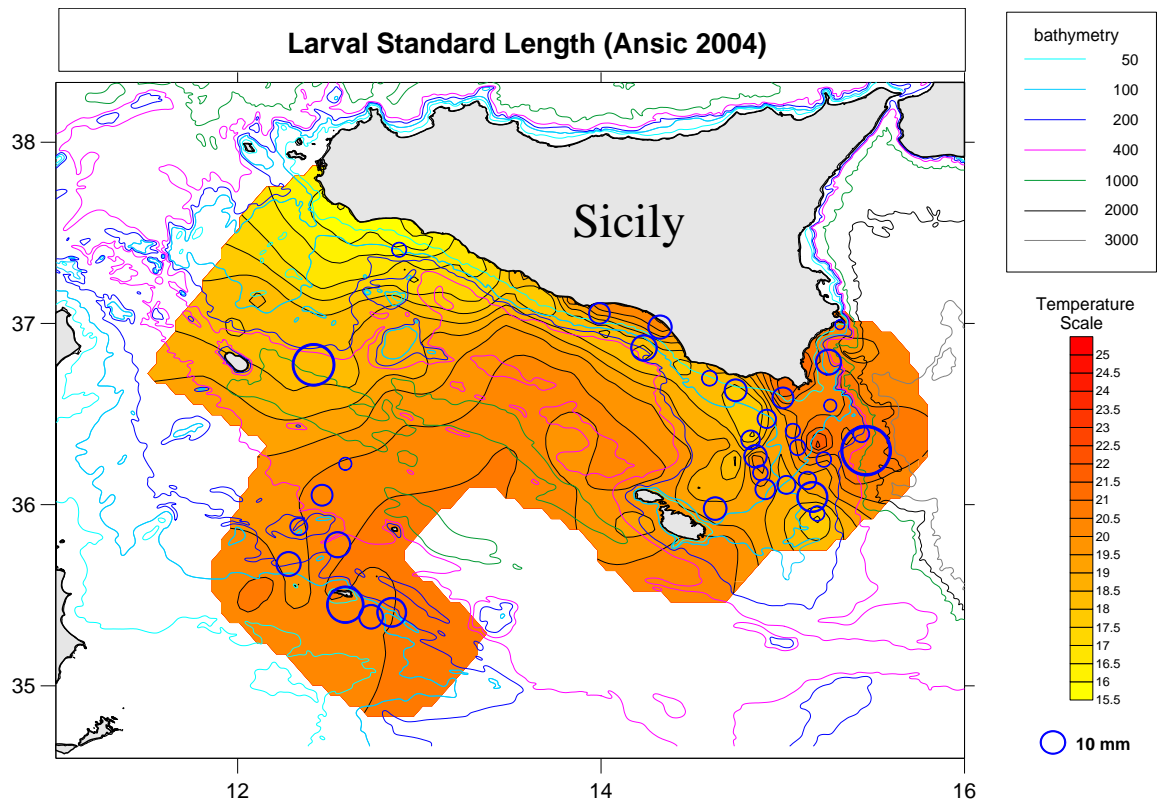


**Figura III.10:** Mappa della velocità geostrofica a 10 m di profondità (riferito a 200 dbar)

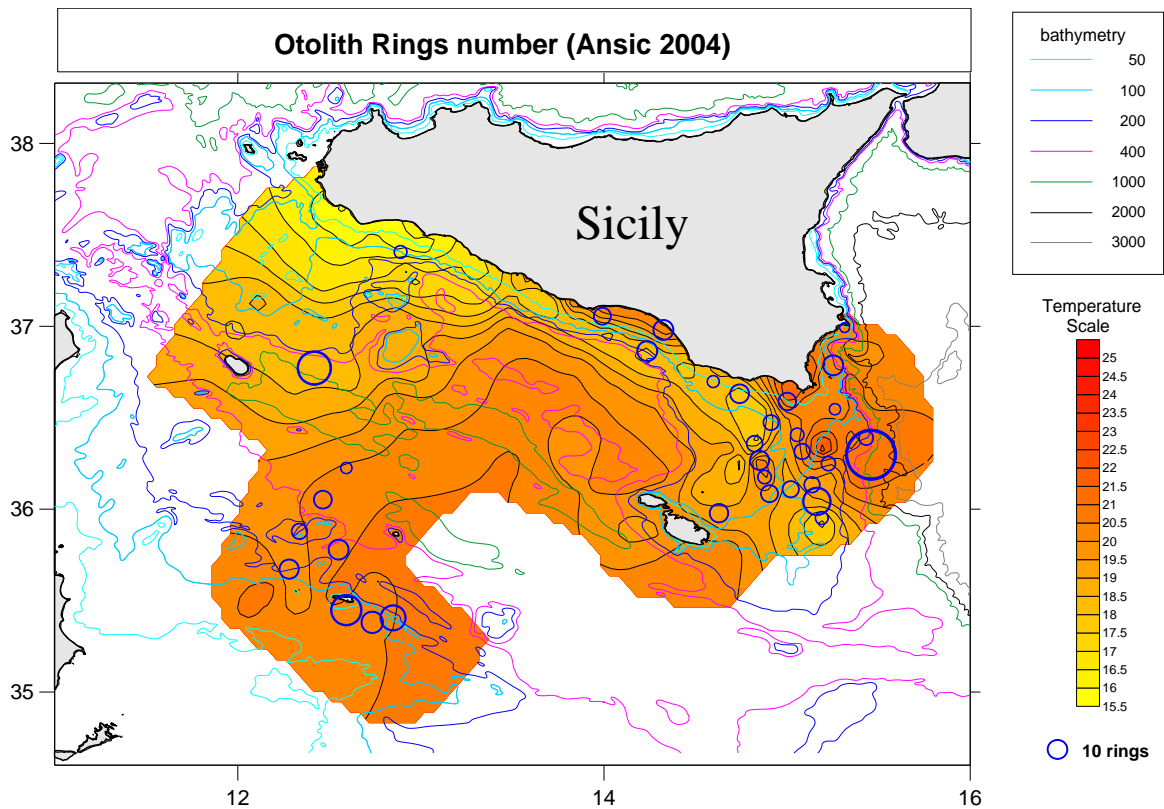
Analizzando il valore medio della lunghezza standard delle larve (Fig. III.11) catturate per stazione, si nota una relazione tra la lunghezza delle larve e la temperatura; in particolare, le larve di maggiore dimensioni si trovano nella zona ionica, in corrispondenza del fronte salino (Fig. III.9), nella zona di Pantelleria e a largo di Lampedusa.

Anche tale parametro evidenzia l'influenza dell'AIS in quanto la maggior parte delle larve segue il percorso dell'AIS in direzione SE e raggiunge la zona di Capo Passero dove sono stati trovati gli esemplare di dimensioni maggiori.

L'analisi della microstruttura degli otoliti (Fig. III.12) mediante il numero degli anelli conferma quanto detto precedentemente. Vale a dire che le larve di età maggiore si trovano proprio nella zona di ritenzione.



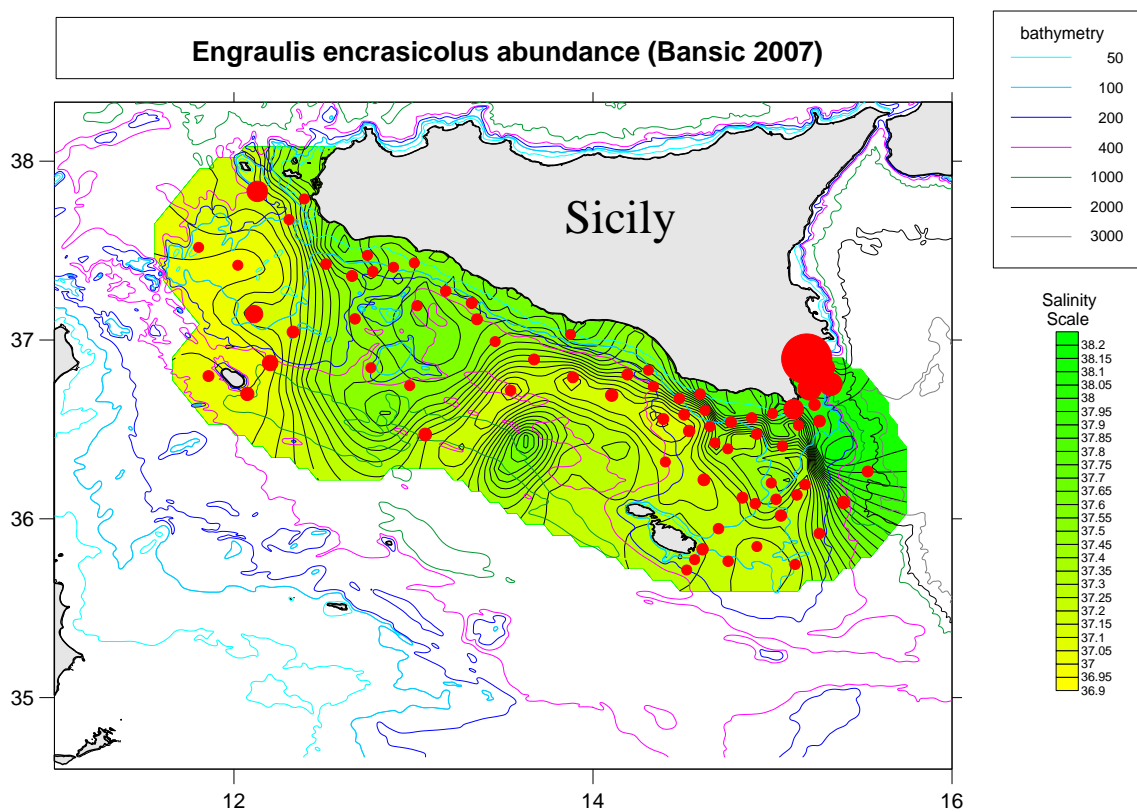
**Figura III.11:** Valori medi di lunghezza standard di *Engraulis encrasicolus* per stazione plottati in relazione alla temperatura (media 0-40 m)



**Figura III.12:** Valori medi del numero di anelli di *Engraulis encrasicolus* per stazione plottati in relazione alla temperatura (media 0-40 m).

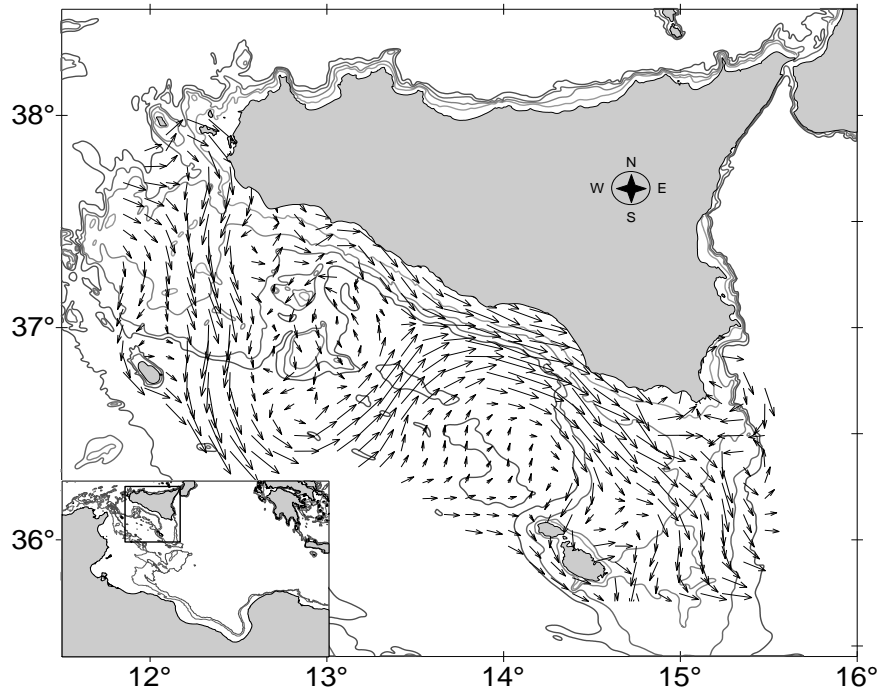


Per quanto riguarda la distribuzione dell'abbondanza delle larve di acciuga nel 2007 (Fig. III.13) si nota una zona che interessa quasi tutta l'area del Canale di Sicilia che va da Mazara fino a Pantelleria e da Capo Passero a Malta. Il nucleo di maggiore concentrazione si trova sempre nella zona di ritenzione di Capo Passero. Tale zona rispetto alle condizioni oceanografiche del 2004 risulta essere più circoscritta. Il pattern dell'AIS (Fig. III. 14) nel survey del 2007 evidenzia l'effetto di concentrazione delle larve interne all'area di capo Passero. I valori medi delle lunghezza standard dell'acciuga (Fig. III.15) plottati in relazione alla temperatura mettono in evidenza che nella zona tra Licata, Pozzallo e Capo Passero vi è la presenza di larve di dimensioni maggiori.

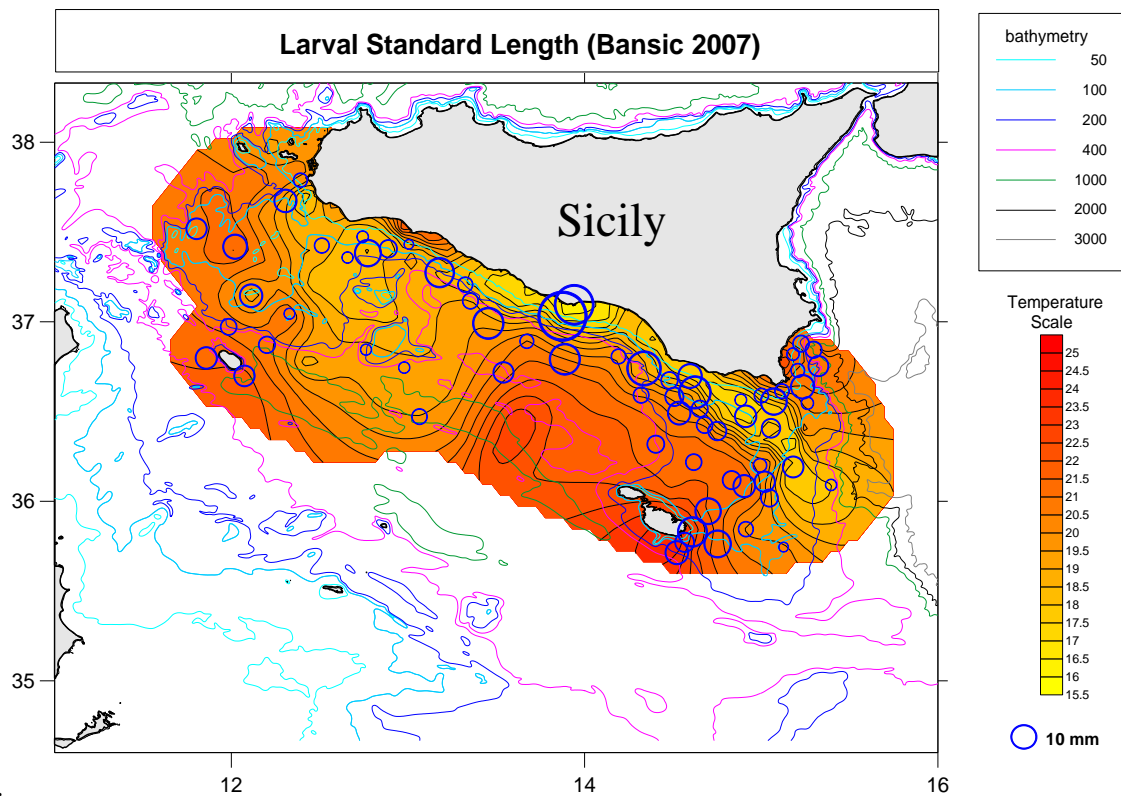


**Figura III.13:** Mappa di distribuzione dell'abbondanza di *Engraulis encrasicolus* nel corso della campagna Ansic 07. Il diametro dei cerchi risulta essere proporzionale al numero di larve catturate per stazione

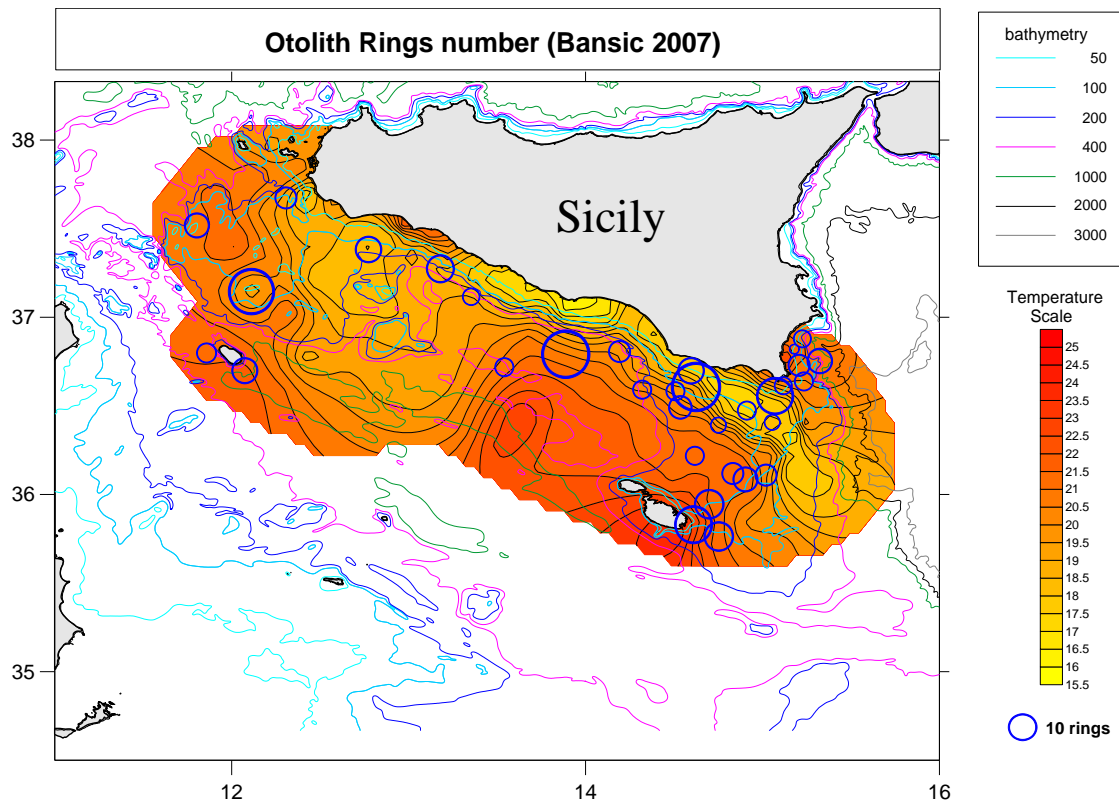
Analoga situazione si rinviene attorno all'isola di Malta. Anche per l'età delle larve, si nota dalla figura III.16 che nella area che va da Licata fino a Capo Passero e nella zona della piattaforma di Malta è presente il maggior numero di larve con un numero di anelli maggiore, a conferma del fatto che le larve probabilmente nate nelle zone di spawning già note (Sciacca e Porto Empedocle) siano state poi trascinate dalla corrente dell'AIS verso questa zona di ritenzione.



**Figura III.14:** Mappa della velocità geostrofica a 10 m di profondità (riferito a 200 dbar)



**Figura III.15:** Valori medi di lunghezza standard di *Engraulis encrasicolus* per stazione in relazione alla temperatura (media 0-40 m)



**Figura III.16:** Valori medi del numero di anelli di *Engraulis encrasicolus* per stazione in relazione alla temperatura (media 0-40 m)

#### III.4 DISCUSSIONE

Le differenze riscontrate nelle due curve di crescita relative all'anno 2004 e all'anno 2007 sono probabilmente da attribuire a differenti condizioni oceanografiche nei due survey. Pertanto, tra tutti parametri raccolti mediante la sonda CTD l'attenzione è stata focalizzata sui valori di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità.

Di seguito viene riportata, per ognuno dei fattori considerati, la tabella III.11 relativa alla statistica descrittiva per i due anni presi in esame.

Si è valutato, quindi, se le differenze osservate tra i due anni erano significative.

Pertanto, utilizzando il test di Shapiro-Wilks si è trovato che nessuna delle variabili risultava normalmente distribuita, neanche a seguito di una trasformazione logaritmica.

**Tabella III.11:** Valori medi, minimi, massimi, varianza e deviazione standard di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relativa agli anni 2004 e 2007

Anno		Valid N	Mean	Median	Min	Max	Lower - Quartile	Upper - Quartile	Variance	Std.Dev.
2004	T	34	19,45	19,911	16,006	21,413	18,7150	20,3110	1,53	1,2377
2007	T	32	20,16	20,449	17,262	23,037	19,4199	21,2237	1,64	1,2788
2004	F	34	0,133	0,1235	0,096	0,229	0,1080	0,1520	0,00	0,0328
2007	F	32	0,057	0,0431	0,018	0,236	0,0327	0,0565	0,00	0,0459
2004	O <sub>2</sub>	34	7,463	7,4705	7,198	7,722	7,3760	7,5720	0,02	0,1387
2007	O <sub>2</sub>	32	7,911	7,9263	7,327	8,191	7,7652	8,0602	0,04	0,1928
2004	S	34	37,92	37,986	37,166	38,635	37,4920	38,4240	0,24	0,4865
2007	S	32	37,41	37,293	36,997	38,090	37,1595	37,6334	0,13	0,3602

Si è proceduto, quindi, ad utilizzare il test di U di Mann-Whitney per confronti a coppie nei casi non parametrici (Tab. III. 12).

**Tabella III.12:** . Test U di Mann-Whitney sui parametri fisici rilevati per anno (survey)

	Rank Sum - Group 1	Rank Sum - Group 2	U	Z	p-level	Z - adjusted	p-level	Valid N - Group 1	Valid N - Group 2	2*1sided - exact p
T	957	1254	362,	-2,335	0,019537	-2,33515	0,019536	34	32	0,019167
F	1593	618	90	5,824	0,000000	5,82529	0,000000	34	32	0,000000
O <sub>2</sub>	633	1578	38	-6,492	0,000000	-6,49223	0,000000	34	32	0,000000
S	1444	767	239	3,913	0,000091	3,91330	0,000091	34	32	0,000055

Le differenze tra i valori osservati sono risultate essere significative ( $p << 0.05$ ) per tutti i parametri presi in esame.

Di seguito sono riportati i box plot per ognuno dei parametri fisici della colonna d'acqua considerati (Figg. III. 17. III. 18, III. 19, III. 20).

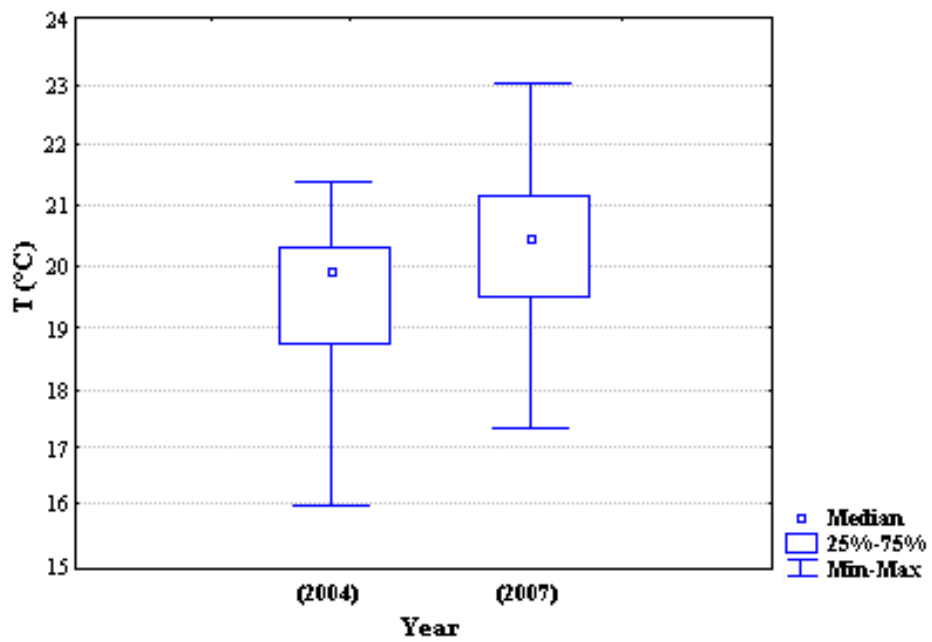


Figura III.17: Box plot della temperatura per le campagne del 2004 e del 2007

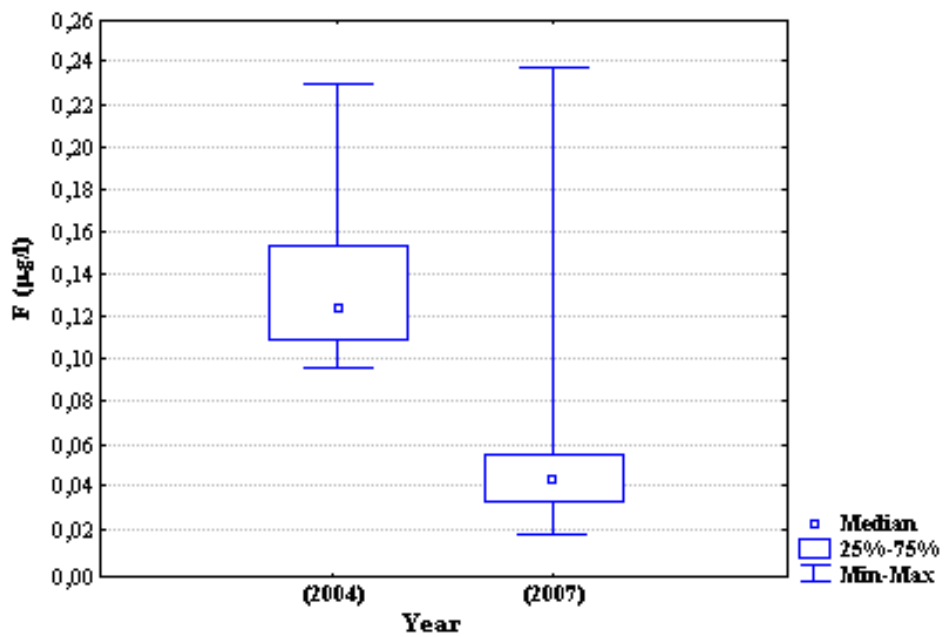


Figura III.18: Box plot della fluorescenza per le campagne del 2004 e del 2007

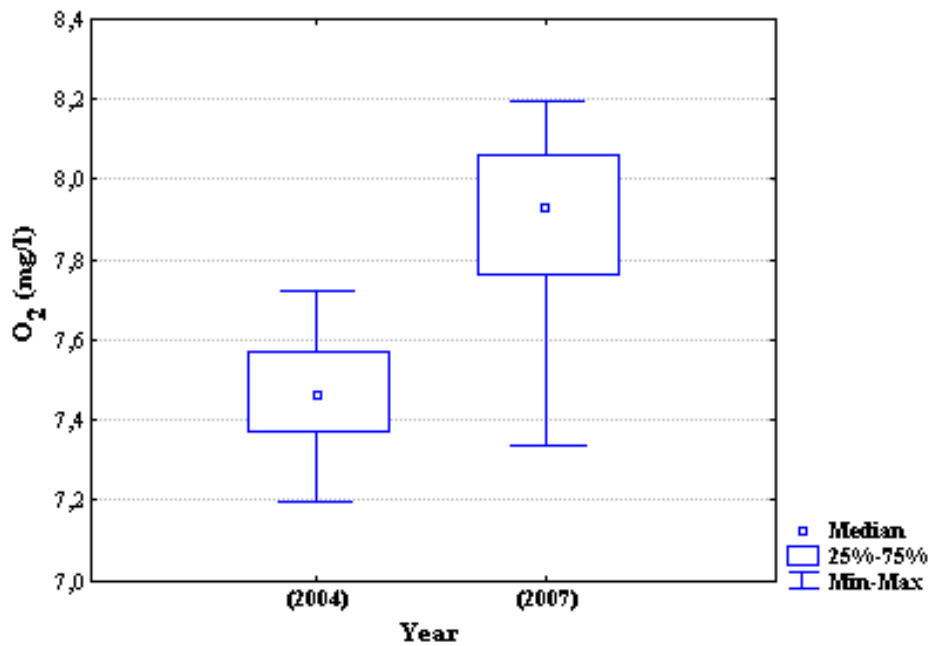


Figura III.19: Box plot dell'ossigeno per le campagne del 2004 e del 2007

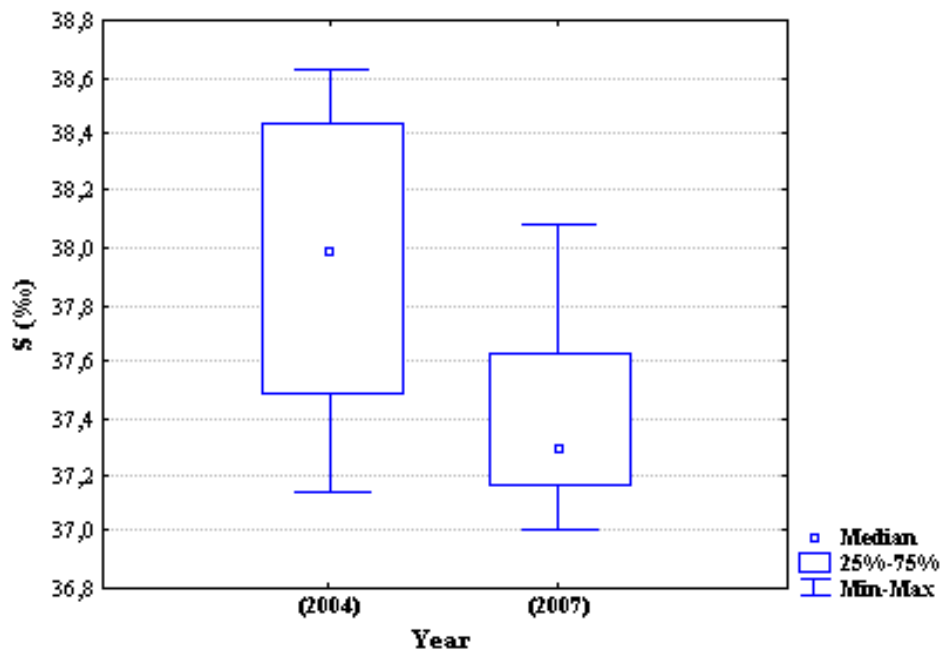


Figura III.20: Box plot della salinità per le campagne del 2004 e del 2007

Si è quindi cercato di raggruppare le stazioni in termini di condizioni ambientali omogenee. Al tal fine, si è utilizzata la Cluster Analysis (metodo K-means). Il numero di cluster iniziale (K) è stato scelto utilizzando la regola  $K = (n/2)^{0.5}$ , ed è risultato pari a 5. Inoltre, prima di effettuare l'analisi, i dati oceanografici sono stati standardizzati.

La successiva tabella III. 13 riporta i valori medi standardizzati per ogni cluster, mentre nelle tabelle III. 14, III. 15, III. 16, III. 17, III. 18 sono riportati i valori non standardizzati relativi a ciascun cluster.

**Tabella III.13:** Valori medi standardizzati di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relativamente a ogni cluster

	Cluster - No. 1	Cluster - No. 2	Cluster - No. 3	Cluster - No. 4	Cluster - No. 5
<b>T</b>	0,61682	-1,09681	0,247535	0,47839	-1,51996
<b>F</b>	-1,01825	-0,00562	0,861867	0,09242	0,96540
<b>O<sub>2</sub></b>	0,70975	1,62515	-0,786273	-1,38224	-0,10621
<b>S</b>	-0,56311	-0,44769	1,352673	-0,81585	0,36992

**Tabella III.14:** Statistiche descrittive dei valori di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relative al cluster 1

CLUSTER=1					
	Media	Minimo	Massimo	Dev.St.	Errore Standard
<b>T</b>	20,60371	19,29382	21,67114	0,664309	0,135601
<b>F</b>	0,04083	0,01877	0,07003	0,013222	0,002699
<b>O<sub>2</sub></b>	7,87897	7,64690	8,12913	0,143791	0,029351
<b>S</b>	37,39664	36,99765	38,09034	0,397919	0,081225

**Tabella III.15:** Statistiche descrittive dei valori di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relative al cluster 2

CLUSTER=2					
	Media	Minimo	Massimo	Dev.St.	Errore Standard
<b>T</b>	18,37889	17,26276	19,07375	0,622578	0,254166
<b>F</b>	0,09658	0,03981	0,17738	0,051417	0,020991
<b>O<sub>2</sub></b>	8,13513	8,06804	8,19110	0,044673	0,018238
<b>S</b>	37,45397	37,17047	37,67237	0,193679	0,079069

**Tabella III.16:** Statistiche descrittive dei valori di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relative al cluster 3

CLUSTER=3					
	Media	Minimo	Massimo	Dev.St.	Errore Standard
<b>T</b>	20,12427	19,13000	21,41300	0,607498	0,156855
<b>F</b>	0,14434	0,09600	0,20700	0,032572	0,008410
<b>O<sub>2</sub></b>	7,46033	7,37600	7,57200	0,050641	0,013075
<b>S</b>	38,34833	37,98400	38,63500	0,237386	0,061293

**Tabella III.17:** Statistiche descrittive dei valori di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relative al cluster 4

CLUSTER=4					
	Media	Minimo	Massimo	Dev.St.	Errore Standard
<b>T</b>	20,42398	19,70100	23,03781	0,955634	0,302198
<b>F</b>	0,10198	0,04475	0,13500	0,023345	0,007382
<b>O<sub>2</sub></b>	7,29356	7,19800	7,39800	0,058920	0,018632
<b>S</b>	37,27109	37,16600	37,66200	0,147852	0,046755

**Tabella III.18:** Statistiche descrittive dei valori di temperatura, fluorescenza, ossigeno disciolto e salinità relative al cluster 5

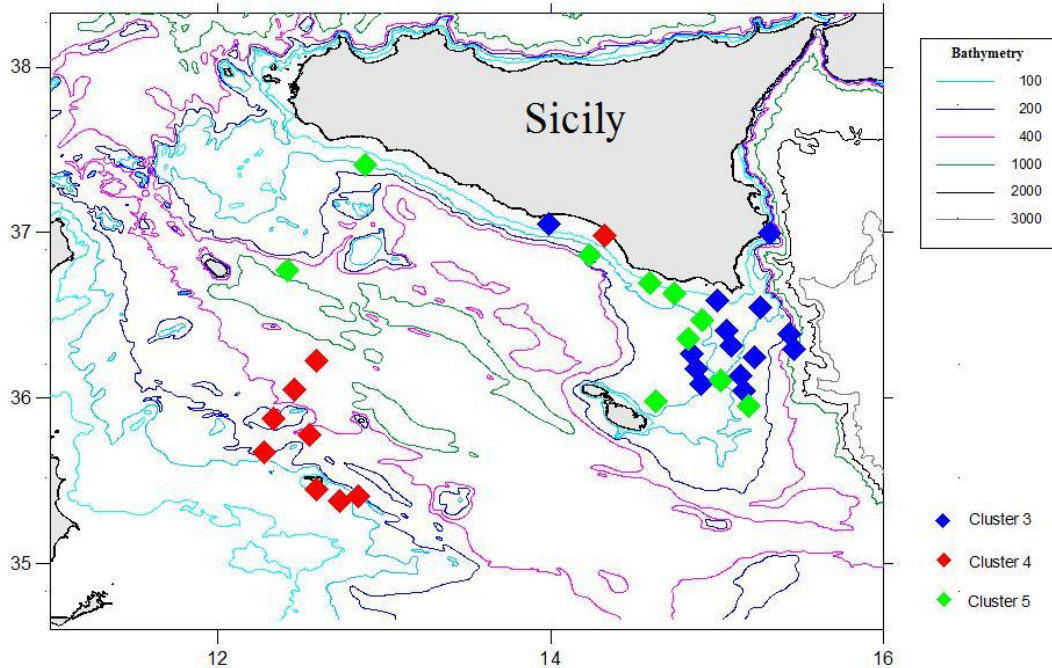
CLUSTER=5					
	Media	Minimo	Massimo	Dev.St.	Errore Standard
<b>T</b>	17,82951	16,00600	19,25000	0,910423	0,274503
<b>F</b>	0,15004	0,10700	0,23636	0,044139	0,013308
<b>O<sub>2</sub></b>	7,65064	7,52800	7,91701	0,108463	0,032703
<b>S</b>	37,86013	37,49200	38,06500	0,162385	0,048961

Di seguito è mostrato l'elenco delle stazioni appartenenti a ciascun cluster dal quale si evince che, ad eccezione di due stazioni, le osservazioni si raggruppano per anno, a supporto dell'ipotesi che le differenze osservate tra le curve di crescita possano attribuirsi ad una differenza di condizioni ambientali tra i due anni.

<b>cluster 1</b>	<b>cluster 2</b>	<b>cluster 3</b>	<b>cluster 4</b>	<b>cluster 5</b>
1_2007	87_2007	2_2004	751_2007	133_2007
3_2007	168_2007	46_2004	40_2004	128_2004
12_2007	192_2007	75_2004	1053_2004	133_2004
22_2007	194_2007	86_2004	1113_2004	135_2004
44_2007	217_2007	92_2004	1173_2004	164_2004
182_2007	605_2007	145_2004	1176_2004	192_2004
188_2007		194_2004	1234_2004	300_2004
225_2007		249_2004	1242_2004	415_2004
241_2007		251_2004	1259_2004	475_2004
287_2007		355_2004	1261_2004	640_2004
293_2007		359_2004		778_2004
296_2007		413_2004		
299_2007		417_2004		
415_2007		471_2004		
428_2007		A13_2004		
452_2007				
464_2007				
467_2007				
470_2007				
641_2007				
753_2007				
939_2007				
942_2007				
A1w_2007				



L'analisi della Fig. III.21 mette in evidenza il fatto che la distribuzione spaziale delle stazioni per l'anno 2004, corrispondente ai cluster 3, 4 e 5, evidenzia una marcata separazione tra il cluster 4 (area di Lampedusa) e le altre stazioni appartenenti ai cluster 3 e 5.



**Figura III.21:** Distribuzione spaziale delle stazioni relative alla campagna del 2004 plottati in relazione ai rispettivi cluster (3, 4 e 5)

Data la notevole differenza in termini di caratteristiche oceanografiche e l'esiguo numero di osservazioni del cluster 2, che non permette di effettuare per tale cluster la stima della curva di crescita, si è scelto di considerare solo un raggruppamento in 3 cluster, costituiti dalle osservazioni degli iniziali 5 cluster e di seguito descritti:

Cluster 2007 = cluster 1+cluster 2

Cluster 2004 S = cluster 3+cluster 5

Cluster 2004 L = cluster 4

I box plot dei parametri oceanografici per i nuovi tre cluster sono mostrati nelle figure III. 22, III. 23, III. 24 e III. 25.

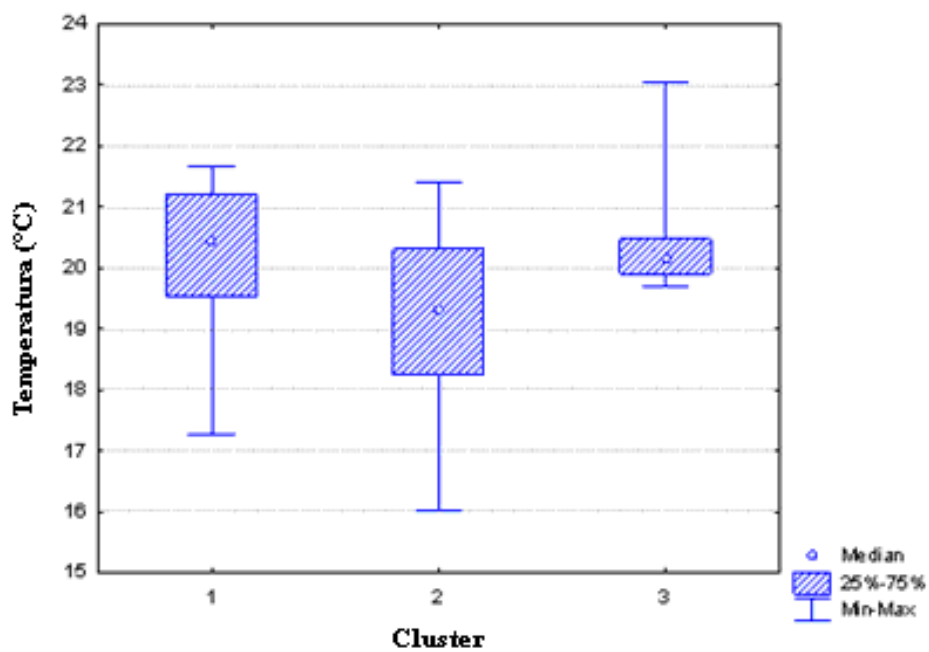


Figura III.22: Box plot della temperatura in relazione ai tre cluster

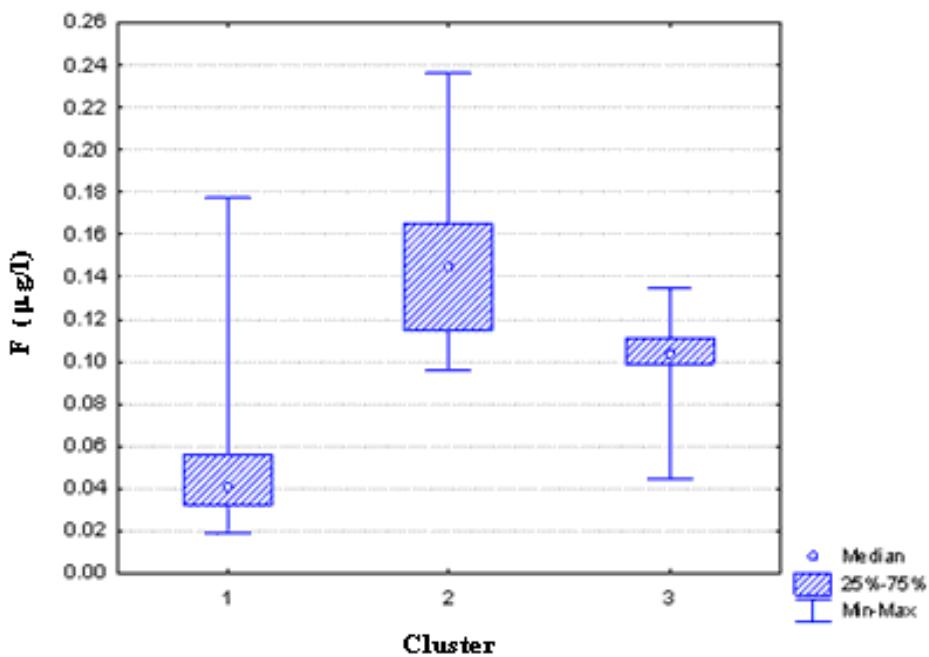


Figura III.23: Box plot della fluorescenza in relazione ai tre cluster

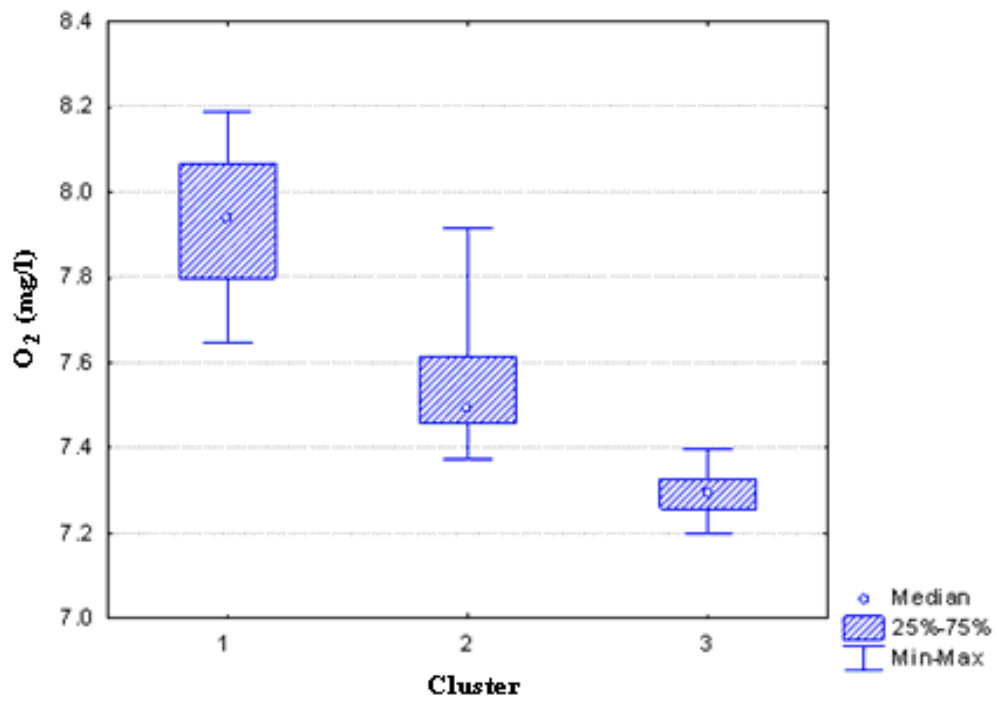


Figura III.24: Box plot dell'ossigeno in relazione ai tre cluster

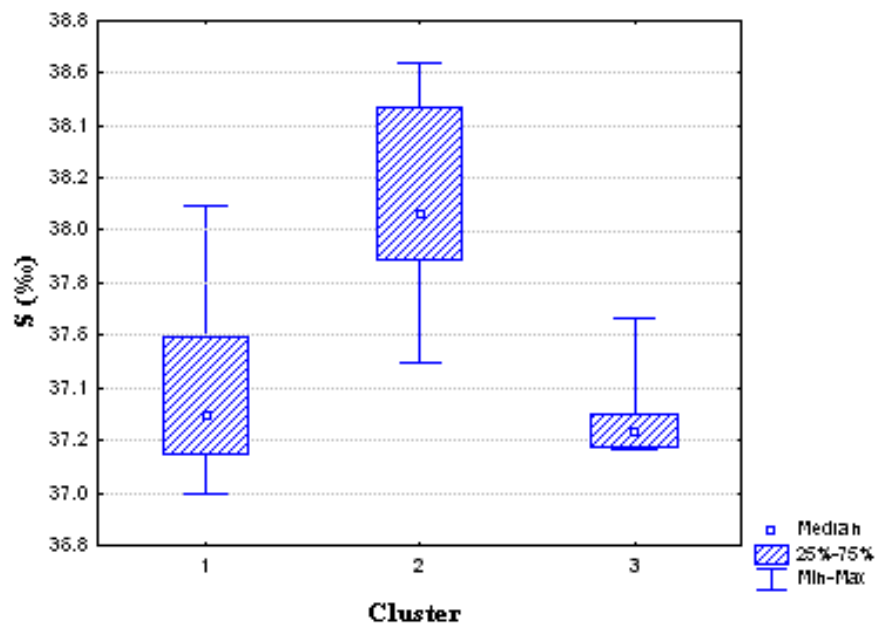


Figura III.25: Box plot della salinità in relazione ai tre cluster

Un'ANOVA sui ranghi evidenzia il fatto che le differenze osservate sono statisticamente significative, infatti, vengono riscontrate differenze significative per tutti e 4 i fattori, ed in particolare:

- Per quanto concerne la temperatura risulta significativa la differenza tra il Cluster 2007 e il Cluster 2004 S ( $p < 0.05$ );
- Per quanto concerne la fluorescenza risultano significative le differenze tra il Cluster 2007 e il Cluster 2004 S e le differenze tra il Cluster 2007 e il Cluster 2004 L ( $p < 0.05$ );
- Per quanto concerne l'ossigeno risultano significative le differenze tra tutti e tre i cluster ( $p < 0.05$ );
- Per quanto concerne la salinità risultano significative le differenze tra il Cluster 2007 e il Cluster 2004 S e le differenze tra il Cluster 2004 L e il Cluster 2004 S ( $p < 0.05$ ).

Mentre per il Cluster 2007 ed il Cluster 2004 S sono già stati stimati i parametri della curva di crescita, per il Cluster 2004 L i corrispondenti parametri sono riportati nella successiva tabella.

#### **Cluster 2004 L**

	Estimate	Std. Error	t-value	p-value
b:(Intercept)	2.094423	0.117213	17.868480	4.231e-16
c:(Intercept)	0.086061	0.024675	3.487777	0.0017
plateau:(Intercept)	22.657760	5.093928	4.447994	0.0001

L'impiego di un'ANOVA non mette però in evidenza alcuna differenza significativa tra i parametri di quest'ultimo cluster e gli altri due.

Analizzando le differenze riscontrate in termini di fattori oceanografici sembra evidente che il maggiore tasso di crescita riscontrato (parametro *b* della curva di Gompertz) per il Cluster 2004 S rispetto al Cluster 2007 sia dovuto principalmente alla maggiore temperatura, salinità e fluorescenza.

Sebbene la salinità per i due cluster del 2004 sia significativamente differente, nessuna differenza è evidente nei parametri della curva di crescita. Questo potrebbe far pensare che il fattore che maggiormente influenza la curva di crescita è la fluorescenza, e che la salinità potrebbe essere un cofattore subordinato alla disponibilità di cibo.

# ANALISI COMPARATIVA DELLE COMPONENTI BIOCHIMICHE DI LARVE DI *ENGRAULIS ENCRASICOLUS* NEL CANALE DI SICILIA E NELLA PIATTAFORMA LIBICA

## IV.1 INTRODUZIONE

Il presente capitolo mira ad analizzare le possibili differenze composizionali tra le larve di *Engraulis encrasicolus*, appartenenti alla costa sud della piattaforma siciliana e alla prospiciente costa nord ovest della piattaforma libica, al fine di mettere in relazione le eventuali differenze di crescita e benessere delle larve, correlandole con i parametri oceanografici di queste aree.

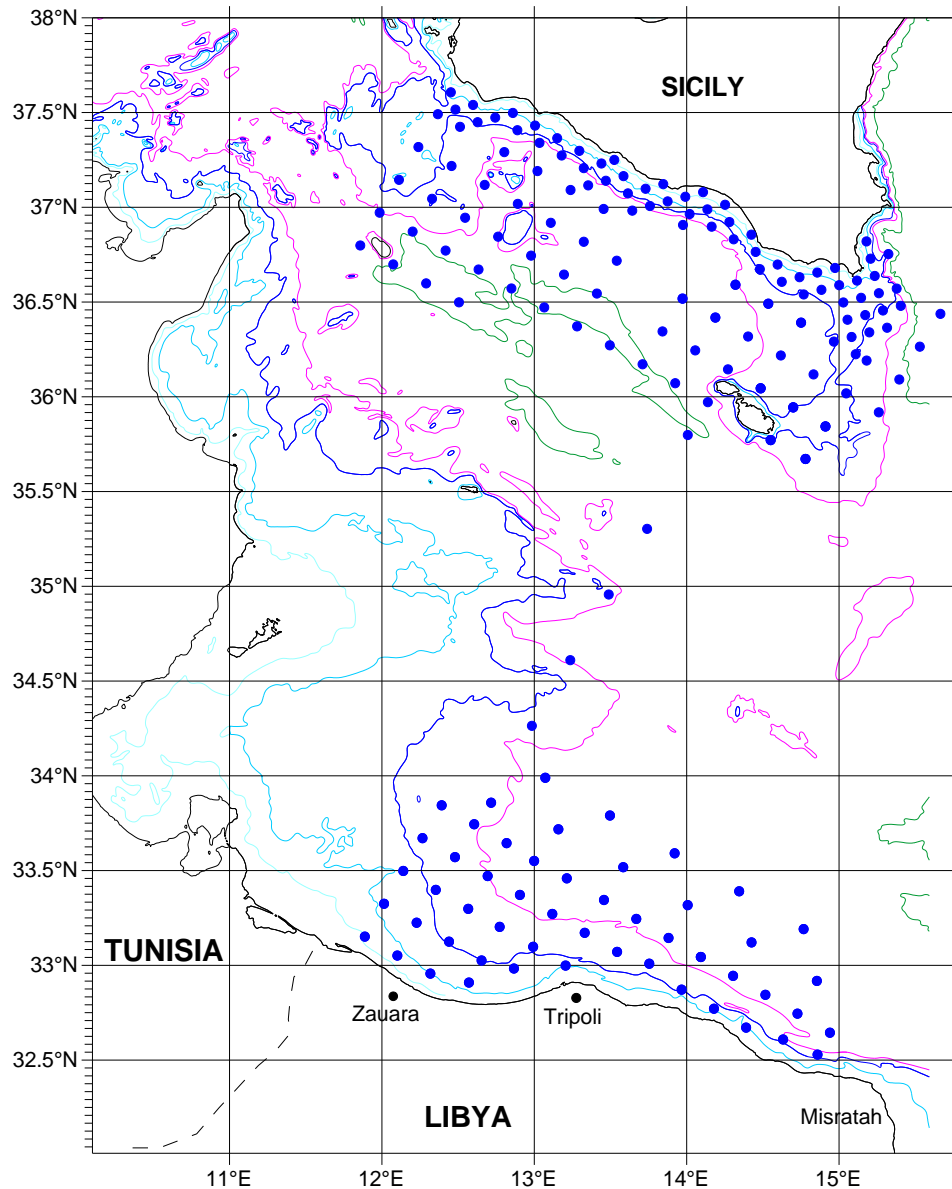
Mentre è noto che la costa nord del canale di Sicilia è una fra le zone costiere dove i processi fisici contribuiscono a rendere l'habitat riproduttivo favorevole per l'acciuga europea (Garcia Lafuente *et al.* 2002), e dove dunque le larve di questa specie riescono a trovare condizioni di crescita ottimali, poche informazioni sono state fino a questo momento raccolte nell'area Mediterranea in prossimità delle coste libiche.

I campioni analizzati, provengono dalle due campagne oceanografiche condotte nei periodi 29 Luglio – 11 Agosto 2006 (Bansic06) e 12 - 24 Agosto 2006 (MedSudMed06) sulla nave oceanografica N/O Urania nell'ambito rispettivamente dei progetti AMECO e MedSudMed. Con la prima campagna è stata investigata l'area a sud della costa meridionale della Sicilia e con la seconda, invece, è stata investigata l'area di fronte alle coste della Libia così come si evince dalla Figura IV.1.

Il contenuto di lipidi, proteine e carboidrati é da tempo indicato come un parametro utile per conoscere lo stato di salute e relativo tasso di crescita per le larve di *Engraulis encrasicolus*, e in particolare il contenuto lipidico è un ottimo indice di vitalità delle larve in quanto viene utilizzato come riserva energetica primaria. Esso dipende dalla quantità e qualità del vitello e delle gocce oleose presenti nelle larve e può cambiare durante le fasi di sviluppo secondo gli eventi fisiologici e la relativa domanda di energia da parte degli embrioni (Rainuzzo *et al.*, 1997).

Il vitello oltre a contenere lipidi, contiene anche aminoacidi e carboidrati ed è dunque la riserva di energia primaria utilizzata dalla larva per il suo sviluppo durante la fase di alimentazione endogena.

La qualità e quantità di vitello di origine materno ha un'influenza diretta sullo sviluppo larvale, durante il periodo in cui le larve dipendono dalle riserve endogene di energia; se nel vitello, costituito fondamentalmente dai lipidi, vi è una mancanza in acidi grassi altamente insaturi (HUFA), la fecondità e la deposizione della specie considerata viene profondamente danneggiata.



**Figura IV.1:** Piano di campionamento per le campagne oceanografiche Bansic 06 e MedSudMed 06

Diversi autori hanno stabilito che alti livelli di HUFA nell'alimentazione possono migliorare lo sviluppo e la sopravvivenza degli stadi larvali (Izquierdo *et al.*, 1989, Takeuchi *et al.*, 1990; Rodriguez *et al.*, 1993). Durante l'ontogenesi dei pesci, strategie differenti di immagazzinamento dei lipidi avvengono secondo i cambiamenti nello

sviluppo metabolico o nei requisiti nutrizionali (Norton *et al.*, 2001); queste diverse strategie possono provocare determinanti cambiamenti nelle differenti fasi di sviluppo larvale.

Le quantità totali di acidi grassi sono frequentemente stati usati come misura dello stato nutrizionale e fisiologico delle forme larvali e giovanili (Fraser *et al.*, 1987; Hakanson, 1993; Lochman *et al.*, 1995). Uno studio della condizione nutrizionale di questi stadi vitali è in grado di offrire dunque un utile supporto per una migliore comprensione dei fattori esterni in grado di influenzare lo stock (Zenitani, 1995).

Anche il contenuto proteico nelle larve dipende dal riassorbimento del sacco vitellino, questo è infatti un bacino di energia e di sostanze nutrienti. Le proteine contenute nel tuorlo hanno una duplice funzione: fornire gli amminoacidi per lo sviluppo dei tessuti ed assicurare l'energia per condurre i processi metabolici.

In generale, le larve hanno un basso livello di proteine, ma nel passaggio allo stadio adulto, sono in grado di mantenere un'alta proporzione nella sintesi delle loro proteine.

Lasker e Theilacker (1962) furono i primi a notare come nelle larve delle sardine (*Sardinops caerulea*) vi fosse una carenza di proteine prima del riassorbimento del sacco vitellino.

Nella dieta il costo dell'estrazione dell'energia dai lipidi è maggiore rispetto ad altre fonti (carboidrati) e nel processo degradativo si produce una grande quantità di azoto che viene espulso con le escrezioni. Una mancanza di energia durante lo sviluppo embrionale può ridurre la crescita ed aumentare la defecazione di sostanze azotate.

Anche i carboidrati fanno parte dell'alimentazione dei pesci. Grazie alla capacità di secernere  $\alpha$ -amilasi e glucosidasi, i pesci riescono ad assimilare gli amidi e il glucosio, che rappresentano una fonte di energia superiore rispetto a proteine e lipidi.

## **IV.2 MATERIALI E METODI**

Un totale di 141 larve di *Engraulis encrasicolus* di cui 52 provenienti dalla piattaforma siciliana e 89 larve provenienti dalla piattaforma libica sono state sottoposte all'analisi spettrofotometrica.

Il campione liofilizzato di ciascuna larva è stato usato per determinare la quantità di lipidi totale, di carboidrati totali e di proteine. Le analisi sono state realizzate ricorrendo alle



seguenti metodiche: la concentrazione dei lipidi (LIP  $\mu\text{g}$ ) in accordo con il metodo di Bligh and Dyer (1959); la concentrazione di carboidrati è stata riportata in glucosio (CHO  $\mu\text{g}$ ) secondo il metodo di Dubois *et al.* (1956) e la concentrazione di lipidi riportata in albumina serica bovina BSA (PRT  $\mu\text{g}$ ) secondo Hartree (1972).

Nella fase preliminare, i campioni, prima di essere analizzati come sopra indicato, sono stati sottoposti ad analisi morfometrica con microscopio ottico, per poter effettuare un confronto tra i valori delle analisi biochimiche e la lunghezza delle larve misurate.

Per la preparazione del campione, le larve sono state triturate e portate a volume con una quantità di acqua bi-distillata (300  $\mu\text{l}$ ). Successivamente sono stati omogeneizzati e con apposite pipette tarate (taratura metodo interno) è stato effettuato il prelievo specifico per ogni determinazione. Gli omogeneizzati sono stati trattati con i vari reattivi al fine di ottenere una reazione colorimetrica quindi consentire un facile rilevamento attraverso lo spettrofotometro (Hitachi, 2001), utilizzando valori di assorbanza per la componente biochimica a differenti lunghezze d'onda: 660 nm (PRT), 485 nm (CHO) e 530 nm (LIP).

Per l'analisi di ogni componente è stato necessario preparare una retta di taratura ed effettuare la determinazione quantitativa attraverso la preparazione di una serie di standard a varie concentrazioni 5-10-20-100 ppm per l'analisi di proteine e lipidi, invece 2-5-10-20-30 ppm per l'analisi dei carboidrati. Gli standard utilizzati sono stati preparati utilizzando materiali certificati. Più precisamente, per le proteine è stato usato lo standard albumina bovina SIGMA ALDRICH, per i lipidi il colesterolo MERCK e per i carboidrati il glucosio MERCK. Il dato finale è stato ricavato inserendo il valore della determinazione all'interno della retta di taratura.

Per confrontare il contenuto biochimico delle larve di acciuga nelle due aree considerate (Sicilia e Libia) è stato utilizzato il Modello Lineare Generalizzato (GLM) che permette di verificare l'esistenza di differenze nelle relazioni taglia-proteine, taglia-carboidrati e taglia-lipidi in termini di intercetta e/o pendenza tra le rette di regressione delle suddette aree. In caso di non significatività del termine di interazione, ovvero di parallelismo tra le rette confrontate, il modello GLM si riconduce all'Analisi della Covarianza, che utilizza la taglia come covariabile.

### IV.3 RISULTATI

Dalle analisi morfometriche e spettrofotometriche effettuate sui campioni destinati a tale studio sono stati ricavati i valori medi delle lunghezze standard delle larve di *E. encrasicolus*, nonché i valori medi delle proteine, carboidrati e lipidi presenti nelle stesse larve riferiti alle lunghezze delle larve. Per l'area di Capo Passero (Sicilia) il risultato è stato una lunghezza standard LS media pari a 5,65 mm compresa in un intervallo che ha come valore minimo 1,43 mm e come massimo 19,71 mm, mentre per l'area libica il valore medio della LS è risultato essere pari a 13,58 mm con un intervallo compreso tra 4,80 e 24,14 mm (Tab. IV.1). Anche per la composizione della materia organica (PRT, CHO e LIP) delle larve sembrano evidenti delle differenze per i gruppi di campioni provenienti dalle due aree del Mediterraneo Centrale. Per le larve della Sicilia il valore medio dei carboidrati (normalizzato rispetto alla lunghezza standard dell'esemplare) è di 0,43 µg/mm in un range compreso tra 0,17 e 0,91 µg/mm mentre per la Libia il valore medio dei carboidrati è risultato essere di 0,60 µg/mm in un range compreso tra 0,01 e 3,38 µg/mm (tabella IV.1). Mentre per la lunghezza e per il contenuto di proteine c'è una differenza fra i valori medi di un fattore pari quasi a 3, per i carboidrati ed i lipidi i valori medi standardizzati alla lunghezza delle larve risultano paragonabili. Difatti, mentre per l'area della Sicilia il contenuto proteico è risultato pari a 2,16 µg/mm in un range 0,07 – 7,35 µg/mm, nell'area libica il valore medio è invece risultato pari a 6,68 µg/mm in un range 0,93 – 17,53 µg/mm. Per i lipidi nell'area siciliana il valore medio è risultato pari a 1,07 µg/mm e per l'area Libica il valore medio è stato di 1,13 µg/mm (tabella IV.1)..

**Tabella IV.1:** Valori medi delle misure morfometriche e delle analisi spettrofotometriche

	<b>LS</b> (mm)	min-max	<b>CHO</b> (µg/mm)	min-max	<b>PRT</b> (µg/mm)	min-max	<b>LIP</b> (µg/mm)	min-max
Sicilia	<b>5,65</b>	1,43-19,71	<b>0,43</b>	0,17-0,91	<b>2,16</b>	0,07-7,35	<b>1,07</b>	0,42-2,16
Libia	<b>13,58</b>	4,80-24,14	<b>0,60</b>	0,01-3,38	<b>6,68</b>	0,93-17,53	<b>1,13</b>	0,18-5,01

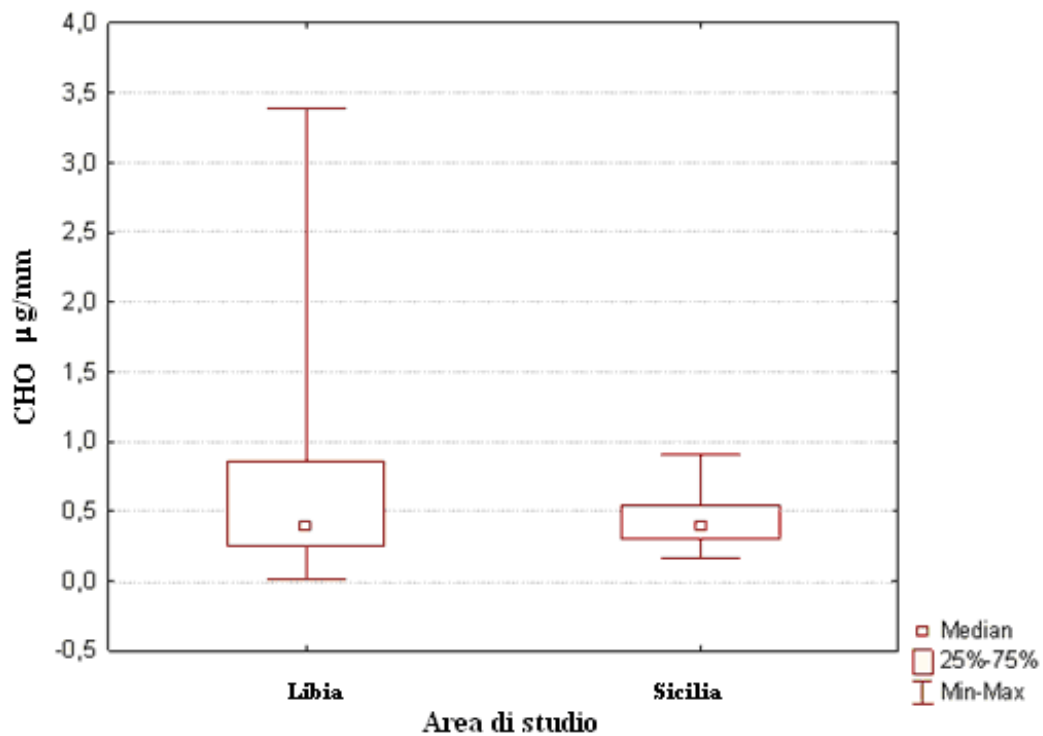
I data set di proteine, carboidrati e lipidi relativi alle due aree studiate sono stati confrontati al fine di verificare se esistono differenze significative tra le due in termini di proteine, carboidrati e lipidi.

Essendo le distribuzioni non normali, neanche a seguito di trasformazione logaritmica, i confronti a coppie sono stati eseguiti mediante Mann-Whitney Rank Sum Test.

Le analisi sono state effettuate in termini di concentrazioni riferite alle lunghezze ( $\mu\text{g}/\text{mm}$ ) visto che il peso di ciascuna larva non è un dato considerato affidabile a causa della imprecisa metodologia di misura.

I risultati indicano che esiste una differenza significativa tra le due aree in termini di proteine ( $p < 0.05$ ), mentre, in termini di carboidrati e lipidi, non esiste alcuna differenza significativa ( $p > 0.05$ ).

Nelle Figg. IV. 2, IV. 3 e IV.4 si riportano i box plot per i tre fattori considerati.



**Figura IV.2:** Box plot del contenuto dei carboidrati

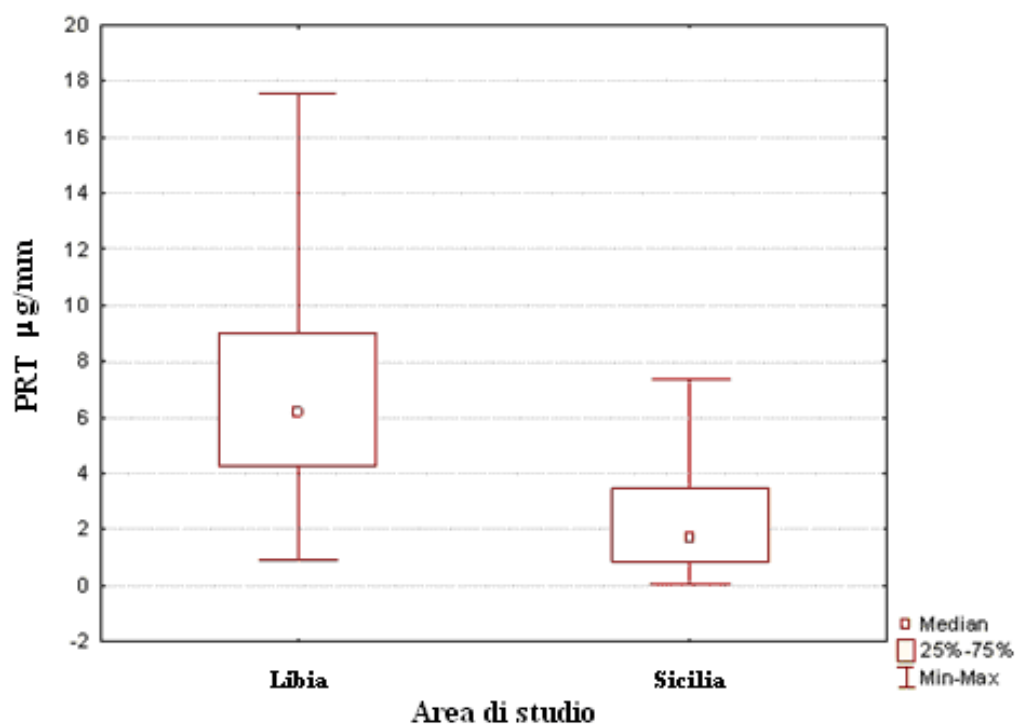


Figura IV.3: Box plot del contenuto proteico

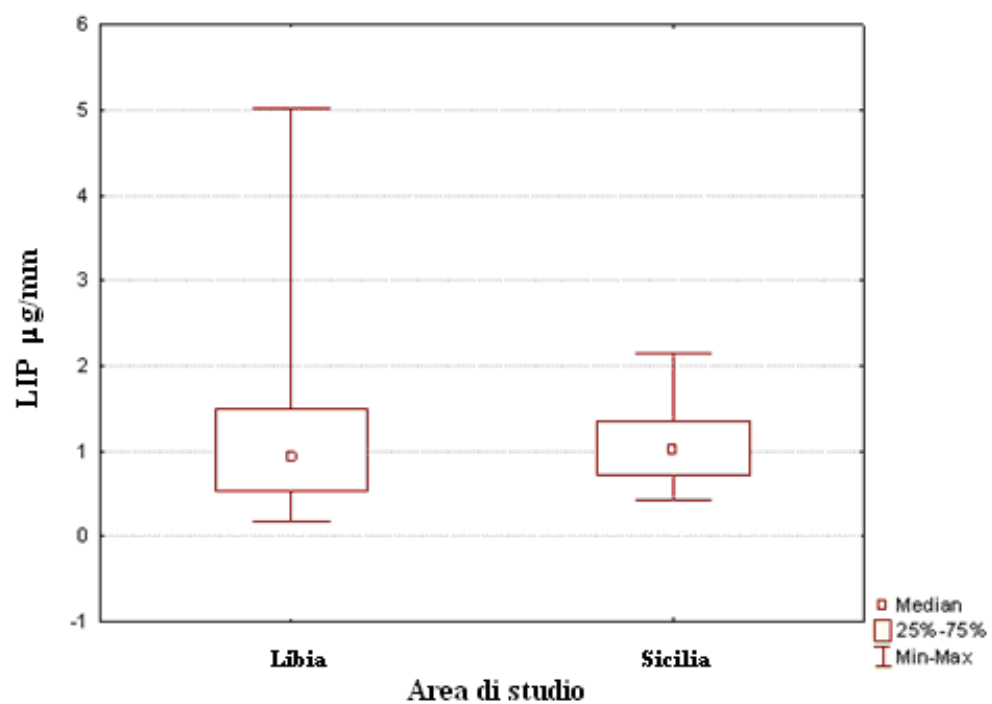
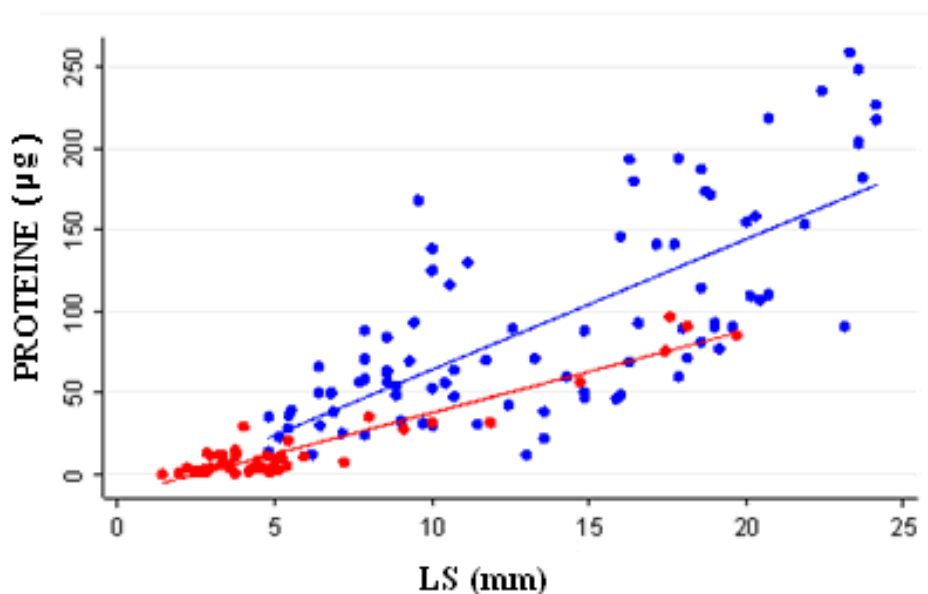


Figura IV.4: Box plot del contenuto lipidico

Le figg. IV.5, IV. 6, IV. 7 riportano per entrambe le aree prese in esame i valori di proteine, carboidrati e lipidi in funzione della lunghezza delle larve. Dopo essere stata

verificata una relazione di tipo lineare tra i valori delle singole componenti e la lunghezza delle larve nell'intero campione in esame, sono stati confrontati i modelli di regressione relativi alle due aree. La taglia media delle larve tra le due aree è risultata significativamente diversa (t test,  $p < 0.001$ ). Tale circostanza giustifica l'approccio basato sul modello GLM, che permette di confrontare gli andamenti lineari piuttosto che i contenuti biochimici medi, in termini di intercetta e di pendenza delle rette di regressione stimate. Anche i range di taglia delle larve nelle due aree sono risultati abbastanza diversi, con prevalenza di larve di piccole dimensioni in Sicilia e di larve di taglia maggiore in Libia. Tale circostanza è stata trascurata in un primo approccio, nell'ipotesi che ciò non influisca sugli andamenti rilevati. L'analisi ha evidenziato la presenza di differenze tra le due aree, in particolare in termini di pendenze delle rette di regressione, rappresentative dei tassi di accumulo dei contenuti biochimici all'aumentare della taglia, per i contenuti proteici e per quelli lipidici (rispettivamente,  $F_{1,139} = 5.6$ ;  $p = 0.02$  per le proteine, e  $F_{1,139} = 12.7$ ;  $p = 0.001$  per i lipidi) (Tab. IV.2 e Tab. IV.5), ma non per i carboidrati (Tab. IV.3 e Tab. IV.4).

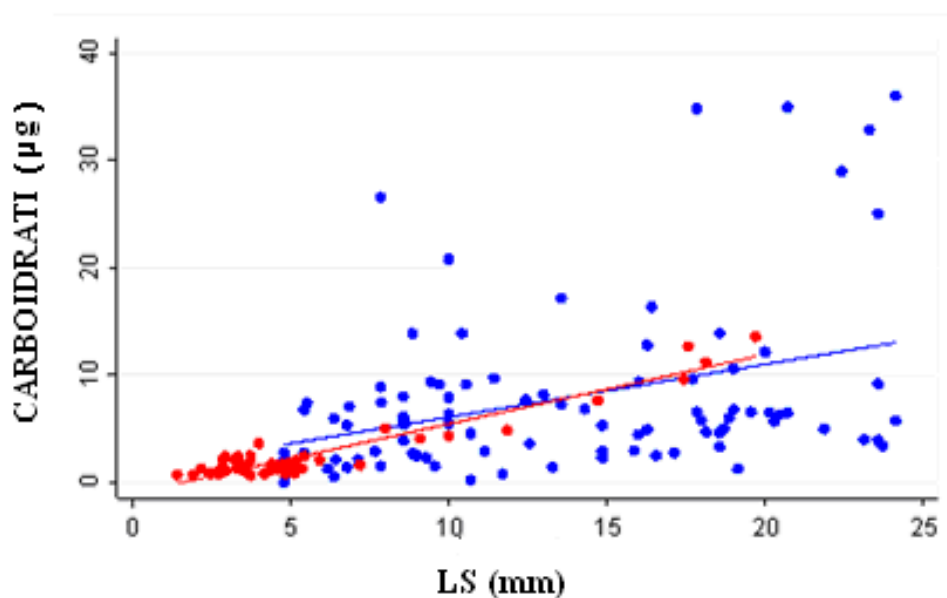
La stessa analisi GLM/ANCOVA è stata applicata anche utilizzando solo il range di taglie in sovrapposizione tra le due aree (4.8-19.71 mm), ma i risultati non sono sostanzialmente cambiati, evidenziando differenze significative tra Sicilia e Libia solo in termini di proteine e lipidi, ma non nei carboidrati.



**Figura IV.5:** Proteine Libia (azzurro). R-squared = 0.55; Proteine Sicilia (rosso) . R-squared = 0.89

**Tabella IV.2:** Analisi della varianza relativa al modello GLM completo per la variabile dipendente proteine

	SS	G.d.L.	MS	F	p
Intercetta	6499,5	1	6499,5	5,558	0,020
Luogo	81,2	1	81,2	0,069	0,793
Taglia	126707,9	1	126707,9	108,360	0,000
Luogo*Taglia	6514,0	1	6514,0	5,571	0,020
Error	162536,2	139	1169,3		



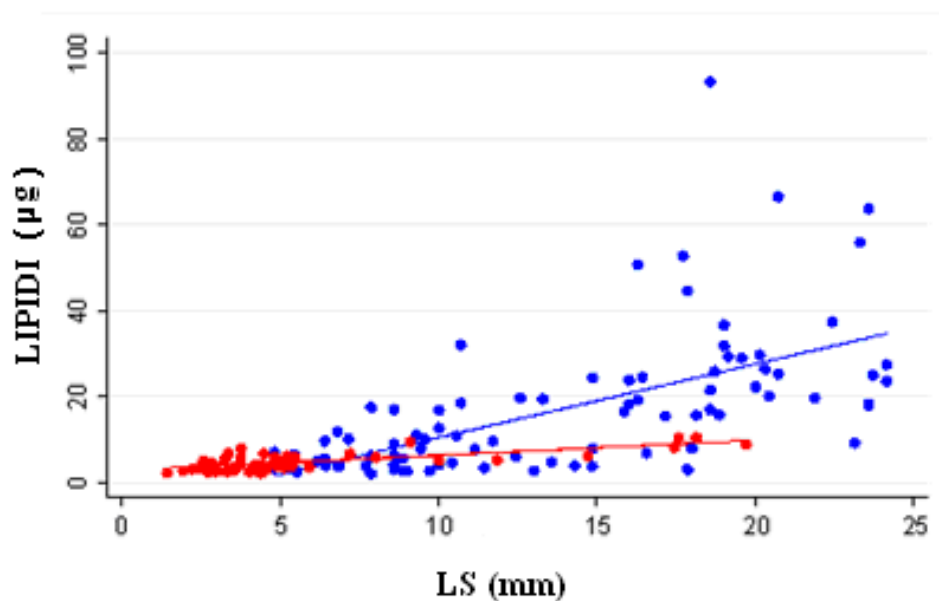
**Figura IV. 6:** Regressione Libia (azzurro) R-squared = 0.12; Regressione Sicilia (rosso) R-squared = 0.89

**Tabella IV.3:** Analisi della varianza relativa al modello GLM completo per la variabile dipendente carboidrati

	SS	G.d.L.	MS	F	p
Intercetta	0,130	1	0,30	0,004	0,952
Luogo	38,5	1	38,5	1,075	0,302
Taglia	966,4	1	966,4	27,009	0,000
Luogo*Taglia	17,5	1	17,5	0,488	0,486
Error	4973,7	139	35,8		

**Tabella IV.4:** Analisi della varianza relativa al modello ANCOVA per la variabile dipendente carboidrati

	SS	G.d.L.	MS	F	p
Intercetta	0,629	1	0,629	0,018	0,895
Luogo	22,5	1	22,5	0,630	0,429
Taglia	1138,2	1	1138,2	31,925	0,000
Error	4991,2	140	35,7		



**Figura IV. 7:** Regressione Libia (azzurro) R-squared = 0.37; Regressione Sicilia (rosso) R-squared = 0.53

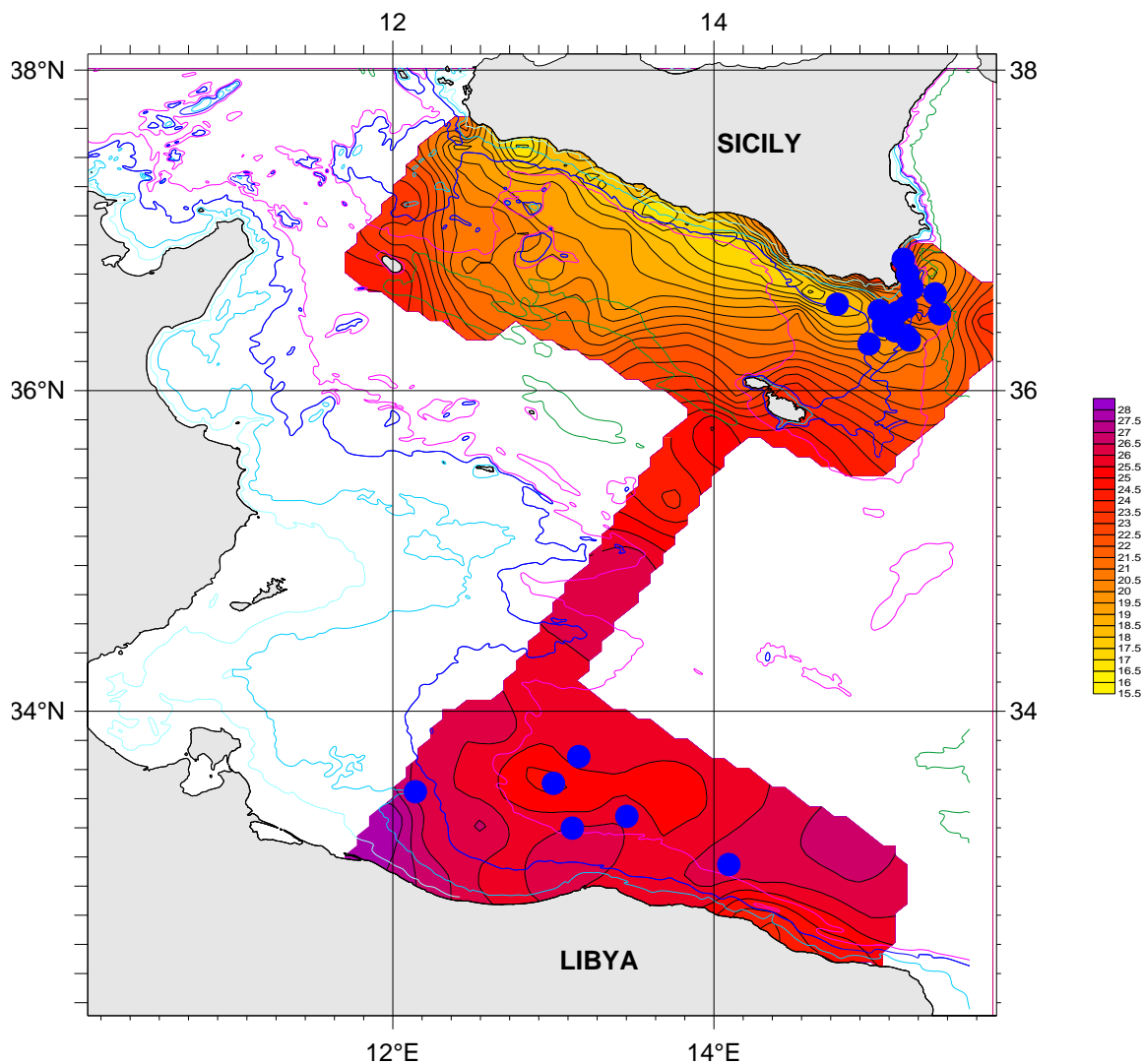
**Tabella IV.5:** Analisi della varianza relativa al modello GLM completo per la variabile dipendente lipidi

	SS	G.d.L.	MS	F	p
Intercetta	101,53	1	101,53	0,935	0,335
Luogo	726,7	1	726,7	6,693	0,011
Taglia	3139,3	1	3139,3	41,619	0,000
Luogo*Taglia	1374,2	1	1374,2	12,657	0,001
Error	15091,1	139	108,6		

#### IV.4 DISCUSSIONE

Dall'analisi del contenuto di lipidi, proteine e carboidrati delle larve di acciuga nelle due diverse aree, sono state rilevate differenze statisticamente significative in termini di contenuti proteico e di tassi di accumulo di proteine e lipidi in funzione della lunghezza delle larve. Questa evidenza potrebbe essere dovuta alle diverse condizioni oceanografiche relative alle due zone di campionamento.

Dalla Fig IV 8, che riporta il pattern della temperatura media nello strato 0-40 m , si evince che il campo di temperatura nelle due aree è decisamente differente.



**Figura IV. 8:** Campi di temperatura media nello strato 0-40 m e posizioni delle stazioni nelle quali sono state catturate le larve analizzate

**Tabella IV.6:** Valori medi dei parametri oceanografici nello strato 0-40 m

Area	Temp.	Fluor.		Sal.		O <sub>2</sub>		
	[°C]	min - max	[µg/l]	min - max	[‰]	min - max	[mg/l]	
Sicily	20,55	18,28 - 23,18	0,039	0,027 - 0,046	37,79	37,78 - 38,14	7,59	7,16-7,87
Libya	25,93	24,76 - 26,48	0,035	0,026 - 0,041	38,41	38,25 - 38,56	6,26	6,13-6,54

Come si evince dalla tabella IV.6 le due aree sono risultate fortemente dissimili viste le differenze tra le temperature medie ed i valori di salinità media. Per la Sicilia la temperatura media nella colonna d'acqua compresa tra 0 e 40 m di profondità è risultata pari a 20°C circa, con un minimo di 18° e un massimo di 23°C; per l'area prospiciente le



coste libiche il valore medio di temperatura è stato di circa 26°C. Anche la salinità e l'ossigeno disciolto sono risultati differenti fra le due aree, mentre molto simili sono risultati i valori della fluorescenza.

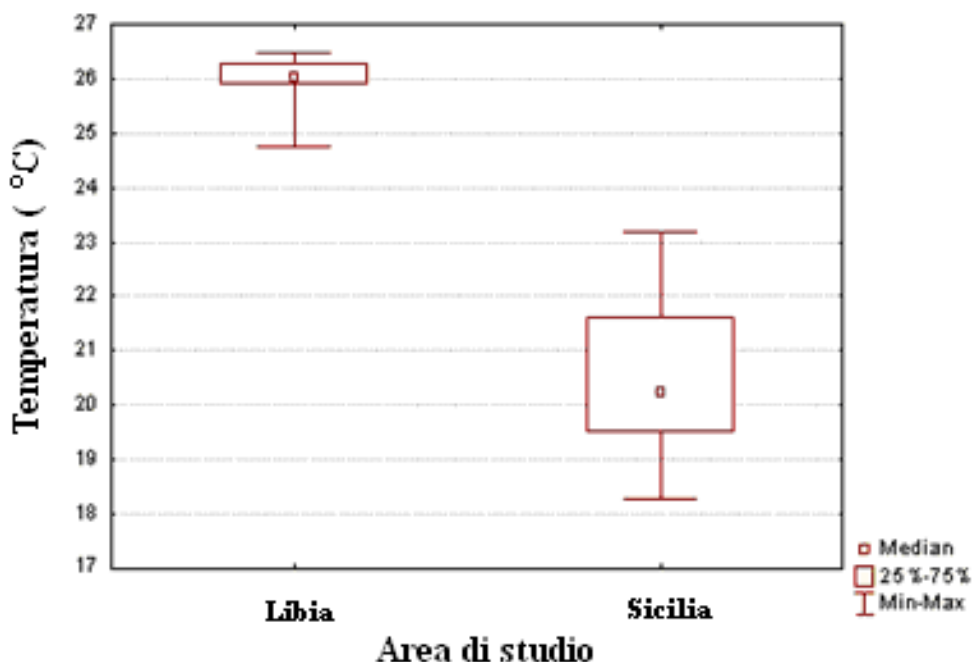
Inoltre, per valutare se le differenze osservate tra le medie di temperatura, salinità, ossigeno disciolto e fluorescenza erano significative, è stato utilizzato il t-test.

Viene riportata di seguito una tabella riassuntiva delle differenze osservate e della relativa significatività.

**Tabella IV.7:** Valori medi di temperatura, fluorescenza, ossigeno e salinità registrate in Libia e in Sicilia, differenze tra le medie e loro significatività

Fattore	Media Libia	Media Sicilia	Differenza tra le medie	Significativa? (t-test)
T (°C)	25,926	20,553	5,373	Yes
F (µg/l)	0,0348	0,0385	-0,00370	No
O <sub>2</sub> (mg/l)	6,262	7,587	-1,325	Yes
S (psu)	38,415	37,786	0,629	Yes

I Box plot (Figg. IV.9, IV.10, IV.11, IV.12) per i fattori considerati mettono in evidenza le differenze individuate.



**Figura IV. 9:** Box plot della temperatura in Libia e in Sicilia

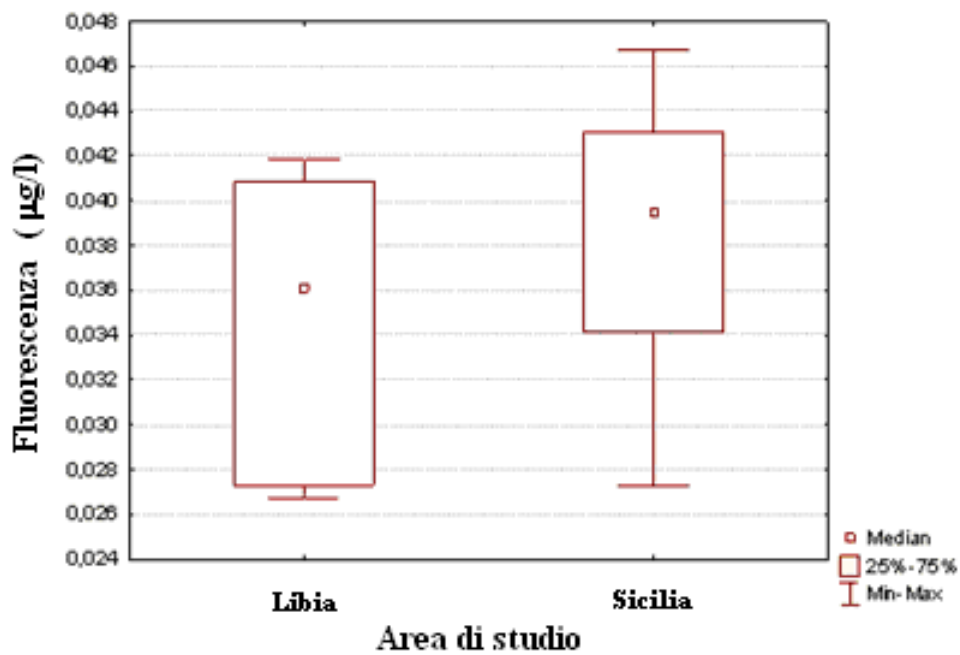


Figura IV. 10: Box plot della fluorescenza in Libia e in Sicilia

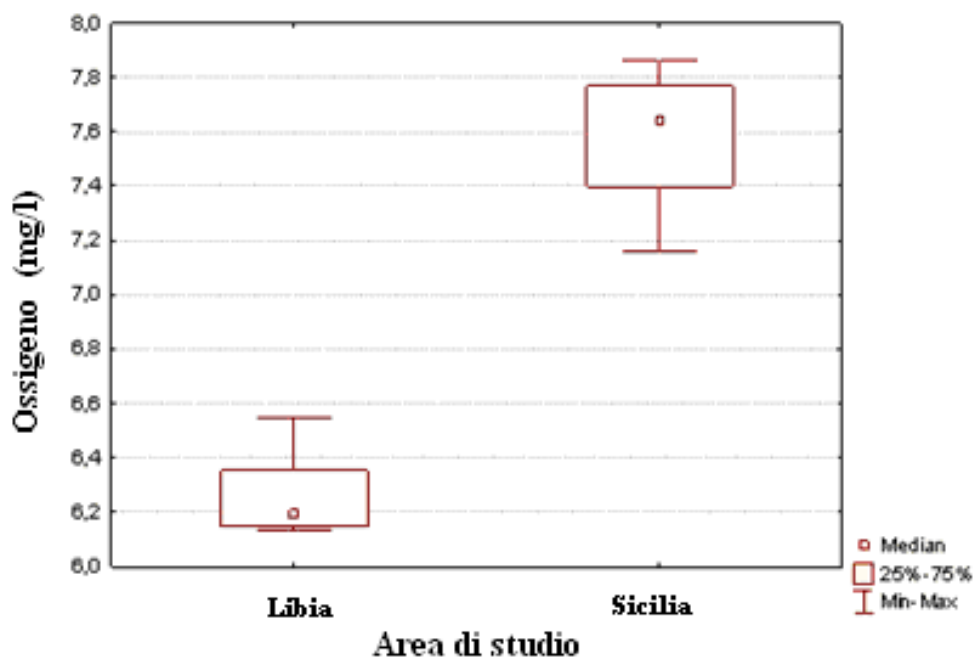
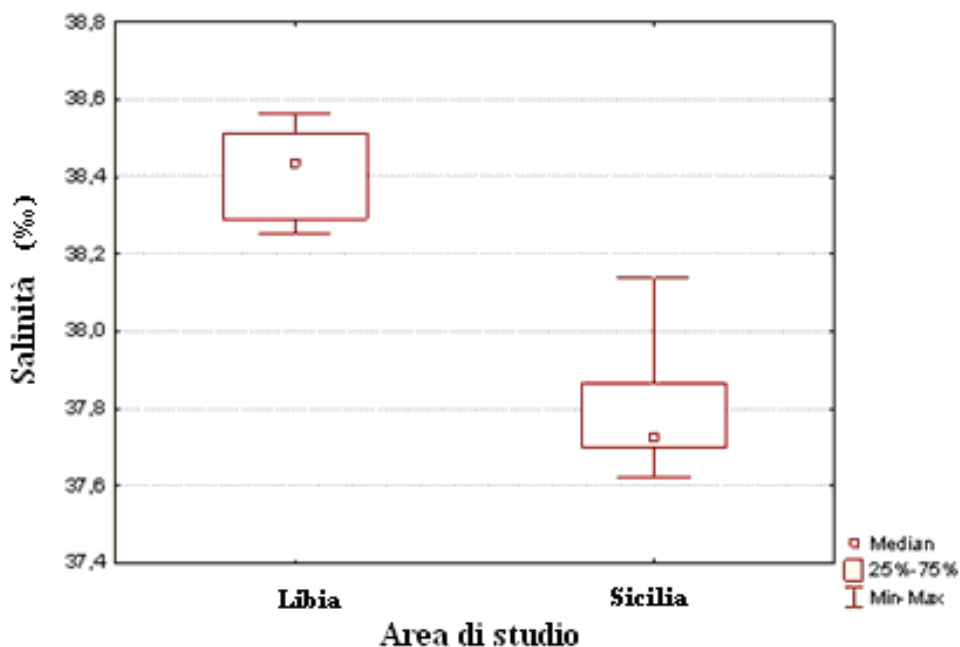


Figura IV. 11: Box plot dell'ossigeno in Libia e in Sicilia



**Figura IV. 12:** Box plot della salinità in Libia e in Sicilia

Le due aree considerate presentano quindi notevoli differenze temperatura dello strato superficiale, concentrazione di ossigeno, salinità e fluorescenza, e ciò potrebbe essere in qualche modo alla base della differenza riscontrata in termini di proteine e di tassi di accumulo di proteine e lipidi nelle larve.

I dati ottenuti mediante l'analisi spettrofotometrica relativi al contenuto in lipidi carboidrati e proteine delle larve, sono stati analizzati per evidenziare possibili differenze fra le 2 aree oggetto dello studio: la piattaforma siciliana e quella libica. L'analisi della covarianza sul contenuto in carboidrati, utilizzando la lunghezza standard come covariabile, non ha dato differenze significative tra le due aree ( $F_{1,140} = 0.63$ ;  $p = 0.429$ ).

Viceversa, il modello GLM applicato a proteine e lipidi ha evidenziato differenze significative in termini di tasso di accumulo, più rapido nell'area libica rispetto a quella siciliana. Questo fa sì che, anche a parità di range di taglia (4.8-17.91 mm), le larve in acque libiche abbiano un contenuto medio in termini di proteine e lipidi significativamente più elevato di quelle catturate in acque siciliane (t test,  $p < 0.001$ ).

## CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi ha permesso di approfondire alcuni degli aspetti relativi all'accrescimento e composizione delle larve di acciuga in aree a diverse condizioni idrologiche del Canale di Sicilia.

Per quanto riguarda l'analisi delle curve di crescita è emerso che:

- i limiti di confidenza stimati sui parametri delle due curve di crescita relative ai due anni 2004 e 2007 presentano una differenza significativa solo per il parametro  $b$ , mentre non si riscontra nessuna differenza per gli altri due parametri;
- il growth rate delle larve di lunghezza 8 mm ricade all'interno del range di variabilità riportato in letteratura per questa specie (Palomera *et al.*, 2007).

Per quanto riguarda la relazione tra il diametro dell'otolite e la lunghezza della larva è emerso che le larve del 2007 a parità di LS hanno un diametro di lunghezza maggiore rispetto alle larve del 2004.

L'analisi delle condizioni oceanografiche relative ai due anni ha chiaramente mostrato differenze significative soprattutto nel segnale di fluorescenza (produttività primaria), e secondariamente nella temperatura, salinità e ossigeno.

Al fine di confrontare gruppi omogenei di dati sull'accrescimento larvale in relazione al loro habitat è stata preventivamente effettuata una cluster analisi sulle variabili oceanografiche. L'analisi dei cluster ha evidenziato la presenza di aree diverse nei data set ambientali del 2004 e del 2007 e, per l'anno 2004 sono stati distinti il cluster di stazioni costiere dal cluster di stazioni vicine l'isola di Lampedusa. Si sono registrate differenze tra un anno e l'altro e all'interno dello stesso anno, che confermano differenze oceanografiche nell'habitat delle larve analizzate.

Dal confronto tra i dati biologici e quelli oceanografici è possibile asserire che la differenza nelle curve di crescita potrebbe essere imputabile alle differenze riscontrate nei parametri ambientali, ed in particolare ai parametri indicativi della produzione primaria (fluorescenza).

Dalla differenza nella lunghezza del diametro (maggiore negli otoliti del 2007) possiamo notare che un valore di temperatura maggiore possa determinare una crescita più rapida nel diametro dell'otolite.

Per quanto riguarda l'analisi delle componenti biochimiche è emerso che:

- i range di taglia delle larve nelle due aree sono risultati abbastanza diversi, con prevalenza di larve di piccole dimensioni in Sicilia e di larve di taglia maggiore in Libia;
- fra le variabili analizzate (lipidi, proteine e carboidrati) il contenuto proteico delle larve libiche è risultato maggiore del contenuto proteico delle larve del Canale di Sicilia;
- le larve in acque libiche hanno tasso di accumulo in termini di proteine e lipidi significativamente più elevato di quelle catturate in acque siciliane.

L'analisi delle condizioni oceanografiche relative alle due aree prese in esame ha chiaramente mostrato differenze significative soprattutto nei valori di temperatura, salinità ed ossigeno, mentre nessuna differenza significativa è stata riscontrata per la fluorescenza. Tale differenza nel contenuto in lipidi potrebbe essere imputabile a vari fattori ma certamente l'alimentazione è il principale tra questi. Il maggior contenuto di lipidi nelle larve libiche potrebbe evidenziare una maggior disponibilità di cibo e/o maggior contenuto lipidico del cibo stesso (micro-zoo plankton).

Inoltre, a parità di disponibilità di cibo e contenuto lipidico del cibo, è altresì possibile che l'accelerato metabolismo indotto dal più elevato regime termico registrato in acque libiche sia alla base del maggiore tasso di accumulo in termini di proteine e lipidi ivi registrato.

## Bibliografia

- Abad R., Giraldez A. & Crespo J., 1988. Sustitucion en las capturas de sardina (*Sardina pilchardus*) y boqueron (*Engraulis encrasicolus*) en la region surmediterranea espanola. Report 5th Technical Consult. Gen. Fish. Counc. Mediterranean Stock Assess. in the Balearic and Gulf of Lions Stat. Div., Fuengirola, Spain, 19±23 October 1987.
- Agostini V.N. & Bakun A., 2002. ‘Ocean triads’ in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). *Fish. Oceanogr.* 11:3, 129–142,
- Bănărescu P., 1964. Fauna Republicii Populare Romine, 13. Pisces-Osteichthyes (Pestiganoizi si ososi). Academiei Republicii Populare Romine, Bucharest, 959 pp.
- Basilone, G., Guisande, C., Patti, B., Mazzola, S., Cuttitta, A. Bonanno, A., Vergara, A.R., Maneiro I. (2006). Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. *Fish. Oceanog.* 15: 271-280.
- Basilone G., Bonanno A., Patti B., Cuttitta A., Buscaino G., Buffa G., Bellante A., Giacalone G., Mazzola S., Ribotti A. & Perilli A., 2007. Temperature effects (SST) on the anchovy (*Engraulis encrasicolus*) spawner biomass evolution. In *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Roma (Eds.): 529-532.*
- Bakun A. & Parrish R.H., 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitat: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of the southwestern Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.* 48:343±361

- Bakun A., 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. California, USA: University of California Sea Grant, San Diego, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 323pp.
- Bakun A., 1998. Ocean triads and radical interdecadal stock variability: bane and boon for fishery management science. In: Reinventing Fisheries Management. T.J. Pitcher, P.J.B. Hart and D. Pauly (eds) London: Chapman & Hall, pp. 331–358.
- Béranger K., Mortier L. & Crépon M., 2005. Seasonal variability of water transport through the Straits of Gibraltar, Sicily and Corsica, derived from a highresolution model of the Mediterranean circulation. *Progress in Oceanography* 66, 341-364
- Bethoux J.P., 1980. Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. *Oceanol. Acta* 3:79±88.
- Bower, A.S. and Rossby, T. (1989) Evidence of cross-frontal.
- Blaxter J.H.S. & Holliday F.G.T., 1963. The behaviour and physiology of herring and othere clupeid. *Advences Marine Biology* 1, 261-393
- Blaxter J.H.S. & Hempel G., 1963. The influence of the egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). *Jurnal du Conseil. Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 28, 211-240
- Bligh E.G. & Dyer WJ., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry & Physioly.* 37:911-917.
- Bonanno A., Mazzola S., Basilone G., Patti B., Cuttitta A., Buscaino G., Aronica S., Fontana I. & Genovese S., 2007. Influenza delle variabili ambientali sulle fluttuazioni della biomassa di sardine (*Sardina pilchardus*) nello Stretto di Sicilia. In *Clima e cambiamenti*

climatici: le attività di ricerca del CNR. Consiglio Nazionale delle Ricerche - Roma (Eds.): 533-536.

Borja A., Uriarte A., Egana J, Motos L. & Valencia V., 1998. Relationships between anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment and environment in the Bay of Biscay (1967-1996). *Fish. Oceanogr.* 7: 375-380.

Bryden H.L., Candela J. & Kinder T.H., 1994. Exchange through the Strait of the Gibraltar. *Progress in Oceanography*, 33, 201-248.

Castello L. & Castello J.P., 2003. Anchovy stocks (*Engraulis anchoita*) and larval growth in the SW Atlantic. *Fishery research* 59: 409-421.

Cerrato R.M., 1990. Interpretable statistical tests for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47: 1416-1426.

Cingolani N., Giannetti G. & Arneri E., 1996. Anchovy fisheries in the Adriatic Sea. *Sci. Mar.* 60:269±277.

Coombs S., Giovanardi O., Conway D., Manzueto L., Halliday N. & Barrett C., 1997. The distribution of eggs and larvae of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in relation to hydrography and food availability in the outflow of the river Po. *Acta Adriat.* 38:33±47.

Cushing D.H., 1967. The grouping of herring population. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol 47, 193-208

Cushing D.H., 1969. The regularity of the spawning season of some fish. *Journal du Conseil. Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 33, 82-92,



Cushing D.H., 1972. The production cycle and the number of fish. *Symposium of the Zoological Society of London* 29, 213-232.

Cushing D. H., 1975. *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press, Cambridge.

Cuttitta A., Basilone G., Patti B., Bonanno A., Mazzola S. & Giusto G.B., 1999. Andamento temporale del fattore di condizione e dell'indice gonado-somatico di *Engraulis encrasicolus* nel Canale di Sicilia Trends of anchovy condition factors and gonadosomatic index in the Sicilian Channel. XXIX Congresso della Società Italiana di Biologia Marina, Ustica (Pa) 15-20 Giugno 1998. *Biologia Marina Mediterranea*, 6 (1): 566-568.

Cuttitta A., Carini V., Patti B., Bonanno A., Basilone G., Mazzola S., García Lafuente J., García A., Buscaino G., Aguzzi L., Rollandi L., Morizzo G. & Cavalcante C., 2003. Anchovy egg and larval distribution in relation to biological and physical oceanography in the Strait of Sicily. *Hydrobiologia*, 503: 117-120.

Demir N., 1963. Synopsis of biological data on anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus) 1758 (Mediterranean and 1963 adjacent seas). *FAO Fish.Synop.*, (26) (41 pp., mimeo - provisional draft)

Demir N., 1965a.. Synopsis of biological data on anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus) 1758 (Mediterranean and 1963 adjacent seas). *FAO Fish.Synop.*, (26) (41 pp., mimeo - provisional draft)

Idem. (revision of 1963 *Engraulis encrasicolus* Synopsis, 42 pp.)

Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers, P.A & Smith F., 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28:350–356.

- Dulčić J., 1997. Growth of anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L.), larvae in the Northern Adriatic Sea. *Fisheries Research*, 31: 189-195.
- Dulvy N. D., Sadovy Y. & Reynolds J.D., 2003. Extinction vulnerability in marine populations. *Fish and Fisheries* 4: 25-64.
- Dunkelberger D.G., Dean J.M. & Watabe N., 1980. The ultrastructure of the otolith membrane and otolith in the juvenile mummichog, *Fundulus heteroclitus*. *J. Morphol.* 163, 367±377.
- Fraser A.J., Gamble J. C. & Sargent J. R., 1988. Changes in lipid content, lipid class composition of developing eggs of cod (*Gadus morhua*). *Marine Biology* 99, 307–313.
- Fraser A.J., Sargent J. R., Gamble J. C. & MacLachlan P., 1987. Lipid class and fatty acid composition as indicators of nutritional condition of larval Atlantic herring. *American Fisheries Society Symposium* 2, 129–143.
- Gacic M., Astraldi M., La Violette P.E., 1999. The Mediterranean Sea – Circulation, strait Exchange and dense water formation processes – Preface. *Journal of Marine Systems* 20 (1-4), VIII-X.
- Gamulin T. & Hure J., 1983. Mriješćenje i mrestilišta pelagičnih riba u Jadranskom moru (*Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*, *Scomber scombrus*, *Sardinella aurita* i *Sprattus sprattus*). *Acta Adriat.* 24: 97-131.
- Garcia A., Palomera I., Liorzou B., Giovanardi O. & Pla C., 1994. Northwestern Mediterranean Anchovy. Distribution, biology, fisheries and biomass estimation by different methods. Final Report of the EC FAR Project 1992±93, Contract No MA 3.730.

- García-Lafuente J., García A., Mazzola S., Quintanilla L., Delgado A., Cuttitta A. & Patti B., 2002. Hydrographic phenomena influencing early life stages of the Sicilian Channel anchovy. *Fisheries Oceanography* 11: 31-44.
- Gauldie R.W., West I.F. & Coote G.E., 1995. Evaluating otolith age-estimates for *Hoplostetus atlanticus* by comparing patterns of checks, cycle in microincrement width, and cycles in strontium and calcium composition. *Bull. Mar. Sci.* 56, 76±102.
- Ghirardelli E., 1967. I fattori che regolano la microdistribuzione superficiale del plancton: la temperatura. *Boll. Soc. Adriatica Sci.* 55: 18-86.
- Håkanson J.L., 1989. Condition of larval anchovy (*Engraulis mordax*) in the Southern California Bight, as measured through lipid analysis. *Marine Biology* 102: 153-159.
- Håkanson J.L., 1993. Nutritional condition and growth rate of anchovy larvae (*Engraulis mordax*) in the California Current: two contrasting years. *Marine Biology* 115: 309-316.
- Innamorati M., Ferrari I., Marino D. & Ribera D'Alcalà M., 1990. Metodi nell'ecologia del plancton. *Nova Thalassia*. 11, 1-372
- Izquierdo M.S., Watanabe T., Takeuchi T.R., Arakawa T. & Kitajima C., 1989. Requirement of larval red sea bream *Pagrus major* for essential fatty acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55: 859-867.
- Jacques G., 1978. Phytoplankton. Biomasse, production numeration et culture. Laboratoire Arago. Université Pierre e Marie Curie. Banyuls-sur-mer.
- Kimura D.K., 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin*, 77: 765-776.

- King D., Robertson A.A. & Shelton P.A., 1978. Laboratory observations on the early development of the anchovy *Engraulis capensis* from the Cape Peninsula. *Fish. Bull. S. Afr.* 10:37-45.
- Lasker R. & Theilacker G.H., 1962 Oxygen consumption and osmoregulation by single Pacific sardine eggs and larvae (*Sardinops caerulea*, Girard). *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 27(1):25-33.
- Leggett W.C. & Deblois E., 1994. Recruitment in marine fishes: is it regulated by starvation and predation in the egg and larval stages? *Neth J Sea Res* 32:119-134
- Lermusiaux P.F.J., 1998. Estimation and study of mesoscale variability in the Strait of Sicily. *Dynamics of Atmospheres and Oceans (Special issue in honor of Professor A.R. Robinson)* 29: 255-303.
- Lermusiaux P.F.J. & Robinson A.R., 2001. Features of dominant mesoscale variability, circulation patterns and dynamics in the Strait of Sicily. *Deep Sea Research I*, 48: 1953-1997.
- Lipiatou E., Heussner S., Mosetti R., Tintore J., Tselepidis A., 1999. Progress in oceanography of the Mediterranean Sea. (Special issue). *Progress Oceanography* 44 (1-3), 1-468.
- Lluch-Belda D., Hernandez-Vazquez S., Lluch-Cota D.B., Salinas-Zavala C.A. & Schwaetzlose R.A., 1992a. The recovery of the California sardine as related to global change. *Rep. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.*, 33, 50-59.
- Lochman S. E., Maillet G.L., Frank K.T. & Taggart C.T., 1995. Lipid class composition as a measure of nutritional condition in individual larval Atlantic cod *Gadus morhua*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52, 1294–1306.

Lowenstein O., 1971. The labyrinth. *Fish Physiol.* 5, 207±240.

Magazzù G., Bruni V., Piccioni A., Platt T., Iwin B. & Subba Rao v.- 1983- Picoplankton: contribution to phytoplankton production in the Straits of Messina. Fifth Conference of the European Soc. for comparative Physiol. And Biochem. Int. Symp. On Physiological and Biochemical Aspects of Marine Biology. Taormina, September 5-8, 27-28.

May R.C., 1974. Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. In: J.H.S. Blaxter (Editor). *The early life history of fish.* Springer-Verlag, Berlin, pp. 3-19.

Malanotte-Rizzoli P., Manca B.B., Ribera Dacala M., Theocharis A., Bergamasco A., Bregant D., Budillon G., Civitarese G., Georgopoulos D., Michelato A., Sansone E., Scarazzo P. & Souvermezoglou E., 1997. A synthesis of the Ionian hydrography, circulation and water mass pathways during POEM Phase I. *Progress in Oceanography*, 39, 153-204.

Manzella G.M.R., Gasparini G.P. & Astraldi M., 1988. Water exchange between the Eastern and Western Mediterranean through the Strait of Sicily. *Deep-Sea Res.* 35:1021-1035.

Marsigli L.F., 1681. *Intorno al Bosforo Tracio o vero Canale di Costantinopoli rappresentate in lettera alla Sacra Real Maestà di Cristina Regina di Svezia.* Nicolò Angelo Tinassi, Rome. Reprinted in: *Bollettino di pesca, di piscicoltura e di idrobiologia* anno XI, Fasc. 5, Settembre-Ottobre 1935, 734-758.

Mazzola S., García A. & García Lafuente J., 2000. Distribution, Biology and Biomass estimates of the Sicilian Channel anchovy. DG XIV, MED 96/052, Final Report. Pielou, E. C., 1969. Many-species populations. In: *An introduction to Mathematical Ecology.* New York: Wiley-Interscience, pp. 203-272.

- Mazzola S., García A. & García Lafuente J., 2002. The Sicilian Channel Anchovy, fishery and the underlying oceanographic and biological processes conditioning their inter-annual fluctuations. DG XIV - MED 98/070 Final Report.
- Mertens C. & Schott F., 1998. Interannual variability of deep water formation in the north western Mediterranean Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 1410-1424.
- Millàn M., 1999. Reproductive characteristics and condition status of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. from the Bay of Cadiz (SW Spain). *Fisheries Research*, 41: 73-86.
- Molony B. W., 1993. Effects of feeding history on mobilization and deposition of body constituents and on growth in juvenile *Ambassis vachelli* (Pisces: Chandidae). *Marine Biology* 116, 389–397.
- Motos L., Uriart A. & Valencia V., 1996. The spawning environment of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Sci. Mar.* 60:117±140.
- Morales-Nin B., 2000. Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation  
*Fisheries Research* 46: 53±67.
- Mugiya Y., 1987. Phase difference between calcification and organic matrix formation in the diurnal growth of otoliths in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Fish. Bull. US* 85, 395±401.
- Mužinić R., 1956. Quelques observations sur la sardine, l'anchois et le maquereau des captures au chalut dans l'Adriatique. *Acta Adriat.* 7 (13): 1-21.
- Nielsen J.N., 1912. Hydrography of the Mediterranean and adjacent seas. Danish Oceanographic Expeditions (1908-10). Report I. pp. 72-191.

- Norton E.C., MacFarlane R.B. & Mohr M.S., 2001. Lipid class dynamics during development in early life stages of shortbelly rockfish and their application to condition assessment. *Journal of Fish Biology* 58, 1010–1024. doi: 10.1006/jfbi.2000.1509.
- Palomera I., Morales-Nin, B.M. & Lleó J., 1988. Larval growth of anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the Western Mediterranean Sea. *Mar. Biol.* 94, 283-291.
- Palomera I., 1992. Spawning of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Northwestern Mediterranean relative to hydrographic features in the region. *Marine Ecology Progress Series* 79: 215-223.
- Palomera I., Olivar M.P., Salat J., Sabatés A., Coll M., García A. & Morales-Nin B., 2007. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography* 74: 377–396.
- Pannella G., 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns. *Science* 173, 124-1127.
- Patti B., Bonanno A., Basilone G., Goncharov S., Mazzola S., Buscaino G., Cuttitta A., García Lafuente J., García A., Palombo V. & Cosimi G., 2004. Interannual fluctuations in acoustic biomass estimates and in landings of small pelagic fish populations in relation to hydrology in the Strait of Sicily. *Chemistry and Ecology*, 20(5):365-375.
- Pauly D., Watson R. & Alder, J. (2005) Global trends in world fisheries: impacts on marine ecosystems and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 360: 5-12.
- Piccinetti C., Regner S. & Specchi M., 1982. Preliminary data on larval and postlarval mortality of anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in the Northern and Central Adriatic. *Acta Adriat.* 23: 449-456.

- Platt C. & Popper A.N., 1981. Fine structure and function of the ear. In: Tavalga, W.N., Popper, A.N., Fay, R.N. (Eds.), *Hearing and Communication in Fishes*. Springer, New York, pp. 3±36.
- Ragusa G., 2000. Specie ittiche marine commerciali del Mare Mediterraneo. FEDERCOOPESCA. Progetto realizzato con il contributo della Commissione Europea-DG Pesca e del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali – Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura, pp: 11-12.
- Rainuzzo J.R., Reitan K.I. & Olsen Y., 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. *Aquaculture* 155: 103-115.
- Ré P., 1983. Daily growth increments in the sagitta of pilchard larvae *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) (Pisces: Clupeidae). *Cybiurn* 7, 9-15.
- Ré P., 1984. Evidence of daily and hourly growth in pilchard larvae based on otolith growth increments. *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792). *Cybiurn* 8, 33-38.
- Ré P., 1986. Otolith microstructure and detection of life history events in sardine and anchovy larvae. *Cienc. Biol. Ecol, Syst.* 6, 9-17.
- Ré P., 1987. Ecology of the planktonic phase of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L.), within Mira estuary (Portugal). *Inv. Pesq.* 51, 581-598.
- Regner. S., 1972. Contribution to the study of the ecology of the planktonic phase in the life history of the anchovy in the Central Adriatic. *Acta Adriat.* 14. 1-40.
- Regner S., 1985. Ecology of planktonic stage of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), in the Central Adriatic. *Acta Adriat.* 26, 1-113.



- Regner S., 1996. Effects of environmental changes on early stages and reproduction of anchovy in the Adriatic Sea. *Sci. Mar.* 60:167±177.
- Richardson A.J., Mitchell-Innes B.A., Fowler J.L., Bloomer S.F., Verheye H.M., Field J.G., Hutchings L. & Painting S.J., 1998. The effects of sea temperature and food availability on the spawning success of the Cape anchovy *Engraulis capensis* in the Southern Benguela. In: *Benguela Dynamics. Impacts of Variability on Shelf-Sea Environments and Their Living Resources*, S.C. Pillar, C.L. Moloney, A.L.I. Payne and F.A. Shillington (eds). *S. Afr. J. Mar. Sci.* 19:275-290.
- Robinson A. R., Sellschopp J., Warn-Varnas A., Leslie W. G., Lozano C. J., Haley P. J., Anderson L. A. & Lermusiaux P.F J., 1999. The Atlantic Ionian Stream. *Journal of Marine Systems* 20: 113-128.
- Rodriguez C., Perez J.A., Izquierdo M.S., Mora J., Lorenzo A. & Fernandez-Palacios H., 1993. Essential fatty acid requirements of larval gilthead sea bream, *Sparus aurata* (L.). *Aquacult. Fish. Manage.*, 24: 295-304.
- Roether W., Manca B.B., Klein B., Bregant D., Georgopoulos D., Beitzel V., Kovacevic V. & Luchetta A., 1996. Recent changes in Eastern Mediterranean deep waters *Science*, 271, 333-335.
- SEASOFT–Win32 ver. 5.7, CTD Data Processing and Plotting Software for Windows 95/98/NT/2000/XP, 2003. User’s Manual. Sea–Bird Electronics, Inc. 1808 136th Place NE, Bellevue, Washington 98005 USA.
- Schiltzer R., Roether W., Oster H., Junghans H., Hausmann M., Johannsen H. & Michelto A., 1991. Chloro uoromethane and Oxygen in the eastern Mediterranean. *Deep-sea Research*, 38, 1531-1535.

- Send U., Font J., Krahnemann G., Millot C., Rhein M. & Tintore J., 1999. Recent advances in observing the physical oceanography of the Western Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 44 , 37-54.
- Sournia A., 1978. *Phytoplankton manual*. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology
- Soutar A., & Issacs J.D., 1974 Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fish. Bull.* 72: 257-273.
- Southward A.J., Boalch G.T. & Mattock L., 1988. Fluctuations in the herring and pilchard fisheries of Devon and Cornwall linked to change in climate since the 16th century. *J. Mar. Biol.* 68:423-445.
- Steedman H.F., 1976. *Zooplankton fixation and preservation*. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology
- Stergiou I.K. & Lascaratos A., 1997. Climatic variability and the anchovy/sardine ratio in Hellenic waters. *Geojournal* 41:245-254.
- Stommel H., 1972. Deep winter-time convection in the Western Mediterranean Sea. In: A. L. Gordon (Ed.), *Studies in physical oceanography*, vol. 2 (Gordon and Breach, New York, pp. 207-218).
- Takeuchi T., Toyota M., Satoh S. & Watanabe T., 1990. Requirement of juvenile red seabream *Pagrus major* for eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56: 1263-1269.

- Tortonese E., 1967. Differenziazioni infraspecifiche nelle acciughe (*Engraulis encrasicolus* L., Pisces, Clupeiformes) della Sicilia Orientale. Atti. Accad. Gioenia, Catania 34: 58-65.
- Tranter D.J., 1974. Zooplankton sampling. UNESCO Monographs on Oceanographic Methodology.
- Tsimplis M.N. & Bryden H.L., 2000. Estimation of the transport through the Strait of the Gibraltar. Deep-sea Research I, 47, 2219-2242.
- Varagnolo S., 1964. Calendario di comparsa di uova pelagiche di Telostei marini nel plancton di Chioggia. Arch. Oceanog. Limnol. 13 (2): 249-279.
- Varagnolo S., 1965. Alcune osservazioni sulla distribuzione delle uova galleggianti di Teleostei nell'Alto Adriatico. Boll. Zool. 32 (2): 849-858.
- Varagnolo S., 1967. Osservazioni sulla riproduzione dell'*Engraulis encrasicolus* L. (Acciuga) dell'alto Adriatico. Arch. Oceanog. Limnol. 15 (Suppl.): 71-81.
- Vasconcellos M.C. & Castello J.P., 1996. distribución de larvas de anchoita (*Engraulis anchoita*) y el ambiente oceanográfico en el sur de Brasil. Atlantica 18: 77-100.
- Vučetić T., 1963. Données sur la ponte de l'*Engraulis encrasicolus* L. en haute mer dans l'Adriatique centrale et septentrionale. Proc. gen. Fish. Coun. Medit. 7: 203-209.
- Zenitani H., 1995. Analysis of lipid components for determining the nutritional condition of sardine larvae *Sardinops melanostictus*. Fisheries Science 61, 725-726.
- Zweifel J.R. & Lasker R., 1976. Prehatch and posthatch growth of fishes. A general model. Fish. Bull. US 74. 609-621.

Warn-Varnas A., Sellschopp J., Haley P.J.Jr., Leslie W.G. & Lozano C.J., 1999. Strait of Sicily Water Masses. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* (Special issue in honor of Professor A.R. Robinson) 29: 437-469.

Waits J.S., 1755. Undersökning om orsaken hvarföre vattnet i Atlantiska hafvet alltid strömar in uti medlhafvet genom Sundet vid Gibraltar. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*. 16, 27-50.

Wyatt T., 1980. The growth season *in the sea*. *Journal of Plankton Research*, 2, 81-97.

## **RINGRAZIAMENTI**

Giunta al termine di questo lavoro desidero ringraziare ed esprimere la mia riconoscenza nei confronti di tutte le persone che, in modi diversi, mi sono state vicine e hanno permesso la realizzazione e la stesura di questa tesi.

In primo luogo, mi corre l'obbligo di ringraziare il Dott. Salvo Mazzola direttore dell'IAMC – CNR per la fiducia fin da subito dimostratami, per avermi accolta nell'Istituto credendo in me e nel mio dottorato.

Ringrazio il personale docente ed amministrativo dell'Università Cà Foscari di Venezia che hanno messo a mia disposizione le loro competenze e la loro professionalità.

Un ringraziamento altrettanto sentito va al Dott. Angelo Bonanno per me prezioso punto di riferimento per la continua prontezza nei chiarimenti, per avermi aiutata ad intraprendere, ogni volta, le scelte più appropriate e per avere verificato ogni parte del presente lavoro

Ringrazio il Dott. Bernardo Patti per la rilettura critica di tutti i capitoli della tesi.

Desidero ringraziare la Dott.<sup>ssa</sup> Angela Cuttitta per avermi introdotto all'affascinante studio dell'ittioplancton e per avere seguito il lavoro condotto in laboratorio mettendomi a disposizione la sua valida esperienza.

Un cordiale ringraziamento va ai Dott. Gualtiero Basilone e Marco Barra per gran parte delle indicazioni relative alle indagini di natura statistica.

Ringrazio il Dott. Mario Sprovieri per avere contribuito a farmi credere nelle mie possibilità e a perseguire le mie ambizioni.

Un infinito ringraziamento a tutto il personale dell'IAMC- CNR di Mazara del Vallo per la totale disponibilità e professionalità mostratami nel corso di questi anni.

Per ultimi, ma di certo non per importanza, ringrazio i miei genitori, che mi sono stati molto vicini in tutti questi anni, che mi ha supportata moralmente spronandomi a migliorare e dandomi sempre fiducia

Ringrazio mia sorella e i miei due nipotini, Francesco e Pialucia, che mi hanno sostenuta con i loro infiniti sorrisi.

E per finire, ringrazio mio marito a cui dedico questo lavoro di tesi, che mi ha esortato ad insistere e a proseguire il percorso intrapreso quando ogni possibilità mi sembrava perduta, ed avrei preferito mollare tutto, facendomi desistere da tale proposito. Più di tutti ha condiviso con me questi anni di studio, sopportandomi nei miei periodi di buio ed in quelli di luce eccessiva.

## **Estratto per riassunto della tesi di dottorato**

Studente: Antonella Di Nieri

matricola: 955180

Dottorato: Scienze Ambientali

Ciclo: 21°

### **Titolo della tesi: ACCRESCIMENTO E COMPOSIZIONE DELLE LARVE DI ACCIUGA ENGRAULIS ENCRASICOLUS IN ZONE A DIVERSE CONDIZIONI IDROLOGICHE DEL CANALE DI SICILIA**

Il presente lavoro ha preso in esame larve di *Engraulis encrasicolus* pescate nel Canale di Sicilia. L'età delle larve è stata stimata attraverso una metodologia che prevede la lettura dei microincrementi giornalieri negli otoliti (*sagittae*); tali stime sono state messe in correlazione con i dati relativi ai parametri oceanografici del Canale di Sicilia. L'equazione di Gompertz ha descritto la crescita di questa specie nell'intervallo di lunghezze campionate. Per l'anno 2004 è stato stimato un tasso di crescita pari a 0.77 mm/day e per il 2007 un tasso di crescita di 0.65 mm/day. La relazione tra il diametro dell'otolite e la lunghezza della larva è stata modellizzata con un'equazione potenziale, ed in particolare per i due anni sono state determinate due curve diverse. Il test di Mann-Whitney U Test ha evidenziato che le differenze tra i valori osservati (T, S, O<sub>2</sub> e F) sono risultate essere significative ( $p < 0.05$ ). Un'altra indagine ha riguardato l'analisi comparativa, mediante spettrofotometria, delle componenti biochimiche (lipidi, proteine e carboidrati) delle larve di *E. encrasicolus* pescate nel Canale di Sicilia e nella piattaforma libica nella Campagna Oceanografica MedSusMed 2006. Le differenze in termini di contenuto proteico e di tassi di accumulo di proteine e lipidi in funzione della lunghezza delle larve sono risultate essere significativamente diverse per le due zone interessate, e ciò è stato giustificato dalle diverse condizioni oceanografiche presenti nelle due zone di campionamento.

### **Abstract**

The present job has taken in examination *Engraulis encrasicolus* larvae caught in the Sicily Channel. The larval age has been estimated through a methodology that utilizes the daily otolith (*sagittae*) micro-increments reading; such assessment have been correlated with the oceanographic parameters data of the Sicily Channel. The Gompertz equation has showed the growth of this species in the sampled lengths range. For year 2004, a growth rate of 0.77 mm/day has been esteemed and for 2007 a growth rate of 0.65 mm/day. The relationship between the otolith diameter and the larval length has been fitted with a

potential equation, and in particular two different curves have been determined for the two years. The Mann-Whitney U Test has underlined that the differences among the observed values (Temperature, Salinity, O<sub>2</sub> and Fluorescence) result to be significant ( $p << 0.05$ ).

Another investigation has concerned the comparative analysis, through spectrophotometry, of the larval biochemical components (lipids, proteins and carbohydrates) of *E. encrasicolus* caught in the Sicily Channel and in the continental shelf of Libya during the Oceanographic Cruise named MedSusMed 2006. The differences of protein content and proteins and lipids accumulation rates for the larvae length result to be significantly different for the two investigated zones, and this has been justified by the different oceanographic conditions present in the two sampling areas.