



Università
Ca' Foscari
Venezia

Dottorato di ricerca

in Scienze Ambientali

Scuola di dottorato in Scienze e Tecnologie

Ciclo 27°

Anno 2015

***Ecologia trofica di comunità pelagiche in due aree del
Mediterraneo: STRETTO DI SICILIA e MAR TIRRENO.***

SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE DI AFFERENZA: BIO/07

Tesi di Dottorato di Monica Calabrò, matricola 955954

Coordinatore del Dottorato

Prof. Gabriele Capodaglio

Tutore del Dottorando

Prof. Piero Franzoi

Co-tutori del Dottorando

Dott. Gualtiero Basilone

Dott.ssa Paola Rumolo

A Martina

SOMMARIO

Riassunto.....	6
Capitolo 1.....	8
INTRODUZIONE.....	8
1.1 ECOLOGIA TROFICA DELL'ECOSISTEMA MARINO e BIOLOGIA DELLE SPECIE (<i>Engraulis encrasicolus</i> , <i>Sardina pilchardus</i> , <i>Trachurus trachurus</i> e <i>Merluccius merluccius</i>).....	8
1.2 GLI ISOTOPI STABILI DI AZOTO E CARBONIO ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$).....	15
1.3 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....	16
1.4 OBIETTIVI DELLA RICERCA.....	20
Capitolo 2.....	21
MATERIALI E METODI.....	21
2.1 CAMPIONAMENTO.....	21
• <i>Campionamento mediante rete pelagica sperimentale</i>	23
• <i>Campionamento del Materiale Organico Particolato (POM)</i>	23
• <i>Campionamento zooplancton</i>	23
2.2 PROCESSAMENTO e ANALISI DEI CAMPIONI.....	24
• <i>Caratterizzazione della frazione nectonica nelle due aree di studio</i>	25
• <i>Specie ittiche</i>	25
• <i>Materiale Organico Particolato (POM)</i>	27
• <i>Zooplancton</i>	27
• <i>Analisi isotopiche di azoto e carbonio</i>	27
• <i>Calcolo del livello trofico</i>	28
• <i>Indici biologici</i>	29
• <i>Analisi statistiche</i>	30
• <i>Bayesian mixing models (SIAR)</i>	30
Capitolo 3: RISULTATI.....	40
3.1 CARATTERIZZAZIONE DELLA FRAZIONE NECTONICA NELLE AREE DI STUDIO.....	40

3.2 PRESENZA E DISTRIBUZIONE DELLE SPECIE ITTICHE ANALIZZATE.....	46
• <i>Distribuzione dell'abbondanza di E.encrasicolus nelle pescate</i>	47
• <i>Distribuzione dell'abbondanza di S.pilchardus nelle pescate</i>	47
• <i>Distribuzione dell'abbondanza di T.trachurus nelle pescate</i>	48
• <i>Distribuzione dell'abbondanza di M.merluccius nelle pescate</i>	49
3.3 ACCIUGA (<i>Engraulis encrasicolus</i>).....	50
• <i>Indici biologici</i>	51
• <i>Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}N$) e carbonio ($\delta^{13}C$)</i>	57
3.4 SARDINA (<i>Sardina pilchardus</i>).....	60
• <i>Indici biologici</i>	61
• <i>Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}N$) e carbonio ($\delta^{13}C$)</i>	67
3.5 TRACURO (<i>Trachurus trachurus</i>).....	70
• <i>Indici biologici</i>	71
• <i>Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}N$) e carbonio ($\delta^{13}C$)</i>	74
3.6 MERLUZZO (<i>Merluccius merluccius</i>).....	77
• <i>Indici biologici</i>	78
• <i>Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}N$) e carbonio ($\delta^{13}C$)</i>	78
3.7 VARIABILITÀ DEI SEGNALI ISOTOPICI DI AZOTO E CARBONIO RISPETTO A DIVERSE AREE GEOGRAFICHE	82
• <i>Acciuga (<i>Engraulis encrasicolus</i>) e Sardina (<i>Sardina pilchardus</i>)</i>	85
• <i>Trachurus trachurus</i>	90
• <i>Merluccius merluccius</i>	92
3.8 Materiale Organico Particolato (POM) e Mesozooplankton	94
3.9 Stable Isotopes Analysis in R (SIAR)	101
3.10 Livello Trofico (TrL).....	109
Capitolo 4: DISCUSSIONI	111
• <i>Acciughe e Sardine: variabilità isotopica, indici biologici e stato trofico</i>	112

- *Tracuri e Merluzzi: variabilità isotopica, distribuzione e stato trofico*.....114
- *Caratteristiche oceanografiche, definizione delle Sub-aree e applicazione del SIAR (Stable Isotope Analysis in R)*.....115

Capitolo 5: CONCLUSIONI121

BIBLIOGRAFIA122

RINGRAZIAMENTI137

Estratto della tesi.....138

Riassunto

Negli ultimi anni la pressione selettiva della pesca su alcune specie a elevato interesse commerciale ha portato a un drastico declino degli stock ittici alterando profondamente anche gli equilibri degli ecosistemi (Daskalov 2002; Pauly et al.2005). Per contrastare questi declini la Comunità Europea ha adottato delle nuove politiche di gestione sostenibile delle risorse e degli ecosistemi marini basate sul mantenimento di un buono stato ambientale, ovvero sulla capacità di preservare la biodiversità degli ecosistemi marini. Le misure attuate nell'ambito delle strategie per l'ambiente marino (*Marine Strategy* - Direttiva 2008/56/CE) sono basate su una conoscenza scientifica quanto più approfondita possibile delle componenti biotiche ed abiotiche che compongono l'ambiente marino nonché delle loro complesse interazioni. In tale situazione un primo approccio allo studio dell'ecologia trofica e dei legami trofici di molte specie chiave all'interno dell'ecosistema marino appaiono di fondamentale importanza.

L'acciuga (*Engraulis encrasicolus*), la sardina (*Sardina pilchardus*), il tracuro (*Trachurus trachurus*) e il merluzzo (*Merluccius merluccius*) sono specie ittiche ad elevato interesse sia commerciale che ecologico ed occupano una posizione trofica chiave all'interno dell'ecosistema pelagico.

Spesso queste specie condividono gli stessi habitat (per es. acciughe e sardine) e creano complesse interazioni trofiche diventando competitori verso le stesse prede oppure ripartendo il mezzo alimentare. Le conseguenze di questi meccanismi sono spesso sconosciute e sono richieste profonde conoscenze biologiche e trofiche per chiarire gli effetti sull'intero ecosistema.

In tale contesto, l'obiettivo generale del presente lavoro di tesi è descrivere l'ecologia trofica di queste specie in due differenti aree del Mar Mediterraneo (stretto di Sicilia e mar Tirreno). Nello specifico s'intende: 1. determinare lo stato trofico di ognuna delle specie bersaglio; 2. valutare la variabilità nella biologia delle specie mediante l'utilizzo d'indici somatici e riproduttivi; 3. investigare la variabilità trofica intra- ed interspecifica tra aree del Mar Mediterraneo.

Lo studio degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) è proposto come strumento d'indagine per comprendere la struttura trofica delle comunità pelagiche e per identificare l'origine delle principali risorse alimentari utilizzate. I risultati ottenuti dall'analisi degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) condotti sui tessuti delle quattro specie considerate, sulle loro possibili prede (mesozooplankton) e sulle sorgenti primarie della rete trofica (fitoplancton) hanno permesso di conoscere gli *habitat* alimentari delle specie e valutare le variazioni spaziali nella loro ecologia trofica.

Gli aspetti più generali della biologia e dell'ecologia trofica delle quattro specie in oggetto, così come le principali caratteristiche delle due aree di studio sono riportate nel capitolo 1.

Nel capitolo 2 sono descritte le procedure di campionamento, di preparazione e di analisi dei campioni, mentre nel capitolo 3 vengono evidenziati i principali risultati delle analisi effettuate.

Una visione completa dell'ecologia trofica delle specie analizzate in diversi punti del Mar Mediterraneo (con condizioni topografiche e idrologiche differenti) è presentata nel capitolo 4.

Capitolo 1 **INTRODUZIONE**

1.1 ECOLOGIA TROFICA DELL'ECOSISTEMA MARINO e BIOLOGIA DELLE SPECIE (*Engraulis encrasicolus*, *Sardina pilchardus*, *Trachurus trachurus* e *Merluccius merluccius*)

L'ecologia trofica è lo studio delle relazioni alimentari tra gli organismi all'interno di un ecosistema. Lo studio dell'ecologia trofica permette di determinare i fattori che regolano la distribuzione degli organismi, la loro abbondanza e il trasferimento di energia tra un livello trofico a quello successivo all'interno dell'ecosistema (Costalago et al.2012).

Nell'ecosistema marino notevole importanza assumono le specie ittiche che occupano il cosiddetto "*middle trophic level*" ovvero l'anello di congiunzione tra la base della catena trofica (fitoplancton/zooplankton) e i top predator (Cury et al. 2000). Tali specie giocano un ruolo fondamentale nei trasferimenti energetici dai produttori primari ai consumatori finali dell'ecosistema. Acciughe (*Engraulis encrasicolus*), sardine (*Sardina pilchardus*), tracuri (*Trachurus trachurus*) e merluzzi (*Merluccius merluccius*) sono un esempio di tali specie.

Esse rappresentano una buona parte della biomassa del pescato nell'area mediterranea (Leonart and Manyou 2003; Irepa, 2011) e rivestono un ruolo ecologico e socio-economico fondamentale all'interno degli ecosistemi marini.

In particolare, l'**acciuga europea** (*Engraulis encrasicolus*) (Figura 1.1.1) è una specie ittica pelagica di grande interesse commerciale in tutto il mondo (Basilone et al.2006 B). Appartiene alla famiglia degli Engraulidi.



Figura 1.1.1: Acciuga europea (*Engraulis encrasicolus*)

E' un pesce pelagico di piccole dimensioni (tra i 7 ed i 15 cm di lunghezza) ma può raggiungere anche dimensioni maggiori (> 20cm di lunghezza). Tale specie è ampiamente distribuita in tutto il mar Mediterraneo (Palomera e Rubies, 1996) ma anche lungo la costa nord-orientale e centrale

dell'oceano Atlantico, nel mar Nero e lungo le coste dell'Africa (Figura 1.1.2). La specie è caratterizzata da ampie fluttuazioni interannuali nella biomassa.

Si tratta di una specie migratrice e gregaria che tende a riunirsi in grandi banchi vicino alla costa per la riproduzione sin dall'inizio della primavera, per poi allontanarsi in acque più profonde verso la fine dell'estate e in autunno (Basilone et al., 2006 A). Tale specie presenta una taglia di prima maturità sessuale (L_{50}) intorno agli 11 cm di lunghezza totale (Basilone et al., 2006 A).

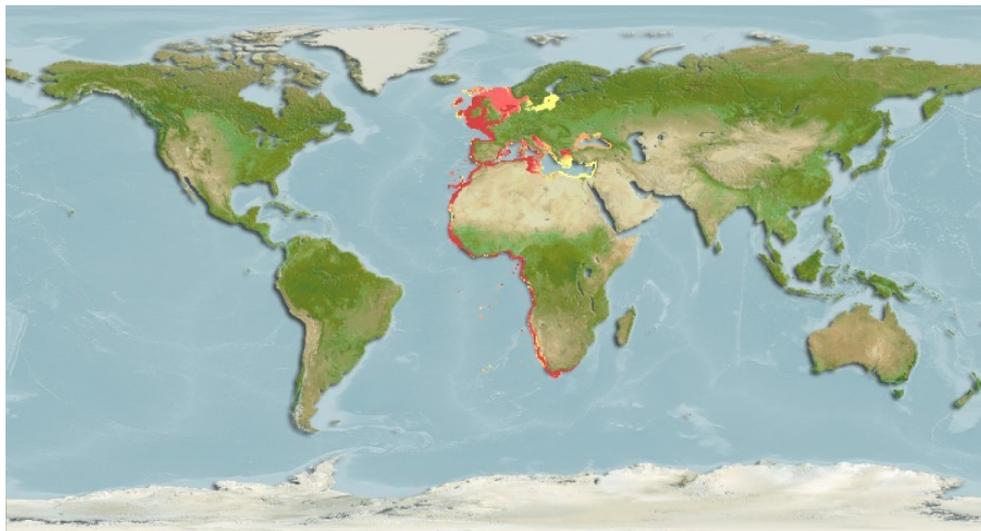


Figura 1.1.2: Mappa di distribuzione di *Engraulis encrasicolus* (www.fishbase.org)

La biologia riproduttiva, la deposizione delle uova e i processi di reclutamento sono influenzati da una serie di fattori principalmente legati alle condizioni ambientali (Basilone et al., 2004; Basilone et al., 2006 A) e all'idrografia (García Lafuente et al., 2002). La temperatura dell'acqua rappresenta uno di questi fattori essendo in grado di influenzare la crescita e il ciclo riproduttivo dell'acciuga (Basilone et al., 2004 A, Basilone et al., 2006 A; Basilone et al., 2013). Nel Mediterraneo, il periodo riproduttivo dell'acciuga si estende da aprile a ottobre con un picco tra luglio e agosto (Basilone et al., 2006 A).

Studi sull'ecologia trofica dell'acciuga sono stati condotti in varie aree del Mediterraneo (Tudela e Palomera, 1997; Plounevez e Champalbert, 2000; Karachle e Stergiou, 2013; Costalago et al., 2014). Alcuni esemplari adulti di acciuga compiono migrazioni verticali giornaliere a scopo alimentare (Palomera et al., 2007) presentando picchi di alimentazione durante le ore diurne (Basilone et al., 2006 B).

L'alimentazione dell'acciuga è prettamente zooplanctofaga (Plounevez e Champalbert, 1999; Catalàn et al., 2010) anche se sembrerebbe dipendere fortemente dai meccanismi utilizzati per la cattura delle prede, dalle condizioni ambientali e dalla presenza/abbondanza dei differenti assemblaggi di prede (Costalago et al., 2014). Nel Mediterraneo i copepodi sono le specie maggiormente ritrovate nei contenuti stomacali delle acciughe (Bacha et al., 2010) mentre, in misura minore, si ritrovano anche molluschi, cladoceri, ostracodi, larve di decapodi e appendicolarie (Tudela and Palomera, 1995; 1997; Plounevez & Champalbert, 2000; Palomera et al.2007).

La **sardina** (*Sardina pilchardus*) è un piccolo pesce pelagico appartenente alla famiglia dei clupeidi (Figura 1.1.3).

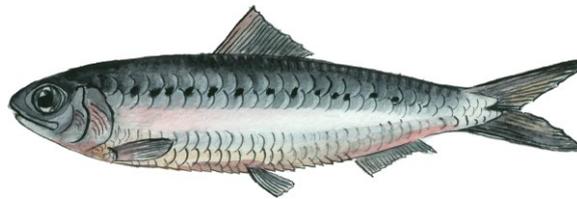


Figura 1.1.3: Sardina (*Sardina pilchardus*)

Gli individui possono raggiungere dimensioni massime di 27.5 cm ma solitamente si ritrovano tra i 15 e i 20 cm di lunghezza. La specie è diffusa nelle acque costiere del Mediterraneo e dell'Atlantico occidentale, dal Senegal fino alle coste scozzesi (Figura 1.1.4). La sardina, come la maggior parte dei clupeidi, è un depositore parziale che si riproduce emettendo gruppi di uova pelagiche durante tutta la stagione riproduttiva (Ganias et al.2007; Ganias et al., 2009). Nelle sardine la stagione riproduttiva avviene nei mesi autunnali e invernali (tra novembre e marzo) con un picco fra dicembre e gennaio (Basilone et al. 2004 B), mentre in estate si ha una grande abbondanza di giovanili (Basilone et al.2004 B; Ganias et al., 2007; Tsikliras et al., 2010). La prima maturità sessuale è raggiunta a una lunghezza totale di circa 12 cm (Basilone et al. 2004 B; Sinovčić et al. 2008).

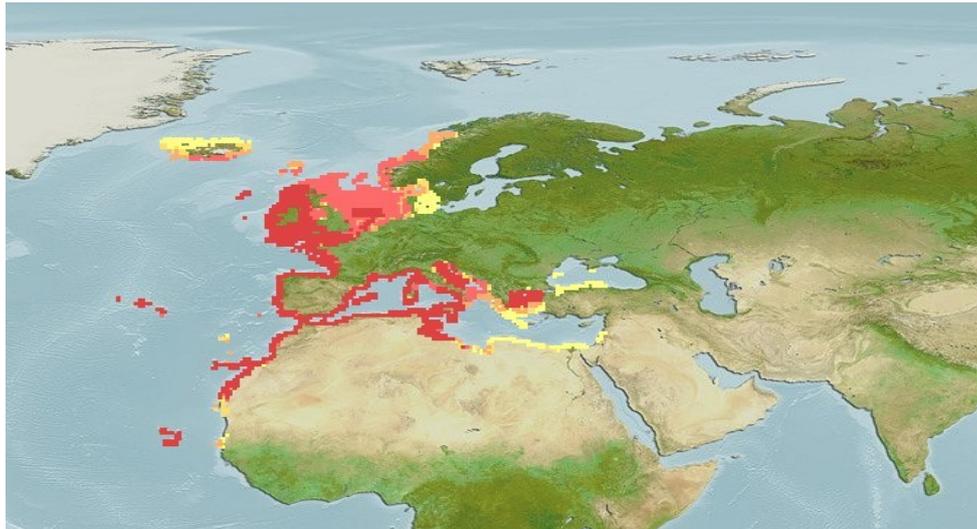


Figura 1.1.4: Mappa di distribuzione di *Sardina pilchardus* (www.fishbase.org)

Da studi effettuati sull'ecologia alimentare della sardina nell'Atlantico e Mediterraneo emerge che questa specie possiede due principali meccanismi di alimentazione: uno principalmente basato sulla filtrazione di grosse quantità d'acqua (*filter feeding*) per catturare prede di piccole dimensioni, l'altro basato su meccanismi in grado di catturare prede di maggiori dimensioni (*particulate feeding*) (Bode et al., 2004; Garrido et al., 2007; Chauvelon et al., 2014). Infatti, studi effettuati sull'alimentazione della sardina hanno evidenziato nei contenuti stomacali sia prede fitoplanctoniche (dinoflagellati e diatomee) che prede zooplanctoniche (uova di crostacei, copepodi, decapodi e uova di pesci) (Bode et al., 2004; Garrido et al., 2008; Nikolioudakis et al., 2012).

Il Tracuro (*Trachurus trachurus*) è un pesce semipelagico appartenente alla famiglia dei carangidi (Santic et al.2005) (Figura 1.1.5).

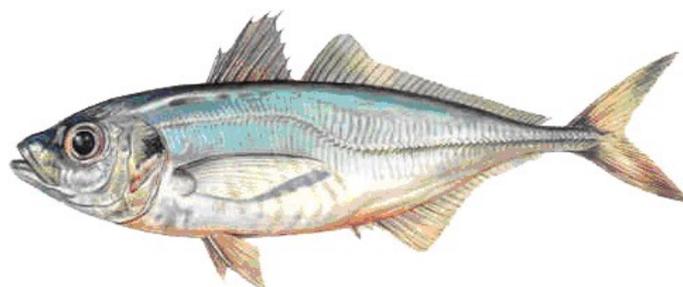


Figura 1.1.5: Tacuro (*Trachurus trachurus*)

Questa specie può raggiungere i 60 cm di lunghezza ma mediamente la lunghezza degli individui è compresa tra i 15 ed i 30 cm. E' ampiamente distribuita lungo le coste Atlantiche, nel Mar Mediterraneo e nel mar Nero (Santic et al.2005) (Figura 1.1.6).

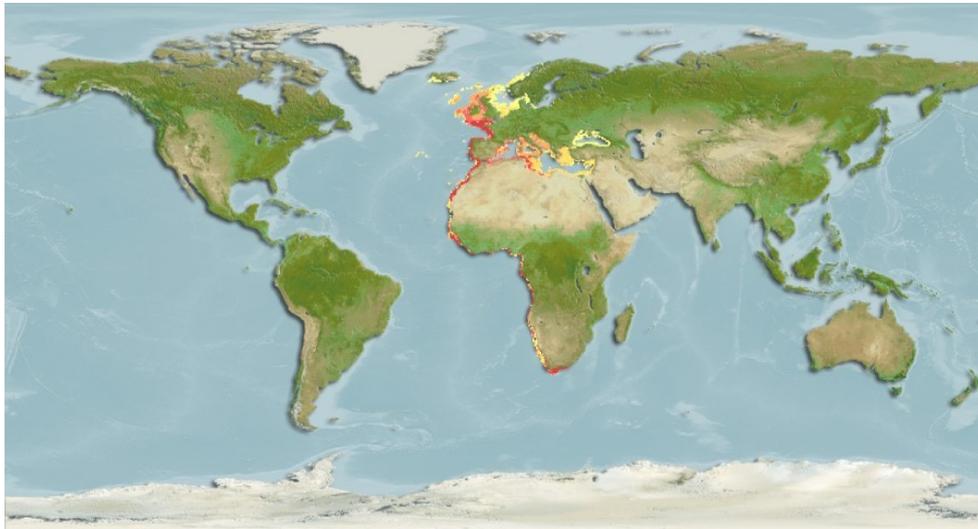


Figura 1.1.6: Mappa di distribuzione di *Trachurus trachurus* (www.fishbase.org)

Si tratta di una specie migratrice che lungo la colonna d'acqua si distribuisce principalmente tra i 50 e i 200m di profondità. Nel Mediterraneo è di grande importanza commerciale rappresentando una specie chiave per la pesca (Abaunza *et al.*, 2008; Stransky *et al.*, 2008).

In Atlantico la riproduzione appare strettamente legata alla temperatura con un picco tra maggio e luglio (Abaunza *et al.*2003), mentre nel mediterraneo tale picco è presente tra marzo e maggio (Karlou-Riga e Sinis 1997). La taglia di prima maturità sessuale si ha tra 16 ed i 25 cm di lunghezza totale, anche se appare che i maschi maturino ad una lunghezza inferiore rispetto alle femmine (Abaunza *et al.*2003).

Studi condotti sulla dieta del tracuro in Mediterraneo mostrano che questa specie è prevalentemente zooplantofaga ma l'alimentazione diviene ittiofaga con la crescita degli individui (Jardas *et al.*, 2004; Santic *et al.*, 2005; Bayan e Sever, 2009). Tali differenze riflettono l'abilità degli individui più grandi di catturare prede di dimensioni maggiori (Santic *et al.*2005). Le prede maggiormente rinvenute nei contenuti stomacali dei tracuri sono rappresentate da crostacei (in particolare eufasiacei e copepodi). Tuttavia la presenza degli eufasiacei nei contenuti stomacali dei tracuri diminuisce all'aumentare della taglia, sostituita dalla presenza di teleostei, soprattutto negli individui di taglia > 30 cm di lunghezza (Santic *et al.*2005). Altre prede rinvenute nei

contenuti stomacali dei tracuri sono policheti, molluschi, chetognati, decapodi e cefalopodi (Jardas et al., 2004; Santic et al., 2005; Bayan e Sever, 2009).

Il **Merluzzo** (*Merluccius merluccius*) è un pesce demersale appartenente alla famiglia dei Merluccidi (Figura 1.1.7).

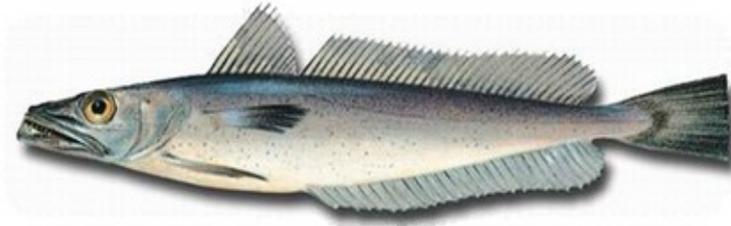


Figura 1.1.7: Merluzzo (*Merluccius merluccius*)

La lunghezza degli individui varia tra i 20 e i 70 cm ma può arrivare ad una lunghezza massima di 140 cm. Il merluzzo è ampiamente distribuito in tutto il nord-est dell'Atlantico e nel mar Mediterraneo (Bozzano et al., 1997) (Figura 1.1.8). Generalmente, gli esemplari di questa specie si distribuiscono tra i 70 e i 400 metri di profondità sebbene nella parte settentrionale del Mediterraneo sia stata segnalata la loro presenza anche a profondità maggiori (>700m; Cartes et al., 2009). Tuttavia, in gran parte del mediterraneo la popolazione è presente tra i 100 e i 200 m di profondità (Philips, 2014).

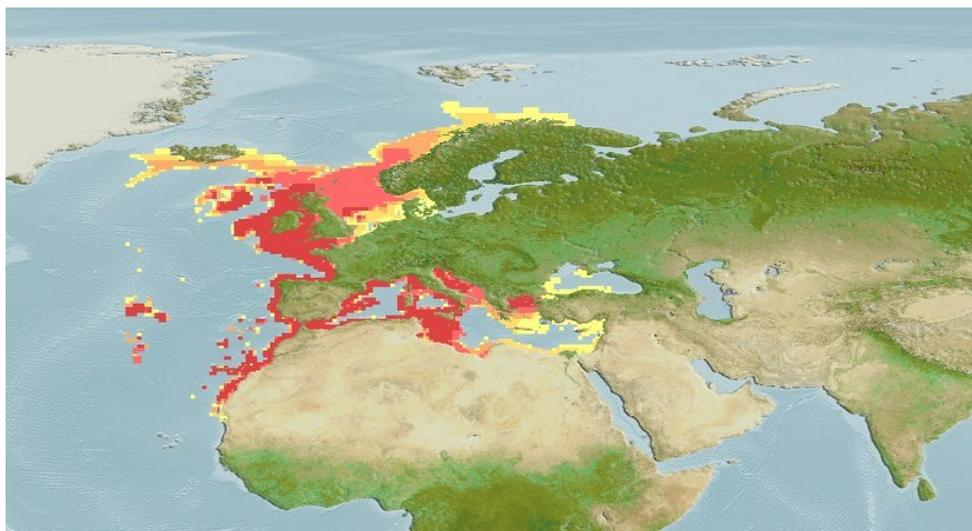


Figura 1.1.8: Mappa di distribuzione di *Merluccius merluccius* (www.fishbase.org)

Il merluzzo è un riproduttore attivo per l'intero anno (Korta et al., 2010; El Habouz et al., 2011). La lunghezza di prima maturità (L50) è stimata a circa 28.3 cm per i maschi e 33.8 cm per le femmine (El Habouz et al., 2011).

Sembra che i merluzzi vivano in prossimità del fondo durante il giorno e nella colonna d'acqua durante la notte (Carpentieri et al., 2005). Queste migrazioni verticali sono probabilmente attribuibili alla distribuzione delle loro prede (Mahe, 2007). Questa specie occupa differenti livelli trofici durante la crescita (Carpentieri et al. 2005). Infatti, l'alimentazione degli esemplari più piccoli (<10 cm) si basa principalmente su crostacei (eufasiacei, misidiacei e decapodi) (Carpentieri et al., 2005; Ferraton et al., 2007), mentre all'aumentare della taglia degli individui (esemplari >16 cm) la dieta diviene più eterogenea, includendo anche piccoli pesci pelagici e bentonici (Colloca et al., 2002; Mahe et al., 2007; Ferraton et al., 2007; Philips et al., 2012). In una prima fase circa il 60% delle prede è rappresentato da clupeiformi come sardine e acciughe (Carpentieri et al. 2005), mentre la restante parte è rappresentata principalmente da decapodi (Bozzano 1997). Nella fase più adulta (>36 cm) i pesci rappresentano il 96% della dieta del merluzzo con una predominanza di prede appartenenti ai pesci bentonici centracantidi (come la ricciola di fondale e la mennola) (Carpentieri et al. 2005).

1.2 GLI ISOTOPI STABILI DI AZOTO E CARBONIO ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$)

I principali studi sull'ecologia trofica delle specie ittiche si basano sull'identificazione delle loro prede attraverso le analisi dei contenuti stomacali (Baker et al. 2014; Costalago et al. 2014). Tale metodo fornisce una chiara rappresentazione delle prede ingerite al momento della cattura del pesce ma non è rappresentativo delle abitudini alimentari nel tempo (Pinnegar e Polunin, 1999). Diversamente dall'analisi dei contenuti stomacali, l'analisi degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) condotta sui muscoli dei pesci, fornisce indicazione sul cibo assimilato dalle specie nel tempo (che generalmente varia da 30-40 giorni dipendendo dalla specie considerata) (Jennings et al. 1997; Polunin et al., 2001; Jennings et al., 2002; Post, 2002; Olive et al., 2003; Boecklen et al., 2011). In particolare, con gli isotopi stabili dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) è possibile stabilire il livello trofico occupato da una specie mentre con gli isotopi stabili del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) s'identificano le principali sorgenti alimentari esplorate da una specie (per es. un'alimentazione su specie più pelagiche e/o bentoniche) (Minagawa e Wada, 1984; Fry, 1991; Post, 2002; Michener e Lajtha, 2007).

La possibilità di discriminare il livello trofico occupato da una specie e le sorgenti alimentari esplorate è data dall'arricchimento del $\delta^{15}\text{N}$ e del $\delta^{13}\text{C}$ ad ogni step trofico (noto come frazionamento isotopico). Tale arricchimento è stato valutato intorno a circa il 3‰ per il $\delta^{15}\text{N}$ e all'1‰ per il $\delta^{13}\text{C}$ (DeNiro e Epstein, 1978; Peterson e Fry, 1987; Post, 2002; Caut et al. 2009). Ne consegue che, variazioni nel segnale isotopico dei consumatori possono derivare sia da un cambiamento nelle abitudini alimentari della specie rispetto ai luoghi esplorati, sia da un cambiamento isotopico della sorgente primaria di cibo (produttori primari). Stabilire il segnale isotopico dei produttori primari (*baseline*) risulta necessario al fine di determinare il livello trofico di appartenenza delle specie oltre a valutare il carico di energia che si accumula lungo la rete trofica (dai produttori primari ai consumatori finali). Inoltre, la "*baseline*" isotopica è un fattore necessario per comparare gli *habitat* alimentari delle specie in ambienti diversi. Tuttavia, differenti condizioni ambientali possono creare variazioni temporali e spaziali favorevoli per la crescita di alcune specie fitoplanctoniche a discapito di altre e di conseguenza produrre variazioni nei segnali isotopici della *baseline*. Per tale motivo, il segnale isotopico di un mix di specie zooplanctoniche viene spesso preferito come *baseline* per determinare il livello trofico dei consumatori primari e secondari, poiché risulta essere meno variabile temporalmente e spazialmente rispetto a quello dei produttori primari (Cabana e Rasmussen, 1996).

1.3 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

Lo studio svolto nel presente lavoro di tesi ha riguardato due aree costiere molto differenti, principalmente in termini di condizioni ambientali: lo Stretto di Sicilia e il Mar Tirreno (figura 1.3.1). Ai fini del lavoro, si è focalizzata l'attenzione sulla circolazione superficiale e costiera.

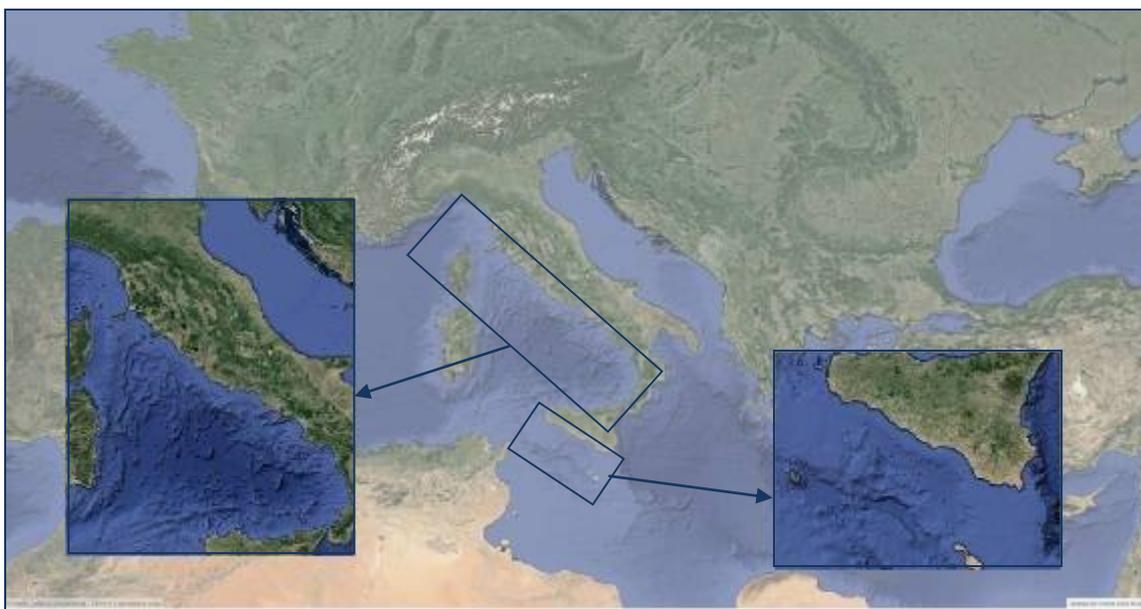


Figura 1.3.1: immagine satellitare del Mar Tirreno (a sinistra) e dello Stretto di Sicilia (a destra).

Lo Stretto di Sicilia, dal punto di vista topografico, è una regione complessa del Mediterraneo centrale, costituita da due alti topografici (Banco Avventura e piattaforma Siculo-Maltese) separati da un bacino profondo interno. Anche la circolazione delle masse d'acqua ha una struttura complessa (Bonanno et al., 2014) poiché lo Stretto di Sicilia è la zona che collega i due bacini principali del Mediterraneo ed è quindi la sede di scambio delle principali masse d'acqua tra Mediterraneo orientale e Mediterraneo occidentale (Sorgente et al., 2011).

Lo schema di circolazione più generale è rappresentato da un modello a due strati nel quale l'acqua di origine Atlantica (Modified Atlantic Water - MAW), più calda e meno salata rispetto all'acqua nel Mediterraneo, scorre nello strato superficiale (0 - 200 m) verso il bacino orientale, mentre l'acqua di origine levantina (Levantine Intermediate Water - LIW), più salata e più fredda, si muove nella direzione opposta, interessando uno strato con profondità comprese tra 200 m e 500 m (Lermusiaux e Robinson, 2001; Robinson et al., 1999). In corrispondenza del settore più occidentale dello Stretto di Sicilia il flusso della MAW si biforca in due getti principali: l'Atlantic Ionian Stream (AIS - Robinson et al., 1999), una corrente di superficie che scorre verso il Mar Ionio,

e l'Atlantic Tunisian Current (ATC - Sammari et al., 1999) che scorre verso sud sulle piattaforme Tunisina e Libica (Bonanno et al., 2013; Placenti et al., 2013).

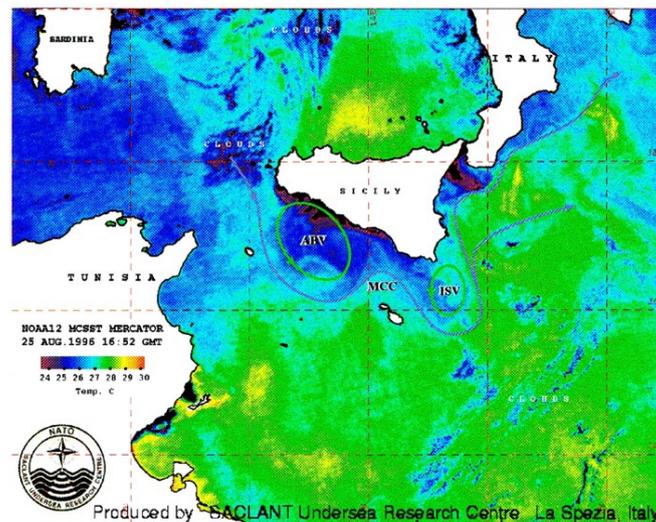


Figura 1.3.2: Schema della circolazione superficiale nello Stretto di Sicilia (Robinson et al., 1999). ABV rappresenta il Vortice sul Banco Avventura, MCC rappresenta il sollevamento del canale maltese (Maltese Channel Crest) ed ISV (Ionian Shelf Break) rappresenta il vortice ionico.

Sebbene sia stata riconosciuta un'importante variabilità spaziale, in termini di forma, posizione e forza, il percorso dell'ATC produce un vortice ciclonico sul Banco Avventura (Adventure Bank Vortex - ABV), un secondo vortice ciclonico in corrispondenza della piattaforma Siculo-Maltese (Ionian Shelf Break - ISV) e un'ampia area di upwelling costiero permanente lungo la costa meridionale dell'isola (Bonanno et al., 2014). Da un punto di vista oceanografico, lo Stretto di Sicilia appare un'area intensamente studiata attraverso campagne multidisciplinari di misura (Sammari et al., 1999; Ben Ismail et al., 2014; Gasparini et al., 2008; Poulain e Zambianchi, 2007; Placenti et al., 2013; Bonanno et al., 2014), analisi di dati satellitari (Rinaldi et al., 2010) e simulazioni numeriche ad alta risoluzione (Sorgente et al., 2003, 2011; Beranger et al., 2005).

Contrariamente, la circolazione delle masse d'acqua nel Mar Tirreno non è stata altrettanto analizzata e la maggior parte degli studi sono concentrati sulla descrizione dei pattern di circolazione a larga scala (Rio et al., 2007; Pierini and Simioli, 1998; Astraldi e Gasparini, 2002), oppure su specifici processi a scala locale (Budillon et al., 2009; Manzella et al., 1988; Vetrano et al., 2004). Ad ogni modo, sebbene il Mar Tirreno giochi un ruolo importante per la circolazione dell'intero Mediterraneo, ancora oggi non è disponibile né una caratterizzazione dettagliata della dinamica del bacino alle scale spaziali rilevanti (larga scala, mesoscala e scala locale), né un

modello numerico di circolazione che risolve i pattern superficiali a scala locale e a mesoscala. In prima approssimazione, la struttura verticale della colonna d'acqua può essere rappresentata da un sistema a tre strati con acqua di origine Atlantica nello strato superficiale diretta verso nord, LIW nello strato intermedio, anch'essa diretta verso nord, e uno strato di acqua più profonda (Tyrrhenian Deep Water - TDW). Per quanto riguarda lo strato superficiale, il flusso di AW che attraversa il Canale di Sardegna si divide in due rami principali: una parte si muove attraverso lo Stretto di Sicilia nel bacino orientale del Mediterraneo, ed un secondo flusso scorre in senso antiorario lungo le coste del mar Tirreno, prima di entrare nel Canale di Corsica. Tuttavia, un modello di circolazione a larga scala evidenzia nello strato superficiale diverse differenze rispetto a quanto riportato in letteratura (Rinaldi et al., 2010). In particolare, la regione meridionale del Tirreno è dominata da vortici semi-permanenti e con caratteristiche transitorie, che rendono difficile individuare un flusso medio costante. Invece, il sub-bacino settentrionale è caratterizzato da una coppia di vortici (ciclonico e anticiclonico) semi-permanenti noti in letteratura (Millot, 1999). Sotto lo strato di AW è spesso rilevato un minimo relativo di temperatura, associato usualmente alla firma residua del raffreddamento invernale. Recentemente, diversi autori hanno individuato la presenza di acqua intermedia di origine occidentale (Western Intermediate Water - WIW) con un minimo di temperatura alla profondità di 150 m. Questa massa d'acqua ha origine nel bacino nord-occidentale del Mediterraneo (Salat & Font, 1987) durante i processi di convezione invernali. Tipicamente la WIW non ha una presenza continua nel Tirreno (Gasparini et al., 1999), ma viene "trascinata" dal flusso di circolazione a larga scala (Astraldi et al., 1999; Budillon et al., 2009).

Dal punto di vista topografico il bacino Tirrenico può esser suddiviso in due settori principali: un settore centro-settentrionale (tra le coste della Campania e quelle della Toscana) caratterizzato da un'ampia piattaforma continentale e uno meridionale, lungo le coste della Calabria e della Sicilia, in cui la piattaforma continentale si restringe (Marullo et al, 1994).

Uno degli aspetti più importanti, e che maggiormente distingue le due principali aree di studio considerate nel lavoro di tesi, riguarda la presenza di fiumi. Infatti, lungo la costa meridionale della Sicilia sono presenti pochi fiumi, caratterizzati da portate ridotte (Piano di gestione del distretto idrografico della Sicilia, 2010). Al contrario, lungo le coste del Tirreno, a partire dalle coste Campane, troviamo le foci di diversi fiumi con notevoli portate: il Garigliano (che sfocia nel golfo di Gaeta), il Volturno (che sfocia nei pressi di Castel Volturno), il Sele (con foce nel golfo di Salerno), il

Sarno (con foce nel golfo di Napoli), il Tevere (nel Lazio), l'Arno (in Toscana). La presenza dei fiumi può influenzare le popolazioni ittiche di piccoli pelagici in termini di selettività dell'*habitat*. Infatti, l'*input* di nutrienti e materiale organico (OM) da parte dei fiumi può far aumentare localmente la produttività delle zone costiere (Uttieri et al., 2011).

1.4 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Obiettivo generale del presente lavoro di tesi è descrivere il comportamento alimentare di quattro specie target in due differenti aree del Mar Mediterraneo (stretto di Sicilia e mar Tirreno). Tali specie (l'acciuga, la sardina, il tracuro e il merluzzo) rappresentano un'importante risorsa ittica rivestendo un ruolo fondamentale da un punto di vista ecologico e commerciale. Il *Trachurus trachurus* e il *Merluccius merluccius* sono entrambe specie target per il programma MEDITS (Mediterranean International bottom Trawl Survey - Reg. Ce. N° 199/2008, N° 665/2008 e decisione della commissione N° 949/2008). Tuttavia, mentre il merluzzo è certamente una specie demersale, il tracuro è un pesce pelagico in grado di formare ampi banchi (schools) anche sulla piattaforma continentale. La presenza delle due specie nell'area di studio e il crescente interesse economico, acquisito negli ultimi anni, ha spinto ad introdurli tra le specie "bersaglio" del presente lavoro di tesi.

Lo studio degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) è proposto come strumento d'indagine per comprendere la struttura trofica delle comunità pelagiche e per identificare l'origine delle principali risorse alimentari utilizzate. I risultati ottenuti dall'analisi degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e il $\delta^{13}\text{C}$) condotti sui tessuti delle quattro specie considerate, sulle loro possibili prede (zooplancton) e sulle sorgenti primarie della rete trofica (fitoplancton) hanno permesso di conoscere gli *habitat* alimentari delle specie e valutare le variazioni spaziali nella loro ecologia trofica.

Gli obiettivi specifici di tale studio sono:

1. Investigare la variabilità intraspecifica nell'ecologia trofica delle specie considerate mediante l'utilizzo del segnale isotopico di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$);
2. Valutare la variabilità spaziale nell'ecologia trofica attraverso l'analisi del segnale isotopico di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) fra le due aree di studio (Mar Tirreno e Stretto di Sicilia);
3. Investigare possibili fonti di variabilità fra le aree studiate che siano inerenti alle caratteristiche biologiche ed ecologiche delle specie considerate.

Capitolo 2 **MATERIALI E METODI**

2.1 CAMPIONAMENTO

Un totale di 43 cale (Figura 2.1.1), 29 nel Tirreno (campagna oceanografica “Evatir 2011”) e 14 nello Stretto di Sicilia (campagna oceanografica “Ancheva 2011”) sono state effettuate a bordo della nave oceanografica “G. DALLAPORTA” (Figura 2.1.2), nel periodo compreso tra maggio/giugno 2011 (Evatir) e giugno/luglio 2011 (Ancheva).



Figura 2.1.1: Cale effettuate durante le due campagne oceanografiche “Ancheva” nello Stretto di Sicilia (cale da 1 a 14) ed “Evatir” nell’area Tirrenica (cale da 15 a 43).



Figura 2.1.2: Nave Oceanografica "G. Dallaporta"

Ogni cala ha avuto una durata di 30 minuti con una velocità media dell'imbarcazione di circa 3.5-4 nodi utilizzando una rete da traino pelagica di tipo "Volante Monobarca" (Figura 2.1.3a). Tale rete (Figura 2.1.3b), con una lunghezza complessiva di 78 m, un sacco di 22 m, una maglia di 18 mm, è dotata di un sistema acustico Simrad ITI in grado di controllare l'efficienza delle pescate.

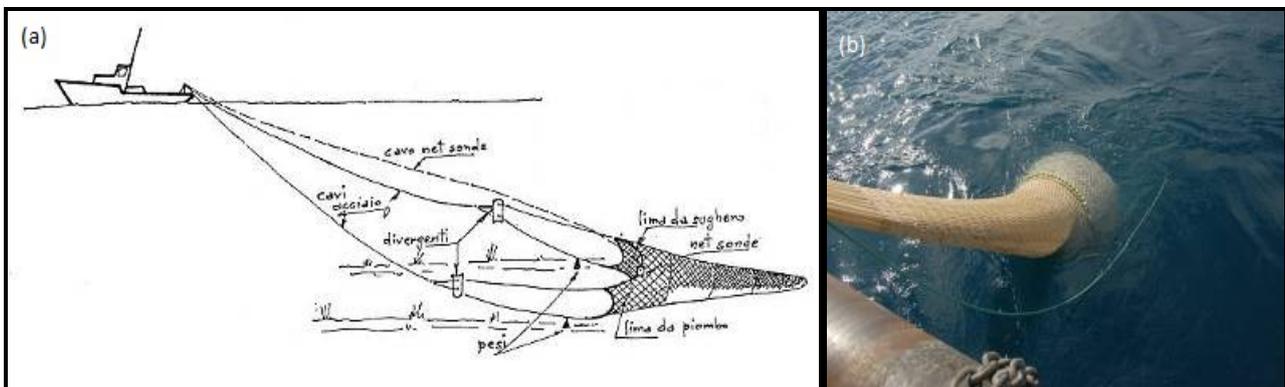


Figura 2.1.3: a) Caratteristiche complessive della rete pelagica "volante monobarca"; b) sacco della rete pelagica.

Il sistema acustico Simrad ITI, attraverso il software SIMRAD "ITI log", permette di controllare l'efficienza delle pescate registrando alcune variabili (quali per es. temperatura e profondità) e parametri della rete (per es. apertura della bocca, distanza dal fondo e densità di pesce catturato). L'imbarcazione è anche dotata di una rosetta con 24 bottiglie "Niskin" e una sonda multiparametrica (CTD) utilizzata in ciascuna cala per la raccolta dell'acqua a diverse profondità e per registrare i principali parametri fisici quali temperatura, salinità, pH, fluorescenza, conducibilità e ossigeno disciolto.

- ***Campionamento mediante rete pelagica sperimentale***

Per ogni cala il totale del campione pescato, è stato raccolto in contenitori (coffe) e pesato, in modo da ottenere una stima della biomassa totale del pescato. In seguito, dal campione totale è stata prelevata una “coffa campione” (rappresentativa della pescata) dalla quale le specie sono state separate (*sorting*), misurate e pesate.

In particolare, per acciughe, sardine, tracuri e merluzzi, gli esemplari sono stati suddivisi qualitativamente per classi di taglia, separati in sacchetti e immediatamente congelati a -20°C.

- ***Campionamento del Materiale Organico Particolato (POM)***

I campioni di materiale organico particolato (POM) sono stati ottenuti dalla filtrazione dell’acqua raccolta tramite le bottiglie Niskin. Le quote per la raccolta dell’acqua sono state scelte in base alle principali variazioni di temperatura, salinità, fluorescenza e ossigeno rilevate dalla sonda multiparametrica (CTD) durante il campionamento. L’acqua raccolta è stata prefiltrata su maglia di 200µm per rimuovere lo zooplancton e in seguito filtrata su filtri in fibra di vetro (Whatman GF/F, diametro 45 mm, porosità 63 µm) pre-combusti a 450°C per 4 ore. I filtri sono stati immediatamente congelati a -20°C. Il posizionamento delle stazioni è mostrato in figura 2.1.4.

- ***Campionamento zooplancton***

I campioni di zooplancton sono stati raccolti utilizzando due retini con maglia di 200µm: WP2 e BONGO40.

Il retino WP2, dotato di chiusura meccanica (messaggero), ha permesso di campionare lo zooplancton alle diverse profondità lungo la colonna d’acqua. Questo retino è stato impiegato nelle stazioni profonde.

Il Bongo40, composto da due retini accoppiati con bocca di 40 cm di diametro e tenuti da una struttura in acciaio a due anelli e depressore per la stabilità durante il traino, è stato impiegato nelle stazioni costiere (<100m). La presenza di due flussometri montati sul retino ha permesso di controllare il volume di acqua filtrato. Il materiale raccolto dalle due bocche del BONGO40 è stato conservato in contenitori diversi. Un primo contenitore è stato fissato in formalina al 4%, per la caratterizzazione delle specie zooplanctoniche, l’altro immediatamente congelato a -20°C per le analisi isotopiche. Le stazioni di campionamento sono mostrate in figura 2.1.4.

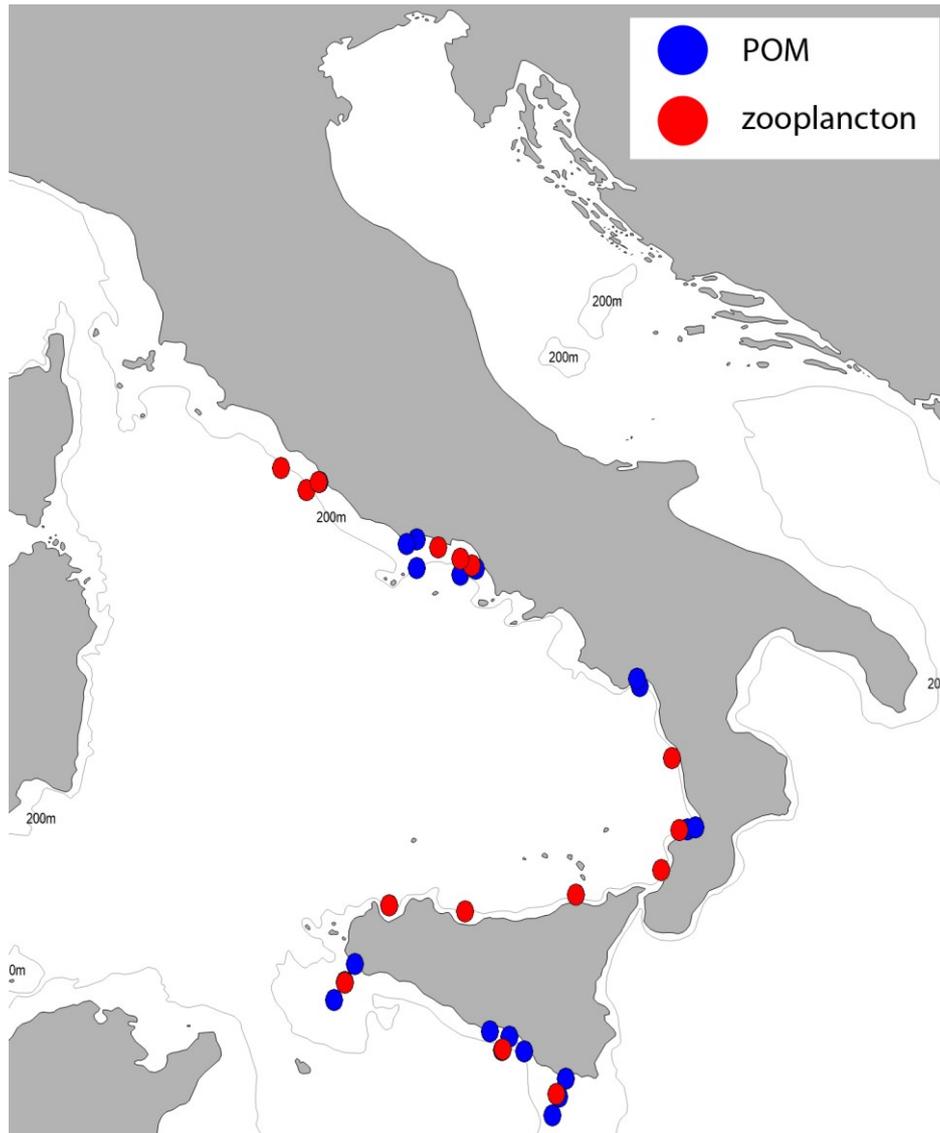


Figura 2.1.4: Stazioni di campionamento del POM e dello Zooplancton.

2.2 PROCESSAMENTO e ANALISI DEI CAMPIONI

Durante le pesche sperimentali effettuate per gli *echosurvey* sono state identificate 48 specie appartenenti a tre classi principali: Osteitti, Crostacei e Cefalopodi. L'elenco delle specie con i relativi dati di abbondanza sono riportati nella tabella 2.2.1 e nella tabella 2.2.2.

- **Caratterizzazione della frazione nectonica nelle due aree di studio**

Le analisi sono state effettuate analizzando i dati di abbondanza (numero orario/2) delle specie in ogni cala normalizzando il dato rispetto alla durata della pescata (30 minuti). Tutte le analisi sono state eseguite attraverso metodi statistici multivariati, con l'utilizzo del programma PRIMER (Clarke e Warwick, 1994). Ai dati di abbondanza standardizzati è stata applicata una trasformazione alla radice quarta. Una matrice di similarità è stata ottenuta utilizzando l'indice di Bray-Curtis (Field et al., 1982). Utilizzando questa matrice è stata poi effettuata un'analisi *cluster* gerarchica per la classificazione e l'ordinamento delle stazioni di campionamento, al fine di individuare raggruppamenti con caratteristiche simili attraverso l'algoritmo di PRIMER (Clarke & Warwick, 1994). Sulla stessa matrice di similarità è stata effettuata anche una *Non-metric Multi Dimensional Scaling* (NMDS, Clarke and Warwick 2001) per testare se le stazioni di campionamento mostrassero un pattern di raggruppamento. L'NMDS è stata scelta in quanto preserva l'ordine e la distanza inter-campione. Il valore di Stress riflette la significatività dell'analisi nella separazione di possibili gruppi. Le specie caratterizzanti (dominanti) e discriminanti di ogni gruppo sono state determinate utilizzando la procedura di analisi SIMPER (Similarity Percentage) (Clarke, 1993). Questa procedura permette di valutare il contributo medio di ciascuna specie per la somiglianza e dissomiglianza tra i gruppi di campioni, ovvero permette di determinare il contributo della specie alla dissomiglianza media di Bray-Curtis tra i gruppi.

- **Specie ittiche**

Durante le due campagne oceanografiche sono state campionate 33 specie ittiche. Quattro di queste 33 specie sono state considerate specie target per questo lavoro di tesi: acciughe (*Engraulis encrasicolus*), sardine (*Sardina pilchardus*), tracuri (*Trachurus trachurus*) e merluzzi (*Merluccius merluccius*).

Una volta in laboratorio i sacchetti selezionati durante il campionamento per le quattro specie target sono stati scongelati a temperatura ambiente e cinque esemplari per classe di taglia (ad intervalli da 0.5 e 1cm) sono stati individuati. In particolare, per *Engraulis encrasicolus* e *Sardina pilchardus* si è scelto un intervallo di taglia al mezzo centimetro mentre per *Trachurus trachurus* e *Merluccius merluccius* intervalli di un cm.

Per ogni esemplare sono state rilevate:

a) la lunghezza totale (Lt)

- b) la lunghezza standard (Ls)
- c) il peso totale (Pt, ovvero il peso dell'individuo intero),
- d) il sesso
- e) la maturità gonadica (in accordo con il protocollo stabilito nel workshop dell'ICES "Working Group on Small Pelagic Maturity Stage, 2008).

Per la determinazione dell'età di ciascun esemplare all'interno delle specie analizzate, si è provveduto alla lettura degli anelli annuali degli otoliti (in accordo con il protocollo stabilito nel workshop dell'ICES "working group on anchovy age reading –WKARA, 2009) con stereomicroscopio (LEICA m165c) ad ingrandimento 25X (figura 2.2.1).

Il numero degli individui (n° ind.), i *Range* di taglia, la lunghezza media (Lt media) e il peso medio (Pt medio) degli individui per cala e per campagna sono riportati nelle tabelle 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6 in allegato.



Figura 2.2.1: Stereomicroscopio LEICA m165c

Da ogni esemplare è stata estratta una porzione di muscolo dorsale e posto in forno a 60°C per 24-48 ore. Una volta essiccato, il muscolo è stato polverizzato con mortaio e pestello in agata e pesato (0,5 mg) in capsule di stagno (3,2 * 4 mm) con una bilancia analitica di precisione a cinque cifre decimali (Sartorius Extend) (Figura 2.2.2).

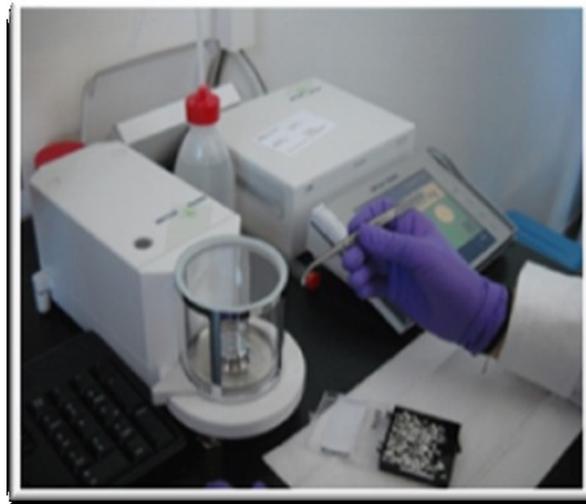


Figura 2.2.2: Campione di muscolo di pesce essiccato e pesato in capsule di stagno con bilancia analitica di precisione Sartorius Extend.

- ***Materiale Organico Particolato (POM)***

I filtri sui quali è stato raccolto il materiale organico particolato (POM) sono stati essiccati in stufa a 50-60°C per 24-48 h, posti in essiccatore e acidificati con HCl puro (36%) per rimuovere i carbonati e nuovamente essiccati in forno a 60°C. In seguito, i campioni sono stati pesati in capsule di stagno (10*5 mm).

- ***Zooplankton***

I campioni di zooplankton sono stati scongelati e identificati fino al più basso livello tassonomico possibile con binocolare WILD Heerbrugg 6x-50x (Tabella 2.2.7).

Una volta suddivisi per specie, i campioni sono stati essiccati in stufa a 50-60°C per 24-48 h, polverizzati con mortaio e pestello in agata e pesati (0,2 mg) in capsule di stagno (3,2 * 4 mm) con una bilancia analitica di precisione a cinque cifre decimali (Sartorius Extend).

- ***Analisi isotopiche di azoto e carbonio***

Tutti i campioni polverizzati e pesati in capsule di stagno (muscolo di pesce, filtri di POM e zooplankton) sono stati analizzati presso i laboratori di BioGeoChimica dell'IAMC-CNR di Capo Granitola (TP) utilizzando un analizzatore elementare (EA) "ThermoFisher Flash EA 1112" interfacciato a uno spettrometro di massa (IRMS) "Thermo Electron Delta Plus XP".

Tale strumento permette di analizzare contemporaneamente sia il contenuto percentuale di azoto (TN%) e di carbonio organico (TOC%) sia il valore isotopico di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$).

La calibrazione dello spettrometro di massa e dell'analizzatore elementare è stata effettuata utilizzando come standard di laboratorio l'UREA, di certificato valore elementare ed isotopico (TN(%)=46,65% e TOC(%)=20%; $\delta^{15}\text{N}$ =0,02‰ e $\delta^{13}\text{C}$ =-47,37‰).

Prima di ogni sequenza di analisi e ogni sei campioni è stata analizzata l'urea al fine di verificare il funzionamento dello strumento. La precisione strumentale, basata sulla deviazione standard delle replicate dello standard, è stata 0,05 ‰ per il $\delta^{15}\text{N}$ e 0,10 ‰ per il $\delta^{13}\text{C}$.

Tre repliche sono state eseguite per ciascun campione al fine di verificare la riproducibilità dei risultati ottenuti e l'omogeneità del campione.

I valori isotopici di carbonio e azoto sono espressi con la notazione delta (δ) in parti per milione (‰) secondo la seguente formula:

$$\delta^{15}\text{N} (\delta^{13}\text{C}) = [(R_{\text{campione}} / R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

dove R_{campione} e R_{standard} ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ e $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) sono rispettivamente il rapporto tra l'isotopo pesante e quello leggero nel campione e nello standard. Gli standard internazionali sono Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) per il $\delta^{13}\text{C}$ e azoto atmosferico (N_2) per il $\delta^{15}\text{N}$.

Il rapporto tra la percentuale di carbonio organico totale (%TOC) e azoto totale (%TN) ci ha permesso di valutare il contenuto lipidico all'interno dei campioni analizzati. I campioni che presentavano un rapporto C:N maggiore di 3,5 sono stati sottoposti alla seguente correzione aritmetica, in accordo a quanto riportato da Post et al., (2007):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{normalized}} = \delta^{13}\text{C}_{\text{untreated}} - 3.32 + 0.99 * \text{C:N}$$

- **Calcolo del livello trofico**

Il livello trofico (TrL) delle specie ittiche selezionate è stato calcolato attraverso la seguente formula:

$$\text{TrL}_{\text{consumatori}} = \text{TrL}_{\text{mesozooplankton}} + (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumatori}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{mesozooplankton}}) / \Delta\delta^{15}\text{N}$$

dove il $\text{TrL}_{\text{consumatori}}$ è il livello trofico di appartenenza delle specie ittiche analizzate, il $\text{TrL}_{\text{mesozooplankton}}$ è il livello trofico dei consumatori primari o *baseline* (mesozooplankton), $\delta^{15}\text{N}_{\text{consumatori}}$ è il segnale isotopico dell'azoto per ognuna delle specie ittiche considerate, il

$\delta^{15}\text{N}_{\text{mesozooplankton}}$ è il valore medio del segnale isotopico dei consumatori primari, e il $\Delta\delta^{15}\text{N}$ è il fattore di arricchimento valutato tra un livello trofico e il successivo (in accordo con Caut et al., 2009 e Costalago et al., 2012).

- **Indici biologici**

Per le acciughe e le sardine, la presenza di un cospicuo dataset biologico (1597 esemplari di *E. encrasicolus* e 1556 di *S. pilchardus* per entrambe le aree campionate) ha permesso di calcolare molti indici biologici legati ad entrambe le specie mentre, per tracuri e merluzzi la mancanza di un dataset biologico completo ed un esiguo numero di campioni catturati nel corso delle cale effettuate, non hanno permesso di ottenere dei calcoli completi degli indici biologici. Nello specifico per valutare la ripartizione delle riserve energetiche tra crescita somatica e produzione gonadica, sono stati ottenuti degli indicatori relativi alla condizione somatica e gonadica.

Tra i vari indici di condizione somatica è stato scelto di utilizzare il fattore di condizione (CF) ottenuto dall'equazione di Le Cren (1951). Tale indice è stato preferito ad altri indici, quale l'indice di condizione di Fulton, in quanto mostra una minor dipendenza dalla taglia (Giráldez e Abad, 1995; Basilone et al., 2006).

L'equazione di Le Cren è la seguente:

$$\text{CF} = \text{Pt} / a \text{Lt}^b$$

dove Pt rappresenta il peso totale (g), Lt la lunghezza totale (in mm). I parametri "a" e "b" sono i parametri della relazione lunghezza-peso ottenuta dalla formula:

$$\text{Pt} = a \text{Lt}^b$$

Essi rappresentano rispettivamente "a" l'intercetta della retta con l'asse y e "b" la pendenza della retta di regressione (nota come costante allometrica).

L'andamento della maturazione gonadica e lo stato riproduttivo sono stati valutati attraverso lo studio delle distribuzioni di maturità e utilizzando l'indice gonadosomatico (GSI). Tale indice viene utilizzato per stimare la condizione riproduttiva poiché si basa sul grado di sviluppo delle gonadi in rapporto alla massa corporea. Esso è espresso come rapporto percentuale tra peso delle gonadi e peso totale.

$$\text{GSI} = \text{GW}/\text{TW} * 100$$

Al fine di ottenere una struttura di popolazione, dalle letture degli otoliti sono state ottenute le età utilizzate per calcolare una chiave lunghezza-età per ognuna delle specie analizzate.

La chiave lunghezza-età permette di stabilire, per ogni classe di lunghezza, la corrispondente proporzione di ogni età.

- ***Analisi statistiche***

La significatività delle differenze tra i gruppi individuati (specie e/o area) è stata valutata attraverso l'utilizzo di metodi parametrici. Nello specifico, il t-test e l'ANOVA a una via sono stati utilizzati per confrontare i valori medi di specifici descrittori (indici biologici e valori isotopici) tra due o più gruppi. Poiché entrambi i test assumono l'omogeneità delle varianze (omoschedasticità) è stato utilizzato il test di Levene per verificare tale assunzione. Qualora tale assunzione non fosse soddisfatta, sono stati utilizzati i corrispondenti metodi non parametrici (Mann-Whitney U test e Kruskal-Wallis ANOVA test). Inoltre nel caso dell'ANOVA, per identificare quali gruppi mostrassero differenze significative, sono stati effettuati dei *post-hoc* test (metodo di Tukey). Nei casi in cui è stata evidenziata una relazione tra le variabili investigate e la lunghezza degli individui campionati è stata utilizzata l'analisi della covarianza (ANCOVA).

Al fine di esplorare le correlazioni tra i valori di lunghezza con i valori isotopici e/o i valori degli indici biologici degli esemplari, è stato utilizzato il coefficiente di correlazione di Pearson che fornisce una misura dell'intensità della relazione (lineare) tra due variabili.

- ***Bayesian mixing models (SIAR)***

Al fine di identificare il contributo proporzionale delle diverse "fonti di cibo" nella dieta delle quattro specie considerate è stato utilizzato il pacchetto software SIAR (Stable Isotopes Analysis in R, <http://cran.r-project.org/web/packages/siar/siar.pdf>). Tale pacchetto software utilizza un approccio Bayesiano nella risoluzione dei Mixing Models che permette di tener conto dell'indeterminazione dei parametri in input (Parnell et al. 2010).

Il primo passo nella determinazione del contributo percentuale delle diverse "sorgenti" nella dieta delle quattro specie considerate è stato aggregare le diverse specie zooplanctoniche individuate in gruppi trofici ricavando i valori medi e le relative deviazioni standard di ciascuna "sorgente". In particolare si è scelto di suddividere le specie zooplanctoniche in base alla loro dieta prevalente

(ricavata dalla letteratura) distinguendo tre gruppi principali: carnivori (C), erbivori (H) e onnivori (O) (tabella 2.2.7). Nel caso di tracuro e merluzzo tra le possibili sorgenti sono state inserite anche acciughe e sardine (F=fish). Inoltre per tracuro e merluzzo l'analisi è stata eseguita distinguendo due classi di taglia e utilizzando come soglia di lunghezza 145 mm per il tracuro e 150 mm per il merluzzo. Per quanto riguarda i fattori di arricchimento, si è utilizzato un valore di 1.01 (sd 0.17) per il $\delta^{13}\text{C}$ e 3.56 (sd 0.17) per il $\delta^{15}\text{N}$ (in accordo a Costalago et al., 2012).

Tabella 2.2.1.: Elenco delle specie e la loro percentuale sul totale delle catture in ogni stazione dell'area dello SS

Classe	Specie / Cala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	<i>Arnoglossus laterna</i>	0.2								0.1		0.1			
	<i>Boops boops</i>		28.7		0.2		0.2	0.6					0.9	1.4	
	<i>Cepola rubescens</i>	0.1													
	<i>Conger conger</i>											0.2			
	<i>Diplodus annularis</i>				0.3			1.2						7.0	
	<i>Engraulis encrasicolus</i>	0.6		3.3	4.8	27.0			9.4	1.9			0.1		
	<i>Lepidopus caudatus</i>		2.5												
	<i>Macroramphosus scolopax</i>		6.2							8.3					
	<i>Merluccius merluccius</i>		1.5	0.7		0.4			1.0	3.5	2.5	8.0	1.3	0.1	
	<i>Mullus Barbatius</i>	0.7							0.3	2.4	0.8				
	<i>Mullus surmuletus</i>												1.5		
Osteitti	<i>Ophidium Barbatum</i>											0.7			
	<i>Pagellus acarne</i>					0.2		0.1				0.3			
	<i>Pagellus erythrinus</i>					0.6		0.8						0.9	
	<i>Sardina pilchardus</i>	90.9		82.6	71.4	10.8	79.0	76.2	85.1	60.4	44.4	27.2	69.5	55.0	
	<i>Sardinella aurita</i>			9.1	6.1		5.7	4.0			38.5		13.8	12.7	
	<i>Scomber Japonicus</i>				0.5										
	<i>Serranus cabrilla</i>		1.7												
	<i>Spicara flexuosa</i>										0.5				6.7
	<i>Spicara maena</i>	2.7	16.3		0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0.8		0.1	1.5	2.8	
	<i>Trachinus draco</i>									0.4					
	<i>Trachurus trachurus</i>	6.4	26.0	0.0	13.3	0.5	9.2	14.1	4.6	4.3	3.2	1.8	1.9	19.8	28.8
	<i>Trigla lucerna</i>		6.7									0.1			0.4
	<i>Alloteuthis media</i>		2.9			0.1	0.1								
	<i>Eledone cirrosa</i>	0.3								0.7		0.1			3.6
	<i>Illex coindetti</i>	1.3				0.4	0.6	0.1	0.2	2.1			2.7	0.4	1.7
Cefalopodi	<i>Octopus vulgaris</i>									1.3					
	<i>Sepia officinalis</i>		0.9							0.4		0.3			
	<i>Sepiola spp</i>											0.2			0.9
	<i>Todarodes sagittatus</i>						0.1			1.7			0.8	0.2	
Crostacei	<i>Parapenaeus longirostris</i>		0.5								2.3		52.8		0.2
	<i>Squilla mantis</i>												2.2		

1 **Tabella 2.2.2:** elenco delle specie in percentuale sul totale della cattura in ogni stazione di campionamento nell'area del MT

Classe	Specie / Cala	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	
	<i>Boops boops</i>	4.3	3.0	3.3			1.4	5.6	10.9	21.8	37.1	0.7	12.9			0.2	0.4		5.1	0.7	14.9				0.3					0.9	
	<i>Diplodus annularis</i>	0.4	20.3	1.5	12.4																42.9				4.7				31.6		
	<i>Diplodus vulgaris</i>										1.1																				
	<i>Engraulis encrasicolus</i>	0.9	4.0	80.5	2.8	1.6		32.6	55.6		1.9	3.9		34.8	86.1	96.4	87.9	84.5	27.9	71.5		0.1	62.0		38.4	52.4	2.0	0.2		96.7	
	<i>Lepidopus caudatus</i>	0.7		1.1																											
	<i>Liza spp</i>																				14.6										
	<i>Merluccius merluccius</i>			2.3	2.7		33.1	0.1	4.1	0.7	2.5	0.1		2.5	0.2	2.9	2.8		0.3		1.3	0.4	0.9	1.5	2.5		2.3	0.2			
	<i>Mola mola</i>																								12.0			77.3			
	<i>Mullus barbatus</i>	0.2	1.7							2.1												0.5			0.2			0.6	0.4		
	<i>Mullus surmuletus</i>			2.8			13.7					0.4	7.8								0.9										
	<i>Ophisurus serpens</i>							6.3																							
Osteitti	<i>Pagellus acarne</i>		0.8						0.5	0.8		2.8																		0.5	
	<i>Pagellus erythrinus</i>	0.6	3.2						5.2	8.5	2.9	3.1		1.1		1.2	5.5	25.7	1.5	10.7		0.4			0.5	3.7	0.7	0.4			
	<i>Sardina pilchardus</i>	10.2	0.4				22.1	1.3	1.5	14.7	61.5		74.3	5.1	0.3	7.2	1.2	29.9	7.1		1.6	38.0	7.6	32.0	40.3	17.6	15.7	8.3	0.4		
	<i>Sardinella aurita</i>	20.3	0.3				7.5		2.6	5.6				0.1							0.5	0.2		0.1		3.4	5.5				
	<i>Scomber japonicus</i>											20.1																			
	<i>Scorpaena notata</i>																													0.3	
	<i>Serranus hepatus</i>		0.1																		0.1									0.1	
	<i>Spicara flexuosa</i>						19.3	1.3	3.0		0.1	28.4		0.5		0.2	0.6	4.4		0.4	0.1			0.2	1.9		0.4				
	<i>Spicara maena</i>	0.2		5.2	5.8		29.5	6.6	11.0	1.9	1.5	8.8		0.9			1.2		0.6	2.8	0.5				0.8	14.9	2.5	0.6	0.2		
	<i>Spicara smaris</i>			3.9											0.1																
	<i>Trachinus draco</i>			2.6											0.3		0.6			1.0									2.1		
	<i>Trachurus mediterraneus</i>										27.2	5.4	2.0				0.1														

Ecologia trofica di comunità pelagiche in due aree del Mediterraneo: STRETTO DI SICILIA e MAR TIRRENO.

	<i>Trachurus trachurus</i>	8.3	42.1	1.7	0.3	25.4	6.3	10.7	44.4	6.6	2.4	1.8	22.7	0.1	26.8	8.5	0.9	36.9	4.3	3.2	0.4
	<i>Xiphias gladius</i>									19.2											
	<i>Zeus faber</i>	3.7																			
	<i>Alloteuthis media</i>					2.0			0.1												
	<i>Eledone cirrosa</i>											0.6									
Cefalopodi	<i>Illex coindetti</i>				40.4				0.4	0.2											
	<i>Sepiola spp</i>							0.3	0.3	0.1					7.3						
	<i>Todarodes sagittatus</i>			0.1		1.1	0.7				0.5	0.1	0.1		0.1	0.2	14.1				
	<i>Chlorotocus crassicornis</i>										0.7				14.6						
Crostacei	<i>Parapenaeus longirostris</i>			0.3		0.1		0.1	0.1	0.2	0.4				1.5						

2

Tabella 2.2.3: Numero di esemplari di *Engraulis encrasicolus* per cala. "Lat" e "Long"=rappresentano le coordinate geografiche di inizio cala; "n° ind."=numero di individui; "Range di taglia"=intervallo di taglia in cm; "Lt"=media della lunghezza totale (cm) degli esemplari; "L.C."=intervallo di confidenza; "Pt"=media del peso totale (g) degli esemplari.

Specie: <i>Engraulis encrasicolus</i>									
Campagna	Cala	Lat	Long	n° ind.	Range di taglia	Lt media (cm)	L.C.	Pt medio (g)	L.C.
Ancheva	1	36° 36.722'	14° 58.043'	6	10.5f12	11.42	0.43	9.10	1.26
	3	36° 38.362'	14° 42.885'	10	10.51f13	12.00	0.22	10.53	0.73
	4	36° 45.357'	14° 29.400'	11	9.5f12.5	11.19	0.46	8.54	1.04
	5	36° 52.809'	14° 19.336'	12	10f13	11.77	0.37	9.59	0.92
	8	37° 08.894'	13° 32.496'	10	10.5f12.5	11.12	0.29	8.80	0.61
Evatir	24	39° 32.553'	15° 51.728'	6	11f13.5	12.12	0.69	11.00	1.92
	25	40° 00.536'	15° 16.499'	5	12f13	12.48	0.19	12.04	0.72
	28	40° 24.572'	14° 52.073'	7	11f12.5	11.71	0.24	9.83	0.56
	29	40° 51.932'	13° 56.147'	15	9f12	9.83	0.44	5.45	0.83
	30	41° 05.638'	13° 44.896'	16	9.5f12.5	10.69	0.39	7.07	0.89
	31	41° 12.257'	13° 22.479'	9	12.5f14.5	13.37	0.35	15.61	1.28
	32	41° 12.254'	13° 15.947'	7	11f15	13.14	0.77	15.15	3.19
	33	41° 16.863'	12° 57.226'	17	9f13.5	11.81	0.62	9.96	1.62
	35	41° 57.214'	11° 52.614'	15	11f14	12.55	0.38	12.13	1.32
	36	42° 13.199'	11° 33.794'	12	9.5f12.5	11.03	0.71	8.08	0.94
	38	42° 35.659'	11° 03.060'	9	9f11.5	10.62	0.38	7.34	0.83
	39	42° 48.330'	10° 35.202'	14	11f14	12.55	0.23	13.02	1.47
	43	44° 08.123'	09° 34.041'	16	10f13.5	11.58	0.41	9.60	1.51

Tabella 2.2.4: numero di esemplari per la specie *Sardina pilchardus* suddivisi per cala. “Lat” e “Long”=rappresentano le coordinate geografiche di inizio cala; “n° ind.”=numero di individui; “Range di taglia”=intervallo di taglia in cm; “Lt”=media della lunghezza totale (cm) degli esemplari; “L.C.”=intervallo di confidenza; “Pt”=media del peso totale (g) degli esemplari.

Specie: <i>Sardina pilchardus</i>										
Campagna	Cala	Lat	Long	n° ind.	Range di taglia	Lt media (cm)	L.C.	Pt medio (g)	L.C.	
Ancheva	1	36° 36.722'	14° 58.043'	11	12.5-14.5	13.17	0.36	17.02	1.28	
	3	36° 38.362'	14° 42.885'	10	12.5-14.5	13.12	0.28	17.10	1.20	
	5	36° 52.809'	14° 19.336'	7	12-13.5	12.73	0.31	14.89	0.82	
	6	37° 02.761'	14° 02.833'	10	8-13.5	10.32	0.86	8.13	2.59	
	7	37° 06.897'	13° 43.256'	16	8.5-15	10.76	0.81	9.23	2.15	
	8	37° 08.894'	13° 32.496'	11	11.5-14.5	12.85	0.40	15.38	1.52	
	9	37° 12.205'	13° 23.441'	11	12.5-14.5	13.08	0.23	16.61	0.77	
	10	37° 21.833'	13° 09.937'	8	10-13.5	12.48	0.63	14.36	2.22	
	11	37° 24.593'	13° 04.463'	23	6.5-14	9.98	0.96	8.37	2.52	
	12	37° 27.813'	12° 54.549'	11	9.5-14	12.47	0.74	15.53	2.64	
	13	37° 31.777'	12° 46.267'	16	12.5-15.5	13.72	0.44	21.36	2.37	
	Evatir	16	38° 02.279'	12° 55.914'	24	11.5-15.5	13.19	0.36	16.40	1.52
		25	40° 00.536'	15° 16.499'	12	12-15.5	13.18	0.49	15.85	1.80
27		40° 10.377'	14° 58.571'	11	12-16	13.82	0.66	18.61	2.51	
28		40° 24.572'	14° 52.073'	6	12-14	13.07	0.37	15.41	0.87	
29		40° 51.932'	13° 56.147'	5	11.5-14.5	12.64	1.01	15.46	4.37	
30		41° 05.638'	13° 44.896'	10	11.5-13	12.01	0.24	12.48	0.69	
31		41° 12.257'	13° 22.479'	7	12.5-15	13.49	0.49	17.60	3.04	
32		41° 12.254'	13° 15.947'	8	11.5-14	12.68	0.41	14.97	1.77	
33		41° 16.863'	12° 57.226'	10	11.5-15	12.52	0.53	14.22	2.31	
35		41° 57.214'	11° 52.614'	11	12-15.5	13.82	0.41	19.51	1.80	
36		42° 13.199'	11° 33.794'	14	9-13.5	12.06	0.50	12.91	1.68	
37		42° 13.167'	11° 21.657'	1	14.5-15	14.90		16.14		
38		42° 35.659'	11° 03.060'	11	12-16	13.29	0.57	16.84	1.99	
39		42° 48.330'	10° 35.202'	13	13-16.5	14.38	0.45	22.72	2.95	
40		43° 13.386'	10° 24.125'	5	12-13	12.34	0.22	14.14	1.55	
41		43° 48.552'	09° 56.533'	8	13-16	14.75	0.66	23.74	3.56	
42		43° 59.886'	09° 47.835'	10	12.5-14	12.98	0.28	16.21	1.38	
43	44° 08.123'	09° 34.041'	6	12.5-16	13.75	0.83	19.71	4.90		

Tabella 2.2.5: numero di esemplari per la specie *Trachurus trachurus* suddivisi per cala. "Lat" e "Long"=rappresentano le coordinate geografiche di inizio cala; "n° ind."=numero di individui; "Range di taglia"=intervallo di taglia in cm; "Lt"=media della lunghezza totale (cm) degli esemplari; "L.C."=intervallo di confidenza; "Pt"=media del peso totale (g) degli esemplari.

Specie: <i>Trachurus trachurus</i>									
Campagna	Cala	Lat	Long	n° ind.	Range di taglia	Lt media (cm)	L.C.	Pt medio (g)	L.C.
	1	36° 36.722'	14° 58.043'	9	10f-20.5	15.08	2.38	32.44	13.16
	2	36° 28.333'	14° 50.233'	9	10f-15.5	12.22	1.43	16.46	6.33
	4	36° 45.357'	14° 29.400'	3	20.5f-26.5	22.80	3.92	94.14	38.31
	5	36° 52.809'	14° 19.336'	3	21.5f-28	25.47	4.00	138.97	62.68
	6	37° 02.761'	14° 02.833'	8	11.5f-27	16.29	3.75	47.43	38.99
	7	37° 06.897'	13° 43.256'	8	11f-22.5	16.09	3.35	43.04	26.29
Ancheva	8	37° 08.894'	13° 32.496'	10	9.5f-29	12.88	3.69	32.28	42.15
	9	37° 12.205'	13° 23.441'	13	9.5f-18	12.39	1.46	16.45	5.81
	10	37° 21.833'	13° 09.937'	10	9.5f-19	14.50	1.93	28.70	11.76
	11	37° 24.593'	13° 04.463'	19	8.5f-14.5	11.19	0.83	12.11	2.96
	12	37° 27.813'	12° 54.549'	6	11.5f-15.5	13.77	1.47	22.48	7.95
	13	37° 31.777'	12° 46.267'	12	11.5f-26	17.07	2.62	50.88	26.31
	14	37° 26.646'	12° 12.666'	4	13.5f-16.5	15.00	1.15	27.82	5.88
	15	38° 04,296'	12° 56,617'	4	6f-8	7.48	0.79	3.25	1.00
	16	38° 02.279'	12° 55.914'	6	10f-27	18.22	5.38	68.12	54.64
	17	38° 07.259'	13° 28.802'	3	8.5f-16	12.00	4.48	15.92	16.76
	19	38° 03,373'	13° 42,802'	3	9.5f-19.5	15.90	6.30	39.51	32.63
	21	38° 24.793'	15° 51.402'	2	8.5f-10	9.35	1.67	5.91	3.69
	22	38° 51.552'	16° 10.895'	3	11f-17	13.77	3.44	22.38	16.97
	23	39° 18.455'	16° 01.445'	3	9.5f-12	11.17	1.62	11.59	4.55
	26	40° 07.250'	16° 12.224'	3	13.5f-15.5	14.43	1.14	25.10	4.81
	31	41° 12.257'	13° 22.479'	3	15.5f-29.5	24.63	8.67	132.63	99.65
Evatir	33	41° 16.863'	12° 57.226'	2	27f-34	30.70	7.25	228.71	146.56
	34	41° 18.785'	12° 57.542'	4	11.5f-34	24.93	9.59	155.52	117.83
	35	41° 57.214'	11° 52.614'	3	8f-12	9.83	2.53	8.58	6.68
	36	42° 13.199'	11° 33.794'	1	11.5f-12	11.60		14.11	
	37	42° 13.167'	11° 21.657'	1	22f-22.5	22.00		87.53	
	38	42° 35.659'	11° 03.060'	5	13.5f-30	21.88	5.70	93.73	63.08
	39	42° 48.330'	10° 35.202'	6	11f-18.5	15.63	2.32	31.74	12.09
	40	43° 13.386'	10° 24.125'	6	9.5f-13	11.55	1.07	12.57	3.17
	41	43° 48.552'	09° 56.533'	4	9f-12.5	10.98	1.54	10.90	4.57
	42	43° 59.886'	09° 47.835'	5	8f-27.5	17.28	6.97	57.22	52.39
	43	44° 08.123'	09° 34.041'	3	17.5f-19	18.57	1.10	50.33	10.01

Tabella 2.2.6: numero di esemplari per la specie *Merluccius merluccius* suddivisi per cala. "Lat" e "Long"= rappresentano le coordinate geografiche di inizio cala; "n° ind."=numero di individui; "Range di taglia"=intervallo di taglia in cm; "Lt"=media della lunghezza totale (cm) degli esemplari; "L.C."=intervallo di confidenza; "Pt"=media del peso totale (g) degli esemplari.

Specie: <i>Merluccius merluccius</i>									
Campagna	Cala	Lat	Long	n° ind.	Range di taglia	Lt media (cm)	L.C.	Pt medio (g)	L.C.
Ancheva	5	36° 52.809'	14° 19.336'	3	11f-22	17.50	6.02	46.36	38.06
	8	37° 08.894'	13° 32.496'	5	14f-26	19.24	3.64	59.50	43.65
	9	37° 12.205'	13° 23.441'	3	17f-26	21.27	4.30	74.84	47.56
	11	37° 24.593'	13° 04.463'	17	7f-38	15.38	3.38	42.06	58.37
	12	37° 27.813'	12° 54.549'	2	14f-23	18.25	7.35	43.47	51.17
	13	37° 31.777'	12° 46.267'	1	16f-17	16.00		27.39	
Evatir	20	38° 05.800'	14° 34.599'	2	16f-34	25.35	16.76	169.30	269.84
	22	38° 51.552'	16° 10.895'	5	21f-33	26.06	4.39	144.35	78.97
	23	39° 18.455'	16° 01.445'	3	16f-22	17.93	3.31	38.03	17.95
	28	40° 24.572'	14° 52.073'	5	13f-21	16.78	2.38	36.24	16.74
	29	40° 51.932'	13° 56.147'	6	6f-14	9.85	2.36	7.46	4.90
	31	41° 12.257'	13° 22.479'	3	25f-28	26.83	1.13	152.54	22.28
	33	41° 16.863'	12° 57.226'	3	15f-18	16.10	1.20	26.44	8.11
	35	41° 57.214'	11° 52.614'	7	10f-24	17.01	4.47	48.01	29.77
	36	42° 13.199'	11° 33.794'	8	11f-25	17.16	3.54	46.13	27.46
	37	42° 13.167'	11° 21.657'	2	4f-7	5.65	2.45	1.35	0.93
	38	42° 35.659'	11° 03.060'	4	14f-25	17.65	4.77	51.27	54.42
	39	42° 48.330'	10° 35.202'	5	16f-25	20.96	2.49	72.62	26.74
	41	43° 48.552'	09° 56.533'	2	22f-24	23.00	0.59	100.57	26.40
	42	43° 59.886'	09° 47.835'	2	12f-16	14.15	2.65	17.87	11.90
43	44° 08.123'	09° 34.041'	2	13f-28	20.30	13.33	88.68	139.57	

Tabella 2.2.7: Elenco specie zooplanctoniche identificate, suddivise in base alla loro dieta prevalente.

Taxon	classe/subclasse	ordine
<i>ZOOPLANCTON CARNIVORO</i>		
<i>Anchylomera blossevillei</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Amphidoda
<i>Hyperia schizogeneios</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Amphidoda
Larve decapoda	Malacostraca/Eumalacostraca	Decapoda
Chetognatha		Chetognatha
Larve pesci	Osteitti	
<i>Scina borealis</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Amphidoda
<i>Platyscelus serratulus (Typhidae)</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Amphidoda
Iperidi mix	Malacostraca/Eumalacostraca	Amphidoda
<i>ZOOPLANCTON ERBIVORO</i>		
<i>Paracalanus parvus</i>	Maxillopoda/Copepoda	Calanoida
cladoceri	Branchipoda	Diplostraca
<i>Thalia democratica</i>	Thaliacea	Salpida
<i>Oikopleura sp.</i>	Appendicularia	
<i>Calanus helgolandicus</i>	Maxillopoda/Copepoda	Calanoida
Pteropodi	Gasteropoda	
<i>Chelophyes appendiculata</i>	Hydrozoa	Siphonophora
<i>ZOOPLANCTON ONNIVORO</i>		
<i>Anchialina agilis</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Mysidiacea
<i>Nyctiphanes couchii</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Euphasiacea
<i>Pleuromamma gracilis</i>	Maxillopoda/Copepoda	Calanoida
<i>Oncoea sp.</i>	Maxillopoda/Copepoda	Poecilostomatoida
<i>Centropages typicus</i>	Maxillopoda/Copepoda	Calanoida
<i>Sapphirina sp.</i>	Maxillopoda/Copepoda	Poecilostomatoida
<i>Coryceus sp.</i>	Maxillopoda/Copepoda	Poecilostomatoida
<i>Acartia clausi</i>	Maxillopoda/Copepoda	Calanoida
ostracodi	ostracoda	
<i>Temora stylifera</i>	Maxillopoda/Copepoda	Calanoida
<i>Stylocheiron</i>	Malacostraca/Eumalacostraca	Euphasiacea
Mix Copepoda	Maxillopoda/Copepoda	
larve euphasiacei	Malacostraca/Eumalacostraca	Euphausiacea

Capitolo 3: RISULTATI

3.1 CARATTERIZZAZIONE DELLA FRAZIONE NECTONICA NELLE AREE DI STUDIO.

I risultati della “cluster analysis” basata sull’indice di similarità di Bray–Curtis (Field *et al.*, 1982), ha permesso di confrontare la struttura delle comunità derivanti dalle catture sperimentali nelle due campagne oceanografiche (Figura 3.1.1).

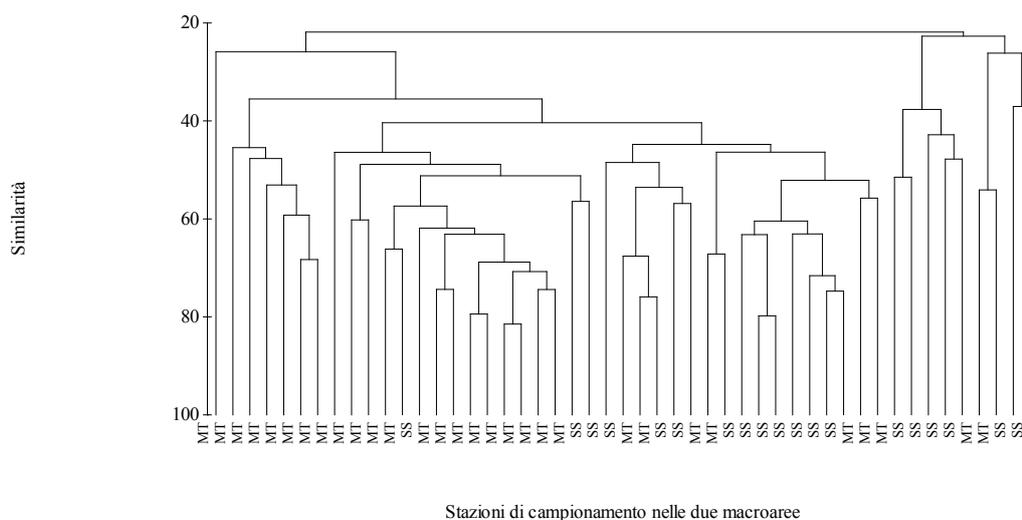


Figura 3.1.1: “Cluster analysis” tra le stazioni di campionamento. MT= stazioni di campionamento nell’area tirrenica; SS= stazioni di campionamento nello stretto di Sicilia.

Il dendrogramma ottenuto mostra un’ampia omogeneità fra le stazioni di campionamento dell’area tirrenica rispetto a quelle dello stretto. Le due aree di studio presentano *cluster* comuni e pertanto nessuna separazione si evidenzia tra i gruppi di specie. L’NMDS (*non-metric multi dimensional scaling*) effettuata sugli stessi dati (Figura 3.1.2) ha ulteriormente confermato la mancanza di una separazione netta tra i campioni appartenenti alle due aree (Stress= 0.23).

Infine l’analisi SIMPER (*Similarity Percentage*), effettuata per confrontare le associazioni specifiche delle catture nelle due aree e valutare il grado di similarità per specie, ha dunque evidenziato quelle maggiormente distribuite nelle catture ed il contributo di ogni specie alla dissimilarità media tra le aree (Tabella 3.1.1, Tabella 3.1.2 e Tabella 3.1.3).

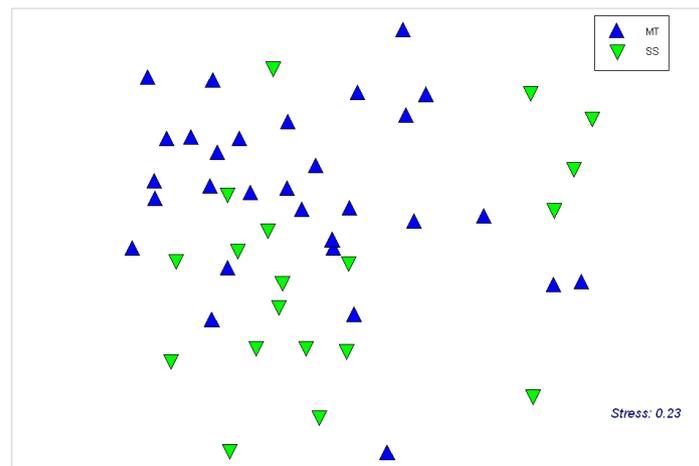


Figura 3.1.2: NMDS calcolata tra i gruppi appartenenti alle due aree di studio (MT e SS).

Il valore di similarità media tra le pescate sia nello SS (35.97), che nel MT (40.29) indica una variabilità elevata fra le catture di ogni area che non consente di definire degli assemblaggi di specie. Comunque, volendo valutare il contributo alla dissimilarità fra le due aree, in Tabella 3.1.3 sono riportate le abbondanze medie per specie ordinate per percentuale di contributo.

Tabella 3.1.1: Analisi SIMPER (*Similarity Percentage*) tra gruppi appartenenti all'area dello Stretto di Sicilia (SS). Abbon._{media}=abbondanza media delle specie; Sim._{media}=similarità media; Contrib%=contributo percentuale delle specie; Cum %= la percentuale cumulativa.

Specie	Abbon._{media}	Sim._{media}	Contrib (%)	Cum. (%)
<i>Sardina pilchardus</i>	6609.81	11.02	30.63	30.63
<i>Trachurus trachurus</i>	248.03	7.48	20.79	51.42
<i>Illex coindetti</i>	34.72	4.12	11.45	62.87
<i>Spicara maena</i>	14.08	2.95	8.21	71.07
<i>Sardinella aurita</i>	443.6	2.47	6.88	77.95
<i>Engraulis encrasicolus</i>	481.38	1.87	5.2	83.15
<i>Boops boops</i>	6.59	1.56	4.35	87.50
<i>Merluccius merluccius</i>	8.23	1.16	3.22	90.72
<i>Mullus barbatus</i>	5.12	0.53	1.46	92.18
<i>Alloteuthis media</i>	9.46	0.50	1.39	93.57
<i>Macroramphosus scolopax</i>	37.58	0.25	0.71	94.28
<i>Parapenaeus longirostris</i>	9.37	0.25	0.71	94.99
<i>Trigla lucerna</i>	1.16	0.25	0.70	95.69
<i>Sepia officinalis</i>	1.37	0.21	0.59	96.28
<i>Sepiola spp.</i>	2.74	0.20	0.56	96.84
<i>Arnoglossus laterna</i>	2.17	0.19	0.52	97.35
<i>Eledone cirrosa</i>	0.53	0.16	0.43	97.78
<i>Pagellus erythrinus</i>	1.80	0.15	0.43	98.21
<i>Todarodes sagittatus</i>	2.06	0.14	0.39	98.6
<i>Serranus cabrilla</i>	0.63	0.13	0.37	98.97
<i>Diplodus annularis</i>	10.27	0.09	0.25	99.22
<i>Pagellus acarne</i>	2.61	0.09	0.24	99.46
<i>Trachurus mediterraneus</i>	1.16	0.07	0.19	99.66
<i>Palaemon serratus</i>	5.29	0.04	0.11	99.77
<i>Spicara flexuosa</i>	0.89	0.04	0.10	99.87
<i>Trachinus draco</i>	0.21	0.03	0.07	99.94
<i>Scomber spp</i>	0.67	0.02	0.06	100

Tabella 3.1.2: Analisi SIMPER (*Similarity Percentage*) tra gruppi appartenenti all'area del Mar Tirreno (MT). Abbon._{media}=abbondanza media delle specie; Sim._{media}=similarità media; Contrib (%)=contributo percentuale delle specie; Cum (%)= la percentuale cumulativa.

Specie	Abbon._{media}	Sim._{media}	Contrib(%)	Cum.(%)
<i>Engraulis encrasicolus</i>	7417.30	12.08	29.99	29.99
<i>Sardina pilchardus</i>	1417.26	7.18	17.83	47.82
<i>Trachurus trachurus</i>	226.65	5.51	13.68	61.49
<i>Spicara maena</i>	23.46	3.91	9.69	71.19
<i>Merluccius merluccius</i>	12.77	2.94	7.30	78.49
<i>Boops boops</i>	17.32	2.09	5.19	83.68
<i>Pagellus erythrinus</i>	6.20	1.74	4.32	88.00
<i>Spicara flexuosa</i>	3.83	1.48	3.68	91.68
<i>Todarodes sagittatus</i>	31.46	0.84	2.07	93.75
<i>Sardinella aurita</i>	36.86	0.67	1.66	95.41
<i>Parapenaeus longirostris</i>	2.67	0.39	0.96	96.37
<i>Diplodus annularis</i>	19.9	0.30	0.73	97.10
<i>Mullus barbatus</i>	2.60	0.29	0.72	97.82
<i>Mullus surmuletus</i>	0.73	0.15	0.38	98.20
<i>Sepiola spp.</i>	2.20	0.13	0.33	98.53
<i>Pagellus acarne</i>	1.07	0.12	0.30	98.83
<i>Trachurus mediterraneus</i>	8.42	0.12	0.30	99.13
<i>Illex coindetti</i>	0.80	0.10	0.25	99.38
<i>Trachinus draco</i>	1.17	0.09	0.24	99.62
<i>Chlorotocus crassicornis</i>	4.27	0.04	0.10	99.72
<i>Lepidopus caudatus</i>	4.37	0.04	0.09	99.81
<i>Alloteuthis media</i>	0.47	0.03	0.08	99.89
<i>Serranus hepatus</i>	0.37	0.03	0.07	99.96
<i>Mola mola</i>	0.29	0.01	0.02	99.98
<i>Spicara smaris</i>	0.27	0.01	0.02	100

Tabella 3.1.3: Analisi SIMPER (*Similarity Percentage*) tra gruppi di specie appartenenti ad entrambe le aree di studio Stretto di Sicilia e Mar Tirreno (SS e MT). Abbon._{media}=abbondanza media delle specie rispettivamente nell'area dello Stretto di Sicilia (SS) e nel mar Tirreno (MT); Contrib (%)=contributo percentuale di ogni specie; Cum (%)= la percentuale cumulativa.

Specie	Abbon._{media} SS	Abbon._{media} MT	Contrib (%)	Cum.(%)
<i>Engraulis encrasicolus</i>	481.38	7417.30	10.83	10.83
<i>Sardina pilchardus</i>	6609.81	1417.26	9.87	20.7
<i>Trachurus trachurus</i>	248.03	226.65	7.46	28.16
<i>Illex coindetti</i>	34.72	0.80	5.87	34.03
<i>Spicara maena</i>	14.08	23.46	5.56	39.59
<i>Sardinella aurita</i>	443.6	36.86	5.46	45.05
<i>Boops boops</i>	6.59	17.32	4.44	49.49
<i>Merluccius merluccius</i>	8.23	12.77	3.86	53.35
<i>Spicara flexuosa</i>	0.89	3.83	3.47	56.81
<i>Pagellus erythrinus</i>	1.80	6.20	3.11	59.92
<i>Todarodes sagittatus</i>	2.06	31.46	3.04	62.97
<i>Mullus barbatus</i>	5.12	2.60	2.91	65.88
<i>Parapenaeus longirostris</i>	9.37	2.67	2.78	68.66
<i>Alloteuthis media</i>	9.46	0.47	2.76	71.42
<i>Diplodus annularis</i>	10.27	19.90	2.56	73.98
<i>Trachurus mediterraneus</i>	1.16	8.42	2.51	76.49
<i>Macroramphosus scolopax</i>	37.58	0.07	2.45	78.94
<i>Sepiola spp</i>	2.74	2.20	2.39	81.33
<i>Trigla lucerna</i>	1.16	-	1.74	83.07
<i>Sepia officinalis</i>	1.37	-	1.54	84.61
<i>Mullus surmuletus</i>	0.42	0,73	1.4	86.01
<i>Trachinus draco</i>	0.21	1,17	1.33	87.34
<i>Pagellus acarne</i>	2.61	1,07	1.33	88.67
<i>Serranus cabrilla</i>	0.63	-	1.14	89.81
<i>Eledone cirrosa</i>	0.53	0,13	1.13	90.95
<i>Chlorotocus crassicornis</i>	-	4,27	1.11	92.06
<i>Arnoglossus laterna</i>	2.17	-	1.04	93.1
<i>Lepidopus caudatus</i>	0.42	4.37	0.93	94.03
<i>Palaemon serratus</i>	5.29	-	0.69	94.72
<i>Zeus faber</i>	0.11	0.24	0.58	95.31
<i>Scomber japonicus</i>	1.04	0.07	0.44	95.75
<i>Scomber spp</i>	0.67	-	0.39	96.14
<i>Serranus hepatus</i>	-	0.37	0.38	96.52
<i>Atherina spp</i>	1.05	-	0.35	96.87
<i>Mola mola</i>	-	0.29	0.35	97.22
<i>Squilla mantis</i>	1.05	-	0.33	97.55

<i>Argentina sphyraena</i>	0.11	-	0.29	97.84
<i>Ophidium barbatum</i>	0.53	-	0.28	98.12
<i>Spicara smaris</i>	-	0.27	0.27	98.38
<i>Eledone moscata</i>	0.92	-	0.2	98.59
<i>Cepola rubescens</i>	0.11	-	0.2	98.78
<i>Ophisurus serpens</i>	-	0.07	0.2	98.98
<i>Conger conger</i>	0.11	-	0.19	99.17
<i>Octopus vulgaris</i>	0.11	-	0.17	99.34
<i>Diplodus vulgaris</i>	-	0.07	0.15	99.48
<i>Scorpaena notata</i>	-	0.12	0.14	99.63
<i>Liza spp</i>	-	0.38	0.14	99.77
<i>Xiphias gladius</i>	-	0.07	0.11	100

3.2 PRESENZA E DISTRIBUZIONE DELLE SPECIE ITTICHE ANALIZZATE.

Sebbene le quattro specie prese in esame in questo lavoro di tesi, siano risultate ampiamente distribuite nelle aree studiate, tali specie non sono state registrate in tutte le peschate effettuate. In particolare, su un totale di 43 cale l'acciuga è stata analizzata in 18 peschate, la sardina in 29, il tracuro in 32, ed infine il merluzzo in 21, secondo quanto riportato nella Figura 3.2.1a; b; c; d. Le peschate nelle quali il numero di esemplari è risultato ridotto, sono state escluse dalle analisi.

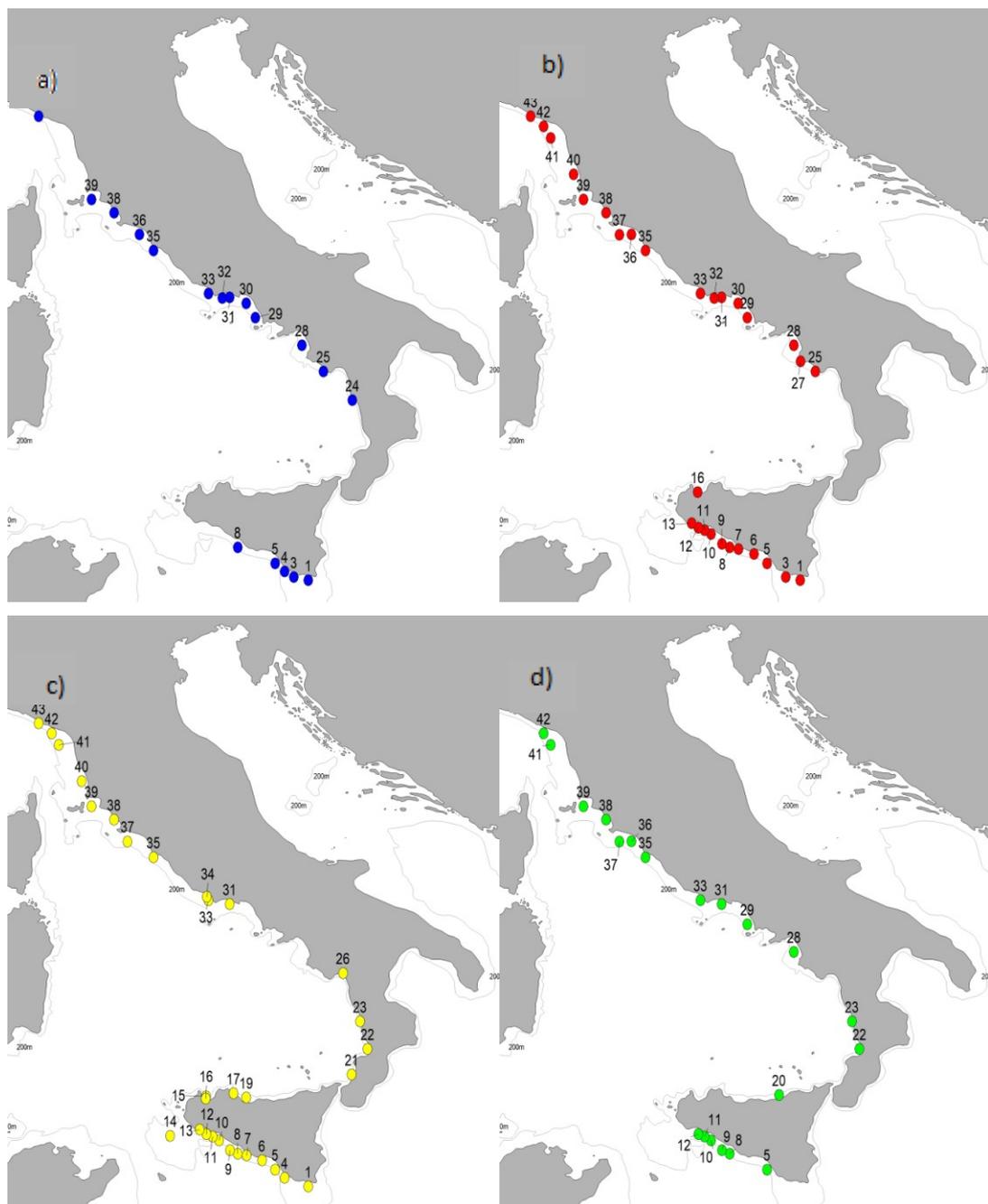


Figura 3.2.1: Mappa di presenza delle specie analizzate nelle diverse cale (rappresentate dal numero): a) *E. encrasicolus*, b) *S. pilchardus*, c) *T. trachurus* e d) *M. merluccius*.

- **Distribuzione dell'abbondanza di *E. encrasicolus* nelle pescate**

L'abbondanza percentuale di Acciuga (*Engraulis encrasicolus*) nelle diverse cale è riportata in figura 3.2.2. Tali valori percentuali risultano inferiori al 30% nelle cale poste nell'area dello stretto di Sicilia mentre le abbondanze percentuali aumentano nelle pescate tirreniche, pur mostrando grande variabilità anche in queste cale (Figura 3.2.2).

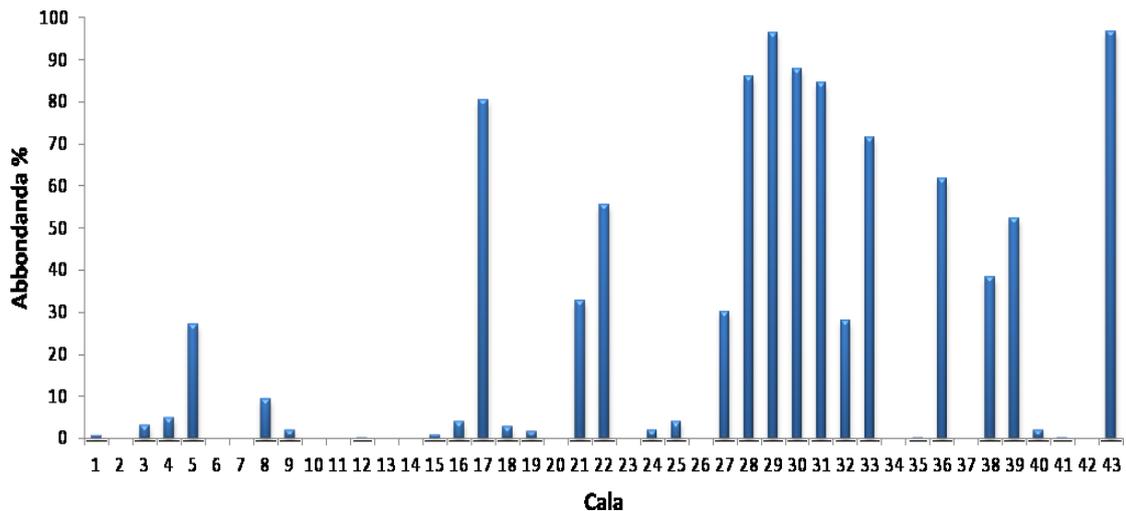


Figura 3.2.2: Abbondanza percentuale della specie *E. encrasicolus* nelle pescate sperimentali ordinate da sud a nord: Stretto di Sicilia (cale da 1 a 14); Mar Tirreno (cale da 15 a 43).

- **Distribuzione dell'abbondanza di *S. pilchardus* nelle pescate**

La sardina risulta ampiamente distribuita nelle due aree in esame risultando presente in 36 pescate sulle 43 effettuate (figura 3.2.3).

L'abbondanza percentuale nelle catture mostra per la sardina abbondanze medie attorno al 60% lungo le coste meridionali siciliane (cale da 1 a 14), mentre nelle pescate tirreniche tale specie presenta abbondanze percentuali decisamente inferiori, ad eccezione delle pescate 25 e 27 dove sono raggiunte abbondanze percentuali con valori simili alle pescate dello stretto di Sicilia.

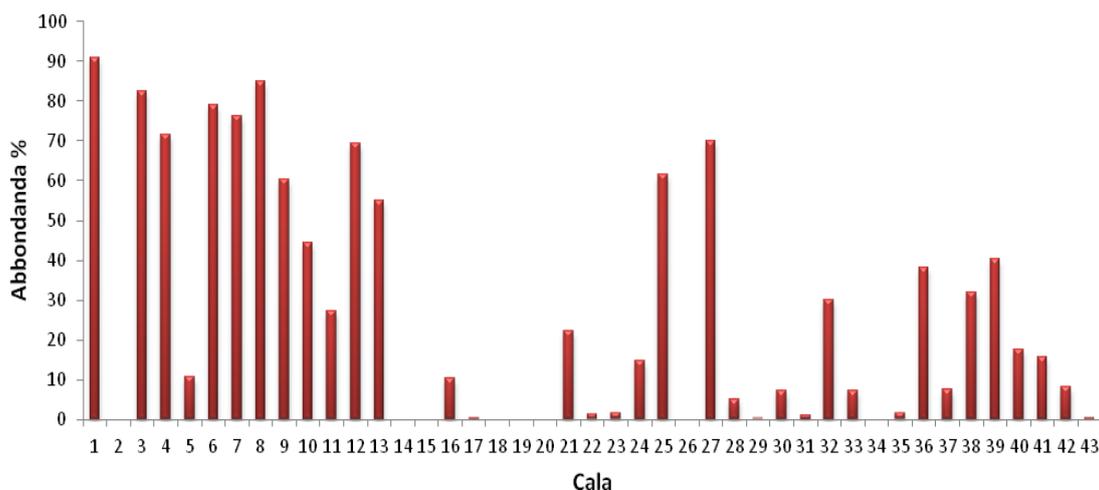


Figura 3.2.3: Abbondanza percentuale di *S. pilchardus* tra le varie pescate sperimentali ordinate da sud a nord: Stretto di Sicilia (cale da 1 a 14); Mar Tirreno (cale da 15 a 43).

• **Distribuzione dell'abbondanza di *T. trachurus* nelle pescate**

L'abbondanza percentuale nelle catture mostra, per il tracuro, valori percentuali inferiori al 50% in tutte le pescate. Nell'area meridionale della Sicilia tale specie è stata catturata, anche se con percentuali talvolta molto basse, in quasi tutte le pescate effettuate (sono state escluse le pescate il cui numero di esemplari è risultato poco rappresentativo). Nel Mar Tirreno invece questa specie risulta assente in alcune cale (Figura 3.2.4) e ove presente i valori di abbondanza risultano variabili da percentuali molto basse a valori prossimi al 50%.

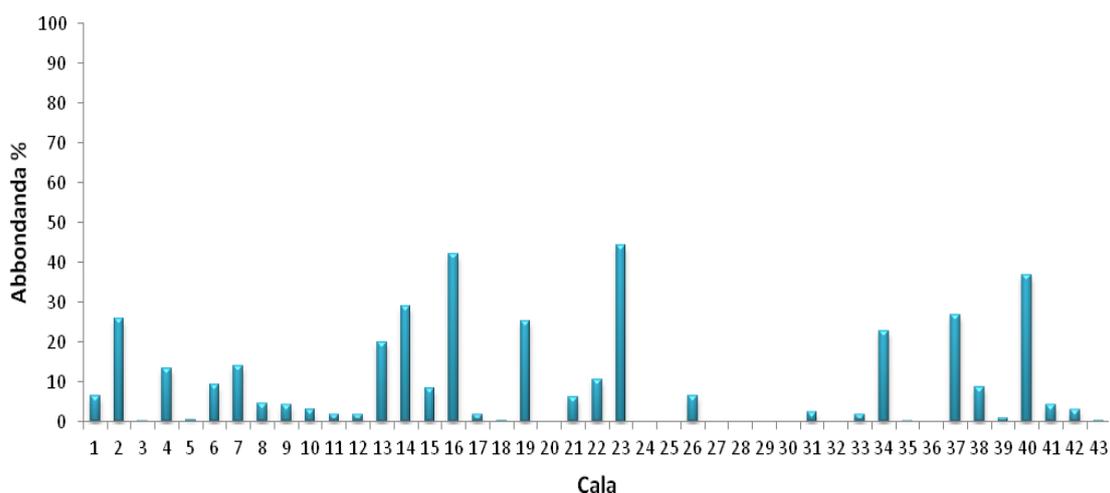


Figura 3.2.4: Abbondanza percentuale di *T. trachurus* tra le varie pescate sperimentali ordinate da sud a nord: Stretto di Sicilia (cale da 1 a 14); Mar Tirreno (cale da 15 a 43).

- **Distribuzione dell'abbondanza di *M. merluccius* nelle pescate**

L'abbondanza nelle catture per il merluzzo mostra valori percentuali inferiori al 10% in quasi tutte le pescate ad eccezione della cala 20 in cui questa specie raggiunge il 35% dell'abbondanza percentuale della cattura (Figura 3.2.5). Sebbene il merluzzo rappresenti una specie più demersale che pelagica il suo comportamento migratorio circadiano lo rende parzialmente vulnerabile all'attrezzo utilizzato rispetto ad altre specie demersali. Questo ha consentito di ottenere un campionamento spazialmente rappresentativo di tutte le aree sebbene il numero di esemplari per ciascuna cala sia risultato in genere una parte minore della cattura totale.

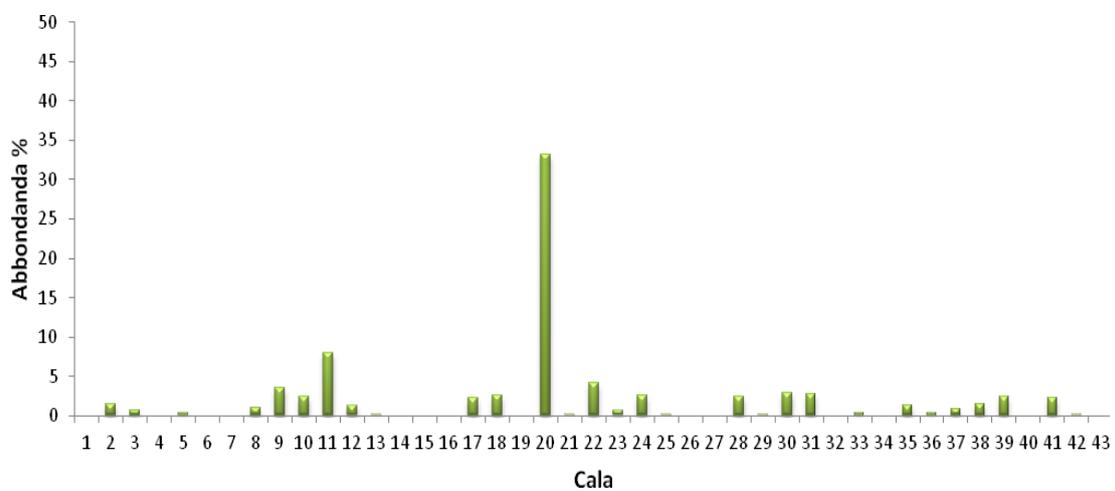


Figura 3.2.5: Abbondanza percentuale di *M. merluccius* tra le varie pescate sperimentali ordinate da sud a nord: Stretto di Sicilia (cale da 1 a 14); Mar Tirreno (cale da 15 a 43).

3.3 ACCIUGA (*Engraulis encrasicolus*)

Le distribuzioni di frequenza della lunghezza per l'acciuga sono ampiamente sovrapponibili risultando unimodali in entrambe le aree, con picco a 11.5 cm (Figura 3.3.1).

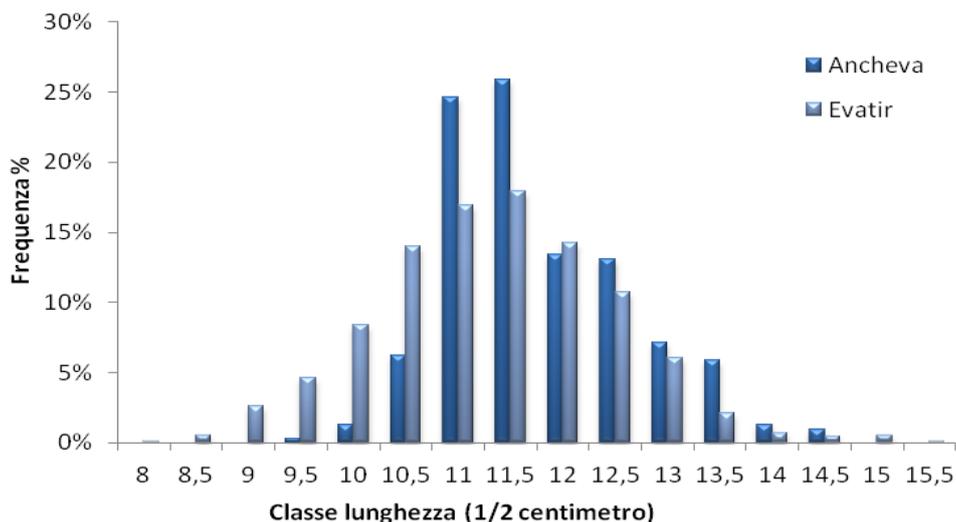


Figura 3.3.1: Distribuzione di frequenza della lunghezza per *E. encrasicolus* nelle due aree: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir).

Il range di taglia per l'acciuga varia da 8.4 a 15.5 cm nell'area tirrenica mentre varia da 9.9 a 14.6 cm nell'area dello stretto di Sicilia. In entrambe le aree, le curve lunghezza-peso mostrano un buon *fitting* con un elevato valore del coefficiente di determinazione (r^2) sia nell'area dello stretto di Sicilia ($r^2=0.92$) che nell'area tirrenica ($r^2=0.93$) (Figura 3.3.2). L'ANCOVA effettuata sul logaritmo del peso come variabile dipendente e la lunghezza come variabile predittiva non mostra differenze significative fra le due aree ($F_{1,1658} = 2.32$; $p > 0.1$).

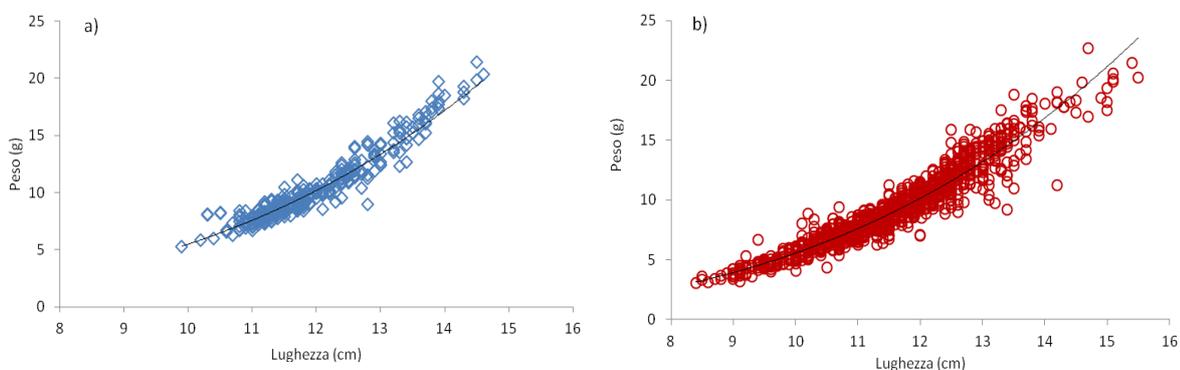


Figura 3.3.2: Relazione lunghezza-peso di *E. encrasicolus* in: a) Stretto di Sicilia ($y=0.0022 X^{3.40}$) e b) Tirreno ($y=0.0028 X^{3.3}$).

- **Indici biologici**

Per illustrare in maniera efficace la condizione corporea dei pesci esaminati e il loro stato nutrizionale si è utilizzato il Fattore di Condizione (CF). Tale indice risulta in media di 1.00 ± 0.08 in entrambe le aree analizzate indicando uno stato nutrizionale simile, che sembra non variare significativamente con la taglia degli esemplari (Figura 3.3.3). Il confronto tra le due aree non mostra variazioni significative nel fattore di condizione poichè vi è una sovrapposizione negli intervalli di confidenza. Il trend appare costante intorno al valore di 1, ad eccezione di un trend decrescente visibile nelle classi di taglia maggiori (al di sopra dei 12.5 cm) per gli esemplari del Tirreno. Tale decremento non è però supportato statisticamente da un numero adeguato di esemplari.

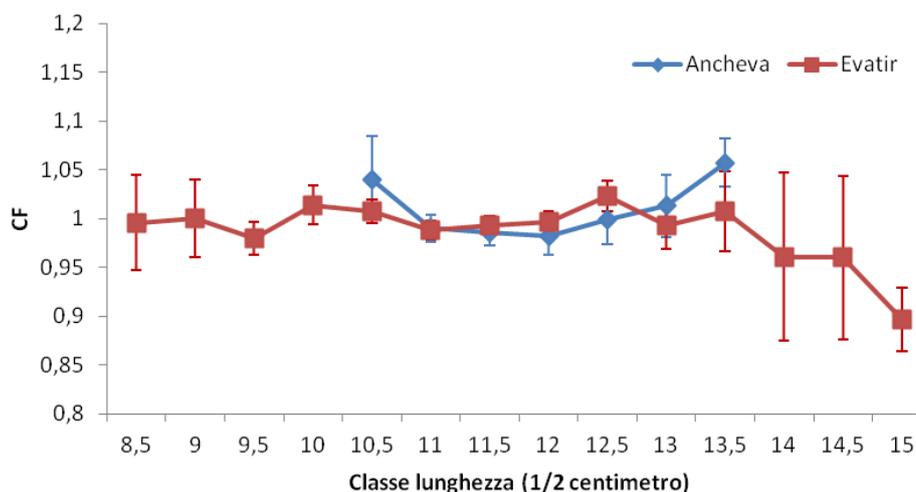


Figura 3.3.3: Fattore di condizione (CF) di *E. encrasicolus* nelle due aree. Le barre di errore rappresentano i limiti di confidenza del fattore di condizione. I dati riguardanti le classi di taglia con un numero di esemplari inferiore a 4 non sono presentati.

Un'ANCOVA effettuata sul CF come variabile dipendente e la lunghezza come variabile predittiva non mostra differenze significative fra le due aree ($F_{1,1658}=0.2$; $p>0.1$). Volendo valutare la dipendenza del fattore di condizione rispetto alle catture effettuate, è stato ottenuto il fattore di condizione per cala (Figura 3.3.4). Tale grafico mostra un andamento mediamente intorno al valore 1 in molte cale, sebbene in alcune catture si sono notati valori significativamente differenti (cale 17, 21, 40 e 43). Tuttavia analizzando complessivamente tutte le cale non sono presenti trend definiti.

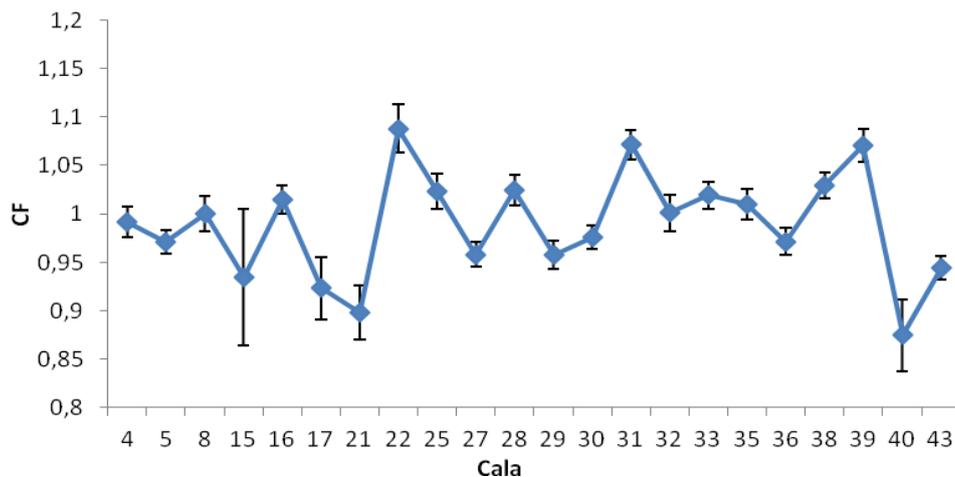


Figura 3.3.4: Fattore di condizione di *E. encrasicolus* nelle varie cale sperimentali. Le barre di errore sono il limite di confidenza del fattore di condizione. I dati riguardanti le cale con un numero di esemplari inferiore a 4 non sono stati presentati.

La distribuzione degli stadi di maturità sessuale, effettuata sulle femmine di acciuga nelle due aree separatamente (Figura 3.3.5), mostra che gli esemplari immaturi (stadio I) e gli individui che hanno già completato la deposizione (stadio VI) presentano percentuali simili in entrambe le aree, con percentuali inferiori al 10%. Gli individui immaturi appartenenti allo stadio II presentano percentuali inferiori al 10% nell'area tirrenica mentre raggiungono il 25% nell'area meridionale della Sicilia. La fase di deposizione imminente (stadio III) è presente in entrambe le aree con percentuali superiori al 40% risultando lo stadio di maturità prevalente nello stretto di Sicilia ma non nell'area tirrenica. Infatti, in quest'ultima area risulta prevalente la fase di post deposizione (stadio di maturità V). Infine in entrambe le aree vi è una ridotta presenza degli esemplari in fase di deposizione (stadio IV) giustificata dal fatto che la durata di questo stadio è di pochissime ore rispetto agli altri stadi (Basilone et al. 2015).

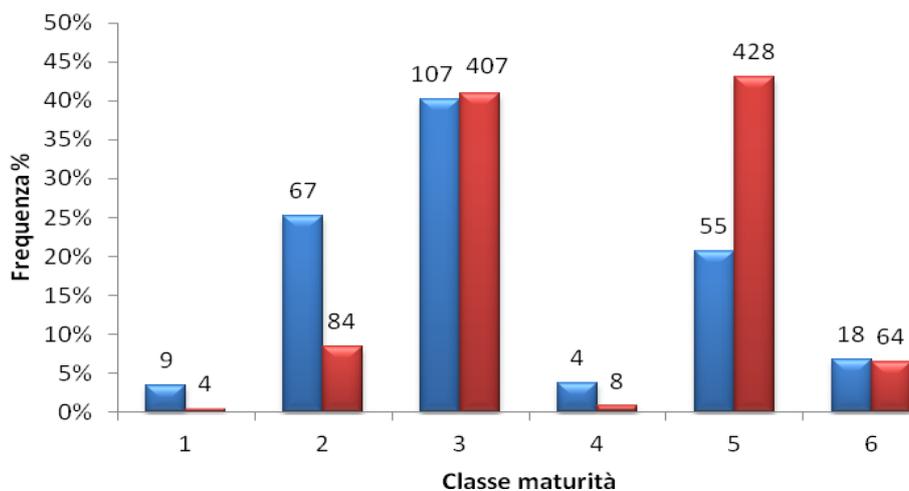


Figura 3.3.5: Distribuzione di maturità per *E. encrasicolus* nelle due aree: in blu gli esemplari dello stretto di Sicilia (Ancheva), in rosso gli esemplari tirrenici (Evatir). Il numero di esemplari per ogni classe di maturità è riportato nel grafico.

L'indice gonadosomatico (GSI) fornisce ulteriori informazioni sullo stato riproduttivo (Figura 3.3.6) mostrando che nello Stretto di Sicilia gli esemplari femminili per classe di taglia presentano valori significativamente inferiori rispetto all'area tirrenica. Tuttavia la mancanza di taglie inferiori a 11 cm (taglia di prima maturità sessuale; Basilone et al.2006) nell'area dello Stretto di Sicilia non permette di effettuare confronti nei *range* di taglie inferiori. Inoltre tali differenze non risultano significative per lunghezze superiori ai 13 cm, dove si ha una sovrapposizione degli intervalli di confidenza. Un trend crescente è visibile in entrambe le aree dagli 11 cm.

Il valore medio di GSI nello Stretto di Sicilia è 2.23 ± 1.18 mentre nel Tirreno è 2.19 ± 1.16 . In generale gli alti valori di GSI nelle due aree suggeriscono che gli individui hanno già raggiunto la maturità e si trovano nel loro periodo riproduttivo, pur mostrando una crescita gonadica maggiore nell'area del Tirreno. Inoltre l'ANCOVA ottenuta prendendo la lunghezza degli esemplari come variabile indipendente, mostra differenze significative nel GSI tra le due aree ($F_{1,556} = 25.95$; $p < 0.01$).

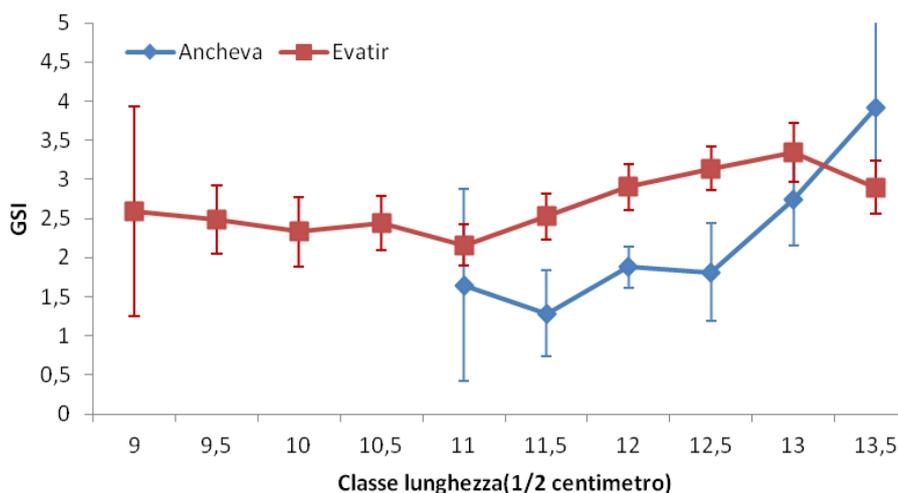


Figura 3.3.6: Indice gonadosomatico della specie *E. encrasicolus* nelle due aree: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir). Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza del GSI. I dati riguardanti le classi di lunghezza con un numero di esemplari inferiore a 4 non sono presentati.

Dall'analisi della variabilità del GSI nelle diverse pescate non si evidenzia un trend definito nè tantomeno i valori medi del GSI presentano differenze significative fra pescate contigue. Tuttavia un trend crescente può essere riscontrato passando dalle pescate meridionali a quelle poste nel Tirreno settentrionale (Figura 3.3.7).

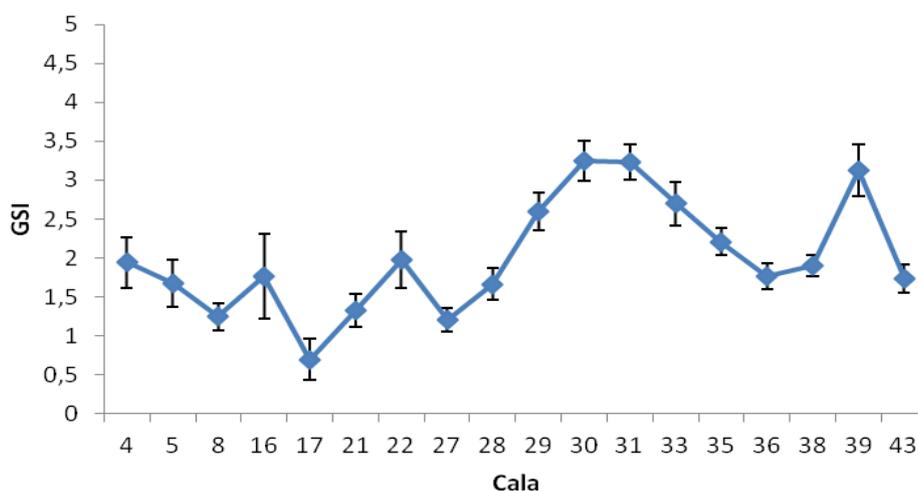


Figura 3.3.7: Indice gonadosomatico medio della specie *E. encrasicolus* nelle varie pescate ordinate da sud (SS: cale da 4 a 8) verso nord (MT: cale da 16 a 43). Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza del GSI.

L'analisi della chiave lunghezza-età (Tabella 3.3.1 e 3.3.2) permette di evidenziare possibili differenze nella taglia media per età tra le due aree. Tali differenze risultano significative soltanto per l'età 0, mentre sia nella classe d'età 1 ed a maggior ragione nella classe di età 2 vi sono valori

molto simili, con limiti di confidenza perlopiù sovrapponibili (Figura 3.3.8). Tali differenze sembrano essere legate all'abbondanza di giovanili che risulta maggiore nell'area Tirrenica rispetto allo Stretto di Sicilia.

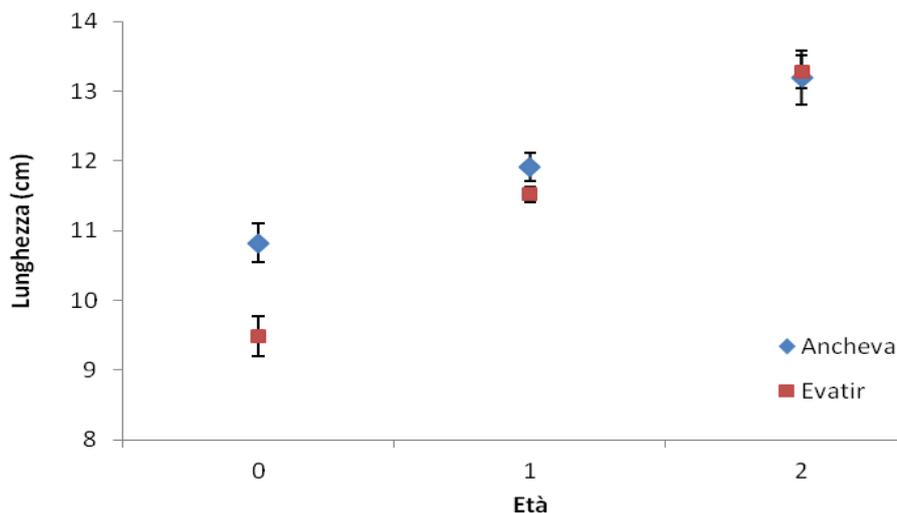


Figura 3.3.8: Lunghezza media per classe di età per la specie *E. encrasicolus*. Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza della lunghezza media.

Tabella 3.3.1: Tabella lunghezza-età per gli esemplari di *E. encrasicolus* catturati nell'area dello SS.

Specie	<i>Engraulis encrasicolus</i>		
Campagna	Ancheva		
Classe			
Lung./Età	0	1	2
9.5	100%	-	-
10	75.00%	25.00%	-
10.5	46.67%	53.33%	-
11	33.33%	66.67%	-
11.5	21.05%	78.95%	-
12	10.00%	80.00%	10.00%
12.5	-	70.59%	29.41%
13	-	75.00%	25.00%
13.5	-	71.43%	28.57%
14	-	-	100%
14.5	-	33.33%	66.67%

Tabella 3.3.2: Tabella lunghezza-età per gli esemplari di *E. encrasicolus* catturati nell'area del MT.

Specie	<i>Engraulis encrasicolus</i>		
	Campagna	Evatir	
Classe lung./ Età	0	1	2
8	100%	-	-
8.5	100%	-	-
9	76.92%	23.08%	-
9.5	31.25%	68.75%	-
10	9.68%	90.32%	-
10.5	13.33%	86.67%	-
11	4.48%	95.52%	-
11.5	-	95.52%	4.48%
12	-	88.52%	11.48%
12.5	-	84.75%	15.25%
13	-	61.36%	38.64%
13.5	-	52.17%	47.83%
14	-	11.11%	88.89%
14.5	-	33.33%	66.67%
15	-	-	100%
15.5	-	-	100%

Nella tabella cumulativa della struttura d'età (Tabella 3.3.3) sono confrontate le percentuali per ogni classe di età nelle due aree. Da tale tabella emerge che, in entrambe le aree, la classe di età più rappresentativa è data dall'età 1, e che simili sono le percentuali degli esemplari di età 2. Tali dati indicano una struttura d'età sovrapponibile fra le due aree, ad eccezione della classe di età 0, che presenta una percentuale doppia nello stretto di Sicilia rispetto al Tirreno, indicativa di un numero maggiore di giovanili in quest'ultima area.

Tabella 3.3.3: Tabella cumulativa della specie *E. encrasicolus* con la percentuale per ogni classe di età nelle due aree di studio.

Specie:	<i>Engraulis encrasicolus</i>	
	Ancheva	Evatir
Età/ Campagna		
0	18.64%	7.47%
1	65.25%	78.02%
2	15.25%	14.51%
3	0.85%	-

• **Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$)**

Nelle due aree il $\delta^{15}\text{N}$ delle acciughe mostra valori compresi tra 5.97‰ e 11.38‰ con una lunghezza tra i 9 e i 14.5cm (Figura 3.3.9). In particolare, nello Stretto di Sicilia i valori del $\delta^{15}\text{N}$ sono compresi tra 6.63‰ e 10.22‰ (media di 7.79‰ \pm 0.71) mentre nell'area tirrenica tra 5.97‰ e 11.38‰ (media di 9.01‰ \pm 1.32). In entrambe le aree, la maggior parte degli esemplari di acciughe rientrano negli stessi *range* di lunghezza ma il test non parametrico Mann-Whitney evidenzia delle differenze significative nei valori di $\delta^{15}\text{N}$ tra le due aree di studio ($U_{\text{test}}=-7.01$; $p<0.005$). Tuttavia, in nessuna delle due aree esiste una relazione tra i valori isotopici dell'azoto e la lunghezza degli esemplari (Ancheva: $r^2=0.09$, $r=0.3$; in Evatir: $r^2=0.17$, $r=0.41$).

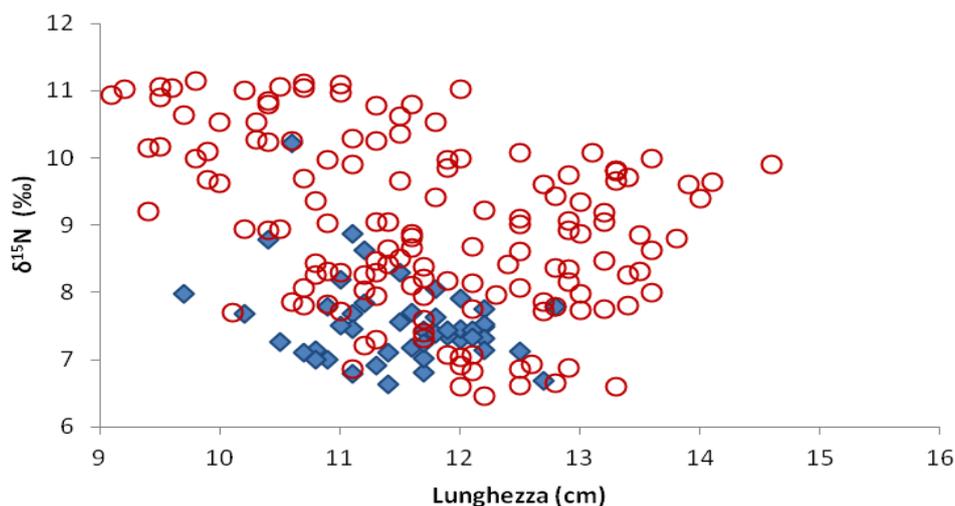


Figura 3.3.9: Relazione tra $\delta^{15}\text{N}$ e lunghezza (cm) di *E. encrasicolus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

Complessivamente, il valore del $\delta^{15}\text{N}$ nelle cale effettuate appare significativamente differente (test non parametrico di Kruskal-Wallis, $KW= 164.71$; $p < 0.001$). In particolare, la distribuzione del $\delta^{15}\text{N}$ nei muscoli di acciuga mostra valori più bassi (7.79‰ \pm 0.71) nelle cale effettuate nell'area siciliana mentre valori più elevati (9.01‰ \pm 1.32) sono presenti nell'area tirrenica (Figura 3.3.10). Un trend decrescente dei valori isotopici dell'azoto appare in entrambe le aree anche se è più evidente nelle acque tirreniche.

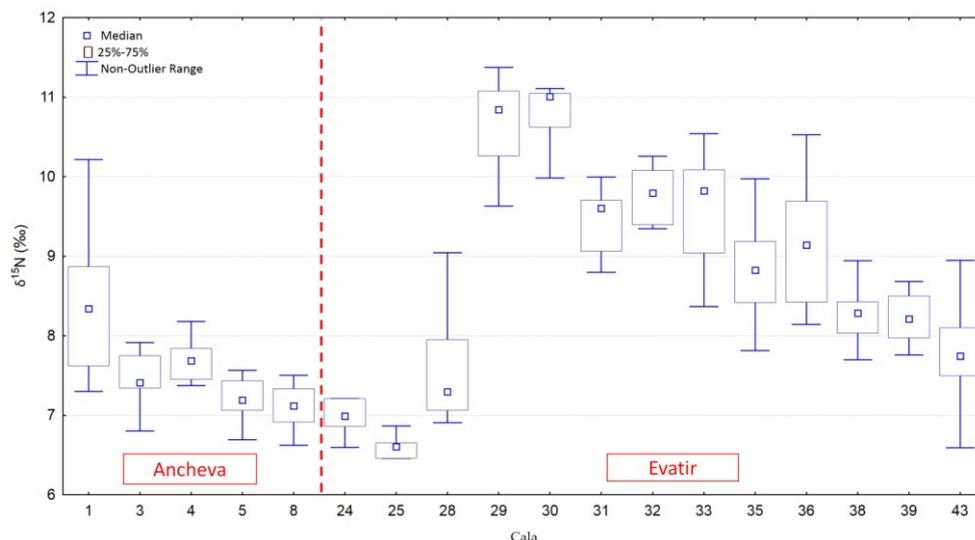


Figura 3.3.10: Variazione del $\delta^{15}\text{N}$ di *E. encrasicolus* nelle cale effettuate.

I valori del $\delta^{13}\text{C}$ nei muscoli di acciuga nelle due aree di studio sono compresi tra -19.22‰ e -16.41‰ (Figura 3.3.11). In particolare, nello Stretto di Sicilia i valori del $\delta^{13}\text{C}$ sono compresi tra -19.22‰ e -16.77‰ (media di $-18.11\text{‰} \pm 0.77$) mentre nel Tirreno tra -18.83‰ e -16.41‰ (media di $-17.31\text{‰} \pm 0.46$). I valori del $\delta^{13}\text{C}$ non sono correlati con la lunghezza degli esemplari di acciuga in nessuna delle due aree (Ancheva: $r^2=0.0009$, $r=0.03$; Evatir: $r^2=0.0176$, $r=0.13$).

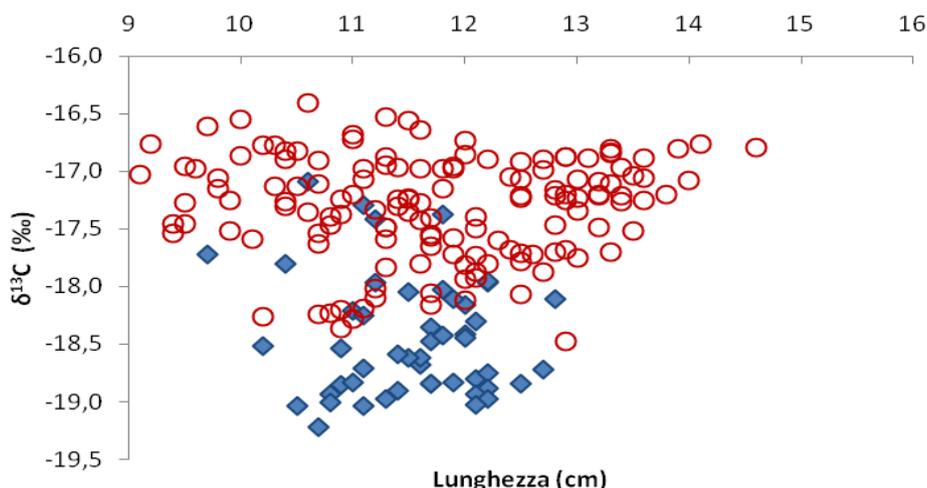


Figura 3.3.11: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza (cm) di *E. encrasicolus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

Il $\delta^{13}\text{C}$ mostra una differenza significativa tra le diverse cale ($K-W_{(17;196)}=169.78$; $p<0.001$) con un trend decrescente nell'area dello stretto di Sicilia e valori più elevati nella parte tirrenica che tendono a decrescere nuovamente nelle cale più a nord del Tirreno (Figura 3.3.12).

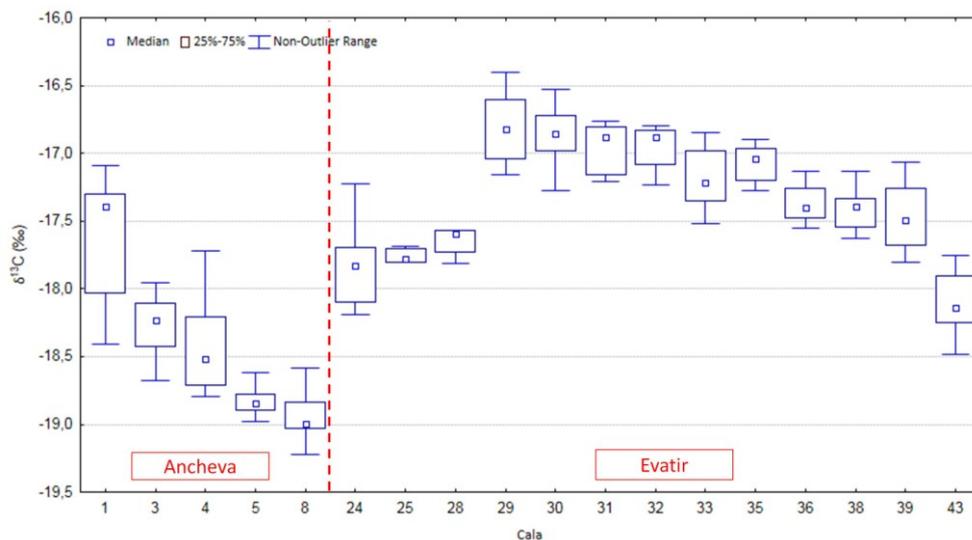


Figura 3.3.12: Variazione del $\delta^{13}\text{C}$ di *E. encrasicolus* nelle pescate effettuate.

Nonostante che nelle due aree non sia evidente nessuna relazione tra i valori di $\delta^{15}\text{N}$ e di $\delta^{13}\text{C}$ con la lunghezza degli individui esaminati, la relazione tra i valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ di tutti gli esemplari di acciuga evidenzia una differente distribuzione nelle due aree campionate (Figura 3.3.13). Se si escludono alcuni esemplari, l'area dello stretto di Sicilia (campagna Ancheva) ha valori isotopici dell'azoto compresi tra 7.0 e 8.0‰, mentre nell'area tirrenica gli esemplari di acciughe mostrano valori appartenenti a un *range* di valori più ampio (compreso tra 6 e circa 12‰). Per il $\delta^{13}\text{C}$ le acciughe campionate nel canale di Sicilia hanno una variabilità maggiore e valori isotopici più impoveriti ($-18.11\text{‰}\pm 0.77$) rispetto a quelle dell'area tirrenica ($-17.31\text{‰}\pm 0.46$).

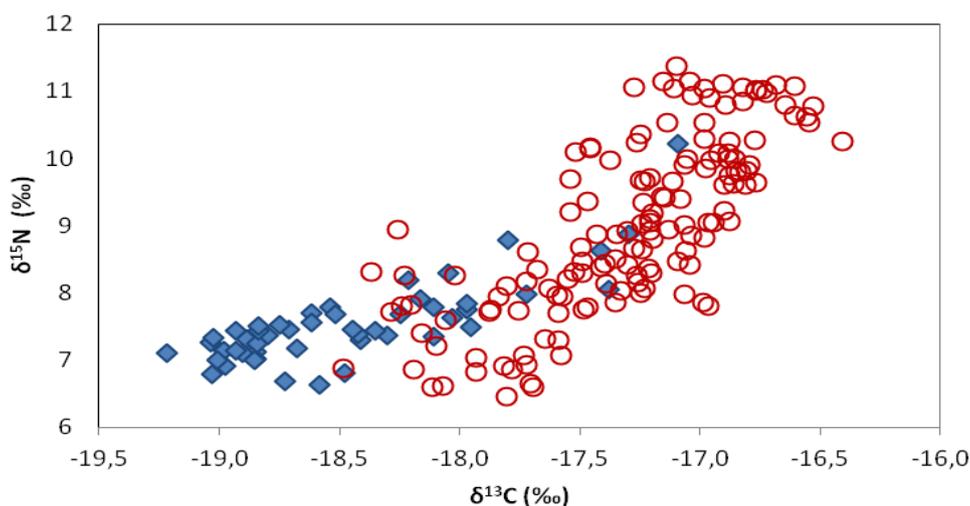


Figura 3.3.13: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e il $\delta^{15}\text{N}$ per la specie *Engraulis encrasicolus* nelle due aree di studio: rombi blu=campagna oceanografica Ancheva (Stretto di Sicilia); cerchi rossi= campagna Evatir (Mar Tirreno).

3.4 SARDINA (*Sardina pilchardus*)

La distribuzione di frequenza della lunghezza della sardina (Figura 3.4.1) risulta bimodale nello stretto di Sicilia, con la prima moda a 9.5 cm e la seconda a 12.5 cm. Nel Tirreno al contrario la distribuzione appare unimodale con picco a 13 cm.

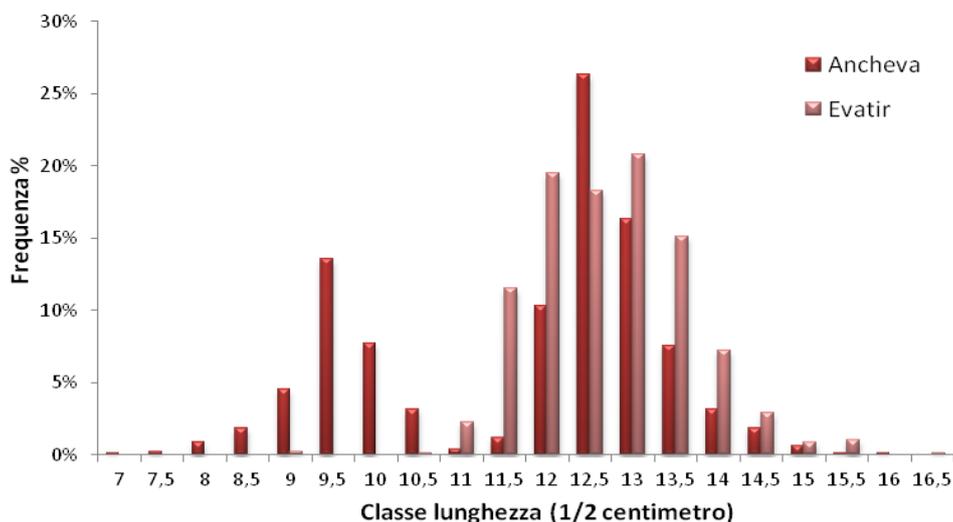


Figura 3.4.1: Distribuzione di frequenza della lunghezza di *S. pilchardus* nelle due aree: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir).

Il *range* di taglia per la sardina risulta variabile da 7.2 a 16.0 cm nello Stretto di Sicilia e da 9.0 a 16.6 cm nell'area tirrenica (Figura 3.4.2). Il coefficiente di determinazione (r^2) risulta elevato in entrambe le aree (Stretto di Sicilia: $r^2=0.99$; Tirreno: $r^2=0.91$), indicando una buona relazione tra le due variabili analizzate. L'ANCOVA effettuata sul logaritmo del peso come variabile dipendente e la lunghezza come variabile predittiva non mostra inoltre differenze significative fra le due aree ($F_{1,1553}=2.73$, $p>0.05$).

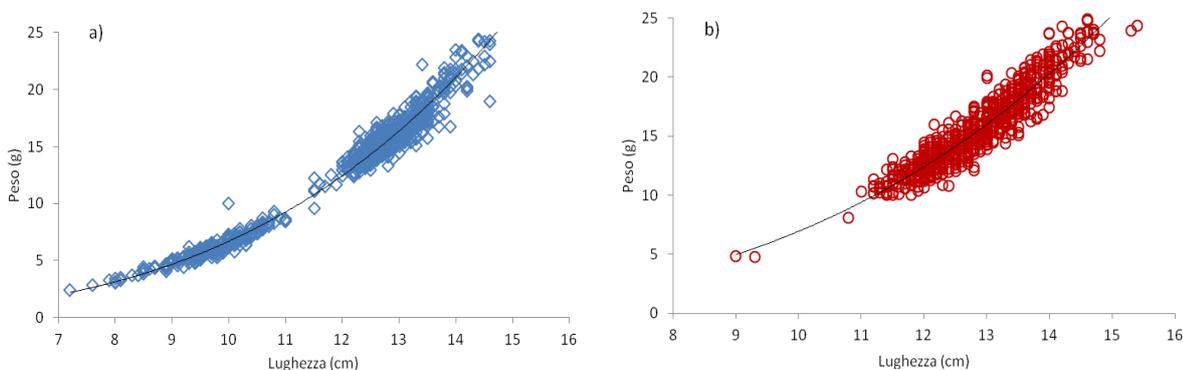


Figura 3.4.2: Relazione lunghezza-peso di *S. pilchardus* nelle due aree di studio: a) Stretto di Sicilia ($y=0.0026 X^{3.42}$) e b) Tirreno ($y=0.0045 X^{3.19}$).

- **Indici biologici**

Il Fattore di condizione (CF) della sardina risulta in media 1.01 ± 0.07 . Nello specifico nello Stretto di Sicilia il valore medio risulta 1.01 ± 0.04 , mentre nel Tirreno 1.00 ± 0.07 , indicando uno stato nutrizionale simile tra le due aree. Analizzando la variabilità del fattore di condizione rispetto alla classe di lunghezza, non emerge nessun trend di variabilità con la taglia nelle due aree analizzate, sebbene una differenza significativa si possa notare nella classe di lunghezza di 11 cm. Le differenze tra le aree, investigate attraverso l'ANCOVA, risultano significative ($F_{1,1553}=19.80$, $p<0.01$). Tali differenze non sembrano dovute alle classi di taglia comprese tra gli 11.5 ed i 13.5 cm, nelle quali si ha una netta sovrapposizione degli intervalli di confidenza. Al contrario differenze significative emergono, per la classe di lunghezza di 11 cm e per le classi di lunghezza superiori ai 14 cm. Il confronto non può essere effettuato per le classi di taglia inferiori agli 11 cm non presenti nell'area tirrenica (Figura 3.4.3).

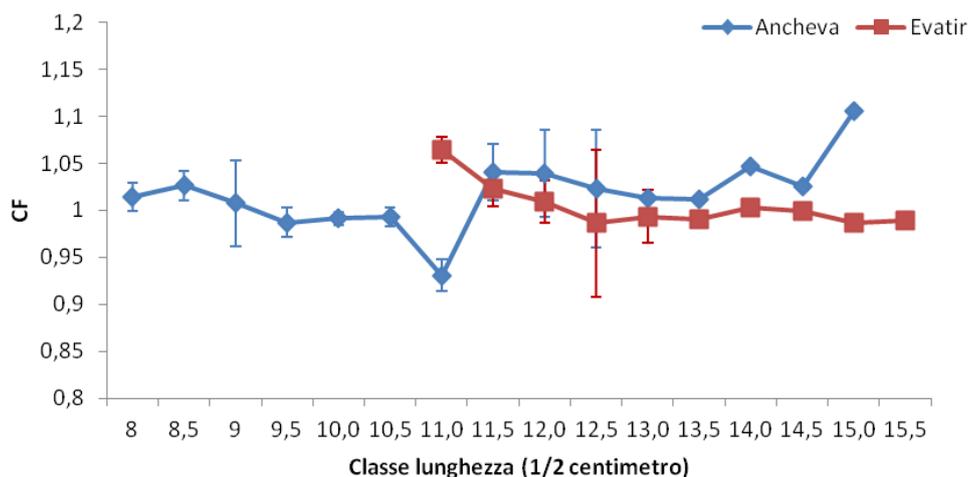


Figura 3.4.3: Fattore di condizione della *S. pilchardus* nelle due aree: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir). Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza del fattore di condizione. I dati riguardanti le classi di taglia con un numero di esemplari inferiore a 4 non sono presentati.

La variabilità del fattore di condizione mostra valori prossimi a 1 in quasi tutte le pesche effettuate, mostrando una variabilità maggiore nell'area tirrenica parzialmente legata anche al maggiore numero di pesche effettuate in quest'area (Figura 3.4.4).

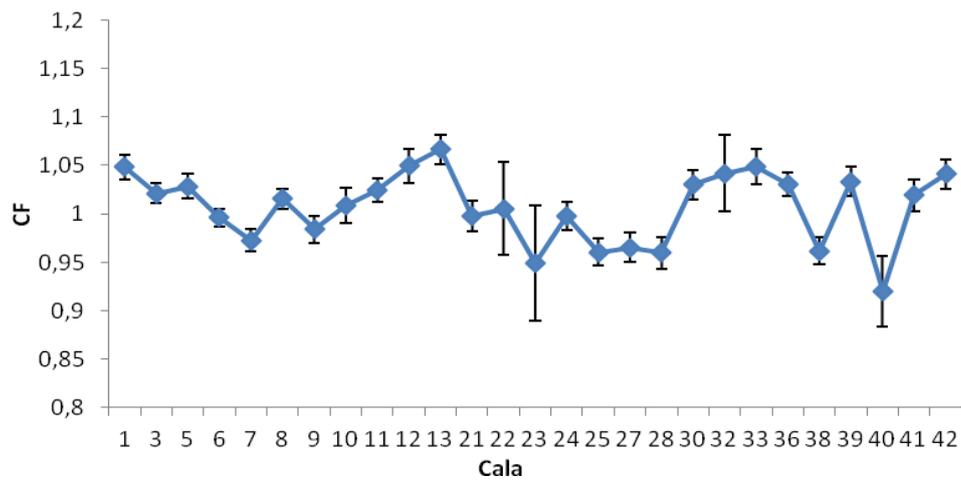


Figura 3.4.4: Fattore di condizione della *S. pilchardus* nelle varie pesche ordinate da sud (SS: cale da 1 a 13) verso nord (MT: cale da 21 a 42). Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza del fattore di condizione.

L'indagine sullo stadio di maturità sessuale degli esemplari femminili di sardina (figura 3.4.5) mostra una prevalenza quasi totale di esemplari appartenenti agli stadi I e II (immaturi). Nell'area Tirrenica sono stati altresì trovati 2 esemplari appartenenti alla classe di maturità 3, ma dato il numero ridotto, tale dato non può essere considerato rappresentativo. La bassa percentuale di individui maturi è indicativa di un periodo di riproduzione lontano dal periodo di campionamento. Dal confronto tra le due aree emerge una differenza legata alle percentuali dei suddetti stadi. Nello specifico nello Stretto di Sicilia più dell'80% degli individui appartenengono allo stadio di maturità 1 e soltanto il 15% appartiene allo stadio di maturità 2. Al contrario nell'area tirrenica il 60% degli individui analizzati risulta appartenente allo stadio di maturità 1 mentre il 40 % degli individui appartiene allo stadio di maturità 2.

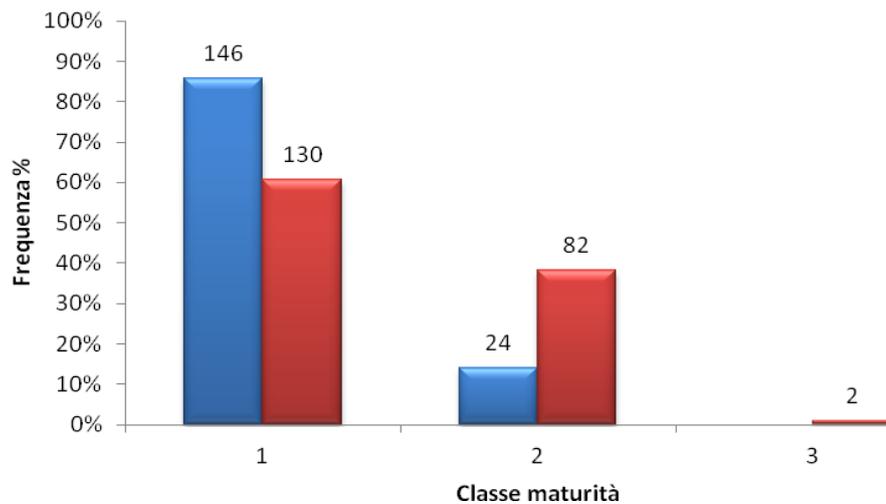


Figura 3.4.5: Distribuzione di maturità per la specie *S. pilchardus* nelle due aree: in blu gli esemplari dello Stretto di Sicilia (Ancheva); in rosso gli esemplari tirrenici (Evatir). Il numero di esemplari per ogni classe di maturità è riportato nel grafico.

L'indice gonadosomatico (GSI) mostra che al crescere della lunghezza, in entrambe le aree, si ha un leggero incremento nei valori di GSI. Dall'analisi dell'ANCOVA effettuata tra il GSI e la lunghezza degli esemplari ($F_{1,301}=0.31$, $p>0.1$) non emergono differenze significative tra le aree, evidenti anche dalla sovrapposizione degli intervalli di confidenza. L'analisi dell'indice Gonadosomatico (figura 3.4.6) conferma il dato ottenuto dalla distribuzione degli stadi di maturità, infatti, i valori prossimi allo zero della sardina sono indicativi dell'elevata presenza di nuove reclute che non hanno ancora raggiunto la maturità.

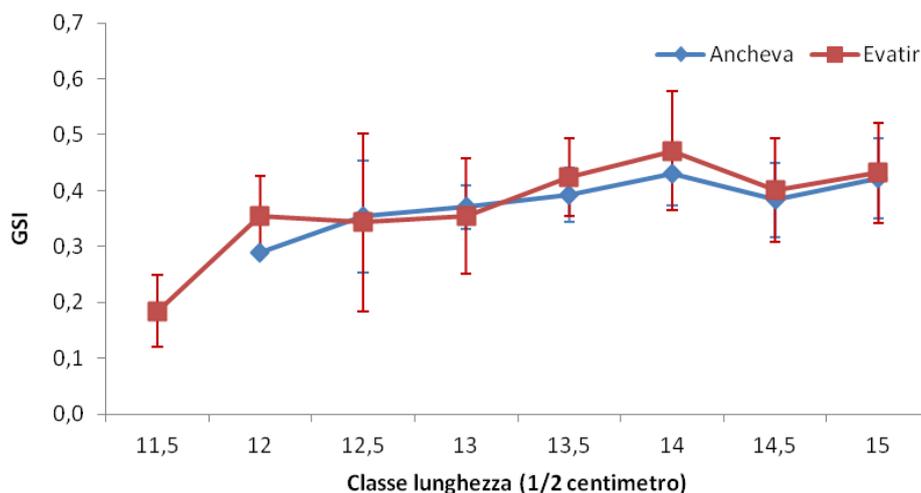


Figura 3.4.6: Indice gonadosomatico (GSI) di *S. pilchardus* nelle due aree di studio: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir). Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza dell'indice gonadosomatico. Dall'analisi sono state escluse le classi di lunghezza estreme e poco rappresentative, il cui numero di esemplari sia risultato inferiore a 4.

Dall'analisi della variabilità del GSI nelle diverse pescate non si evince alcun trend, nonostante i valori del GSI presentano differenze significative fra alcune pescate contigue. I valori risultano ovunque compresi tra 0.1 e 0.8 con valori medi intorno a 0.4 (Figura 3.4.7).

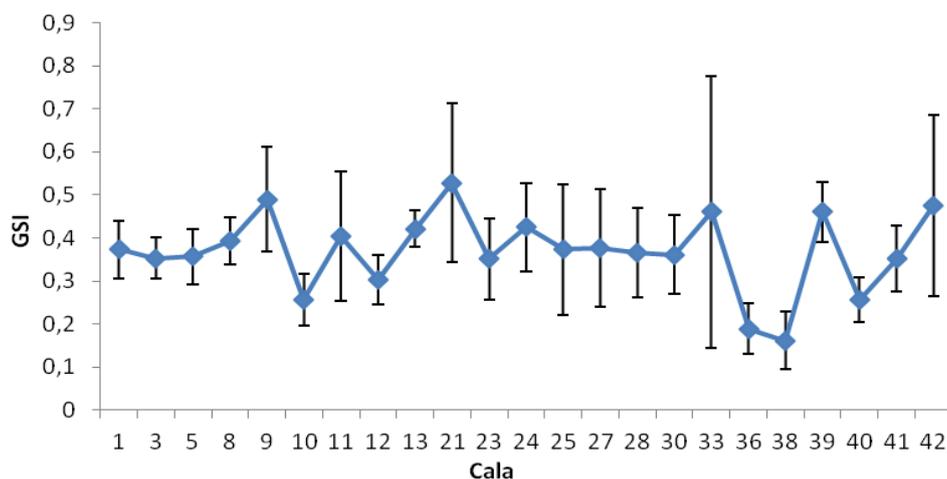


Figura 3.4.7: Indice gonadosomatico (GSI) di *S. pilchardus* nelle varie pescate ordinate da sud (SS: cale da 1 a 13) verso nord (MT: cale da 21 a 42). Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza dell'Indice Gonadosomatico.

Dall'analisi della struttura d'età di questa specie si evince una prevalenza delle classi di età 0 ed 1 nelle due aree (Tabella 3.4.1 e 3.4.2), dato indicativo dell'elevata presenza di giovanili. Infatti, sebbene siano presenti esemplari di età 2 e 3, il loro numero risulta poco rappresentativo. Nel

confronto tra le due aree emerge una differenza nella lunghezza media per ogni classe di età, con valori inferiori nell'area dello stretto di Sicilia rispetto al Tirreno (Figura 3.4.8).

Nella tabella cumulativa (tabella 3.4.3) sono state messe a confronto le percentuali per ogni classe di età nelle due aree ed è emerso che in entrambe le aree la classe di età più comune è rappresentata dall'età 0 (con percentuali superiori al 60%), seguita dalla classe di età 1 (circa il 30%). In percentuali molto basse sono stati ritrovati esemplari di età 2 in entrambe le aree.

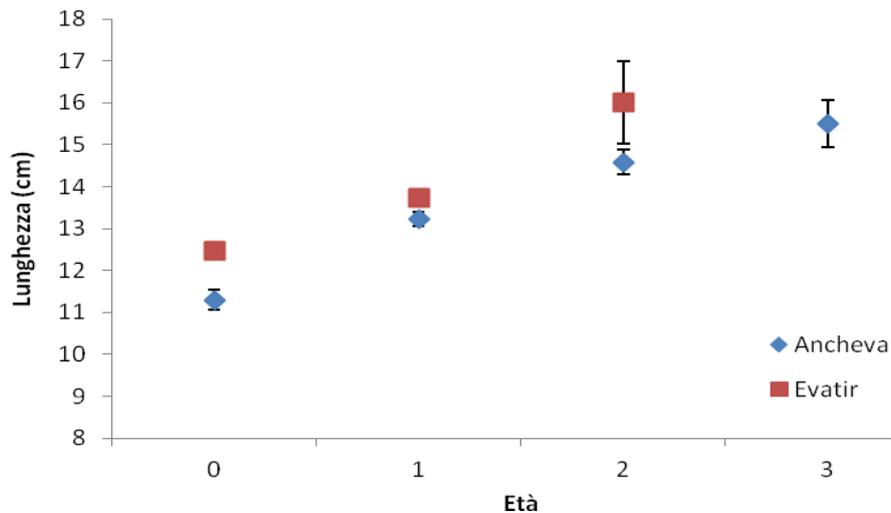


Figura 3.4.8: Lunghezza media per classe di età per la specie *S. pilchardus*. Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza della lunghezza media.

Tabella 3.4.1: Tabella lunghezza-età per gli esemplari catturati nell'area dello SS.

Specie	<i>Sardina pilchardus</i>			
Campagna	Ancheva			
Classe lung./ Età	0	1	2	3
7	100%	-	-	-
7.5	100%	-	-	-
8	100%	-	-	-
8.5	100%	-	-	-
9	100%	-	-	-
9.5	100%	-	-	-
10	100%	-	-	-
10.5	100%	-	-	-
11	100%	-	-	-
11.5	71.43%	28.57%	-	-
12	78.95%	21.05%	-	-
12.5	75.00%	25.00%	-	-
13	58.70%	41.30%	-	-
13.5	38.89%	61.11%	-	-
14	-	92.31%	7.69%	-
14.5	-	70.00%	30.00%	-
15	-	25.00%	50.00%	25.00%
15.5	-	-	-	100%
16	-	-	-	100%

Tabella 3.4.2: Tabella lunghezza-età per gli esemplari catturati nell'area del MT.

Specie	<i>Sardina pilchardus</i>		
Campagna	Evatir		
Classe lung./ Età	0	1	2
9	100%	-	-
10.5	100%	-	-
11	100%	-	-
11.5	96.77%	3.23%	-
12	95.83%	4.17%	-
12.5	87.93%	12.07%	-
13	62.50%	37.50%	-
13.5	52.27%	47.73%	-
14	43.75%	56.25%	-
14.5	21.05%	78.95%	-
15	16.67%	83.33%	-
15.5	-	87.50%	12.50%
16.5	-	-	100%

Tabella 3.4.3: Tabella cumulativa della specie *S. pilchardus* sulla percentuale per ogni classe di età nelle due aree di studio.

Specie	<i>Sardina pilchardus</i>	
	Ancheva	Evatir
Età/Campagna		
0	67.26%	68.67%
1	29.54%	30.70%
2	2.14%	0.63%
3	1.07%	-

• **Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$)**

Nelle due aree di studio, i valori del $\delta^{15}\text{N}$ nei muscoli di sardina sono compresi tra 6.12‰ e 10.97‰ in un *range* di taglia tra 6.5 e 16 cm. Tuttavia, nell'area dello stretto di Sicilia le sardine si trovano in un *range* di taglia più ampio (da 6.5 a 15 cm) e con valori di $\delta^{15}\text{N}$ mediamente più bassi ($\delta^{15}\text{N} = 6.90\text{‰} \pm 0.32$) rispetto all'area tirrenica (da 9 a 16 cm; $\delta^{15}\text{N} = 8.92\text{‰} \pm 1.18$) (Figura 3.4.9). Considerando solo le sardine appartenenti allo stesso *range* di taglia (da 11 a 16 cm), i valori del $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza risultano non correlati (in Ancheva: $r^2=0.0186$, $r=0.13$; in Evatir: $r^2=0.0864$, $r=0.29$).

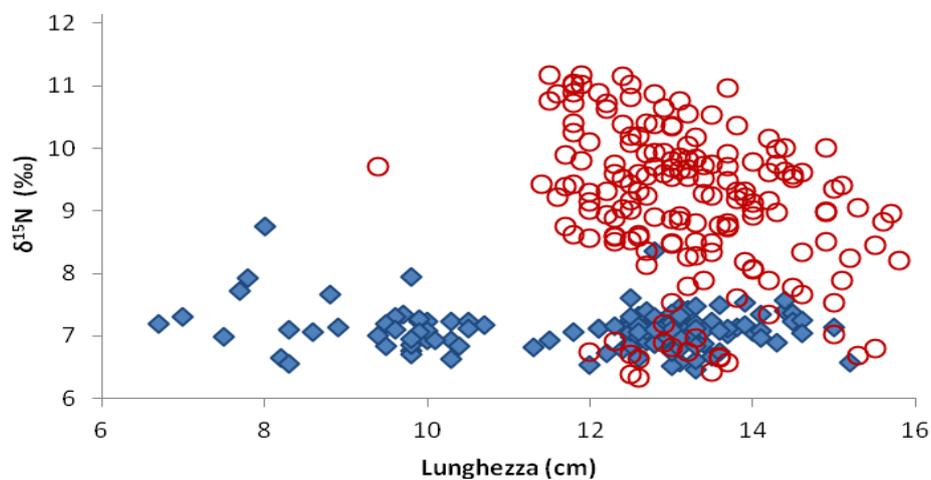


Figura 3.4.9: Relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza (cm) per *S. pilchardus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

Il valore del $\delta^{15}\text{N}$ nei muscoli di sardina rispetto alle cale evidenzia differenze significative (K-W= 250.60, $p<0.005$). I valori mostrano un segnale isotopico dell'azoto piuttosto costante nell'area siciliana mentre nell'area tirrenica il segnale isotopico dell'azoto risulta più alto con un evidente trend decrescente verso le cale poste più a nord del tirreno (Figura 3.4.10).

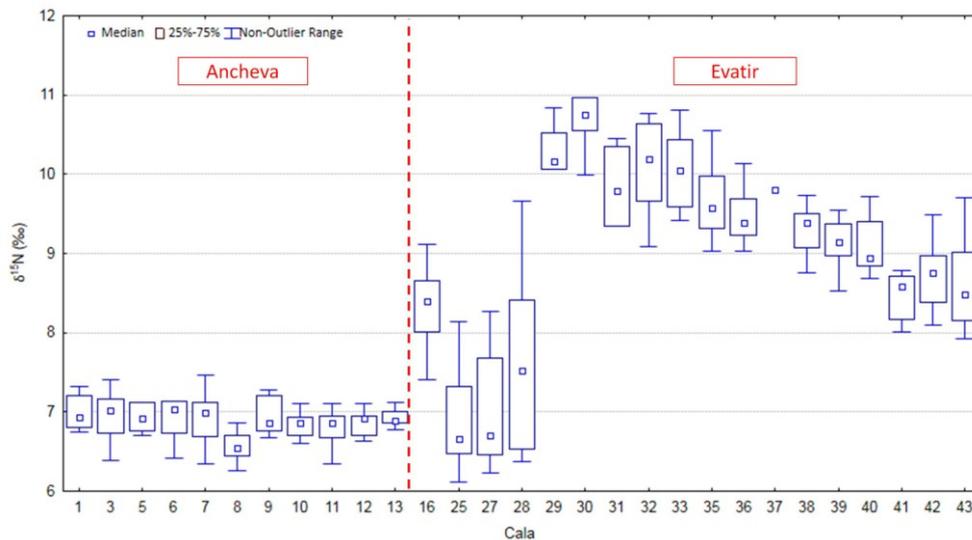


Figura 3.4.10: Variazione del $\delta^{15}\text{N}$ di *S. pilchardus* nelle pescate effettuate.

I valori isotopici del carbonio nei muscoli di sardina sono compresi tra $-19,50\text{‰}$ e $-16,77\text{‰}$ (Figura 3.4.11). In particolare, nello Stretto di Sicilia i valori del $\delta^{13}\text{C}$ variano da $-19,50\text{‰}$ a $-17,74\text{‰}$ (media di $-18,67\text{‰} \pm 0,29$), mentre nell'area Tirrenica sono compresi tra $-18,94\text{‰}$ e $-16,77\text{‰}$ (media di $-17,73 \pm 0,47\text{‰}$). Confrontando il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza degli esemplari nelle due aree di studio e solo per le classi di taglia comuni, nessuna correlazione è evidenziata (Ancheva: $r^2=0,00085$ $r=0,03$; Evatir: $r^2=0,00007$, $r=0,008$).

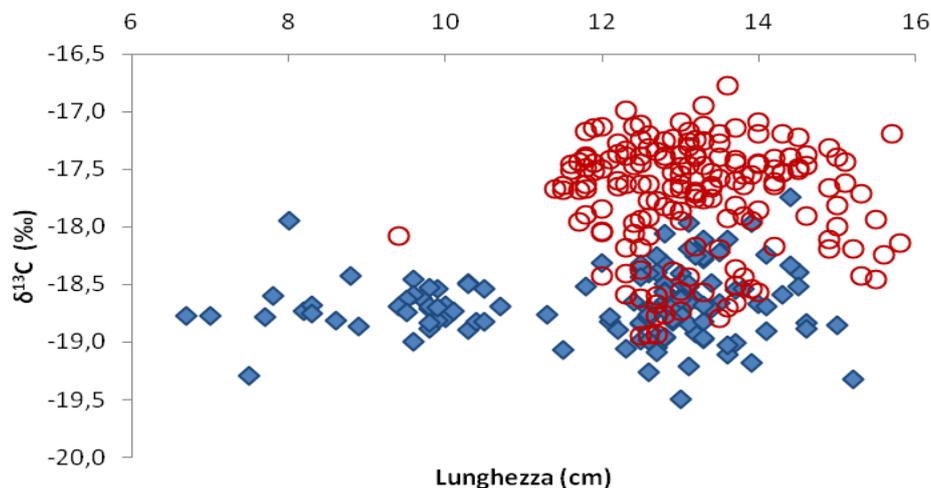


Figura 3.4.11: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza (cm) per *S. pilchardus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

Il valore del $\delta^{13}\text{C}$ tra le cale è stato valutato attraverso il test non parametrico di Kruskal-Wallis che ha evidenziato delle differenze significative ($KW=255,56$, $p<0,01$). Inoltre, mentre nell'area dello stretto di Sicilia sono presenti valori impoveriti di $\delta^{13}\text{C}$ con un trend decrescente tra le cale,

nell'area del Tirreno i valori isotopici del carbonio sono chiaramente più arricchiti ma con una maggiore variabilità tra le cale (Figura 3.4.12).

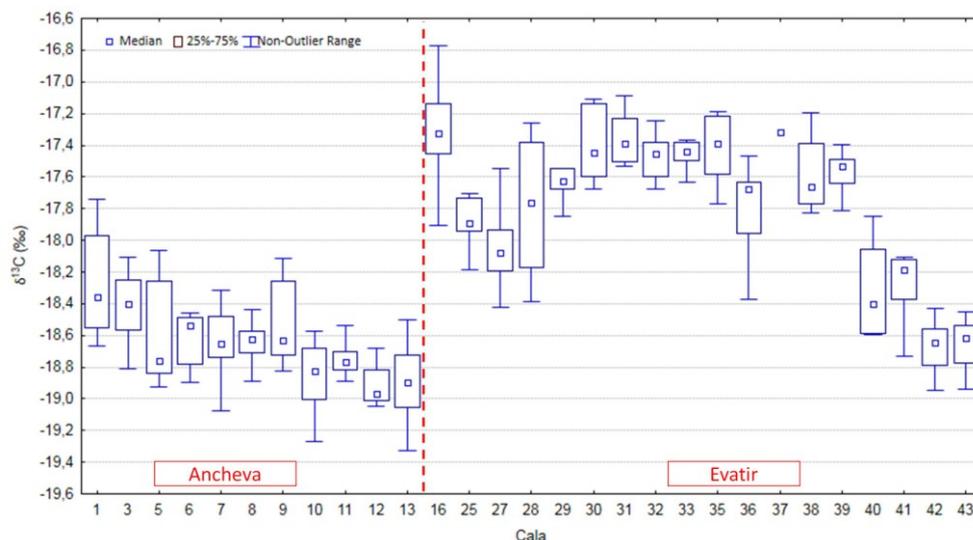


Figura 3.4.12: Variazione del $\delta^{13}\text{C}$ rispetto alle diverse cale

Quando tutti gli esemplari di sardina sono considerati, la relazione tra i valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ evidenzia una diversa distribuzione dei valori nelle due campagne effettuate (Figura 3.4.13). La maggior parte dei valori isotopici dell'azoto nei muscoli di sardine nell'area del canale di Sicilia presentano dei valori intorno al 7‰ mentre, per le sardine campionate nelle acque tirreniche, i valori appaiono nettamente più elevati (>7‰). Anche per il $\delta^{13}\text{C}$ la distribuzione dei valori sembra cambiare tra le due campagne, nonostante non vi sia un'elevata differenza tra i valori medi (-18.67 ‰±0.29 per il Canale di Sicilia; -17.73 ‰±0.47 per il Tirreno).

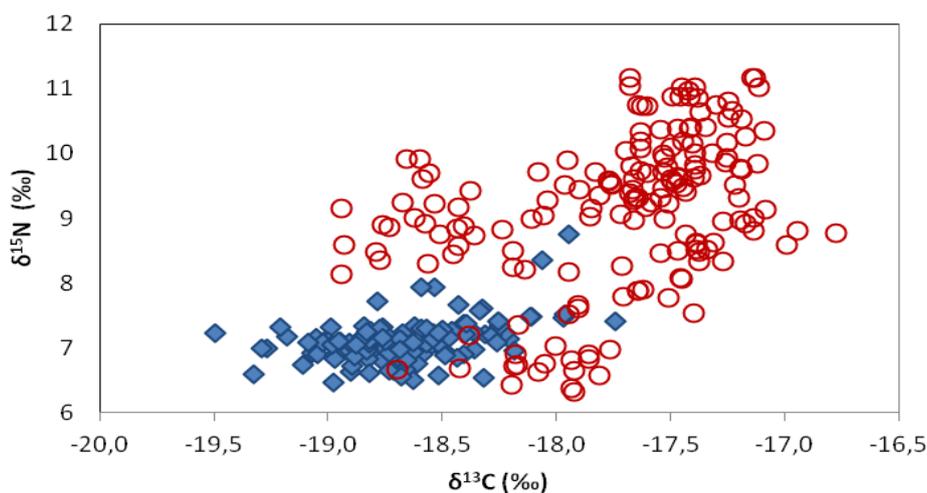


Figura 3.4.13: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e il $\delta^{15}\text{N}$ per la specie *S. pilchardus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

3.5 TRACURO (*Trachurus trachurus*)

La distribuzione di frequenza della lunghezza del tracuro risulta unimodale in entrambe le aree con picco rispettivamente a 10 cm nello stretto di Sicilia e 11 cm nel Tirreno (Figura 3.5.1).

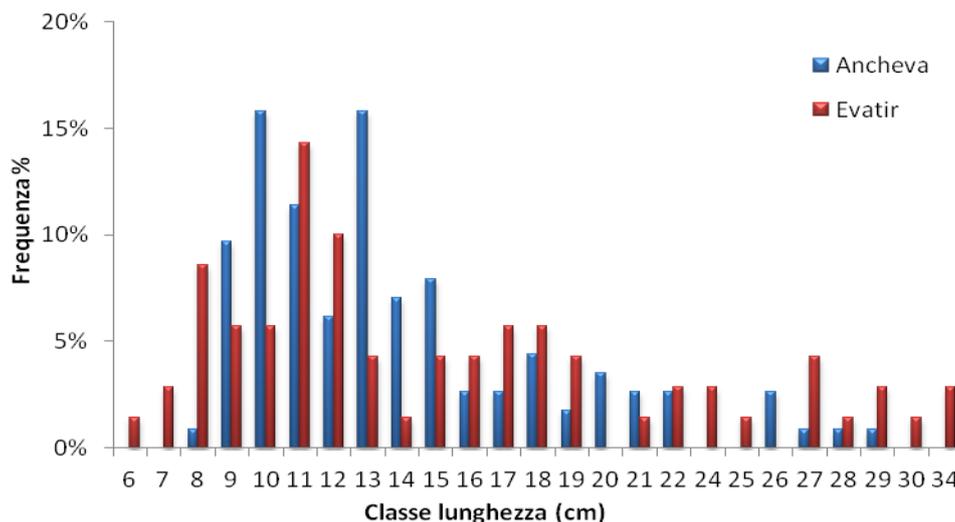


Figura 3.5.1: Distribuzione di frequenza della lunghezza di *T. trachurus* nelle due aree: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir).

Il range di taglia del tracuro varia da 8.5 a 29 cm nello stretto di Sicilia e tra 6.4 a 34.4 cm nel Tirreno. Il coefficiente di determinazione (r^2) è pari a 0.99 in entrambe le aree indicando una buona relazione tra le variabili analizzate (Figura 3.5.2). L'analisi della co-varianza (ANCOVA), effettuata ponendo il peso (trasformato in logaritmo naturale) come variabile dipendente e la lunghezza (in cm) come variabile indipendente (variabile predittiva), mostra differenze significative tra i gruppi di esemplari delle due aree ($F_{1,181}=15.067$, $p<0.05$).

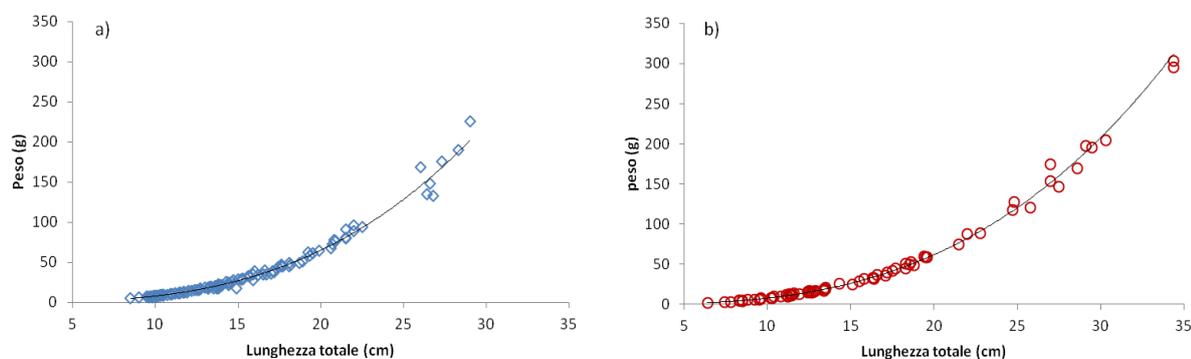


Figura 3.5.2: Relazione lunghezza-peso di *T. trachurus* nelle due aree di studio: a) Stretto di Sicilia ($y=0.007 X^{3.05}$) e b) Tirreno ($y=0.0082 X^{2.98}$).

- **Indici biologici**

Il Fattore di Condizione (CF), utilizzato per illustrare in maniera efficace la condizione corporea dei pesci esaminati e il loro stato nutrizionale, risulta nello Stretto di Sicilia mediamente di 1.03 ± 0.04 mentre nel Tirreno è in media pari 0.97 ± 0.05 , indicando uno stato nutrizionale superiore nell'area meridionale della Sicilia rispetto all'area tirrenica. L'ANCOVA effettuata sul fattore di condizione come variabile dipendente e la lunghezza come variabile predittiva, mostra delle differenze significative tra le aree ($F_{1,181}=5.85, p<0.05$).

La distribuzione degli stadi di maturità sessuale, effettuata sugli esemplari femminili di tracuro, mostra, in entrambe le aree, una prevalenza dello stadio di maturità III con percentuali simili (35% nello Stretto di Sicilia e oltre il 40% nel Tirreno) seguita dallo stadio di maturità IV (25% nello Stretto di Sicilia e 30% nel Tirreno), mentre gli esemplari appartenenti allo stadio di maturità II (individui immaturi) sono presenti in percentuali inferiori (25% nello Stretto di Sicilia e 20% nel Tirreno). Tale dato indica che gli esemplari sono in una fase attiva di riproduzione (deposizione imminente o deposizione in corso). I restanti stadi di maturità (stadio I, V e VI) sono presenti con un massimo di tre esemplari (Figura 3.5.3).

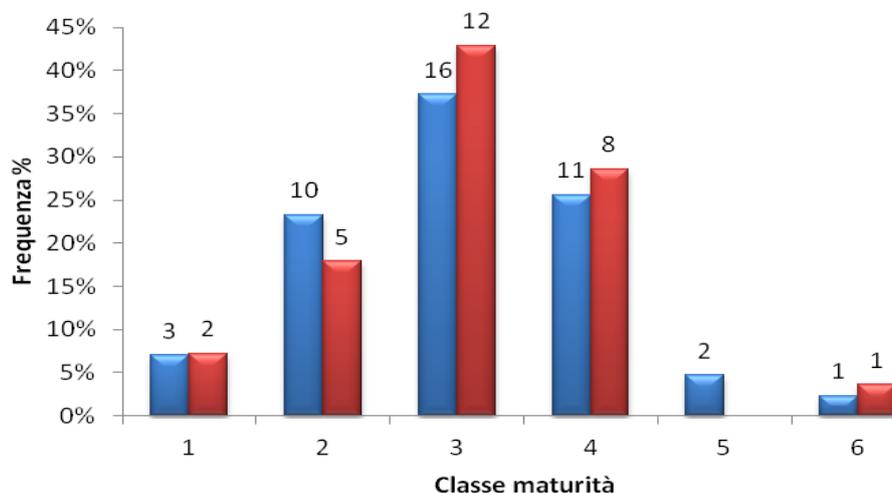


Figura 3.5.3: Distribuzione di maturità per la specie *T. trachurus* nelle due aree: in blu gli esemplari dello stretto di Sicilia (Ancheva); in rosso gli esemplari tirrenici (Evatir). Il numero di esemplari per ogni classe di maturità è riportato nel grafico.

L'indice gonadosomatico (GSI) per classe di lunghezza e per cala non è supportato da valori statisticamente significativi, pertanto tali valori non sono stati presentati. Ciò nonostante il valore medio di GSI nello Stretto di Sicilia è pari a 2.08 ± 1.72 mentre nel Tirreno è più elevato essendo pari a 3.45 ± 2.15 . Il valore medio tra le due aree risulta 2.60 ± 1.99 .

L'analisi della chiave lunghezza-età (Tabella 3.5.1 e 3.5.2) permette di presentare le percentuali di ogni classe di età per ogni classe di lunghezza rispettivamente nell'area dello Stretto di Sicilia e nel Mar Tirreno. Le differenze tra le aree riguardano la presenza di classi d'età maggiori nel Tirreno piuttosto che nello stretto di Sicilia, sebbene tali classi siano rappresentate da un numero ridotto di esemplari.

Dal confronto tra le aree risulta che le differenze non sono significative per nessuna classe di età, con limiti di confidenza sovrapponibili (Figura 3.5.4).

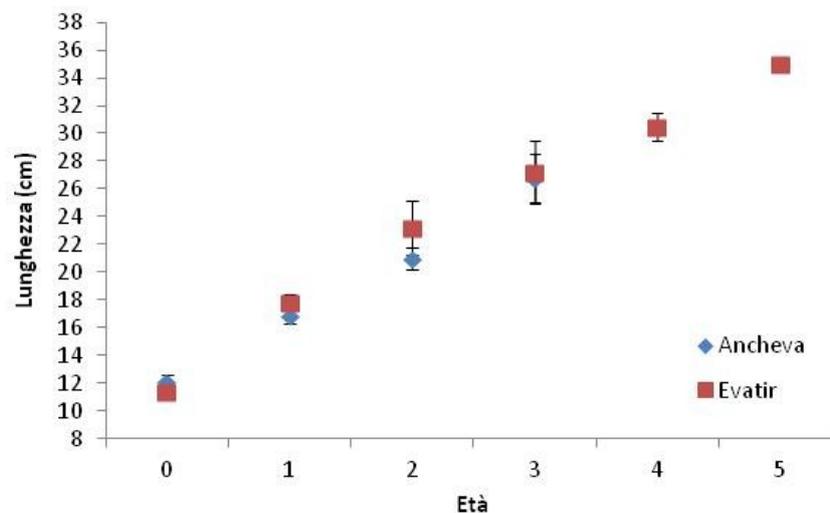


Figura 3.5.4: Lunghezza media per classe di età per la specie *T. trachurus*. Le barre di errore rappresentano il limite di confidenza della lunghezza media.

Nella tabella 3.5.3 sono inserite le percentuali per ogni classe di età nelle due aree di studio e si può notare che la classe di età maggiormente presente è la classe di età 0 con una progressiva diminuzione delle percentuali delle classi età superiori. Non si evidenziano tra le due aree differenze sostanziali nella struttura d'età, sebbene piccole differenze siano evidenti nelle percentuali delle classi di età 1 e 2.

Tabella 3.5.1: Tabella lunghezza-età per gli esemplari catturati nell'area dello SS.

Specie	<i>Trachurus trachurus</i>			
	Campagna Ancheva			
Classe lung./ Età	0	1	2	3
9	100%	-	-	-
10	100%	-	-	-
11	100%	-	-	-
12	93.33%	6.67%	-	-
13	100%	-	-	-
14	80.95%	19.05%	-	-
15	54.55%	45.45%	-	-
16	-	100%	-	-
17	-	100%	-	-
18	14.29%	85.71%	-	-
19	-	83.33%	16.67%	-
20	-	40.00%	60.00%	-
21	-	25.00%	50.00%	25.00%
22	-	40.00%	60.00%	-
23	-	-	100%	-
26	-	-	-	100%
27	-	-	-	100%
28	-	-	-	100%
29	-	-	-	100%

Tabella 3.5.2: Tabella lunghezza-età di *T. trachurus* nell'area del MT.

Specie	<i>Trachurus trachurus</i>					
	Campagna Ancheva					
Lung./ Età	0	1	2	3	4	5
7	100%	-	-	-	-	-
8	100%	-	-	-	-	-
9	100%	-	-	-	-	-
10	100%	-	-	-	-	-
11	100%	-	-	-	-	-
12	100%	-	-	-	-	-
13	100%	-	-	-	-	-
14	100%	-	-	-	-	-
15	100%	-	-	-	-	-
16	-	100%	-	-	-	-
17	-	100%	-	-	-	-
18	-	100%	-	-	-	-
19	-	100%	-	-	-	-
20	-	50.00%	50.00%	-	-	-
25	-	-	50.00%	50.00%	-	-
27	-	-	100%	-	-	-
30	-	-	-	50.00%	50.00%	-
35	-	-	-	-	-	100%

Tabella 3.5.3: Tabella cumulativa della percentuale per ogni classe di età di *T. trachurus* nelle due aree di studio.

Età/Campagna	Ancheva	Evatir
0	54.55%	55.41%
1	32.87%	22.97%
2	6.99%	10.81%
3	5.59%	5.41%
4	-	2.70%
5	-	2.70%

• **Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$)**

Complessivamente, il $\delta^{15}\text{N}$ nei muscoli di tracuro nelle due aree di studio è compreso tra 7.58‰ e 12.23‰. In particolare, nello Stretto di Sicilia i valori di $\delta^{15}\text{N}$ variano da 7.73‰ a 10.38‰ (media di 8.87‰ \pm 0.56) mentre nel Mar Tirreno variano da 7.60‰ a 12.20‰ (media di 9.37‰ \pm 1.16). I *range* di taglia sono piuttosto elevati essendo compresi tra 8 e 29cm nello stretto di Sicilia e tra 6 e 34cm nel Tirreno (Figura 3.5.5). Una relazione significativa è trovata tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza degli esemplari di tracuro in entrambe le aree. Tale relazione è più alta nel canale di Sicilia ($r^2=0.58$; $r=0.76$) che nel Tirreno ($r^2=0.33$; $r=0.57$).

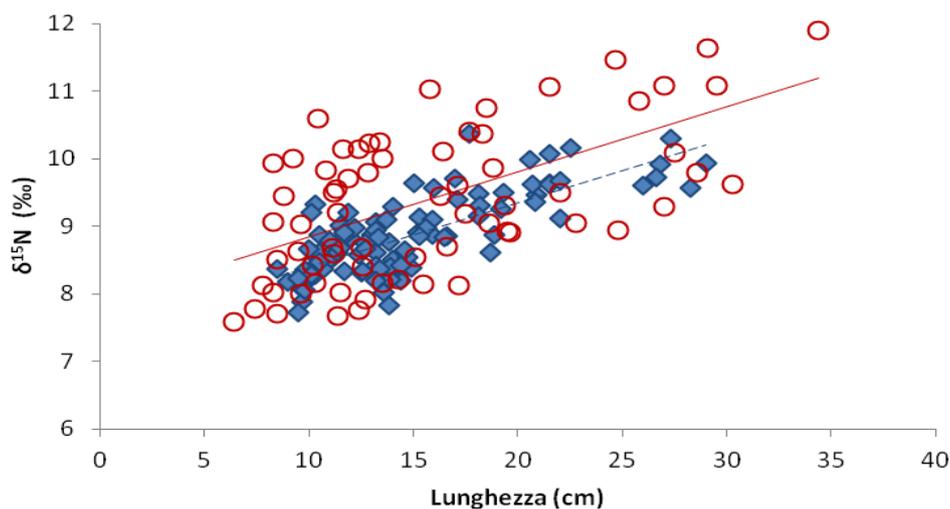


Figura 3.5.5: Relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza (cm) di *T. trachurus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno). La linea blu tratteggiata identifica la relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza degli esemplari nello stretto di Sicilia mentre la linea rossa identifica la relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza degli esemplari tirrenici.

I valori del $\delta^{15}\text{N}$ nelle varie cale mostrano un'elevata variabilità e risultano significativamente differenti tra loro (test non parametrico di Kruskal-Wallis; $KW_{(31,175)}=126.45$; $p<0.001$) (Figura 3.5.6).

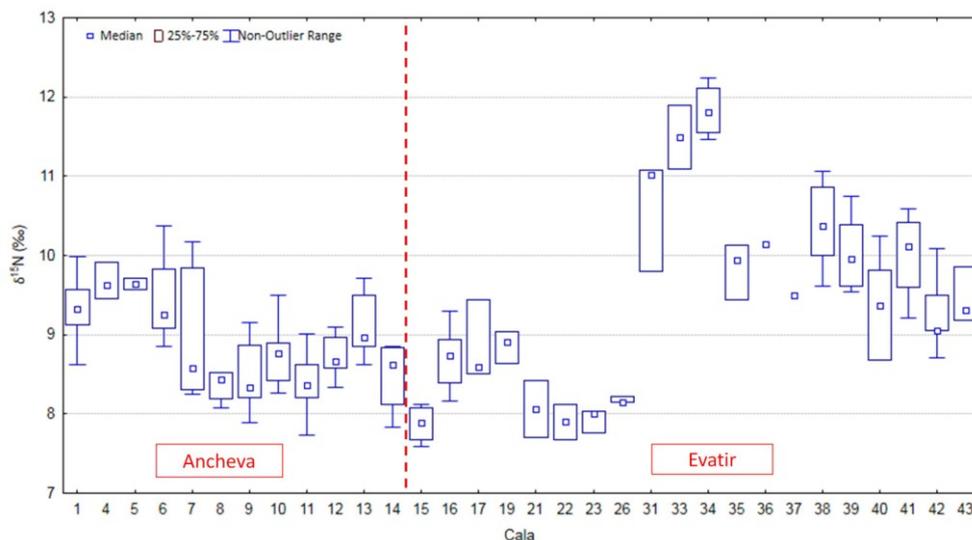


Figura 3.5.6: Variazione del $\delta^{15}\text{N}$ di *T. trachurus* nelle pescate effettuate.

Nelle due aree di studio, i valori del $\delta^{13}\text{C}$ nei muscoli di tracuro sono compresi tra -21.94‰ e -15.09‰ (Figura 3.5.7). In particolare, nello Stretto di Sicilia i valori risultano compresi tra -20.70‰ e -15.90‰ (media di $-18.53\text{‰} \pm 0.80$) mentre nel Mar Tirreno tra -21.90‰ e -15.10‰ (media di $-18.62\text{‰} \pm 1.33$).

La relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la taglia degli esemplari risulta più elevata nell'area dello Stretto di Sicilia ($r^2=0.54$; $r=0.73$) rispetto all'area tirrenica ($r^2=0.21$; $r=0.46$).

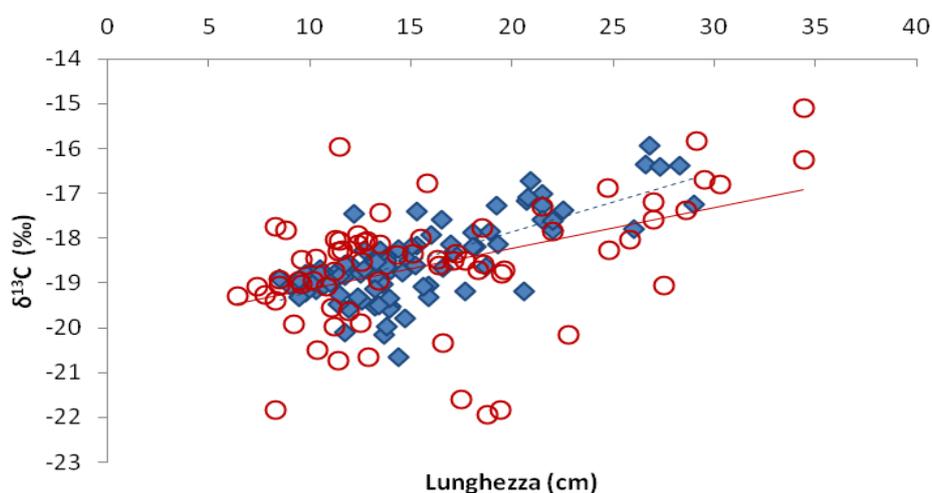


Figura 3.5.7: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza (cm) di *T. trachurus* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno). La linea blu tratteggiata identifica la relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza degli esemplari nello stretto di Sicilia mentre la linea rossa identifica la relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza degli esemplari tirrenici.

Differenze significative di $\delta^{13}\text{C}$ sono presenti tra le cale (KW=122.95, $P<0.001$). I valori di $\delta^{13}\text{C}$ oscillano tra i -19‰ e i -16‰ nella maggior parte delle cale mentre subiscono un brusco impoverimento nelle cale più a nord dell'area tirrenica (Figura 3.5.8).

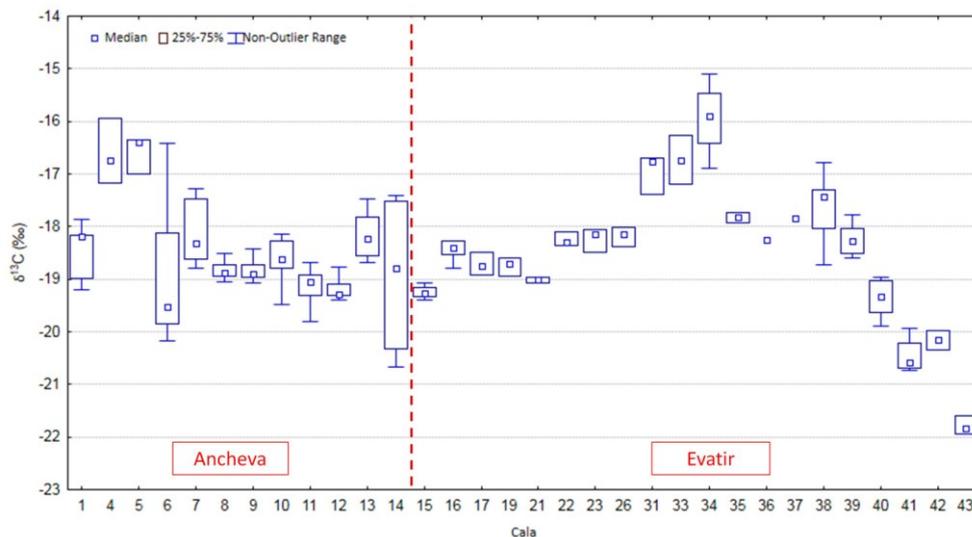


Figura 3.5.8: Variazione del $\delta^{13}\text{C}$ di *T. trachurus* tra le cale.

La relazione tra i valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ nelle due aree di studio mostra che alcuni esemplari presentano più alti valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ nell'area tirrenica rispetto allo stretto di Sicilia (Figura 3.5.9).

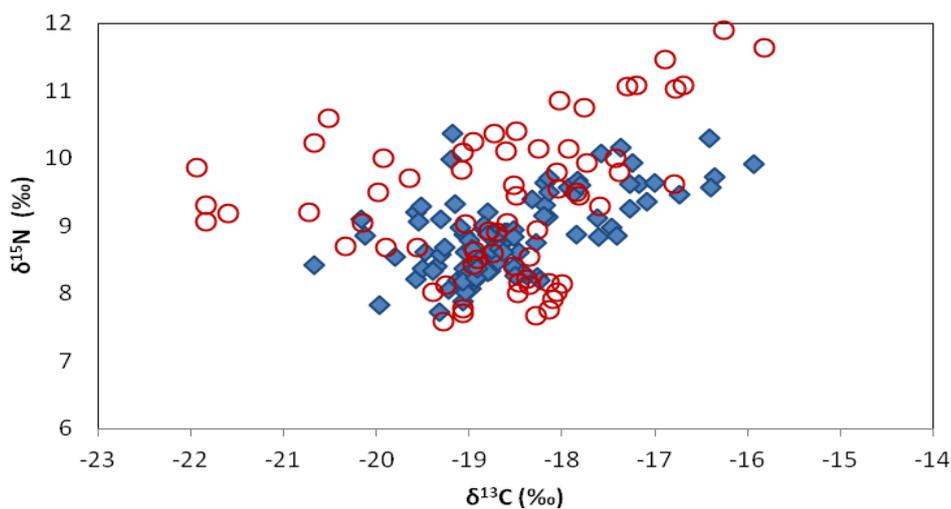


Figura 3.5.9: Relazione tra $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ di *T. trachurus* nelle due aree di studio. Rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

3.6 MERLUZZO (*Merluccius merluccius*)

La distribuzione di frequenza della lunghezza nel merluzzo mostra una distribuzione unimodale in entrambe le aree abbastanza sovrapponibile, con moda a 17 cm nell'area meridionale della Sicilia e 16 cm nel Tirreno (Figura 3.6.1).

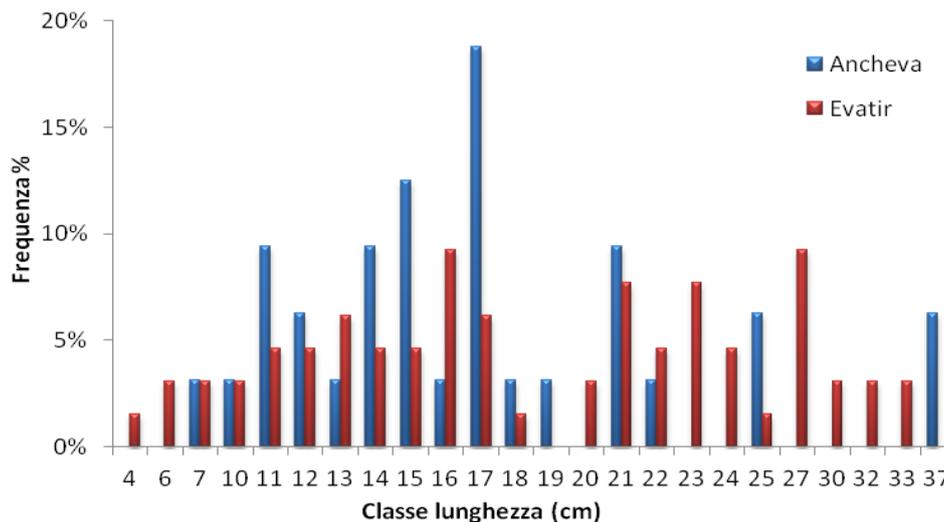


Figura 3.6.1: Distribuzione di frequenza della lunghezza di *M. merluccius* nelle due aree di studio: Stretto di Sicilia (Ancheva) e mar Tirreno (Evatir).

Il range di taglia per il merluzzo varia da 7.2 a 37.5 cm nello stretto di Sicilia mentre varia da 4.4 a 33.9 cm nel Tirreno (Figura 3.6.2). Il coefficiente di determinazione (r^2) è pari a 0.99 in entrambe le aree indicando una buona relazione tra le variabili considerate. Il coefficiente allometrico varia da 3.14 nel Tirreno a 3.24 nel Canale di Sicilia, mostrando una crescita di tipo allometrico positivo in entrambe le aree. L'ANCOVA effettuata sul logaritmo del peso come variabile dipendente e la lunghezza come variabile predittiva non ha mostrato differenze significative ($F_{1,87}=0.207$, $p>0.1$) fra le due aree.

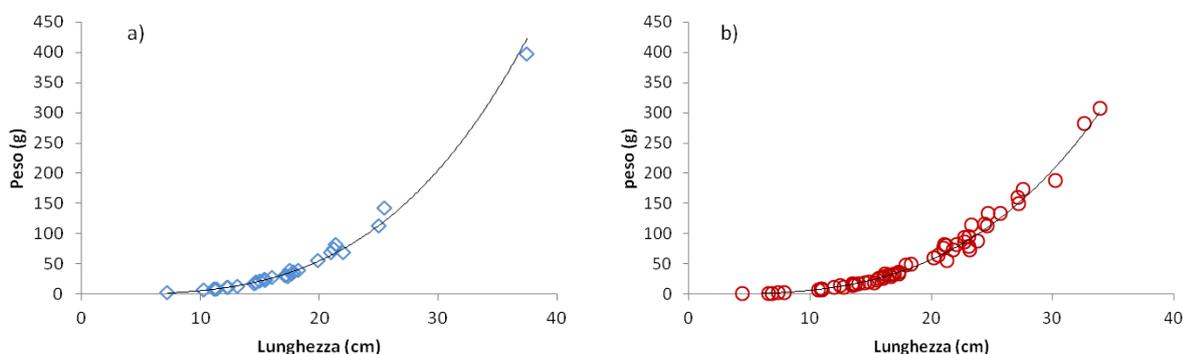


Figura 3.6.2: Relazione lunghezza-peso del *M. merluccius* nelle due aree di studio: a) Stretto di Sicilia ($y=0.0033 X^{3.24}$) e b) Tirreno ($y=0.0046 X^{3.15}$)

- **Indici biologici**

Il fattore di condizione (CF) per il merluzzo risulta in media di 1.00 ± 0.14 , mentre analizzando separatamente le due aree il CF risulta di 0.96 ± 0.08 nello Stretto di Sicilia e 1.03 ± 0.15 nel Tirreno. La distribuzione degli stadi di maturità sessuale, effettuata sulle femmine di merluzzo risulta simile in entrambe le aree (figura 3.6.3) mostrando una prevalenza della classe di maturità II (immaturi) (80%). Pochi esemplari sono stati ritrovati appartenenti alle classi di maturità I, III e V nel Tirreno e un solo esemplare della classe di maturità III è stato ritrovato nello Stretto di Sicilia. In quest'ultima area non sono stati ritrovati esemplari appartenenti ad altre classi di maturità.

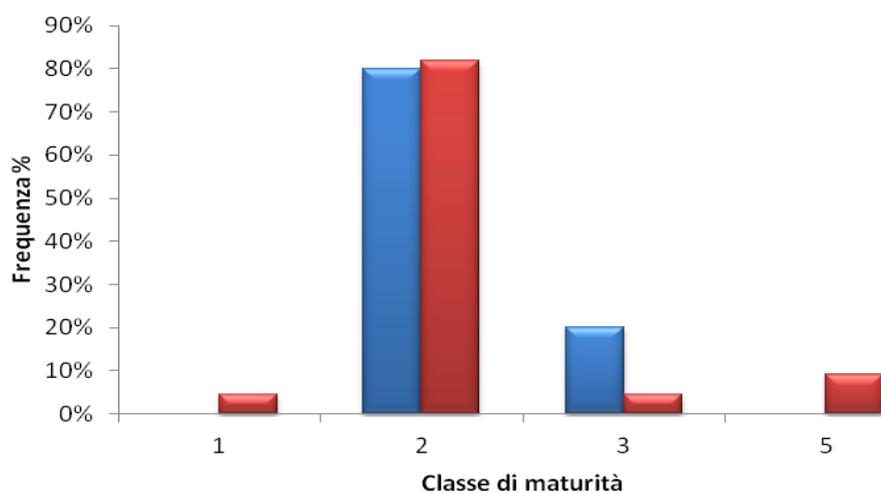


Figura 3.6.3: Distribuzione di maturità per la specie *M. merluccius* nelle due aree: in blu gli esemplari dell'area dello stretto di Sicilia (Ancheva); in rosso gli esemplari tirrenici (Evatir).

A causa del numero ridotto di esemplari non è stato possibile effettuare l'approfondimento attraverso l'indice gonadosomatico per valutare se le differenze tra le aree risultassero significative.

- **Isotopi stabili di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$)**

In entrambe le aree campionate, i valori del $\delta^{15}\text{N}$ nei muscoli dei merluzzi sono compresi tra 7.24‰ e 11.78‰. Nello Stretto di Sicilia i valori di $\delta^{15}\text{N}$ variano da 7.24‰ a 9.76‰ (media di 8.38‰ \pm 0.53) mentre nel Tirreno da 7.99‰ a 11.78‰ (media di 9.80‰ \pm 0.88). I *range* di taglia sono piuttosto ampi essendo compresi tra 7 e 37cm nello stretto di Sicilia e tra 4 e 33cm nel Tirreno (Figura 3.6.4).

La relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la taglia degli esemplari non risulta significativa nell'area tirrenica ($r^2=0.0007$; $r=0.03$) mentre appare significativa nello Stretto di Sicilia ($r^2=0.55$; $r=0.74$).

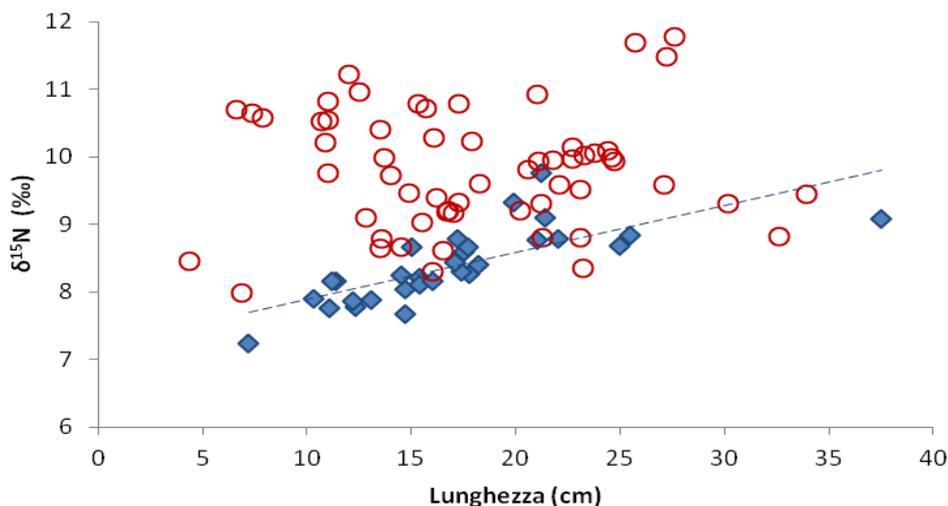


Figura 3.6.4: Relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza (cm) di *M. merluccius* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno). La linea blu tratteggiata identifica la relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza nello stretto di Sicilia. Nel tirreno la retta di regressione non è mostrata in quanto la relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza non risulta significativa.

Il test non parametrico di Kruskal-Wallis mostra delle differenze significative tra i valori di $\delta^{15}\text{N}$ nelle cale effettuate (KW=76.73, $P<0.001$). In particolare, valori più bassi di $\delta^{15}\text{N}$ ed una più bassa variabilità del segnale sono presenti nelle cale effettuate nell'area dello stretto di Sicilia ($8.38\text{‰} \pm 0.53$), mentre valori più elevati ed una più alta variabilità sono evidenti nell'area tirrenica ($9.80\text{‰} \pm 0.88$) (Figura 3.6.5).

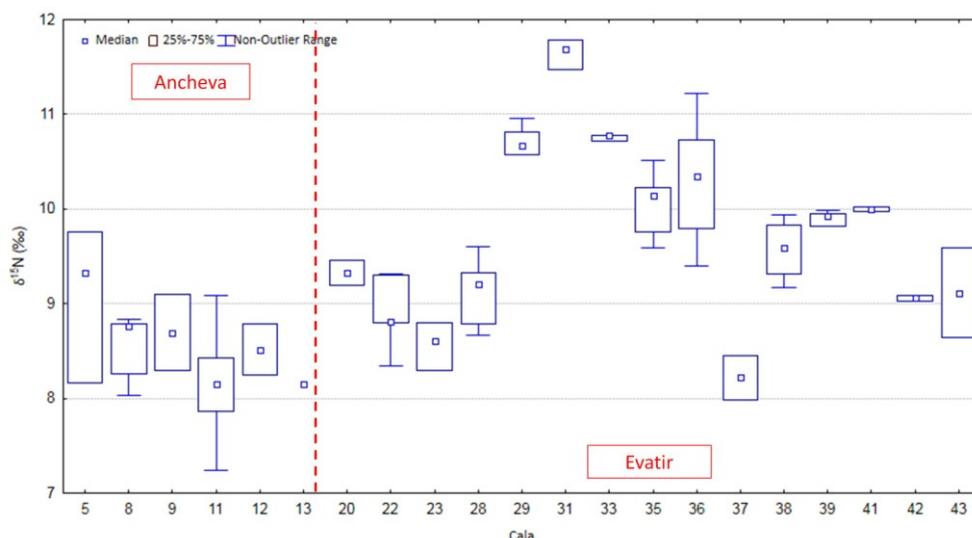


Figura 3.6.5: Variazione del $\delta^{15}\text{N}$ nei muscoli di *Merluccius merluccius* nelle diverse pescate effettuate.

I valori del $\delta^{13}\text{C}$ nei muscoli di merluzzo sono compresi tra -18.76‰ e -16.39‰ (Figura 3.6.6). In particolare, l'intervallo di valori del $\delta^{13}\text{C}$ nel Tirreno è più elevato (valori compresi tra $-18,76\text{‰}$ e $-16,39\text{‰}$; media di $-17.22\text{‰} \pm 0.64$) rispetto allo Stretto di Sicilia (valori compresi tra $-18,48\text{‰}$ e $-17,53\text{‰}$; media di $-17.98\text{‰} \pm 0.53$).

Sia nel Canale di Sicilia che nel Tirreno sussiste una relazione lineare crescente con la lunghezza degli esemplari che, anche in questo caso è significativa soltanto nello Stretto di Sicilia (stretto di Sicilia: $r^2=0.69$, $r=0.83$; Tirreno: $r^2=0.24$, $r=0.49$).

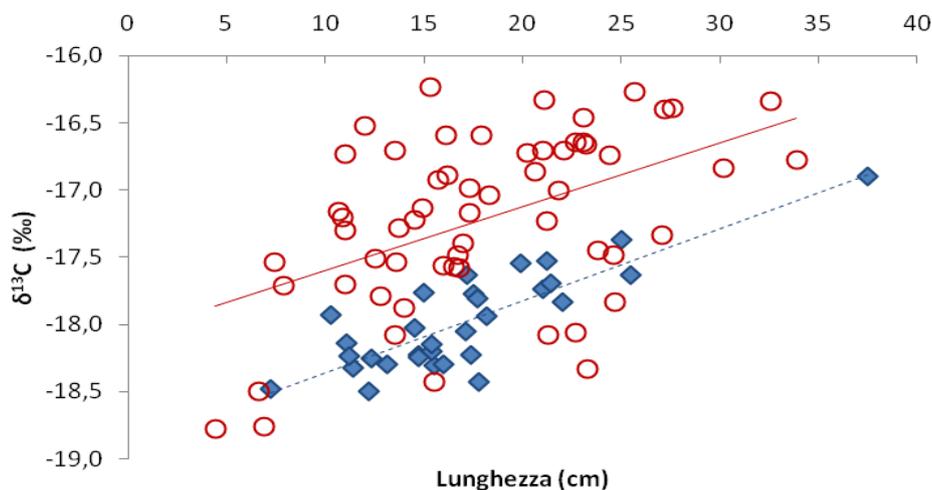


Figura 3.6.6: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza (cm) per *M. merluccius* nelle due aree di studio: rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno). La linea blu tratteggiata identifica la relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza degli esemplari nello stretto di Sicilia mentre la linea rossa identifica la relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e la lunghezza degli esemplari tirrenici.

Tra tutte le cale effettuate, la distribuzione del $\delta^{13}\text{C}$ nei muscoli di merluzzo mostra differenze significative ($KW=68.51$, $p<0.001$) (Figura 3.6.7). In particolare, il trend appare piuttosto costante nell'area dello Stretto di Sicilia mentre i valori presentano una variabilità maggiore nel Tirreno, con un arricchimento del segnale isotopico nelle cale più a sud seguito da un impoverimento nelle cale poste più a nord.

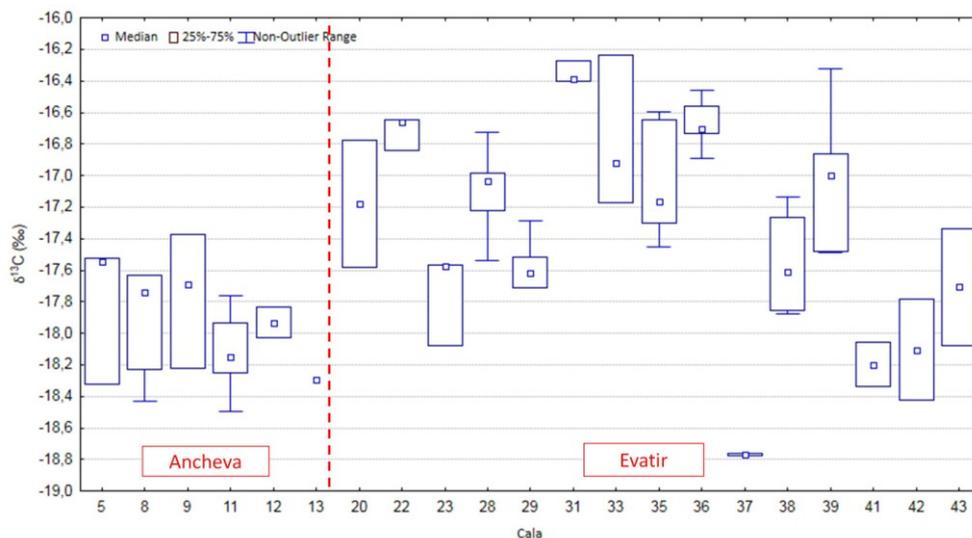


Figura 3.6.7: Variazione dei valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ nei muscoli di *Merluccius merluccius* nelle diverse cale effettuate.

Considerando tutti gli esemplari di merluzzo campionati nelle due aree, la relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ ed il $\delta^{13}\text{C}$ mostra una distribuzione dei valori piuttosto dispersa soprattutto nell'area tirrenica. Infatti, mentre nello stretto di Sicilia i valori isotopici di azoto e carbonio sembrano avere un andamento lineare (con valori dell'azoto meno variabili rispetto a quelli del carbonio), nell'area tirrenica entrambi i valori isotopici mostrano un'elevata variabilità (Figura 3.6.8).

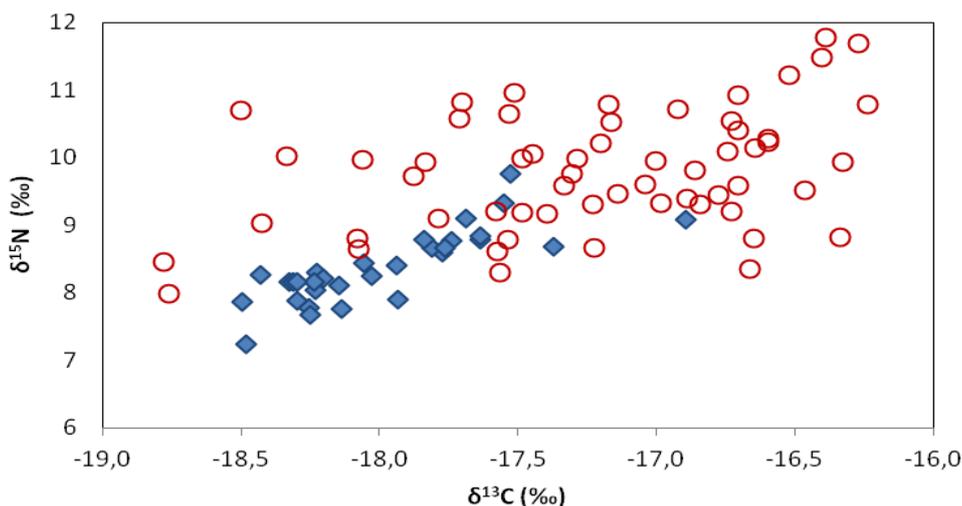


Figura 3.6.8: Relazione tra il $\delta^{13}\text{C}$ e il $\delta^{15}\text{N}$ per la specie *M. merluccius* nelle due aree di studio. Rombi blu indicano la campagna Ancheva (Stretto di Sicilia) mentre cerchi rossi indicano la campagna Evatir (Mar Tirreno).

3.7 VARIABILITÀ DEI SEGNALI ISOTOPICI DI AZOTO E CARBONIO RISPETTO A DIVERSE AREE GEOGRAFICHE

Dal momento che l'area di studio si estende in un ampio settore del Mediterraneo centrale, una prima analisi si è basata sulla definizione delle diverse caratteristiche topografiche e idrologiche delle aree di studio (Sezione 1.3). In seguito, in relazione alle caratteristiche fisiche individuate (per es. estensione della piattaforma continentale, principali caratteristiche della circolazione delle masse d'acqua, presenza/assenza di fiumi e di grandi centri urbani lungo la costa) e alle principali variazioni dei segnali isotopici nelle specie ittiche rispetto alle aree di campionamento (Figura 3.7.1), è stato possibile individuare sette sub-aree (Figura 3.7.2):

- Canale di Sicilia (cale da 1 a 14)
- Nord Sicilia (cale da 15 a 20)
- Calabria (cale da 21 a 24)
- Sud Campania (cale da 25 a 28)
- Gaeta (cale 29-34)
- Sud Elba (cale da 35 a 39)
- Nord Elba (cale 40-43)

Ecologia trofica di comunità pelagiche in due aree del Mediterraneo: STRETTO DI SICILIA e MAR TIRRENO.

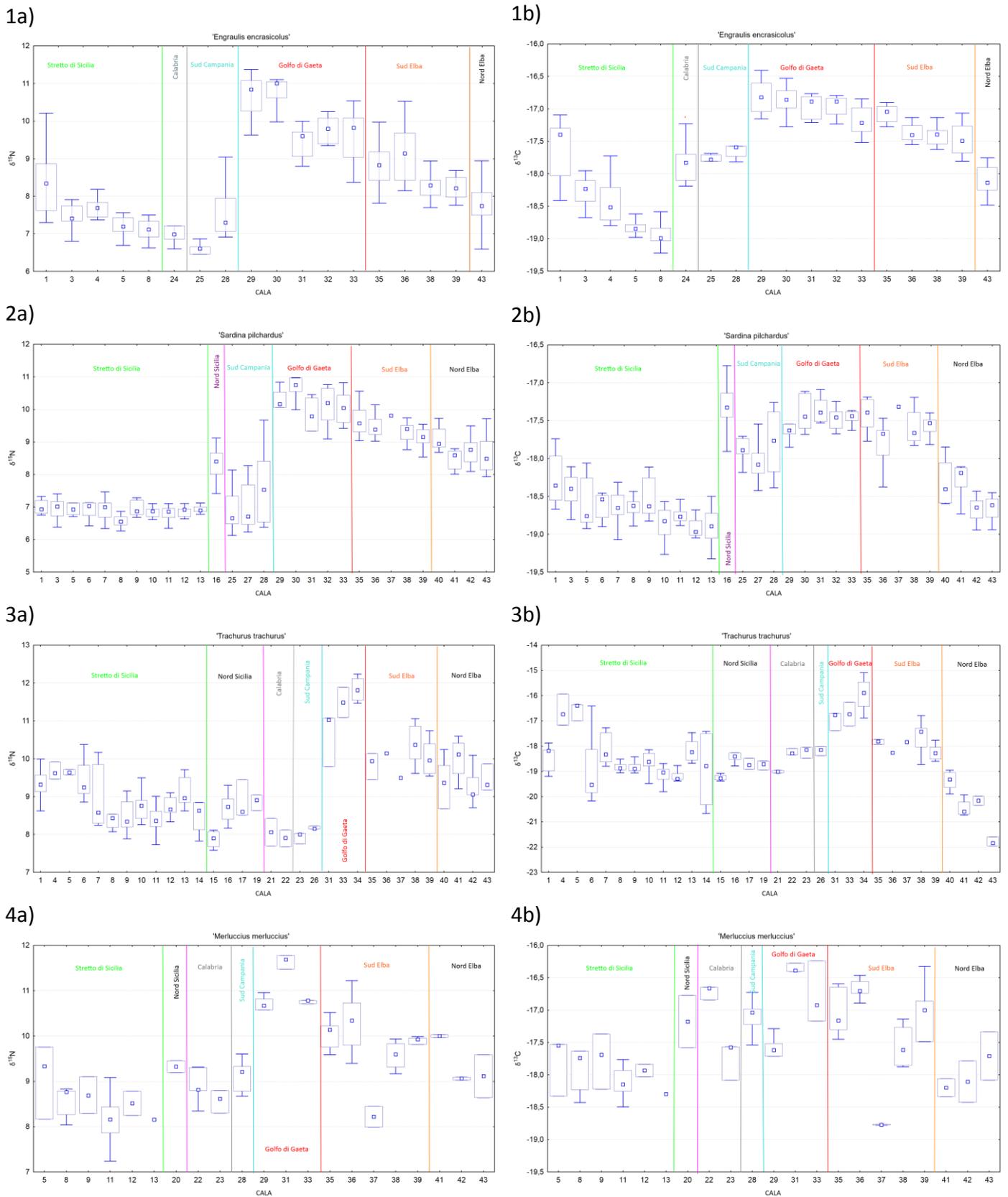


Figura 3.7.1: Segnali isotopici di azoto (a) e carbonio (b) nelle varie sub-aree per: 1) *Engraulis encrasicolus*, 2) *Sardina pilchardus*, 3) *Trachurus trachurus*, 4) *Merluccius merluccius*.

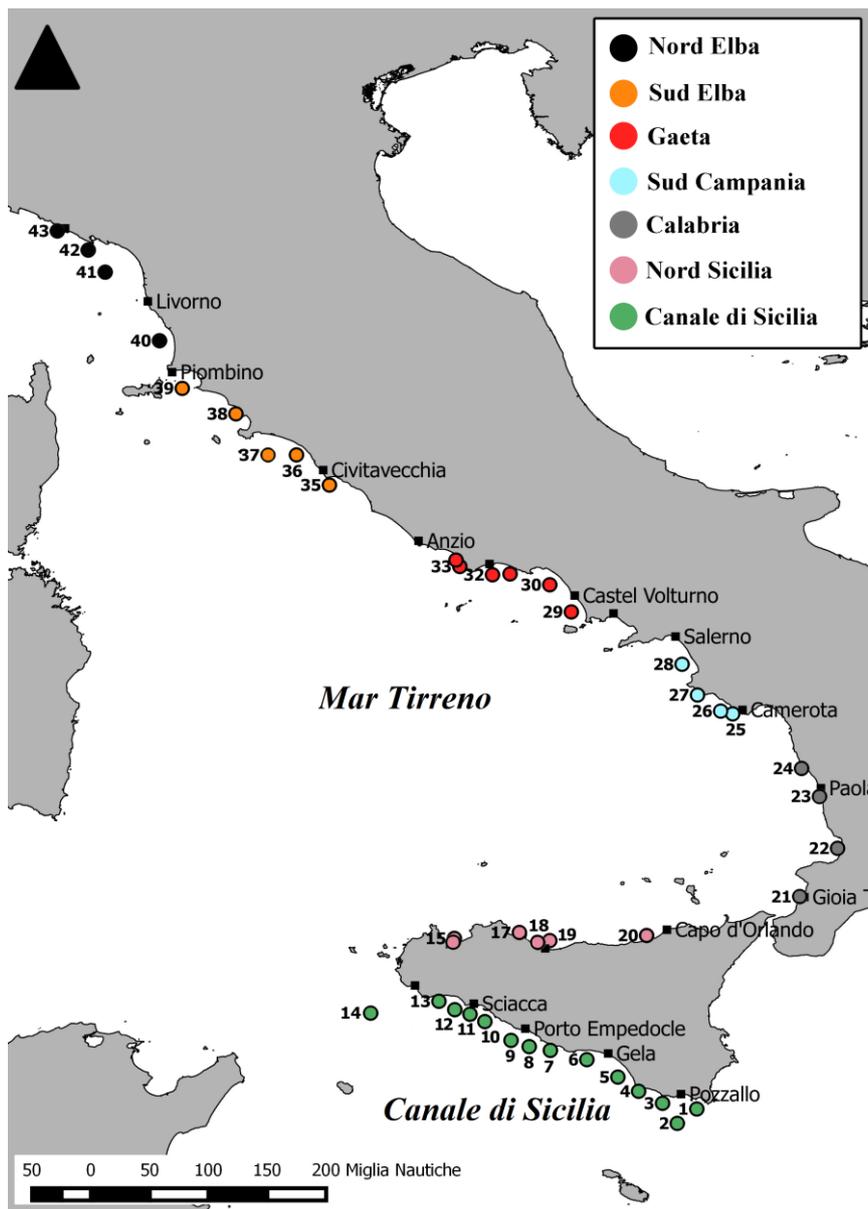


Figura 3.7.2: Suddivisione in sub-aree sulla base del segnale isotopico di azoto e carbonio e della distinzione geografica delle aree.

In particolare, per acciughe (*Engraulis encrasicolus*) e sardine (*Sardina pilchardus*) i confronti sono stati eseguiti utilizzando: a) cale comuni (ossia cale in cui fossero presenti entrambe le specie); b) restrizioni sull'intervallo di taglia (considerando solo gli esemplari con lunghezze che fossero rappresentative in tutte le sub-aree). Per le acciughe l'intervallo di taglia considerato è compreso tra 11 e 12.5 cm, mentre per la sardina tra 12.5 e 13.5 cm. Per merluzzi (*Merluccius merluccius*) e tracuri (*Trachurus trachurus*), le specie sono state analizzate separatamente tenendo in considerazione quelle cale in cui ci fosse un numero sufficiente di individui.

• **Acciuga (*Engraulis encrasicolus*) e Sardina (*Sardina pilchardus*)**

Tra le sub-aree il fattore di condizione (CF) mostra differenze significative per acciuga (ANOVA; $F=3.55$, $p<0.01$; Figura 3.7.3a) ma non per sardina (Figura 3.7.3b).

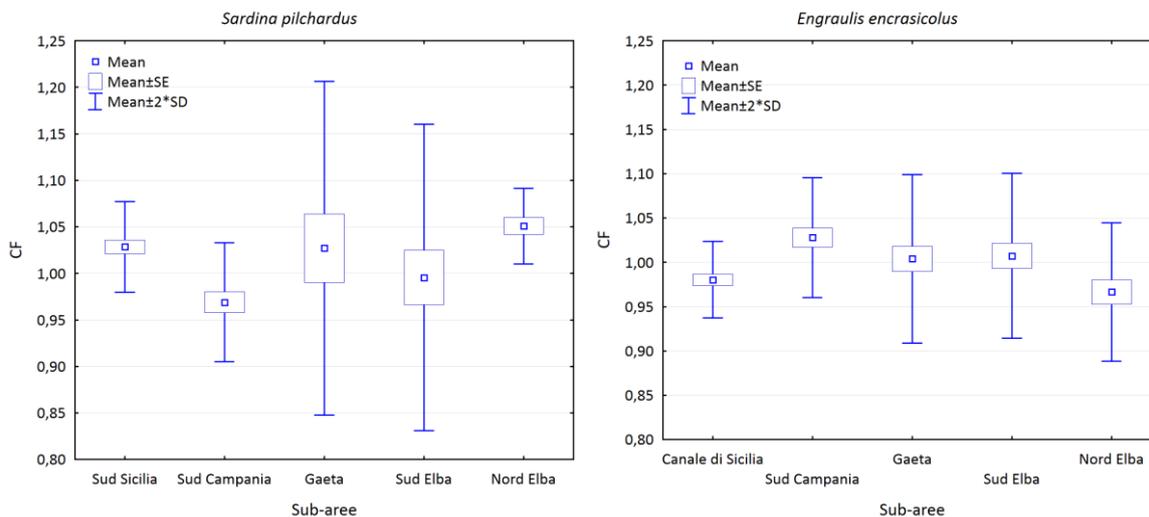


Figura 3.7.3: Box-plot del fattore di condizione (CF) nelle diverse sub-aree per: a) *E. encrasicolus*; b) *S. pilchardus*.

Tuttavia l'unica differenza significativa del fattore di condizione nelle sub-aree per acciuga è quella tra Sud Campania e nord Elba (Tabella 3.7.1).

Tabella 3.7.1: Tukey *post-hoc* test tra il fattore di condizione (CF) e le sub-aree per la specie *Engraulis encrasicolus*. I valori in rosso identificano la significatività del test.

Sub-area	Stretto di Sicilia	Sud Campania	Gaeta	Sud Elba	Nord Elba
Stretto di Sicilia		0.06	0.62	0.49	0.94
Sud Campania	0.06		0.63	0.75	0.01
Gaeta	0.62	0.63		1.00	0.25
Sud Elba	0.49	0.75	1.00		0.18
Nord Elba	0.94	0.01	0.25	0.18	

Anche l'indice gonadosomatico (GSI) mostra delle differenze significative tra le sub-aree per le acciughe (l'ANOVA $F=12.38$, $p<0.01$) mentre non appare per le sardine (Figura 3.7.4).

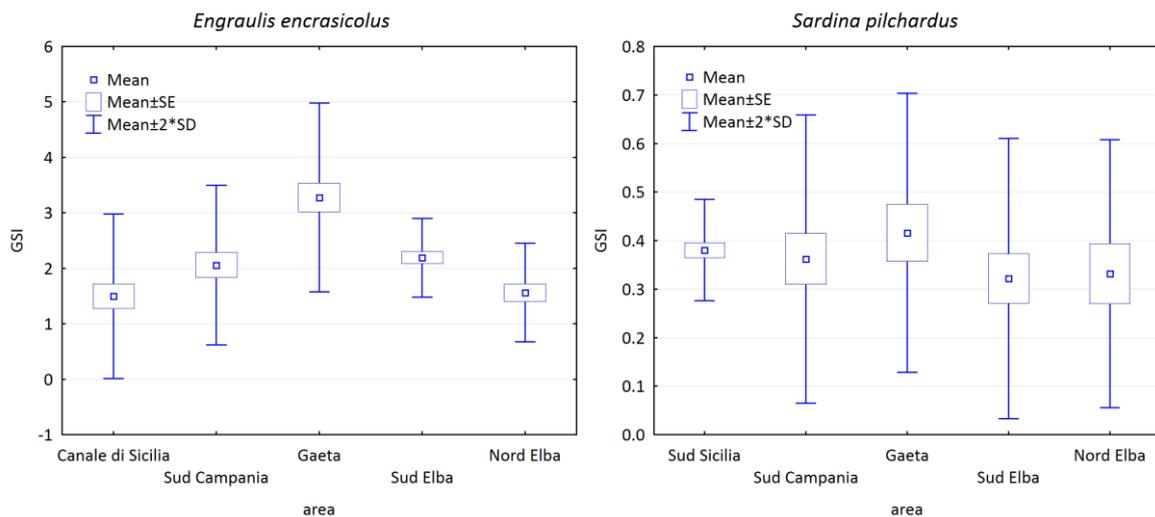


Figura 3.7.4: Box-plot dell'indice gonadosomatico (GSI) nelle sub-aree per: a) *E. encrasicolus* e b) *S. pilchardus*.

Tuttavia differenze significative nel GSI delle acciughe sono trovate solo tra la sub-area Golfo di Gaeta e tutte le altre sub-aree (Tabella 3.7.2).

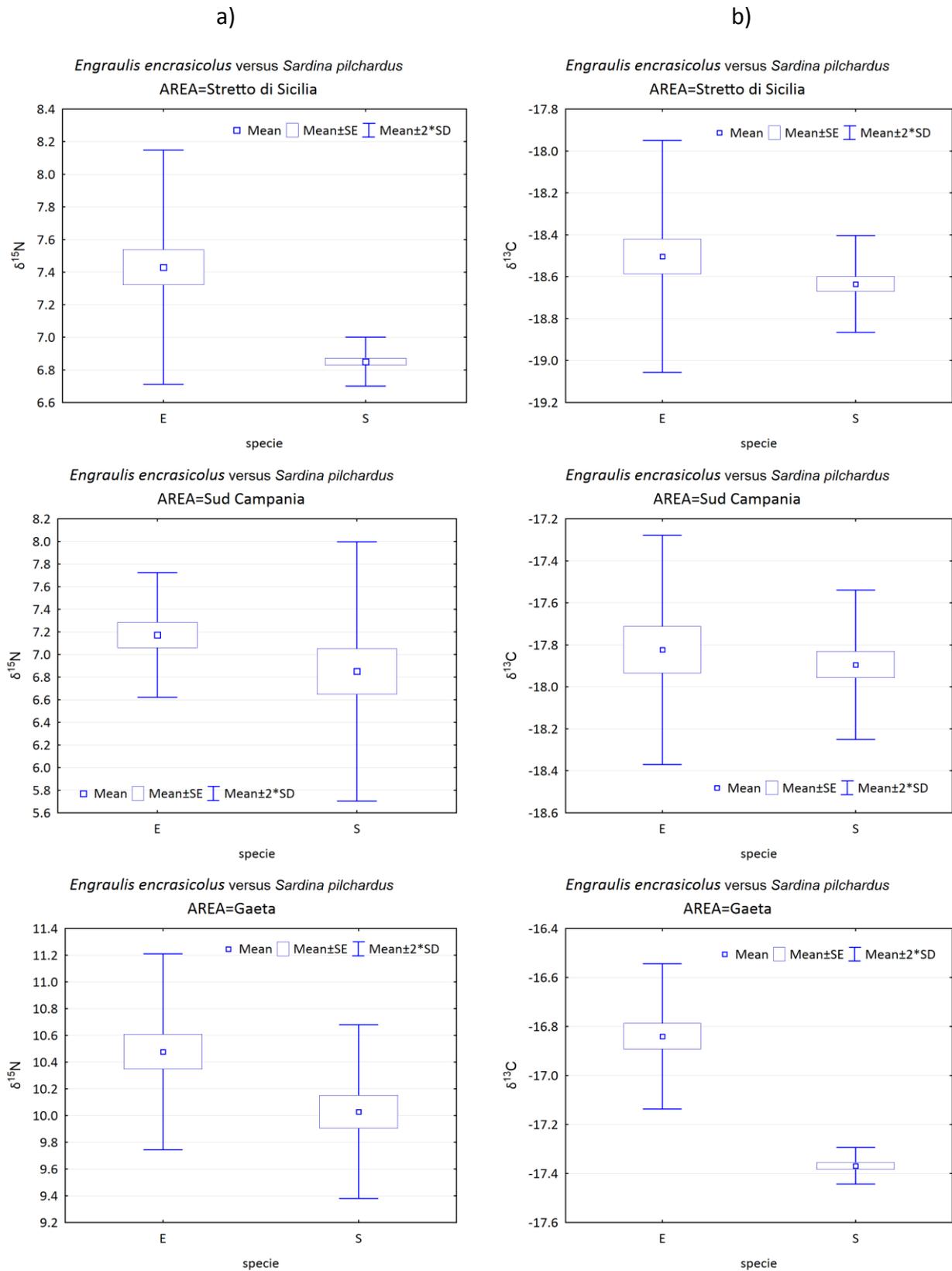
Tabella 3.7.2: Tukey post-hoc test tra il GSI e la variabile area per la specie *Engraulis encrasicolus*. I valori in rosso identificano la significatività del test.

Sub-area	Stretto di Sicilia	Sud Campania	Gaeta	Sud Elba	Nord Elba
Stretto di Sicilia		0.31	<0.01	0.12	1.00
Sud Campania	0.31		<0.01	0.99	0.52
Gaeta	<0.01	<0.01		<0.01	<0.01
Sud Elba	0.12	0.99	<0.01		0.26
Nord Elba	1.00	0.52	<0.01	0.26	

Per quanto riguarda i segnali isotopici di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) un primo confronto è stato fatto paragonando i valori delle due specie in ogni sub-area.

Da tale confronto appare che nello Stretto di Sicilia le acciughe e le sardine sono significativamente differenti in termini di $\delta^{15}\text{N}$ ($t_{\text{value}}=5.23$, $p<0.01$) ma non in termini di $\delta^{13}\text{C}$ ($t_{\text{value}}=1.46$, $p=0.16$). Nel sud della Campania nessuna differenza significativa sussiste né per il $\delta^{15}\text{N}$ ($t_{\text{value}}=1.26$, $p=0.22$) né per il $\delta^{13}\text{C}$ ($t_{\text{value}}=0.59$, $p=0.56$). Per il Golfo di Gaeta, il sud d'Elba e il nord d'Elba differenze significative sono trovate sia in termini di $\delta^{15}\text{N}$ (Golfo di Gaeta: $t_{\text{value}}=2.48$, $p<0.05$; Sud Elba: $t_{\text{value}}=-6.36$, $p<0.01$; Nord Elba $t_{\text{value}}=-3.42$, $p<0.01$) che in termini di $\delta^{13}\text{C}$ (Golfo di Gaeta: $t_{\text{value}}=9.14$, $p<0.01$; Sud Elba: $t_{\text{value}}=2.54$, $p<0.05$ Nord Elba $t_{\text{value}}=6.73$, $p<0.01$).

Nessuna differenza si rivela né in termini di $\delta^{15}\text{N}$ ($t_{\text{value}}=1.26$, $p=0.22$) né in termini di $\delta^{13}\text{C}$ ($t_{\text{value}}=0.59$, $p=0.56$) nell'area a sud della Campania (Figura 3.7.5).



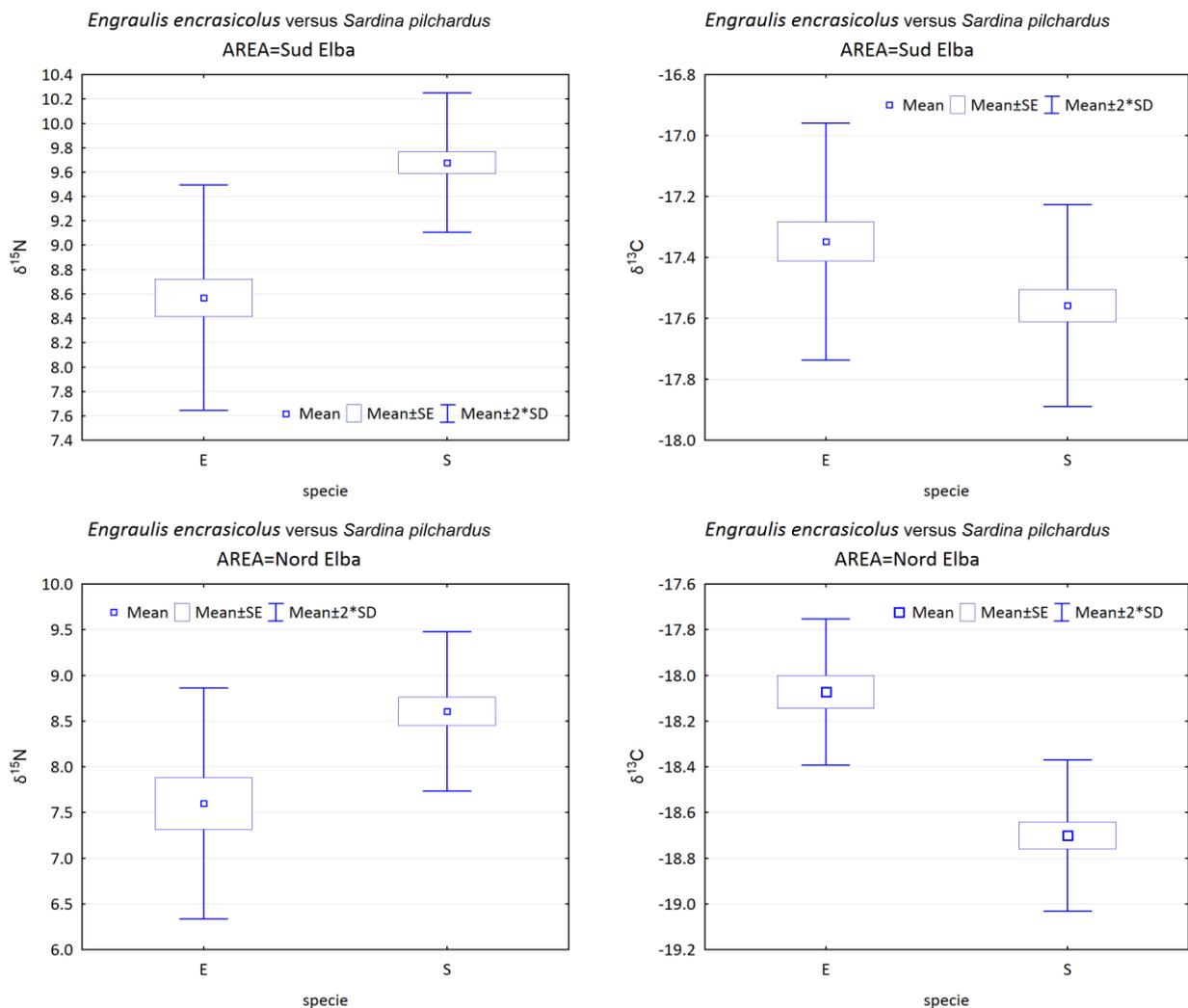


Figura 3.7.5: Box-plot del segnale isotopico: a) dell'azoto e b) del carbonio per le specie *E. encrasicolus* e *S. pilchardus* nelle varie sub-aree analizzate.

Successivamente, i segnali isotopici dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) di sardine e acciughe sono stati confrontati complessivamente rispetto a tutte le sub-aree (Figura 3.7.6). Una prima analisi dei dati (*test di Levene*) è stata effettuata per accertare l'omogeneità delle varianze nei segnali isotopici e poter successivamente applicare il test ANOVA.

Per le acciughe il test non ha mostrato una differenza significativa nell'omogeneità delle varianze per nessuno dei due valori isotopici nelle diverse sub-aree ($\delta^{15}\text{N}$: $F=0.96$, $p=0.44$; $\delta^{13}\text{C}$: $F=1.33$, $p=0.28$). Diversamente per le sardine il *test di Levene* ha mostrato differenze significative nell'omogeneità delle varianze per entrambi i rapporti isotopici ($\delta^{15}\text{N}$: $F=6.33$, $p<0.01$ e $\delta^{13}\text{C}$: $F=3.21$, $p<0.01$). Tuttavia piccole deviazioni in termini di omogeneità delle varianze non inficiano

necessariamente i test ANOVA soprattutto nei casi ben bilanciati (numero di osservazioni simili in ciascuno dei gruppi considerati).

L'ANOVA applicata sui valori isotopici di azoto e carbonio per entrambe le specie evidenzia differenze significative fra le varie sub-aree (Acciughe: $\delta^{15}\text{N}$ F=81.86, $p<0.01$ e $\delta^{13}\text{C}$ F=74.4, $p<0.01$; Sardine: $\delta^{15}\text{N}$ F=155.33, $p<0.01$ e $\delta^{13}\text{C}$ F=3.21, $p<0.01$).

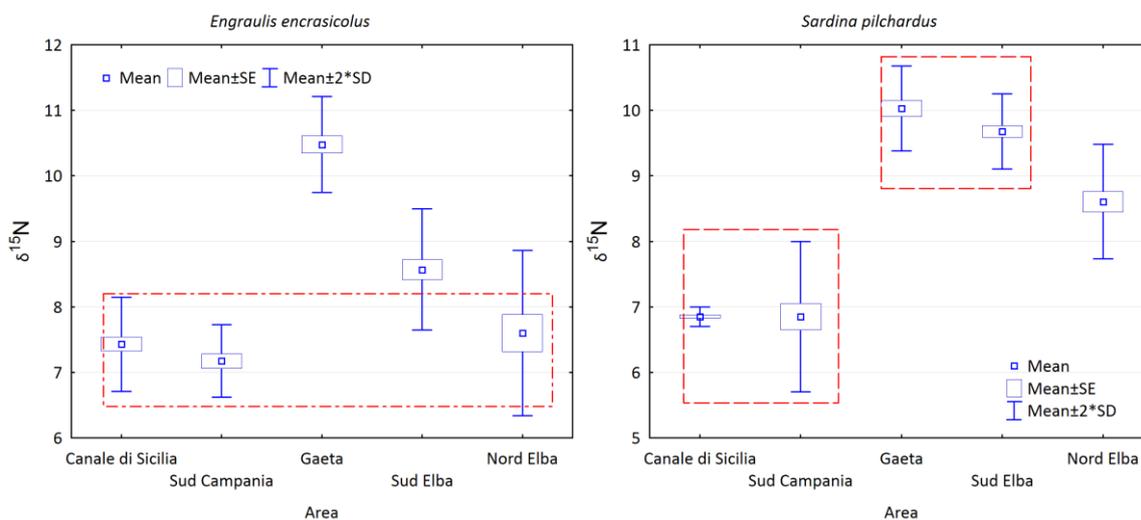


Figura 3.7.6: Segnale isotopico dell'azoto ($\delta^{15}\text{N}$) nelle sub-aree per: a) *E. encrasicolus*. b) *S. pilchardus*

Per entrambe le specie il Tukey *post-hoc* test ha permesso di valutare se e/o tra quali sub-aree ci fossero segnali isotopici di azoto e carbonio significativamente differenti.

Per il $\delta^{15}\text{N}$ dell'acciuga il test non mostra differenze significative nelle aree del Sud Campania, Stretto di Sicilia e Nord Elba, mentre nel sud Elba e nell'area di Gaeta i valori di $\delta^{15}\text{N}$ sono differenti tra loro e da tutte le altre aree (Figura 3.7.6 a). Al contrario il $\delta^{15}\text{N}$ della sardina è significativamente differente tra l'area del Nord Elba e tra tutte le altre aree, mentre nessuna differenza significativa è presente tra Sud Campania e Stretto di Sicilia e tra Sud Elba e Golfo di Gaeta (Figura 3.7.6 b).

Per il $\delta^{13}\text{C}$ il test evidenzia che, mentre per le acciughe i valori sono significativamente differenti tra ogni sub-area (escluso il nord Elba che non è significativamente differente dal Sud Campania; Figura 3.7.7a), per le sardine i valori di $\delta^{13}\text{C}$ non presentano differenze significative tra Stretto di Sicilia ed il nord Elba e tra il Sud dell'Elba ed il golfo di Gaeta, mentre differenze significative sono trovate tra Sud Campania e tutte le altre aree (Figura 3.7.7b).

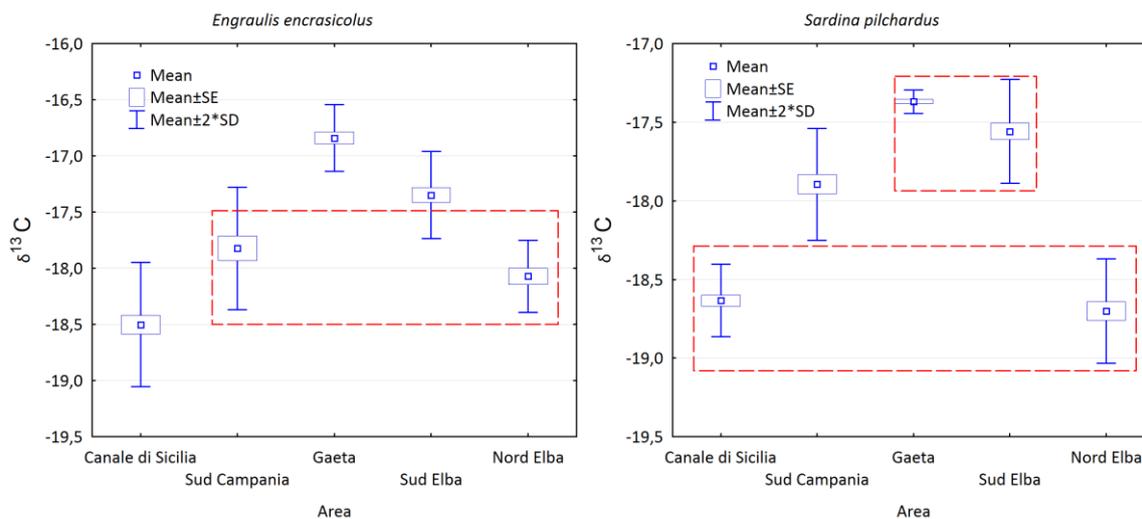


Figura 3.7.7: Segnale isotopico del carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) nelle sub-aree per: a) *E. encrasicolus*. b) *S. pilchardus*.

• ***Trachurus trachurus***

Per il tracuro, l'indice di correlazione di Pearson è stato utilizzato per valutare la relazione tra i segnali isotopici e la taglia degli esemplari nelle diverse sub-aree (Tabella 3.7.3). Nelle sub-aree in cui le relazioni sono risultate significative (Figura 3.7.8) è stata applicata l'ANCOVA.

Tabella 3.7.3: Indice di correlazione di Pearson tra la lunghezza e i valori isotopici di azoto e carbonio in ogni sub-area per la specie *Trachurus trachurus*. I valori in rosso identificano la significatività della correlazione.

	Sub-area	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Lunghezza (cm)	Calabria	0,18	0.53
	Stretto di Sicilia	0.80	0.78
	Gaeta	-0.14	0.01
	Nord Elba	0.03	-0.10
	Nord Sicilia	0.82	0.81
	Sud Elba	0.79	-0.11

L'ANCOVA mostra differenze significative tra i valori isotopici dell'azoto e la lunghezza degli esemplari nelle varie sub-aree (ANCOVA: $F_{\text{value}} = 85.06$. $P_{\text{value}} < 0.01$), mentre per il $\delta^{13}\text{C}$ il confronto fatto tra Stretto di Sicilia e Nord Sicilia non mostra una differenza significativa. Il Tukey *post-hoc* test fatto sui valori di $\delta^{15}\text{N}$ evidenzia delle differenze significative tra Sud Elba e Stretto di Sicilia ($T_{\text{value}} = 12.15$. $P_{\text{value}} < 0.01$), tra sud Elba e nord della Sicilia ($T_{\text{value}} = 11.62$. $P_{\text{value}} < 0.01$) e tra Stretto di Sicilia e Nord della Sicilia ($T_{\text{value}} = -2.55$. $P_{\text{value}} = 0.03$).

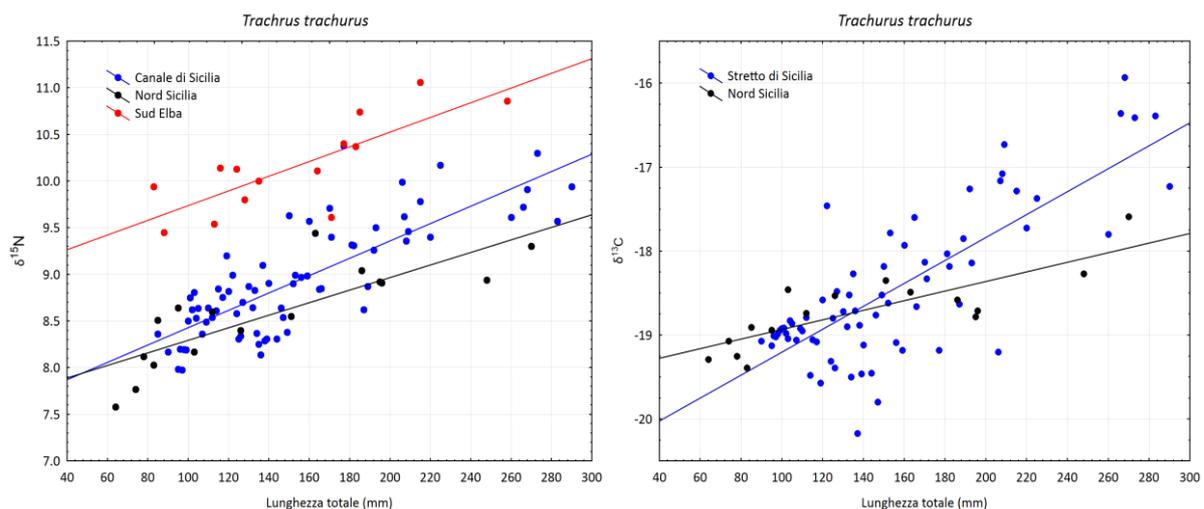


Figura 3.7.8: Relazione tra la lunghezza e valori isotopici di: a) azoto e b) carbonio nelle sub-aree in cui si è evidenziata una relazione tra le variabili.

Nonostante non esista nelle restanti aree una relazione significativa tra i valori isotopici e la lunghezza degli esemplari, i valori del $\delta^{15}\text{N}$ tendono a seguire quello delle lunghezze medie (figura 3.7.9) facendo ipotizzare che tale differenza sia comunque riconducibile a differenze nella taglia media.

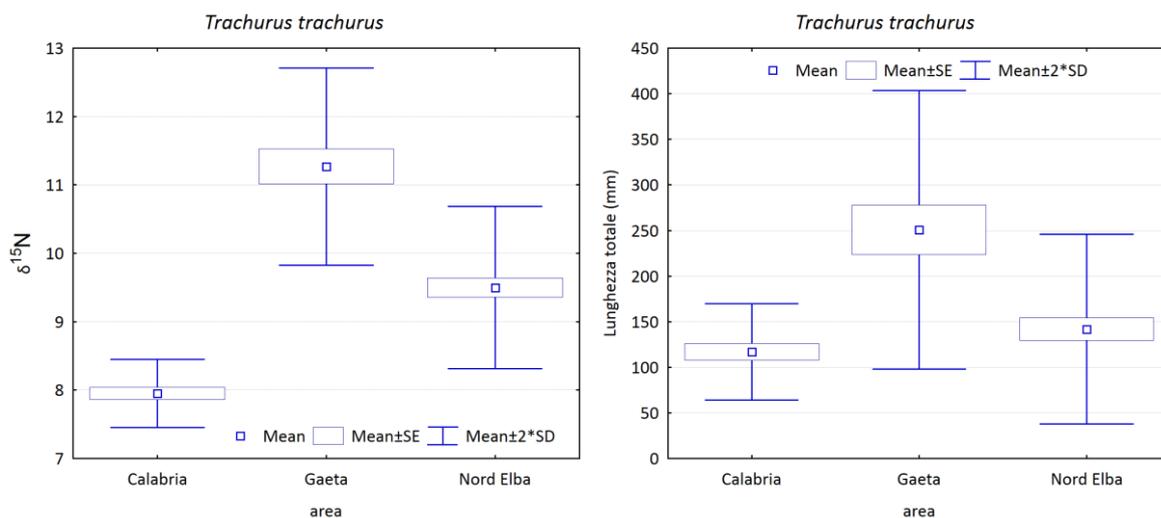


Figura 3.7.9: Relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e le sub-aree (a) e tra la lunghezza e le sub-aree (b) per la specie *T.trachurus*.

Un discorso diverso viene fatto per il $\delta^{13}\text{C}$ nelle aree in cui non vi è una relazione significativa con la lunghezza ed è stato quindi possibile applicare il test ANOVA. Tale test mostra differenze significative tra le sub-aree ($F_{\text{value}} = 54.31$. $p_{\text{value}} < 0.01$). In particolare, il Tukey *post-hoc* test evidenzia che i segnali isotopici del carbonio sono significativamente differenti tra Nord Elba e Golfo di Gaeta e differenti anche rispetto alla Calabria e al sud dell'Elba, sebbene queste ultime due aree non risultino significativamente differenti tra loro.

• ***Merluccius merluccius***

Gli esemplari di merluzzo possiedono un ampio *range* di lunghezza pertanto la relazione tra il $\delta^{15}\text{N}$ e il $\delta^{13}\text{C}$ rispetto alla lunghezza, in ogni sub-area, si è valutata utilizzando l'indice di correlazione di Pearson (tabella 3.7.4). Sono state considerate per questa specie solo le sub-aree in cui ci fosse un sufficiente numero di esemplari. A tale proposito, l'area nord della Sicilia è stata esclusa dall'analisi.

Tabella 3.7.4: Indice di correlazione di Pearson tra la lunghezza e i valori isotopici di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) in ogni sub-area per la specie *Merluccius merluccius*. I valori in rosso indicano una relazione significativa.

	Sub-area	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
Lunghezza (cm)	Stretto di Sicilia	0.84	0.82
	Calabria	0.49	0.72
	Sud Campania	0.77	0.95
	Gaeta	0.79	0.85
	Sud Elba	0.35	0.64
	Nord Elba	0.82	0.36

Una relazione significativa tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la lunghezza è presente nell'area del Canale di Sicilia, Gaeta e nord Elba, mentre per il $\delta^{13}\text{C}$ tale relazione sussiste in tutte le aree ad esclusione dell'area Nord Elba (Figura 3.7.10).

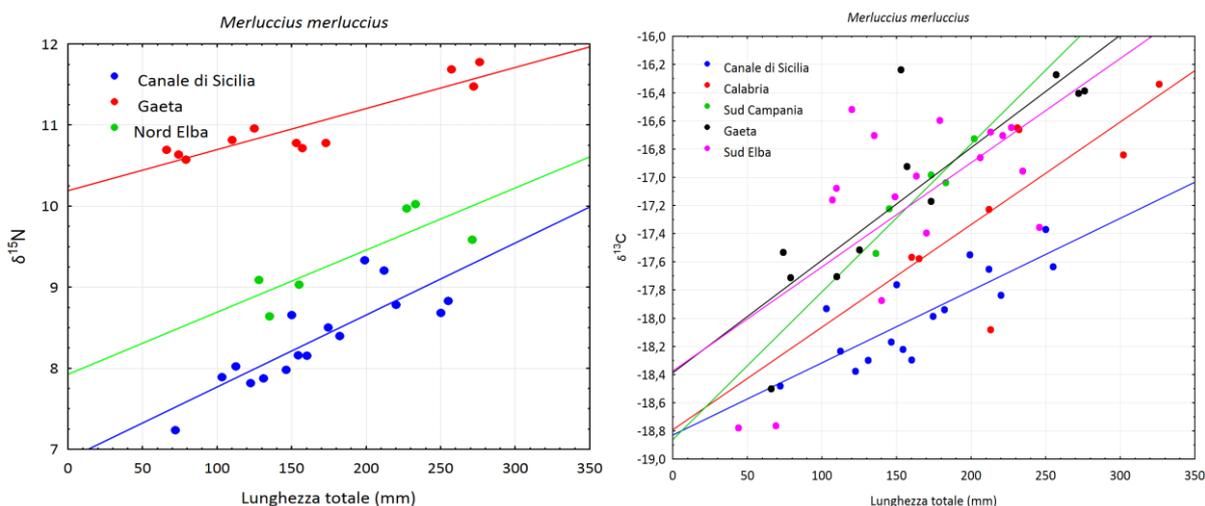


Figura 3.7.10: Relazione tra la lunghezza ed i valori isotopici di: a) azoto e b) carbonio nelle sub-aree in cui si è evidenziata una relazione tra le variabili.

Per tali aree si è proceduto al confronto tramite ANCOVA che mostra differenze significative sia per il $\delta^{15}\text{N}$ ($F_{\text{value}}= 264.06$; $p_{\text{value}}<0.01$) che per il $\delta^{13}\text{C}$ ($F_{\text{value}}=13.37$; $p_{\text{value}}<0.01$) tra i gruppi di esemplari appartenenti alle sub-aree. Attraverso il Tukey post-hoc test emergono differenze significative tra tutti i confronti per il $\delta^{15}\text{N}$, ovvero tra Stretto di Sicilia e golfo di Gaeta ($T_{\text{value}}= 22.93$; $p_{\text{value}}<0.01$), tra Stretto di Sicilia e Nord Elba ($T_{\text{value}}=5.98$; $p_{\text{value}}<0.01$) e tra Nord Elba e golfo di Gaeta ($T_{\text{value}}= -11.80$; $p_{\text{value}}<0.01$), mentre per il $\delta^{13}\text{C}$ le sole differenze significative risultano essere quelle tra Stretto di Sicilia e Golfo di Gaeta ($T_{\text{value}}= 6.04$; $p_{\text{value}}<0.01$), tra Stretto di Sicilia e Sud Campania ($T_{\text{value}}= 4.28$; $p_{\text{value}}<0.01$) ed infine tra Stretto di Sicilia e Sud Elba ($T_{\text{value}}= 6.04$; $p_{\text{value}}<0.01$).

Per le restanti aree, per le quali non si evidenziano dei *pattern* evidenti tra lunghezza e il segnale isotopico dell'azoto si procede al confronto tramite ANOVA. Nessun confronto può essere effettuato per il segnale isotopico del carbonio, che non mostra una relazione significativa con la taglia soltanto nell'area del Nord Elba.

Il risultato per il $\delta^{15}\text{N}$ mostra che esistono differenze significative tra le aree ($F_{\text{value}}=7.53$; $p_{\text{value}}<0.01$) che non sembrano riconducibili a differenze nella taglia media (Figura 3.7.11).

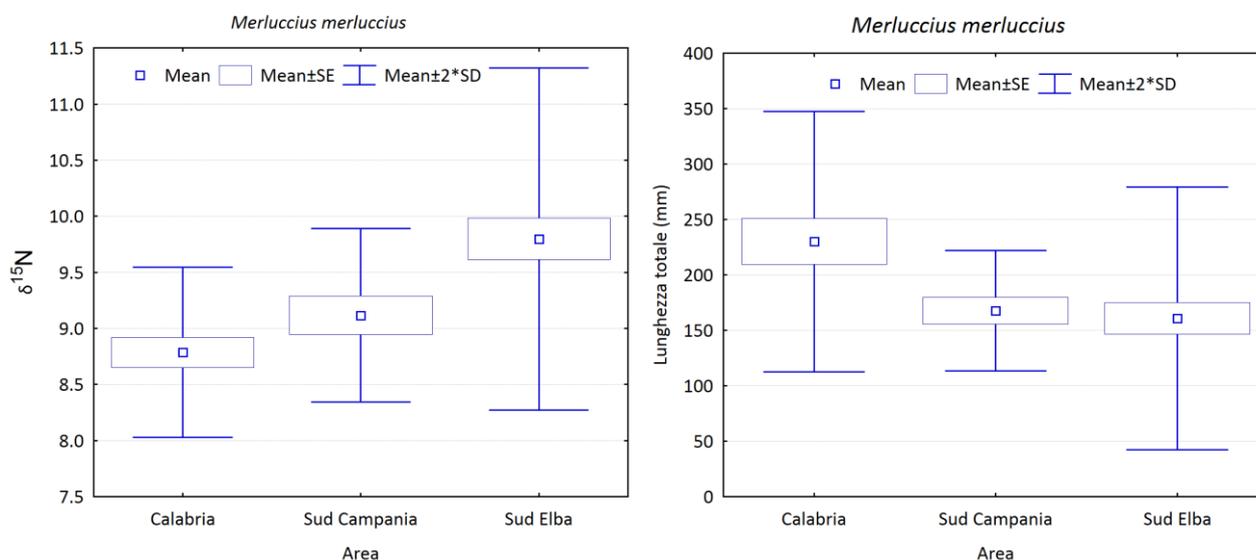


Figura 3.7.11: Relazione tra: a) il $\delta^{15}\text{N}$ e le sub-aree; e b) la lunghezza e le sub-aree.

Il Tukey post-hoc test evidenzia che l'unica differenza significativa riguarda però il confronto tra Sud Elba e Calabria (tabella 3.7.5).

Tabella 3.7.5: Tukey post-hoc test tra il $\delta^{15}\text{N}$ e la variabile area per la specie *M. merluccius*.

Area	Calabria	Sud Campania	Sud Elba
Calabria		0.64	<0.01
Sud Campania	0.64		0.11
Sud Elba	<0.01	0.11	

3.8 Materiale Organico Particolato (POM) e Mesozooplancton

I valori isotopici medi di azoto e carbonio del Materiale Organico Particolato (POM) per ogni sub-area sono presentati in tabella 3.8.1. Il $\delta^{15}\text{N}$ mostra un *range* piuttosto ampio con valori più alti nel Golfo di Gaeta (3.95‰) e nel sud Elba (3.20‰), valori intermedi nel Canale di Sicilia (2.06‰) e valori più bassi in Campania (0.58‰) e in Calabria (0.26‰). I valori isotopici più bassi del $\delta^{13}\text{C}$ sono presenti nel golfo di Gaeta e nel sud Elba (-25.89‰ per Gaeta; -25.66‰ per Sud Elba).

Tabella 3.8.1: Valori isotopici medi di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) con le rispettive deviazioni standard (SD) del Materiale Organico Particolato (POM) per ogni sub-area.

Sub-area	$\delta^{15}\text{N}$	sd	$\delta^{13}\text{C}$	sd
Calabria	0.26	0.48	-23.90	0.81
Sud Campania	0.58	0.44	-23.38	0.60
Golfo di Gaeta	3.95	1.54	-25.89	0.64
Sud Elba	3.20	2.29	-25.66	0.67
Canale di Sicilia	2.06	1.00	-23.55	1.17

La distribuzione dei valori isotopici medi del Materiale Organico Particolato (POM) si differenziano nelle diverse sub-aree (Figura 3.8.1). In particolare, il sud Campania e la Calabria si differenziano per il $\delta^{15}\text{N}$ da tutte le altre sub-aree mentre non si differenziano per il $\delta^{13}\text{C}$ dall'area del Canale di Sicilia. Contrariamente, il $\delta^{15}\text{N}$ non si differenzia tra il Golfo di Gaeta, Sud Elba e Canale di Sicilia ma queste ultime aree si differenziano per il $\delta^{13}\text{C}$.

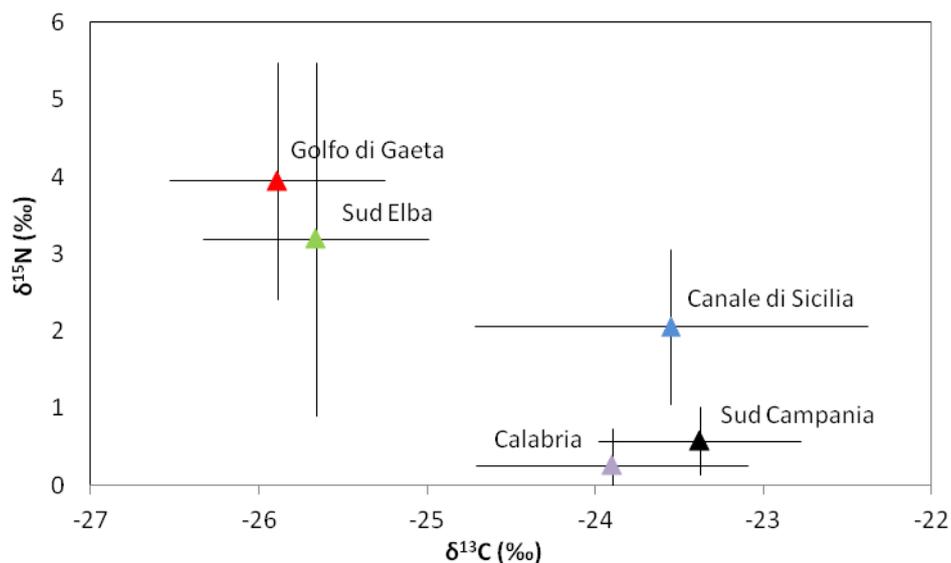


Figura 3.8.1: Bi-plot dei valori isotopici (media \pm sd) del Materiale Organico Particolato (POM) nelle diverse sub-aree.

I copepodi sono il gruppo più rappresentativo in tutti i campioni collezionati nelle diverse sub-aree, seguito dagli anfipodi e dagli eufasiacei. Non tutte le specie sono ritrovate nelle diverse sub-aree evidenziando delle differenze nella loro distribuzione (Tabella 3.8.2).

Il mesozooplankton analizzato è stato raggruppato in tre principali classi rispetto alle loro preferenze alimentari (carnivori (C); erbivori (H); Onnivori (O)) accordandosi alla più recente letteratura (Kopplemann et al., 2013) (Tabella 3.8.3). Nel nord Sicilia, il segnale isotopico dei carnivori è quello riportato da Fanelli et al. (2011), a causa della mancanza di specie carnivore rilevate nei campioni.

Il valore medio del $\delta^{15}\text{N}$ dei carnivori (C) è più basso in Calabria (4.26‰) rispetto alle altre sub-aree. Il valore medio di $\delta^{15}\text{N}$ più alto per i carnivori è nel Sud Campania (6.91‰).

Il valore medio del $\delta^{13}\text{C}$ per i carnivori è più impoverito nel nord Sicilia (-23.20‰) rispetto alle altre aree che presentano valori isotopici medi molto simili tra loro (Canale di Sicilia: -20.46‰; Sud Campania: -20.31‰; Golfo di Gaeta: -20.43‰ e Sud Elba: -20.19‰).

Il $\delta^{15}\text{N}$ degli Erbivori (H) mostra valori più bassi in Calabria (2.97‰) e più alti in Campania (4.36‰) e nell'area settentrionale della Sicilia (4.72‰) mentre nel Golfo di Gaeta e nel Sud Elba il valore è circa 3‰. Il $\delta^{13}\text{C}$ degli erbivori a Gaeta e nel sud Elba presenta valori più impoveriti (circa -22‰) rispetto alle altre sub-aree (circa -20‰).

Gli Onnivori (O) infine mostrano valori di $\delta^{15}\text{N}$ più bassi nell'area della Calabria (3.40‰) e più elevati nell'area del Sud Elba (5.02‰) e del Nord Sicilia (5.13‰). I valori del $\delta^{13}\text{C}$ a Gaeta e nel sud Elba sono leggermente più impoveriti rispetto alle altre sub-aree (Tabella 3.8.3).

I valori isotopici di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) di tutte le sorgenti (POM e Mesozooplancton) e delle specie ittiche analizzate per le diverse sub-aree, sono riportati in Figura 3.8.2.

Mentre nel canale di Sicilia, nel Golfo di Gaeta e nel sud Elba le specie ittiche sembrano piuttosto vicine (mostrando delle sovrapposizioni nei loro valori isotopici), nel nord Sicilia, in Calabria e nel sud Campania tali specie presentano valori isotopici leggermente diversi e di conseguenza appaiono più separate tra loro.

Tabella 3.8.2: Elenco delle specie zooplanctoniche e relativi segnali isotopici di azoto ($\delta^{15}\text{N}$) e carbonio ($\delta^{13}\text{C}$) con le deviazioni standard (sd).

Sub-area	Taxa	$\delta^{15}\text{N}$	sd	$\delta^{13}\text{C}$	Sd
Canale di Sicilia	Chetognati	5.76		-21.53	
	<i>Nyctiphanes couchii</i>	5.87	0.37	-19.40	0.17
	Cladoceri	4.19		-21.69	
	<i>Oncoea sp.</i>	2.79		-22.69	
	<i>Paracalanus parvus</i>	3.11	0.06	-21.67	
	<i>Thalia democratica</i>	3.44	0.26	-20.36	
	<i>Anchialina agilis</i>	4.91			
	<i>Anchylomera blossevillei</i>	4.25	0.25	-16.85	0.38
	<i>Centropages typicus</i>	3.93		-20.72	
	<i>Coryceus sp.</i>	3.50		-21.38	
	<i>Hyperia schizogeneios</i>	3.86	0.58	-19.87	0.49
	Larve decapodi	3.12	0.08	-21.80	
	Larve pesci	3.41	0.24	-21.54	
	Larve + giovani eufasiacei	4.37	0.70	-20.88	0.43
	Mesozooplankton mix	3.74	0.45	-22.05	
	Ostracodi	3.24		-21.36	
	<i>Pleuromamma gracilis</i>	4.27	0.16	-21.43	
<i>Sapphirina sp.</i>	2.23				
Nord Sicilia	<i>Lesueurigobius suerii</i>	8.20	0.75	-22.97	0.58
	<i>Leptomysis gracilis</i>	6.43	0.31	-23.90	1.51
	<i>Philocheras bispinosus</i>	7.07	1.42	-22.57	0.61
	<i>Oncoea sp.</i>	3.61		-21.91	
	<i>Paracalanus parvus</i>	4.73		-20.15	
	Pteropodi			-21.11	
	Sifonofori mix	5.83	0.19	-18.20	0.24
	<i>Acartia clausi</i>	5.40	0.32	-20.46	0.36
	<i>Stylocheiron</i> + eufasiacei (juv)	5.28		-20.45	
	Mesozooplankton mix	4.70	0.42	-21.06	
Calabria	Chetognati	4.26		-21.54	
	Appendicularia	3.26		-21.83	
	<i>Oncoea sp.</i>	1.98		-22.12	
	<i>Paracalanus parvus</i>	3.50		-20.20	
	<i>Chelophyes appendiculata</i>	3.13		-18.14	
	<i>Centropages typicus</i>	2.73		-20.37	
	Iperidi mix	3.11		-20.98	
	Larve decapodi	2.56		-21.08	
	Larve eufasiacei	3.26	0.17	-20.74	0.17
	Mesozooplankton mix	2.82	0.07	-20.95	0.39

	Ostracodi	3.79		-21.11	
	<i>Platyscelus serratulus (Typhidae)</i>	3.18		-18.43	
	<i>Scina borealis</i>	5.79		-17.20	
Sud Campania	Chetognati	6.63	0.38	-20.79	0.30
	<i>Nyctiphanes couchii</i>	7.20	0.52	-19.83	0.13
	Appendicularia	3.75		-20.94	
	<i>Paracalanus parvus</i>	4.96	0.11	-21.05	0.23
	<i>Acartia clausi</i>	5.63	0.45	-21.38	0.16
	<i>Centropages typicus</i>	4.58	0.22	-20.72	0.22
	Iperidi mix	4.90		-20.16	
	Larve decapodi	3.70	0.02	-21.02	0.09
	Mesozooplankton mix	4.02	0.03	-20.48	0.91
	<i>Temora stylifera</i>	4.34	0.45	-20.53	0.39
	Gaeta	Chetognati	5.86	1.96	-20.43
<i>Oncoea sp.</i>		1.47		-22.63	
<i>Paracalanus parvus</i>		4.88	0.56	-21.37	0.13
<i>Acartia clausi</i>		4.90		-21.63	
<i>Centropages typicus</i>		4.34	0.12	-21.04	0.07
<i>Coryceus sp.</i>		3.72	0.60	-21.46	0.34
Iperidi mix		3.67		-21.66	
Larve decapodi		5.55	0.33	-20.56	0.08
Mesozooplankton mix		3.48	0.05	-21.70	0.19
<i>Temora stylifera</i>	3.89		-21.28		
Sud Elba	Chetognati	6.70		-20.19	
	<i>Calanus helgolandicus</i>	3.75	0.43	-22.32	0.25
	<i>Paracalanus parvus</i>	2.93	0.07	-21.86	0.23
	<i>Acartia clausi</i>	5.21		-21.39	
	<i>Coryceus sp.</i>	3.77		-21.72	
	Larve decapodi	6.59		-21.25	
	Mesozooplankton mix	4.23	0.08	-22.17	0.95
	<i>Temora stylifera</i>	5.07	0.06	-20.75	0.74
<i>Centropages typicus</i>	5.25	0.10	-20.75	0.62	

Tabella 3.8.3: Aggregazione delle diverse specie zooplanctoniche in gruppi trofici nelle diverse sub-aree identificate.

Sub-area	Meccanismo alimentare	$\delta^{15}\text{N}$	SD	$\delta^{13}\text{C}$	SD
Canale di Sicilia	C	5.82	0.05	-20.46	1.07
	H	3.38	0.60	-21.60	0.96
	O	3.74	0.70	-20.79	1.51
Nord Sicilia	C	6.70	1.0	-23.2	1.3
	H	4.72	1.11	-20.34	1.60
	O	5.13	0.37	-20.66	0.35
Calabria	C	4.26	0.29	-21.54	0.48
	H	2.97	0.68	-20.57	1.83
	O	3.40	1.03	-20.11	1.47
Sud Campania	C	6.91	0.29	-20.31	0.48
	H	4.36	0.60	-20.99	0.05
	O	4.53	0.68	-20.71	0.43
Gaeta	C	5.86	1.38	-20.43	0.52
	H	3.18	1.70	-22.00	0.63
	O	4.22	0.76	-21.33	0.42
Sud Elba	C	6.70	1.38	-20.19	0.52
	H	3.34	0.41	-22.09	0.23
	O	5.02	0.97	-21.34	0.56

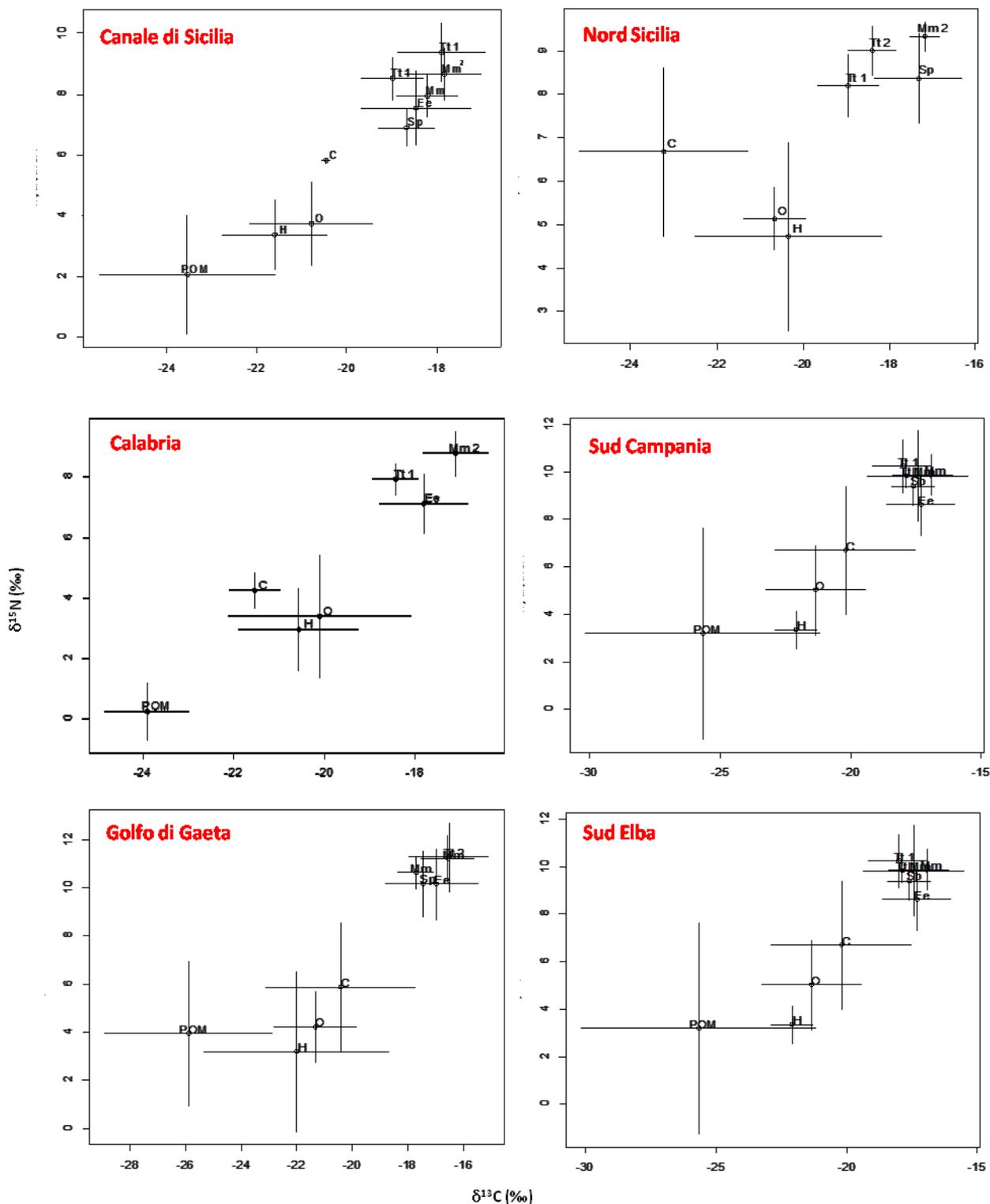


Figura 3.8.2: Valori isotopici di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ (media \pm SD) di *Engraulis encrasicolus* (Ee), *Sardina pilchardus* (Sp), *Trachurus trachurus* (Tt1<145 mm; Tt2>145 mm) e *Merluccius merluccius* (Mm1<150mm; Mm2>150mm) nelle diverse sub-aree. I valori isotopici di riferimento per i principali gruppi di prede (Carnivori (C); Erbivori (H); Onnivori (O)) sono mostrati nella tabella 3.8.3. I valori di materiale organico particolato (POM) sono anche mostrati (tabella 3.8.1).

3.9 Stable Isotopes Analysis in R (SIAR)

Dovuto all'elevata variabilità dei risultati isotopici del POM nelle diverse sub-aree, il SIAR è stato eseguito utilizzando il mesozooplancton come *baseline* alimentare per le specie ittiche.

I risultati del SIAR mostrano che la dieta delle specie ittiche tende a cambiare nelle diverse sub-aree (Tabella 3.9.1).

Tabella 3.9.1: Contributo percentuale di ciascun gruppo di prede nel SIAR *mixing model*. *Engraulis encrasicolus* (Ee); *Sardina pilchardus* (Sp); *Trachurus trachurus* (Tt); *Merluccius merluccius* (Mm). Carnivori (C); Erbivori (H); Onnivori (O); Pesci (F= Ee + Sp).

	Canale di Sicilia	Nord Sicilia	Calabria	Sud Campania	Golfo di Gaeta	Sud Elba
Ee C	14.4	-	27.4	5.2	97.0	41.1
Ee H	6.1	-	35.0	45.5	0.9	33.0
Ee O	79.2	-	38.2	46.2	1.7	25.9
Sp C	0.4	1.8	-	2.2	95.9	52.3
Sp H	42.7	49.6	-	43.2	1.2	7.1
Sp O	56.7	48.0	-	53.6	2.3	40.4
Tt1 C	1.9	3.6	6.3	19.6	-	22.3
Tt1 H	7.1	53.8	16.9	28.4	-	16.7
Tt1 O	53.6	31.1	21.6	27.6	-	17.9
Tt1 F	36.8	9.1	51.1	23.4	-	39.6
Tt2 C	6.2	3.4	-	-	15.8	18.0
Tt2 H	14.9	27.1	-	-	10.2	26.0
Tt2 O	39.5	45.4	-	-	22.8	19.1
Tt2 F	38.9	23.9	-	-	48.5	35.2
Mm1 C	11.0	-	-	25.6	12.3	14.8
Mm1 H	9.1	-	-	23.1	7.4	25.2
Mm1 O	22.6	-	-	23.1	11.7	16.4
Mm1 F	55.0	-	-	28.4	64.1	41.7
Mm2 C	8.8	15.3	17.2	13.4	17.9	6.8
Mm2 H	7.1	29.5	28.2	22.3	8.9	28.9
Mm2 O	14.8	28.1	26.1	23.8	10.4	8.6
Mm2 F	67.2	24.7	29.1	40.0	57.1	52.5

Infatti, un primo confronto tra acciughe e sardine (Figura 3.9.1 e Tabella 3.9.1 per ulteriori dettagli) nelle diverse sub-aree mostra che:

Nel **canale di Sicilia** la dieta dell'acciuga è composta per l'80% da specie onnivore mentre il restante 20% è suddiviso tra carnivori ed erbivori. Al contrario le sardine, nonostante abbiano un'elevata presenza nella loro dieta di onnivori (56.7%), mostrano una percentuale più alta di

erbivori (42.7%) rispetto alle acciughe (6.1%) a discapito di una percentuale bassissima di carnivori (0.4%).

Nel **nord Sicilia** e in **Calabria** la presenza alternata delle due specie non permette un confronto tra di esse. Tuttavia, nel nord della Sicilia, dove sono state analizzate solo sardine, la dieta di queste ultime appare composta essenzialmente da onnivori (48.0%) ed erbivori (49.6%) con una bassa percentuale di carnivori (1.8%). Per l'acciuga, campionata solo in Calabria, l'alimentazione è pressoché omogenea con simili percentuali di prede onnivore (38.2%), carnivore (27.4%) ed erbivore (35.0%).

Nel **sud Campania**, sia le acciughe sia le sardine hanno un'alimentazione basata essenzialmente su prede onnivore (46.2% per le acciughe; 53.6% per le sardine) ed erbivore (45.5% per le acciughe; 43.2% per le sardine). Le percentuali tendono a cambiare per le prede carnivore che risultano consumate maggiormente dalle acciughe (5.2%) rispetto alle sardine (2.2%).

Nel **Golfo di Gaeta**, acciughe e sardine mostrano una dieta basata prettamente sul consumo di specie carnivore (97.0% per le acciughe; 95.9% per le sardine) mentre percentuali molto basse riguardano il consumo di prede onnivore (1.7% per le acciughe; 2.3% per le sardine) ed erbivore (0.9% per le acciughe; 1.2% per le sardine).

Nel **sud Elba** le acciughe e le sardine si dividono nuovamente. Le acciughe esibiscono un'alimentazione basata essenzialmente su specie carnivore (41.1%) ed erbivore (33.0%) con una discreta percentuale anche di onnivori (25.9%) mentre le sardine mostrano una dieta più basata su specie carnivore (52.3%) e onnivore (40.4%) piuttosto che su prede erbivore (7.1%).

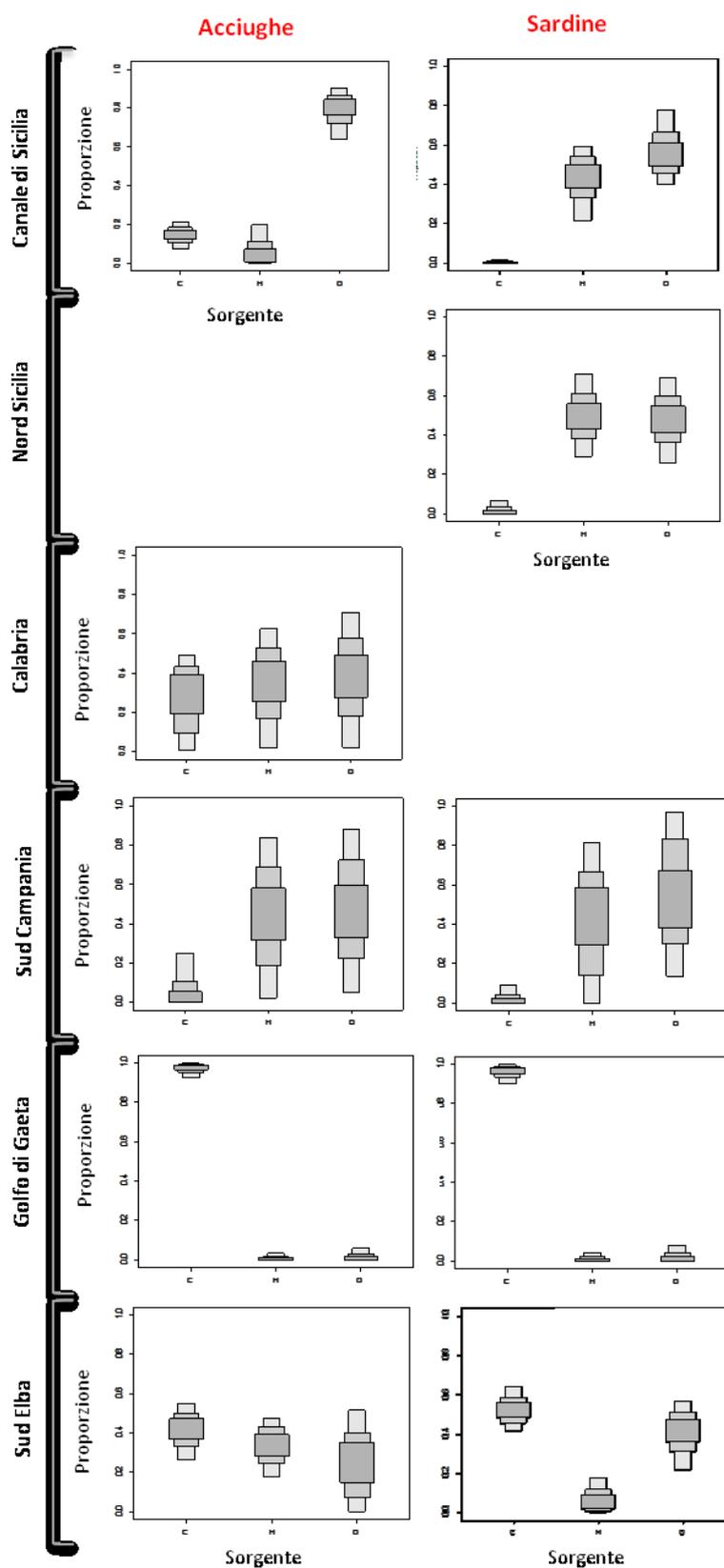


Figura 3.9.1: Risultati dell'analisi degli isotopi stabili in R (95%, 75% e 50% intervalli di credibilità) che mostrano il contributo delle prede stimate alla dieta di Acciuga (*E. encrasicolus*) e Sardina (*S. pilchardus*) nelle diverse sub-aree. C=Carnivori; H=Erbivori; O=Onnivori.

Il comportamento alimentare del tracuro e del merluzzo nelle diverse sub-aree è stato valutato con SIAR tenendo in considerazione diversi aspetti fondamentali. Entrambe le specie sono conosciute come piscivore e il loro cambiamento verso questo tipo di alimentazione sembrerebbe dipendere dalla taglia degli individui. A tale proposito è stata mantenuta la suddivisione degli individui in giovanili (<145 mm per i tracuri; <150 mm per i merluzzi) e adulti (>145 mm per i tracuri; >150 mm per i merluzzi) in base ai risultati isotopici presentati nei paragrafi precedenti, che evidenziano una relazione significativa tra $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ con la taglia degli individui. Inoltre, per entrambe le specie è stata considerata un'ulteriore fonte alimentare rappresentata dai pesci (intesa come media del segnale isotopico medio di acciughe e sardine nelle diverse sub-aree, tabella 3.9.2).

Tabella 3.9.2: Segnale isotopico medio di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ dei pesci (acciughe + sardine) nelle diverse sub-aree.

Sub-area	$\delta^{15}\text{N}$	sd	$\delta^{13}\text{C}$	sd
Canale di Sicilia	7.07	0.51	-18.61	0.38
Nord Sicilia	8.37	0.53	-17.32	0.27
Calabria	7.12	0.50	-17.81	0.35
Sud Campania	7.08	0.82	-17.84	0.33
Golfo di Gaeta	10.15	0.73	-17.15	0.33
Sud Elba	9.01	0.68	-17.46	0.30

I risultati del SIAR mostrano che la dieta dei tracuri tende a cambiare nelle diverse sub-aree (Figura 3.9.2 e Tabella 3.9.1 per ulteriori dettagli).

Nel **Canale di Sicilia**, i tracuri giovani (<145 mm) presentano un'alimentazione basata fortemente su specie onnivore (53.6%) e pesci (36.8%) mentre un basso contributo alla dieta viene dato dalle specie erbivore (7.1%) e carnivore (1.9%). Negli esemplari di tracuro adulti (>145 mm) il contributo delle prede onnivore (39.5%) e dei pesci (38.9%) tendono ad equivalersi ma è visibile anche un aumento nel consumo di prede erbivore (14.9%) e carnivore (6.2%).

Nel **nord Sicilia** la dieta dei tracuri tende a cambiare. Gli esemplari giovani si alimentano fortemente su prede erbivore (53.8%) e in discreta quantità su onnivori (31.1%) mentre pesci (9.1%) e carnivori (6.3%) contribuiscono in maniera minore alla dieta. Diversamente, gli adulti di tracuro sono essenzialmente onnivori (45.4%) ma tendono ad alimentarsi anche su erbivori (27.1%) e pesci (23.9%). Percentuali più basse sono riscontrate per le specie carnivore (3.4%).

In **Calabria** e nel **sud Campania** sono stati collezionati solo esemplari giovanili di tracuro (<145mm). Tuttavia mentre in Calabria il contributo alla dieta è dato prevalentemente da pesci (51.1%) e in discrete quantità da onnivori (21.6%) ed erbivori (16.9%), nel sud Campania l'alimentazione dei tracuri appare piuttosto omogenea con percentuali di erbivori (28.4%), onnivori (27.6%), pesci (23.4%) e carnivori (19.6%) molto simili.

Nel **Golfo di Gaeta** sono stati collezionati solo esemplari di tracuro adulto (>145 mm). Per questi esemplari la dieta appare molto piscivora (48.5%) seguita da un contributo di prede onnivore (22.8%), carnivore (15.8%) ed erbivore (10.2%).

Infine, nel **sud Elba** sia i tracuri giovani sia gli adulti hanno alimentazioni molto simili basate prevalentemente sul consumo di pesci (39.6% per giovanili; 35.2% per adulti) seguite poi da contributi simili di carnivori (22.3.6% per giovanili; 18.0% per adulti), erbivori (16.7% per giovanili; 26.0% per adulti) e onnivori (17.9% per giovanili; 19.1% per adulti).

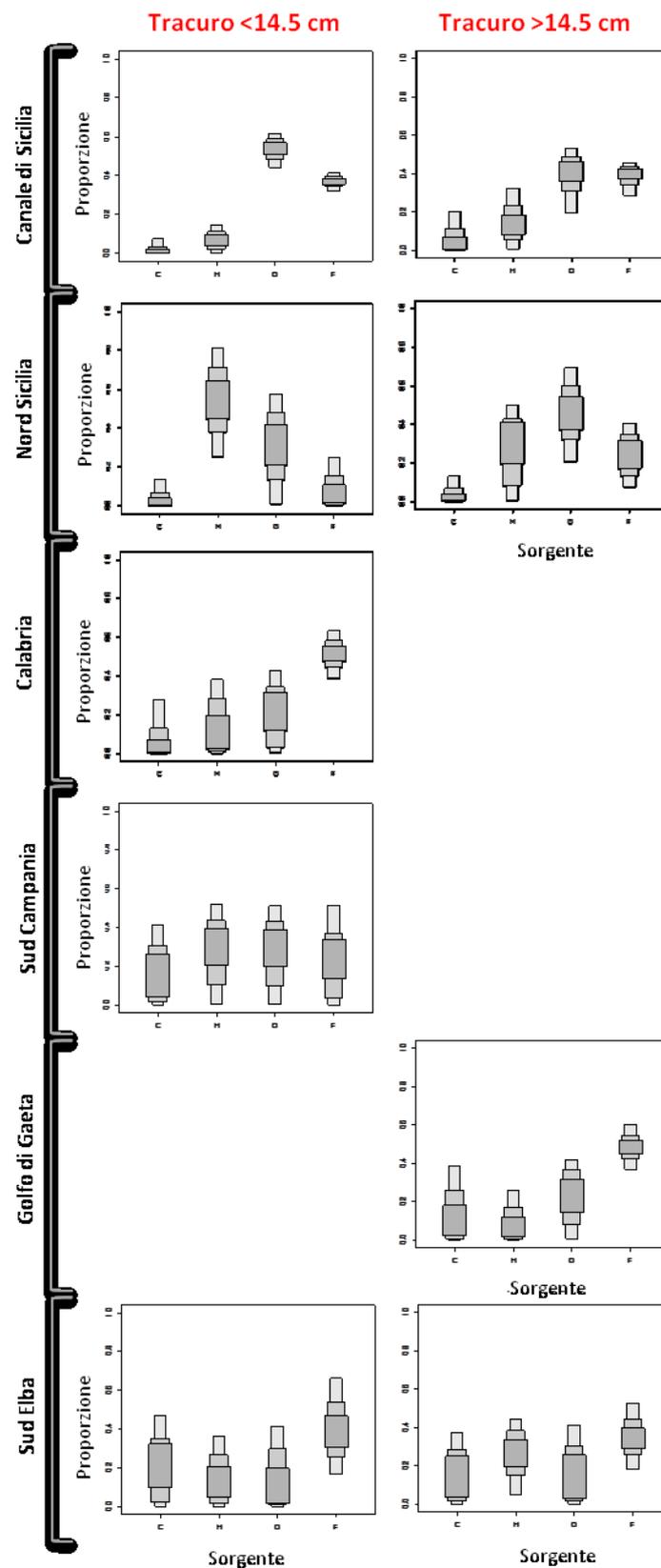


Figura 3.9.2: Risultati dell'analisi degli isotopi stabili in R (95%, 75% e 50% intervalli di credibilità) che mostrano il contributo delle prede stimate alla dieta di Tracuro (*T. tracurus*) nelle diverse sub-aree. Carnivori (C); Erbivori (H); Onnivori (O); Pesci (F=*E. encrasicolus* +*S. pilchardus*).

Anche per il merluzzo i risultati del SIAR mostrano una dieta differenziata rispetto alle diverse sub-aree (Figura 3.9.3 e Tabella 3.9.1 per ulteriori dettagli).

Nel **Canale di Sicilia**, sia i giovanili di merluzzo (<150mm) sia gli adulti (>150mm) sono essenzialmente piscivori (55.0% per giovanili; 67.2% per adulti) mentre percentuali simili si trovano nel consumo di prede onnivore (22.6% per giovanili; 14.8% per adulti), carnivore (11.0% per giovanili; 8.8% per adulti) ed erbivore (9.1% per giovanili; 7.1% per adulti).

Nel **nord Sicilia** e in **Calabria** sono stati collezionati solo esemplari adulti di merluzzo. In entrambe le aree la dieta dei merluzzi non sembra variare, con simili percentuali nel consumo di prede erbivore (29.5% nord Sicilia; 28.2% Calabria), onnivore (28.1% nord Sicilia; 26.1% Calabria), pesci (24.7% nord Sicilia; 29.1% Calabria) e prede carnivore (15.3% nord Sicilia; 17.2% Calabria).

Nel **sud Campania** i merluzzi giovanili esplorano nelle stesse percentuali tutte le possibili prede, mentre un rilevante cambiamento si nota negli esemplari adulti che divengono prevalentemente piscivori (40.0%) mantenendo tuttavia discrete concentrazioni di prede onnivore, carnivore ed erbivore nella loro dieta.

Nel **Golfo di Gaeta**, i merluzzi giovanili ed adulti presentano entrambi un'alimentazione basata su pesci (64.1% giovani; 57.1% adulti) mentre il contributo delle altre prede appare minore del 20%.

Infine, anche nel **sud Elba** giovanili e adulti di merluzzo sembrano preferire i pesci (41.7% giovani; 52.5% adulti) nella loro dieta ma un rilevante contributo viene fornito anche dalle specie erbivore (25.2% giovani; 28.9% adulti). Tuttavia, mentre per i giovanili di merluzzo il contributo delle altre specie sembra essere piuttosto omogeneo (onnivori 16.4%; carnivori 14.8%), gli adulti sembrano preferire principalmente pesci e specie erbivore piuttosto che una dieta basata su onnivori (8.6%) e carnivori (6.8%).

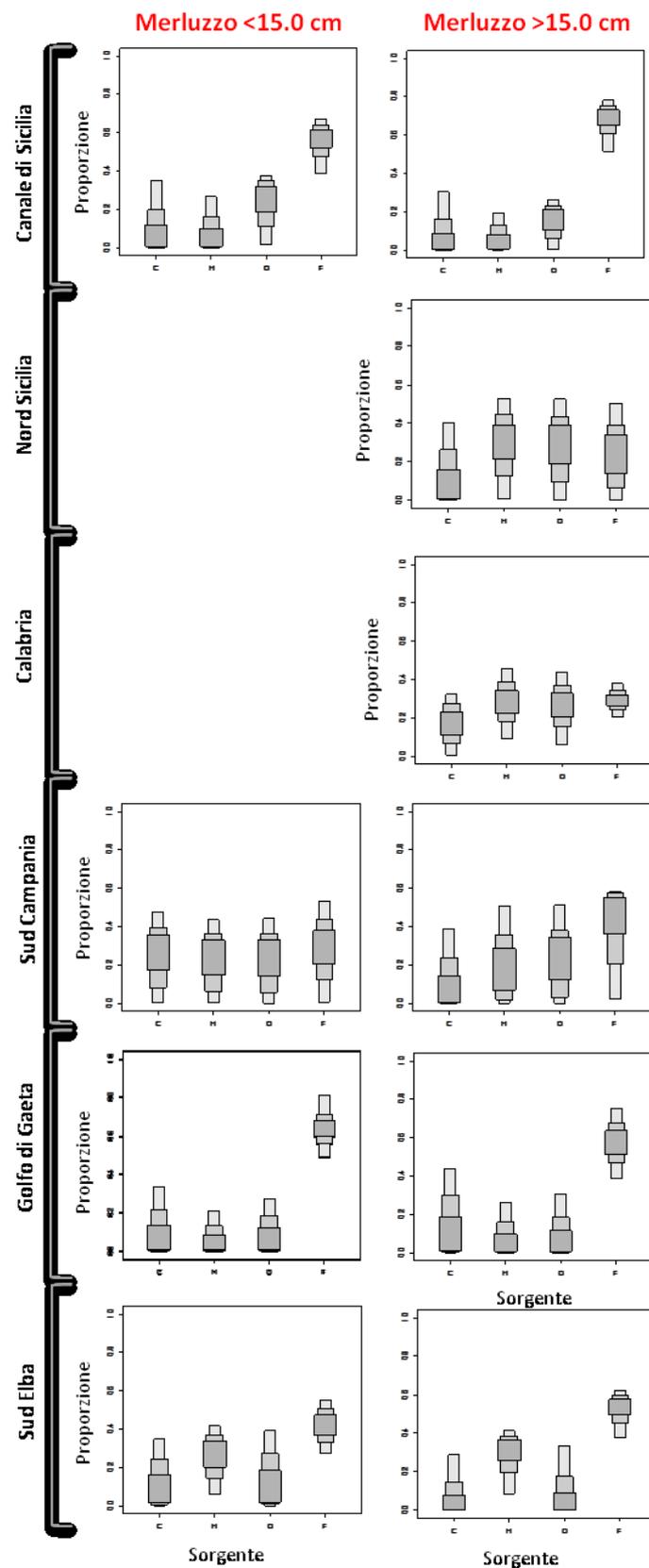


Figura 3.9.3: Risultati dell'analisi degli isotopi stabili in R (95%, 75% e 50% intervalli di credibilità) che mostrano il contributo delle prede stimate alla dieta dei Merluzzi (*M. merluccius*) nelle diverse sub-aree. Carnivori (C); Erbivori (H); Onnivori (O); Pesci (F=*E. encrasicolus* +*S. pilchardus*).

3.10 Livello Trofico (TrL)

Per il calcolo dei livelli trofici (TrL) delle quattro specie ittiche nelle diverse sub-aree, sono stati considerati i valori medi del $\delta^{15}\text{N}$ delle specie zooplanctoniche (considerando solo gli erbivori che si alimentano su un livello trofico=2) divisi per sub-aree (Tabella 3.10.1).

I risultati mostrano che il $\delta^{15}\text{N}$ medio dello zooplancton erbivoro usato come “baseline” ha un range piuttosto ampio, con valori più alti in Nord Sicilia (4.72‰) e in sud Campania (4.36‰) e più bassi in Calabria (2.97‰) e nel Golfo di Gaeta (3.18‰). Canale di Sicilia e sud Elba presentano un simile $\delta^{15}\text{N}$ medio (3.38‰ nel canale di Sicilia; 3.34‰ nel sud Elba).

Tabella 3.10.1: Valori medi di $\delta^{15}\text{N}$ delle specie zooplanctoniche erbivore nelle diverse sub-aree.

Sorgente	Sub-aree	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	sd
Erbivori	Canale di Sicilia	3.38	0.60
Erbivori	Nord Sicilia	4.72	1.11
Erbivori	Calabria	2.97	0.68
Erbivori	Sud Campania	4.36	0.60
Erbivori	Golfo di Gaeta	3.18	1.70
Erbivori	Sud Elba	3.34	0.41

Il valore di arricchimento considerato nel calcolo del livello trofico è lo stesso utilizzato nel SIAR (3.56‰) e stimato da Caut et al. (2009) e da Costalago et al. (2012).

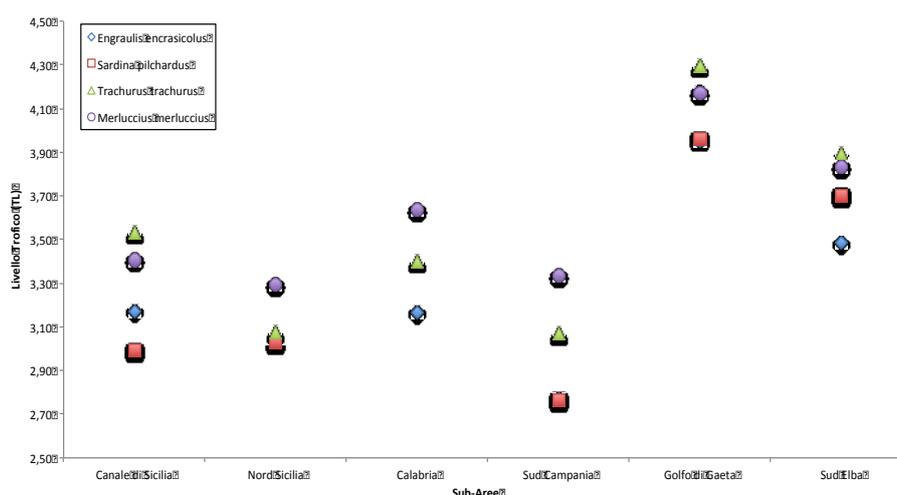


Figura 3.10.1: Livello trofico di ogni specie ittica nelle diverse sub-aree.

In tutte le sub-aree, acciughe e sardine mostrano livelli trofici più bassi rispetto a merluzzi e tracuri (Tabella 3.10.2). Tuttavia, mentre nel canale di Sicilia il livello trofico delle sardine e delle acciughe appare piuttosto separato (con le acciughe con un valore di livello trofico appena superiore alle sardine), nel Sud Campania e nel Golfo di Gaeta i livelli trofici delle due specie coincidono. La situazione si inverte nel sud Elba dove le sardine appaiono appartenere ad un livello trofico leggermente superiore alle acciughe. Tracuri e merluzzi in tutte le sub-aree presentano livelli trofici più alti, soprattutto nel Golfo di Gaeta e nel sud Elba.

Tabella 3.10.2: Livello trofico di ogni specie ittica nelle diverse sub-aree.

Sub-aree	Specie ittiche	TrL (medio)	SD
Canale di Sicilia	<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.17	0.18
	<i>Sardina pilchardus</i>	2.99	0.09
	<i>Trachurus trachurus</i>	3.53	0.17
	<i>Merluccius merluccius</i>	3.40	0.15
Nord Sicilia	<i>Engraulis encrasicolus</i>	-	
	<i>Sardina pilchardus</i>	3.02	0.15
	<i>Trachurus trachurus</i>	3.08	0.15
	<i>Merluccius merluccius</i>	3.29	0.05
Calabria	<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.17	0.14
	<i>Sardina pilchardus</i>	-	
	<i>Trachurus trachurus</i>	3.40	0.07
	<i>Merluccius merluccius</i>	3.63	0.11
Sud Campania	<i>Engraulis encrasicolus</i>	2.77	0.22
	<i>Sardina pilchardus</i>	2.76	0.24
	<i>Trachurus trachurus</i>	3.07	0.01
	<i>Merluccius merluccius</i>	3.34	0.11
Golfo di Gaeta	<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.96	0.21
	<i>Sardina pilchardus</i>	3.96	0.20
	<i>Trachurus trachurus</i>	4.30	0.20
	<i>Merluccius merluccius</i>	4.17	0.14
Sud Elba	<i>Engraulis encrasicolus</i>	3.49	0.19
	<i>Sardina pilchardus</i>	3.70	0.12
	<i>Trachurus trachurus</i>	3.89	0.14
	<i>Merluccius merluccius</i>	3.83	0.19

Capitolo 4: DISCUSSIONI

In questo lavoro di tesi viene affrontato per la prima volta il tema del comportamento alimentare di quattro specie ittiche di elevato interesse ecologico ed economico nel Mar Mediterraneo centrale attraverso l'utilizzo degli isotopi stabili di azoto e carbonio. L'approccio basato sulle analisi degli isotopi stabili sui muscoli di specie ittiche e su zooplancton ha permesso negli ultimi anni di rispondere a molte delle domande sul comportamento trofico delle specie in diversi ecosistemi marini del mondo (Thomas e Cahoon, 1993; Pinnegar e Polunin, 2000; Takai et al., 2002, 2007; Bode et al., 2003, 2004, 2006; Ferraton et al., 2007; Tanaka et al., 2008; Blanco et al., 2009; Miller et al., 2010; Kurle et al., 2011; Madigan et al., 2012; Costalago et al., 2012; Spits et al., 2013; Cresson et al. 2014; Yasue et al., 2014; Van der Lingen e Miller, 2014). Rispetto alle osservazioni dirette dei contenuti stomacali, che forniscono solo indicazioni puntuali sul tipo di alimentazione al momento della cattura del pesce e/o comunque relative a un breve intervallo di tempo, tali analisi permettono di acquisire informazioni integrate nel tempo (generalmente 30-40 giorni) sull'alimentazione delle specie (Jennings et al. 2002, Post 2002, Boecklen et al. 2011).

Le quattro specie ittiche analizzate nel presente studio sono state campionate nello stesso ambiente pelagico costiero e, probabilmente, hanno la possibilità di nutrirsi sugli stessi *taxa* di prede all'interno delle diverse aree. Tuttavia, i risultati delle analisi degli isotopi stabili indicano una certa variabilità tra la dieta delle specie. Questa variabilità è indicativa di un comportamento alimentare selettivo che si è cercato di interpretare sia attraverso le differenze fisiologiche e biologiche delle specie, sia tenendo conto delle risorse "offerte" dai diversi ambienti esplorati.

Per acciughe e sardine, l'integrazione di un cospicuo *dataset* biologico con i dati isotopici ha permesso di chiarire molti aspetti comportamentali e trofici di entrambe le specie. Al contrario, per tracuri e merluzzi, la mancanza di un *dataset* biologico completo e un esiguo numero di campioni catturati nel corso delle cale effettuate, non hanno permesso di ottenere una completa interpretazione del comportamento alimentare delle due specie. Ciononostante, l'analisi dei risultati ottenuti per le due specie ha permesso di ipotizzare che alcuni comportamenti alimentari sono guidati più dalle caratteristiche dei luoghi di campionamento piuttosto che dal "documentato" comportamento trofico delle specie.

- **Acciughe e Sardine: variabilità isotopica, indici biologici e stato trofico**

I risultati del presente studio indicano che acciughe e sardine hanno un segnale isotopico diverso nelle due aree campionate (SS e MT). I valori di $\delta^{13}\text{C}$ e di $\delta^{15}\text{N}$ sono mediamente più bassi nello SS che nel MT per entrambe le specie.

Studi condotti sui contenuti stomacali di acciughe e sardine in aree diverse rispetto a quelle da noi considerate mostrano un'ecologia trofica molto simile per le due specie, basata su prede fito- e zooplanctoniche in dipendenza anche dei livelli di produzione primaria nelle aree (Tudela e Palomera 1997; Plouvenez e Champalbert 2000; Bacha et al. 2009; Garrido et al. 2008; Raab et al. 2011; Miller et al., 2011; Nikolioudakis et al. 2012; Chouvelon et al. 2014). È noto d'altro canto che acciughe e sardine possono adottare due distinti meccanismi di alimentazione (Tudela & Palomera, 1997; Garrido et al., 2007; Espinoza et al. 2009) passando dalla filtrazione su particelle alimentari di piccole dimensioni (*filter feeding*) a quelle di maggiori dimensioni (*particulate feeding*) (Van der Lingen, 1994). Entrambe le specie tendono ad avere comportamenti alimentari simili durante il periodo larvale (Yasue et al., 2011) ma differenziano la loro alimentazione a cominciare dalle fasi post-larvali e negli stadi giovanili (van der Lingen, 2006; Costalago et al. 2012). Negli stadi adulti le sardine sembrano essere maggiormente specializzate nella strategia alimentare *filter feeding* rispetto alle acciughe (Bode et al., 2004; James e Findlay, 1989; Van der Lingen, 1994; Garrido et al., 2007). La taglia sembra quindi influenzare fortemente l'alimentazione, e di conseguenza il segnale isotopico che generalmente tende ad aumentare in funzione della lunghezza degli individui, dipendendo dal cambiamento della dieta durante le varie fasi della crescita (Lindsay et al. 1998; Jennings et al. 2002; Carpentieri et al., 2005; Bode et al., 2003; Bode et al., 2006; Yasue et al., 2013). Dall'analisi delle taglie degli esemplari raccolti si evince che nelle due aree le distribuzioni di lunghezze delle acciughe si sovrappongono (nonostante il *range* di taglia sia più ampio nell'area tirrenica rispetto allo stretto di Sicilia), mentre le distribuzioni si differenziano per le sardine, con una maggiore abbondanza di giovanili nell'area dello SS (32%) rispetto al MT (2%). Le analisi isotopiche, eseguite su un *subset* di individui scelti in modo da riscoprire in maniera omogenea i *range* di lunghezza delle due specie, non hanno mostrato alcuna relazione significativa con la lunghezza degli esemplari in nessuna delle due aree di campionamento. Anche quando sono stati presi in considerazione gli esemplari più piccoli di sardine presenti nello SS, i valori isotopici di azoto e carbonio non hanno mostrato alcuna relazione con la taglia. Questo è particolarmente evidente anche nell'area Tirrenica dove,

indipendentemente dalla taglia, si assiste a un notevole incremento dei valori di azoto e carbonio soprattutto in corrispondenza di determinate aree (Acciughe: Figura 3.3.10 e Figura 3.3.12; Sardina: Figura 3.4.10 e Figura 3.4.12). I valori di $\delta^{15}\text{N}$ delle sardine nello SS farebbero ipotizzare a una scelta delle prede appartenenti ad un più basso livello trofico, in accordo alla natura *filter feeding* delle sardine. Questo comportamento alimentare delle sardine è ulteriormente supportato da un più alto Fattore di Condizione (CF) ritrovato nello SS. Sembrerebbe che le sardine nello SS abbiano trovato le migliori condizioni per la loro alimentazione. Questo meccanismo alimentare però non sembra essere adottato nel MT, dove la presenza di un maggior numero di prede spinge le sardine a non essere selettive verso le prede ma piuttosto ad alimentarsi su quello che l'ambiente circostante offre.

Dalle nostre attuali conoscenze, solo due lavori hanno messo in relazione i valori isotopici con lo stato di maturità delle specie e nessuno di questi lavori analizza i clupeidi. Gomez-Campos et al. (2011) documentano un aumento di $\delta^{15}\text{N}$ in alcuni mammiferi marini (*Striped Dolphins*) durante il loro periodo riproduttivo, dovuto ad una maggiore richiesta energetica. Anche Johnson e Schindler (2013) ipotizzano un aumento del $\delta^{15}\text{N}$ nei salmoni (*Oncorhynchus nerka*) nel periodo di prima maturità, attribuendolo a una maggiore richiesta energetica. Tuttavia in entrambi gli studi gli autori concludono che probabilmente l'incremento dei valori isotopici di azoto e carbonio siano da attribuire ad un differente stato nutrizionale (cioè alla scelta di prede diverse) indipendente dallo stato fisiologico delle specie. Nei campioni analizzati nel presente studio, l'Indice Gonado-somatico (GSI) e la distribuzione degli stadi di maturità per l'acciuga indicano una fase attiva di riproduzione, in accordo con gli studi sul suo periodo riproduttivo (vedi sezione 1.1). Sebbene nell'area Tirrenica non vi siano dati sul periodo e sul picco di deposizione della specie (per la mancanza di una specifica letteratura nell'area), lo stato riproduttivo delle acciughe campionate appare più avanzato rispetto a quello osservato nello SS. Infatti, individui con stadio di maturità 5 (quindi esemplari maturi che hanno già deposto) sono maggiormente rappresentati nell'area tirrenica (45%) piuttosto che nelle acque siciliane meridionali (25%). Tuttavia, quando gli stadi di maturità dell'acciuga sono stati messi in relazione con i valori isotopici, non è stata riscontrata alcuna differenza significativa. Gli esemplari femminili, così come quelli maschili, presentavano gli stessi valori isotopici indipendentemente dallo stadio di maturità ma le variazioni erano evidenti solo in relazione all'area di studio. Per le sardine, lo studio della maturità associato al GSI mostra la presenza, in entrambe le aree, di nuove reclute che non hanno ancora raggiunto la maturità (stadio I e II). Questi risultati sono in accordo con i dati

presenti in letteratura che identificano il picco riproduttivo della sardina nei mesi invernali e il picco del reclutamento nei mesi estivi (vedi sezione 1.1). Anche per le sardine, nonostante non fossero presenti stadi avanzati di maturità, la variabilità del valore isotopico è da attribuire alle diverse aree di campionamento.

Quando il livello trofico di acciughe e sardine è stato calcolato rispetto ai valori medi riportati in letteratura (considerando un fattore di arricchimento di $\delta^{15}\text{N} = 3.4\text{‰}$ e un valore medio di $\delta^{15}\text{N} = 3.5\text{‰}$ per le prede), i risultati hanno mostrato per le acciughe livelli trofici medi di 3.19 ± 0.18 nello SS e 3.62 ± 0.39 nel MT e per le sardine 3.00 ± 0.09 nello SS e 3.57 ± 0.36 nel MT. Il livello trofico per le acciughe nel MT è più alto rispetto a quello riportato da altri autori (Bode et al., 2007; Palomera et al., 2007) mentre nello SS è prossimo a quello riportato. Anche per le sardine il livello trofico nel MT è più alto rispetto alla media riportata in letteratura (Costalago et al., 2012; Bode et al., 2007; Palomera et al., 2007).

In sintesi, i risultati delle analisi sugli isotopi mostrano che acciughe e sardine tendono probabilmente a cambiare il tipo di alimentazione nelle due aree di studio in relazione a fattori naturali o indotti dall'ambiente circostante, diventando delle specie opportunistiche e troficamente flessibili, indipendentemente dal loro stato fisiologico. Tale comportamento è stato più volte documentato in molti clupeiformi (Tudela e Palomera 1997; Bulgakova, 1996; Garrido et al., 2007; Tanaka et al., 2008; Borme et al. 2009).

- **Tracuri e Merluzzi: variabilità isotopica, distribuzione e stato trofico**

Contrariamente ad acciughe e sardine, tracuri e merluzzi mostrano un aumento lineare dei valori isotopici con la taglia degli esemplari. La taglia degli individui appare il principale fattore discriminante nella variazione isotopica, così come riportato anche da altri autori (Lindsay et al., 1998; Jennings et al., 2002; Carpentieri et al., 2005; Bode et al., 2006; Yasue et al., 2013). Un'eccezione è presente per il merluzzo nell'area del MT, dove non è stata riscontrata alcuna correlazione tra il segnale isotopico e la lunghezza degli individui.

In particolare, studi condotti sui contenuti stomacali di queste specie mostrano che sia i tracuri che i merluzzi tendono a sviluppare la capacità di alimentarsi su prede sempre più grandi durante la loro crescita e quindi entrambe le specie mostrano uno *shift* ontogenetico quando cominciano a cambiare la loro dieta verso una più piscivora (Bozzano et al., 1997; Miller et al., 2011; Jardas et al. 2004; Santic et al. 2005; Stergiou e Karpouzi, 2002; Carpentieri et al. 2005; Mahe et al. 2007;

Stagioni et al.2011; Philips, 2012; Bayan et al., 2014). Tale cambiamento si registra generalmente alle lunghezze di 24 cm per il tracuro (Santic et al., 2005) e tra i 16 ed i 23 cm per il merluzzo (Carpentieri et al., 2005; Mahe et al., 2007).

Per il tracuro un *dataset* piuttosto limitato, solo relativamente al numero di individui raccolti per le sole analisi isotopiche, indica che le lunghezze medie per classe di età risultano sovrapponibili tra stretto di Sicilia e Tirreno. La struttura d'età nelle due aree non mostra differenze sostanziali anche se appare appena accennata la presenza di classi di età più elevate nell'area tirrenica. Nello SS la correlazione tra $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ per i tracuri è leggermente più alta (Figura 3.5.9; $r=0.60$; $p<0.05$) rispetto al MT ($r=0.42$; $p<0.05$). *Range* isotopici ristretti per i tracuri nello SS implicano comunità essenzialmente sostenute da un limitato numero di sorgenti di cibo (Fanelli et al., 2011a, 2011b). Al contrario, nel MT una minore correlazione tra i valori isotopici e la lunghezza degli individui e una altrettanto minore correlazione tra $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ fa ipotizzare che in quest'area gli individui più piccoli possono aver subito un *shift* ontogenetico anticipato, passando da una dieta basata principalmente su mesozooplankton ad una più piscivora.

Dallo studio della maturità si evince che il tracuro è in una fase attiva di riproduzione con una prevalenza di individui con deposizione imminente o deposizione in corso (stadi III e IV) in entrambe le aree, in accordo con il picco riproduttivo individuato nel Mediterraneo tra maggio e luglio (vedi sezione 1.1). L'indagine sullo stadio di maturità non rivela differenze tra le aree, nonostante il valore di GSI medio appare più elevato nell'area tirrenica rispetto a quella dello stretto di Sicilia.

Il merluzzo infine mostra in entrambe le aree una prevalenza di individui immaturi (classe II). Nonostante il numero di campioni analizzati sia molto limitato, la correlazione tra $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ è molto alta nello SS (Figura 3.6.8; $r=0.80$; $p<0.05$) rispetto al MT ($r=0.39$; $p<0.05$). E' possibile che questa specie sia più selettiva verso determinate prede nell'area dello SS rispetto al MT dove le sorgenti di cibo appaiono più disomogenee.

- ***Caratteristiche oceanografiche, definizione delle Sub-aree e applicazione del SIAR (Stable Isotope Analysis in R)***

Come già sottolineato, nonostante le quattro specie analizzate siano state campionate nello stesso ambiente pelagico costiero, e dovrebbero quindi alimentarsi approssimativamente sulle stesse prede, la variabilità degli isotopi stabili nelle specie e tra le diverse aree campionate ha evidenziato

una dieta differenziata. Tale variabilità non sembrerebbe dipendere direttamente da nessuno dei fattori fisiologici considerati, proprio in ragione della bassa correlazione tra i valori isotopici e gli indici biologici.

Le differenze nelle strategie alimentari tra le specie sono state quindi ricercate nella disponibilità e nel "tipo di cibo" presente nell'ambiente circostante. Dal momento che l'area di studio si estende in un ampio settore del Mediterraneo centrale, una prima analisi si è basata sulla definizione delle diverse caratteristiche topografiche e idrologiche delle aree di studio. In seguito, in relazione alle caratteristiche fisiche individuate (per es. estensione della piattaforma continentale, principali caratteristiche della circolazione delle masse d'acqua, presenza/assenza di fiumi e di grandi centri urbani lungo la costa) e alle principali variazioni dei segnali isotopici nelle specie ittiche rispetto alle aree di campionamento, è stato possibile individuare sette sub-aree. All'interno di ciascuna sub-area sono state utilizzate le analisi isotopiche su materiale organico particolato (POM) e sulle specie zooplanctoniche identificate al fine di evidenziare il contributo di ciascuna preda nell'alimentazione delle specie ittiche considerate.

Sebbene l'area dello Stretto di Sicilia sia considerata ultra-oligotrofica, il flusso dell'acqua atlantica (MAW), che si biforca in due getti principali (Atlantic Ionian Stream - AIS e Atlantic Tunisian Current - ATC), produce un vortice ciclonico sul Banco Avventura e uno in corrispondenza della piattaforma Siculo-Maltese e da luogo a un'ampia area di *upwelling* costiero permanente lungo la costa meridionale della Sicilia (Bonanno et al., 2014). Generalmente, reti trofiche in aree di *upwelling* sono essenzialmente basate sul consumo di fito- e zooplancton e presentano valori isotopici di azoto e carbonio più bassi rispetto a quelle presenti in aree non di *upwelling* (Miller et al., 2011). Nel bacino orientale del Mar Mediterraneo lo zooplancton presenta bassi valori di $\delta^{15}\text{N}$ (2.0–3.1‰; Koppelman et al., 2009) rispetto a quelli stimati per lo zooplancton campionato nella penisola Iberica (5–7‰, Bode et al., 2007). Cartes et al. (2014) trovano un *trend* decrescente nei valori di $\delta^{15}\text{N}$ negli esemplari di *A. foliacea*, analizzando la specie in tutto il bacino del Mediterraneo, dalle Baleari al Mar Egeo. Gli autori associano tale *trend* a un basso valore isotopico dei nitrati (NO_3) nel bacino orientale legato alla fissazione dell'azoto atmosferico ad opera del comparto biologico, un fenomeno noto come "azoto fissazione" (Pantoja et al., 2002). Nello stretto di Sicilia i valori più bassi di azoto e carbonio sono stati riscontrati in tutte e quattro le specie ittiche analizzate e sono probabilmente legati ad un'alimentazione basata prevalentemente su prede fito- e zooplanctoniche i cui bassi valori isotopici si ritrovano lungo l'intera rete trofica. I

range di valori del $\delta^{15}\text{N}$ nello Stretto di Sicilia, evidenziano un ambiente piuttosto omogeneo che corrisponde a comunità principalmente sostenute da un numero limitato di sorgenti di cibo. Questi bassi valori isotopici, che sono stati stimati in tutte le cale dello Stretto di Sicilia (Figura 3.7.2) e per tutte le specie, insieme alle caratteristiche topografiche e idrologiche dell'area decisamente peculiari e certamente differenti dal resto dell'area di studio, definiscono la prima sub-area: "Stretto di Sicilia" (Figura 3.7.2 – cale 1-14).

Il più semplice modello di circolazione nel Mar Tirreno prevede una struttura verticale della colonna d'acqua rappresentata da un sistema a tre strati con acqua di origine Atlantica (AW) nello strato superficiale, generalmente diretta verso nord, uno strato intermedio di origine levantina (Levantine Intermediate Water - LIW), anch'esso diretta verso nord, e uno strato di acqua più profonda (Tyrrhenian Deep Water - TDW). Più in particolare, la regione meridionale del Tirreno (in corrispondenza delle coste siciliane e calabresi) è dominata da vortici semi-permanenti e con caratteristiche transitorie, che rendono difficile individuare un flusso medio costante. Da un punto di vista topografico la piattaforma continentale tende a restringersi da ovest verso est (Marullo et al., 1994) e il nord della Sicilia è caratterizzato da un numero maggiore di insenature e di golfi rispetto alla costa calabra. In questa parte dell'area di studio sono stati stimati pochi valori isotopici per le specie ittiche analizzate ma la loro variabilità, insieme alle differenti caratteristiche idrologiche e topografiche, permettono di definire due sub-aree distinte: "Nord Sicilia" e "Calabria" (Figura 3.7.2).

Il sub-bacino settentrionale del Mar Tirreno è caratterizzato da una coppia di vortici (ciclonico e anticiclonico) semi-permanenti già noti in letteratura (Millot, 1999). Questa circolazione può dipendere dalla struttura topografica che in questa parte del bacino (tra le coste della Campania e quelle della Toscana) è caratterizzata da un'ampia piattaforma continentale (Marullo et al., 1994). Il Mar Ligure, parzialmente interessato dal disegno di campionamento lungo le coste della Toscana, è caratterizzato da una circolazione generalmente ciclonica delle masse d'acqua superficiali e intermedie. Lungo le coste del Tirreno, a partire dalle coste Campane, sono presenti le foci di diversi fiumi con notevoli portate: il Garigliano nel golfo di Gaeta, il Volturno che sfocia nei pressi di Castel Volturno, il Sele nel golfo di Salerno, il Sarno nel golfo di Napoli, il Tevere (nel Lazio), l'Arno (in Toscana). La presenza dei fiumi può influenzare le popolazioni ittiche di piccoli pelagici in termini di selettività dell'*habitat* (Lloret et al., 2004; Bergeron et al., 2010). In quest'area i risultati dei valori isotopici nelle specie ittiche considerate in questo lavoro sono molto variabili

ma permettono di identificare un notevole incremento isotopico nelle aree centrale e settentrionale raggiungendo i valori più alti in corrispondenza delle coste laziali (Golfo di Gaeta). La disomogeneità dei valori isotopici, evidenziata dagli ampi *range* nei valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, indicano la presenza di più sorgenti di cibo per le specie ittiche con caratteristiche molto differenti. I risultati dell'analisi isotopica e lo studio delle caratteristiche fisiche e idrologiche di questo bacino, hanno permesso di definire le restanti quattro sub-aree: "Sud Campania", "Golfo di Gaeta", "Sud Elba" e "Nord Elba" (Figura 3.7.2).

Sebbene i risultati sulla composizione isotopica del POM analizzato nelle diverse sub-aree rappresentino dei valori puntuali e non forniscano informazioni temporali, una prima analisi mostra un'elevata variabilità dei valori isotopici del materiale organico sia tra le sub-aree tirreniche che tra le aree tirreniche e lo Stretto di Sicilia. Il Golfo di Gaeta sembra differenziarsi maggiormente dalle altre sub-aree sia in termini di $\delta^{15}\text{N}$ sia di $\delta^{13}\text{C}$. Valori più impoveriti di $\delta^{13}\text{C}$ (-26‰) e più arricchiti di $\delta^{15}\text{N}$ (4‰) nel POM potrebbero documentare la presenza di un materiale organico di origine terrestre e di un apporto di azoto antropogenico (Vizzini et al., 2005) dovuto alla presenza di grandi centri urbani; in questo caso la presenza dei fiumi potrebbe rappresentare il vettore di tali contributi nelle aree costiere.

Tuttavia le analisi condotte sulle specie ittiche in quest'area non riflettono un impoverimento nel segnale isotopico del carbonio ma, al contrario, tutte le specie analizzate hanno valori isotopici più arricchiti di azoto e carbonio. Generalmente valori isotopici così arricchiti sono attribuibili ad una dieta basata maggiormente su prede bentoniche piuttosto che pelagiche (Tanaka et al., 2008; France, 1995; Doiuchi et al., 2011), oppure potrebbero riflettere il consumo di prede planctoniche che basano la loro dieta sulla produzione bentonica, definendo quindi delle aree di alimentazione più sotto costa che in mare aperto (Minagawa e Wada, 1984; Fry, 1991; Post, 2002; Michener e Lajtha, 2007). Doichi et al. (2011) mostrano infatti che valori di $\delta^{15}\text{N}$ dei produttori primari tendono ad essere più elevati nelle aree più sotto costa (fitoplancton= 8.3‰; microalghe= 11.1‰; macroalghe= 10.2‰) rispetto alle aree a largo (7.1‰; 6.7‰ e 5.8‰). L'input di nutrienti e di materiale organico (OM) da parte dei fiumi può far aumentare localmente la produttività delle zone costiere (Uttieri et al., 2011) e supportare, da un punto di vista energetico, una maggiore comunità di specie zooplanctoniche (Schlacher et al., 2009). Di conseguenza, è possibile che le specie ittiche in quest'area abbiano avuto a disposizione un maggior numero di prede zooplanctoniche appartenenti a diverse comunità, supportate da una maggiore produzione primaria (probabilmente bentonica)

legata al carico di nutrienti. Tale risultato è in accordo con i *range* isotopici ritrovati nelle diverse aree. Nel Tirreno ampi *range* nei valori isotopici di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ definiscono la presenza di più sorgenti alimentari esplorate dalle specie ittiche.

La maggior parte dello zooplancton campionato si presenta piuttosto comune nelle diverse sub-aree, a parte qualche specie che tende ad alternarsi. I copepodi appaiono le specie maggiormente rappresentate in tutte le aree, seguiti poi da anfipodi, misidiacei, decapodi, ostracodi e chetognati. Per semplicità di analisi, le specie zooplanctoniche sono state suddivise rispetto al loro *feeding-mode* in carnivori (C), erbivori (H) e onnivori (O). La suddivisione ci ha permesso di applicare il modello Bayesiano (SIAR) attraverso il quale abbiamo verificato, dove possibile, il contributo delle diverse prede all'alimentazione delle specie ittiche analizzate rispetto alle aree.

I risultati del SIAR mostrano che le acciughe nello Stretto di Sicilia si alimentano prevalentemente su prede onnivore e carnivore mentre le sardine prevalentemente su prede onnivore ed erbivore. In questo modo le specie sembrano ripartirsi le risorse alimentari al fine di ridurre la competizione interspecifica, così come descritto anche da Nikolioudakis et al. (2014). Al contrario, nel Tirreno (in particolare nell'area del Golfo di Gaeta) il contributo principale alla dieta di entrambe le specie è dato prevalentemente da prede carnivore; acciughe e sardine si alimentano quindi sulle stesse prede o comunque su prede appartenenti allo stesso livello trofico. Tale comportamento alimentare pone le due specie in competizione verso la stessa preda dovendosi ripartire lo stesso *habitat* trofico. Tale comportamento potrebbe essere il risultato di una dipendenza verso la stessa preda oppure essere lo specchio di una scarsa disponibilità di prede dettata dall'ambiente circostante (Raab et al., 2011; Chauvelon et al., 2014).

Anche tracuri e merluzzi, suddivisi in giovanili e adulti in relazione alla variabilità del segnale isotopico con la taglia, mostrano preferenze alimentari che tendono a cambiare nelle diverse sub-aree. Complessivamente gli adulti di entrambe le specie mostrano un aumento del segnale isotopico di azoto e carbonio dovuto a un consumo maggiore di pesci. Il *trend* del segnale isotopico è in accordo con gli studi condotti sul contenuto stomacale di tracuri (Jardas et al., 2004; Santic et al., 2005) e merluzzi (Bozzano et al., 1997; Mahe et al., 2007; Philips et al., 2012), che evidenziano una dieta prevalentemente zooplanctofaga nelle prime fasi della loro vita e progressivamente ittiofaga con la crescita degli esemplari. Inoltre, i risultati del SIAR evidenziano un discreto contributo alla dieta di tracuri e merluzzi di prede onnivore, carnivore ed erbivore, classificando queste specie come opportuniste, in accordo con quanto riportato da diversi autori (es. Jardas et al.,

2004; Santic et al., 2005; Bayan et al., 2013) che hanno mostrato un'alimentazione di queste specie basate su un ampio spettro di prede (dagli eufasiacei ai pesci).

Come ci si aspettava, il calcolo del livello trofico di tutte le specie nelle diverse sub-aree ha mostrato posizioni trofiche più basse per acciughe e sardine rispetto a tracuri e merluzzi. In alcune aree i livelli trofici sono equivalenti mentre in altre si discostano profondamente tra loro.

In conclusione, i risultati mostrano che all'interno della stessa specie le differenze isotopiche riscontrate nelle diverse aree (SS e MT) risultano dipendenti da una variabilità legata all'ambiente circostante piuttosto che a variazioni nella fisiologia delle specie durante il ciclo vitale. A tal proposito è di particolare interesse il risultato ottenuto dal confronto tra acciughe e sardine, due specie che condividono la stessa nicchia alimentare ma che si sono adattate ad alimentarsi in differenti comparti trofici. I risultati isotopici di questo studio mostrano un forte *overlap* trofico tra le sardine e le acciughe nell'area tirrenica che risulta meno evidente nello Stretto di Sicilia. Tale *overlap* trofico è in accordo con gli studi effettuati nella penisola iberica in cui le due specie mostrano posizioni trofiche equivalenti (Bode et al. 2007). Tuttavia, i risultati del SIAR condotti sul segnale isotopico delle specie zooplanctoniche, integrati con quelli condotti sui muscoli delle specie ittiche, hanno evidenziato delle similarità e dissimilarità trofiche nelle diverse sub-aree. Queste due specie appaiono dipendenti dalla disponibilità di prede nell'ambiente circostante e dalla capacità delle specie di suddividersi le risorse sulla base di tali disponibilità, cambiando il tipo di alimentazione in relazione a fattori naturali o indotti, diventando delle specie opportunistiche e troficamente flessibili come riscontrato anche da altri autori (e.g. Tudela e Palomera 1997; Bulgakova, 1996; Garrido et al., 2007; Tanaka et al., 2008; Borme et al., 2009).

Capitolo 5: CONCLUSIONI

- Le analisi degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) condotte sui muscoli delle quattro specie ittiche analizzate (*Engraulis encrasicolus*, *Sardina pilchardus*; *Trachurus trachurus*, *Merluccius merluccius*) documentano differenze significative tra le aree di studio.
- Lo stato fisiologico degli organismi (studiato attraverso alcuni indici biologici) non giustifica le variazioni nei segnali isotopici in nessuna delle quattro specie ittiche studiate.
- Le caratteristiche idrologiche e topografiche delle aree di studio evidenziano differenze negli ambienti campionati con un'area Tirrenica altamente eterogenea in termini fisici.
- L'integrazione tra i fattori fisici (idrologici e topografici) e l'elevata variabilità isotopica nelle specie ittiche ha portato a evidenziare sette sub-aree, alcune delle quali altamente eterogenee.
- Nelle sub-aree, le analisi isotopiche del POM e delle specie zooplanctoniche campionate, hanno confermato un diverso comportamento alimentare delle specie, facendo ipotizzare a una diretta influenza dell'ambiente circostante sulla dieta delle specie.
- Il modello Bayesiano (SIAR) ci ha permesso di identificare il contributo di ciascuna preda nell'alimentazione delle specie ittiche esaminate nelle varie sub-aree. Acciughe e sardine appaiono alimentarsi su prede diverse in alcune aree (per es. Stretto di Sicilia) mentre in altre hanno mostrato un *overlap* trofico con una prevalenza di prede carnivore (Golfo di Gaeta). Tracuri e merluzzi mostrano preferenze alimentari che cambiano leggermente rispetto alle sub-aree ma che generalmente seguono un comportamento alimentare già documentato in precedenza.
- Questo lavoro presenta i primi risultati isotopici di quattro specie ittiche nel Mediterraneo centrale e pone le basi per possibili futuri lavori nell'ambito del comportamento trofico di pesci appartenenti al "*middle trophic level*" e, di conseguenza, di fondamentale importanza per il sostentamento di tutte le reti trofiche marine.

BIBLIOGRAFIA

- Abaunza P., Gordo L., Karlou-Riga C., Murta A., Eltink A.T.G.W., Garcia Santamaria M.T., Zimmermann C., Hammer C., Lucio P., Iversen S.A., Molloy, J., Gallo, E., (2003). Growth and reproduction of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Carangidae). Rev. Fish Biol. Fish. 13(1): 27–61.
- Abaunza P., Gordo L.S., Garcia Santamaria M.T., Iversen S.A., Murta A.G., Gallo E. (2008). Life history parameters as basis for the initial recognition of stock management units in horse mackerel (*Trachurus trachurus*). Fisheries Research 89:167–180.
- Astraldi M., Gasparini G.P., Vetrano A., Vignudelli S. (2002). Hydrographic characteristics and interannual variability of water masses in the central Mediterranean: a sensitivity test for long-term changes in the Mediterranean Sea. Deep-Sea Research I 49: 661–680.
- Astraldi M., Balopulos S., Candela J., Font J., Gacic M., Gasparini G.P., Manca B., Theocharis A., Tintore´ J. (1999). The role of straits and channels in understanding the characteristics of Mediterranean circulation. Progress in Oceanography 44: 65–108.
- Bacha M. & Amara R. (2009). Spatial, temporal and ontogenetic variation in diet of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) on the Algerian coast (SW Mediterranean). Estuarine, Coastal and Shelf Science 85: 257–264.
- Bacha M., Moali A., Benmansour N., Brylinski J.M., Mahé K., Amara R. (2010). Relationships between age, growth, diet and environmental parameters for anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Bay of Bénisaf (SW Mediterranean, west Algerian coast). Cybium 34(1): 47-57.
- Baker R., Buckland A. & Sheaves M.(2014). Fish gut content analysis: robust measures of diet Composition. Fish and Fisheries 15: 170–177.
- Basilone G., Bonanno A., Patti B., Mazzola S., Barra M., Cuttitta A., McBride R. (2013). Spawning site selection by European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in relation to oceanographic conditions in the Strait of Sicily. Fisheries Oceanography, 22: 309–323.
- Basilone G., Guisande C., Patti B., Mazzola S., Cuttitta A., Bonanno A., Vergara A.R., Maniero I.(2006 A). Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. Fisheries Oceanography Volume 15 (4): 271–280.

- Basilone G., Guisande C., Patti B., Mazzola S.,Cuttitta A., Bonanno A., Kallianiotis A. (2004 A). Linking habitat conditions and growth in the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*). Fisheries Research Volume 68 (1–3): 9–19.
- Basilone G., Musco M., Caruana L., Cuttitta A., Bonanno A., Patti B., Buscaino G., Mazzola S. (2006 B). Risultati preliminari su alcuni aspetti dell'alimentazione dell'acciuga europea (*Engraulis encrasicolus*) nello stretto di Sicilia. Biol.Mar. Medit. 13 (1): 801-805.
- Basilone G., Patti B., Mazzola S., Cuttitta A., Bonanno A., Sposito P., Patti C., Rollandi L. (2004B). Length at first maturity estimation for Sardine (*Sardina pilchardus*) in the Strait of Sicily. General Fisheries Commission for the Mediterranean, Scientific Advisory Committee – Working Group on small pelagic species. Malaga, Spagna, 5-7 Maggio, 2004.
- Basilone G., Ganiyas K., Ferreri R., D'Elia M., Quinci E.M., Mazzola S., Bonanno A. (2015). Application of GAMs and multinomial models to assess the spawning pattern of fishes with daily spawning synchronicity: A case study in the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the central Mediterranean Sea. Fisheries Research 167: 92–100.
- Bayhan B. & Sever T.M. (2009). Food and feeding habits of the Atlantic Horse Mackerel, *Trachurus trachurus*, from the Aegean Sea (Osteichthyes: Carangidae). Zoology in the Middle East 46 (1): 47-54.
- Bayhan B., Sever T.M. & Kara A. (2013). Diet composition of the Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner, 1868) (Osteichthyes: Carangidae), from the Aegean Sea. Belg. J. Zool. 143(1) : 15-22
- Ben Ismail S., Schroeder K., Sammari C., Gasparini G.P., Borghini M., Aleya L. (2014). Interannual variability of water mass properties in the Tunisia-Sicily Channel. J. Mar. Syst. 135: 14–28.
- Béranger K., Mortier L. & Crépon M., (2005). Seasonal variability of water transport through the Straits of Gibraltar, Sicily and Corsica derived from a high resolution model of the Mediterranean circulation. Progress in Oceanography 66: 341–364.
- Bergeron J.P., Delmas D., Koueta N. (2010). Do River Discharge Rates Drive the Overall Functioning of the Pelagic Ecosystem over the Continental Shelf of the Bay of Biscay (NE Atlantic)? A Comparison of Two Contrasting Years with Special Reference to Anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) Nutritional State. Journal of Oceanography, Vol. 66: 621-631.

- Blanco A. , Deudero S. & Box A. (2009). Muscle and scale isotopic offset of three fish species in the Mediterranean Sea: *Dentex dentex*, *Argyrosomus regius* and *Xyrichtys novacula*. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 23: 2321–2328.
- Bode A., Alvarez-Ossorio M.T., Carrera P., Lorenzo J. (2004). Reconstruction of trophic pathways between plankton and the North Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) using stable isotopes. *Scientia Marina* 68: 165–178.
- Bode A., Carrera P., Lens S. (2003). The pelagic foodweb in the upwelling ecosystem of Galicia (NW Spain) during spring: natural abundance of stable carbon and nitrogen isotopes. *ICES Journal of Marine Science* 60: 11–22.
- Bode A., Carrera P., Porteiro C.(2006). Stable nitrogen isotopes reveal weak dependence of trophic position of planktivorous fishes from individual size: a consequence of omnivorism and mobility. *Radioactivity In The Environment* 8: 281–294.
- Bode A., Alvarez-Ossorio M.T., Cunha M.E., Garrido S., Peleteiro J.B., Porteiro C., Valdés L., Varela M. (2007). Stable nitrogen isotope studies of the pelagic food web on the Atlantic shelf of the Iberian Peninsula. *Progress in Oceanography* 74: 115–131.
- Boecklen W.J., Yarnes C.T., Cook B.A. & James A.C. (2011). On the use of stable isotope in trophic ecology. *The Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 42: 411-40.
- Bonanno A., Placenti F., Basilone G., Mifsud R., Genovese S., Patti B., Di Bitetto M., Aronica S., Barra M., Giacalone G., Ferreri R., Fontana I., Buscaino G., Tranchida G., Quinci E., Mazzola S. (2014). Variability of water mass properties in the Strait of Sicily in summer period of 1998–2013. *Ocean Science* 10: 759–770.
- Bonanno A., Zgozi S., Cuttitta A., Turki A. El., Di Nieri A., Ghmati H., Basilone G., Aronica S., Hamza M., Barra M., Genovese S., Falco F., Knittweis L., Mifsud R., Patti B., Bahri T., Giacalone G., Fontana I., Tranchida G., Mazzola S. (2013). Influence of environmental variability on anchovy early life stages (*Engraulis encrasicolus*) in two different areas of the Central Mediterranean Sea. *Hydrobiologia* 701: 273–287.
- Borme D., Tirelli V., Brandt S.B., Fonda Umani S., Arneri E. (2009). Diet of *Engraulis encrasicolus* in the northern Adriatic Sea (Mediterranean): ontogenetic changes and feeding selectivity. *Mar Ecol Prog Ser* 392: 193–209.

- Bozzano A., Recasens L., Sartor P. (1997). Diet of the European hake *Merluccius merluccius* (Pisces: Merlucciidae) in the western Mediterranean (Gulf of Lions). *Scientia Marina* 61(1): 1-8.
- Budillon G., Gasparini G.P., Schroeder K.(2009). Persistence of an eddy signature in the central Tyrrhenian basin. *Deep-Sea Research II* 56: 713–724.
- Bulgakova Yulia V. (1993). Feeding in the Black Sea anchovy: diet composition, feeding behaviour, feeding periodicity and daily rations. *SCI. MAR.* 60 (Supl. 2): 283-284
- Cabana G. & Rasmussen J.B. (1996). Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 93: 10844-10847.
- Carpentieri P., Colloca F., Cardinale M., Belluscio A., Ardizzone G.D. (2005). Feeding habits of European hake (*Merluccius merluccius*) in the central Mediterranean Sea. *Fishery Bulletin* 103(2): 411-416.
- Cartes J. E., Hidalgo M., Papiol V., Massutí E., Moranta J. (2009). Changes in the diet and feeding of the hake (*Merluccius merluccius*) at the shelf-break of the Balearic Islands: Influence of the mesopelagic-boundary community. *Deep-Sea Research I* 56: 344–365.
- Cartes J.E., Fanelli E., Kipiris K., Bayhan Y.K., Ligas A., López-Pérez C., Murenu M., Papiol V., Rumolo P., Scarcella G. (2014). Spatial variability in the trophic ecology and biology of the deep-sea shrimp *Aristaeomorpha foliacea* in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research I* 87: 1–13.
- Catalàn I. A., Folkvord A., Palomera I., Quilez-Badía G., Kallianoti F., Tselepides A., Kallianotis A. (2010). Growth and feeding patterns of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) early life stages in the Aegean Sea (NE Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 86: 299–312.
- Caut S., Angulo E. & Courchamp F. (2009). Variation in discrimination factors (D15N and D13C): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. *Journal of Applied Ecology* 46: 443–453.
- Chouvelon T., Chappuis A., Bustamante P., Lefebvre S., Mornet F., Guillou G., Violamer L., Dupuy C. (2014). Trophic ecology of European sardine *Sardina pilchardus* and European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Bay of Biscay (north-east Atlantic) inferred from $\delta^{13}\text{C}$

- and $\delta^{15}\text{N}$ values of fish and identified mesozooplanktonic organisms. *Journal of Sea Research* 85: 277–291.
- Clarke K.R. (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust J Ecol* 18: 117-143.
 - Clarke K.R., Warwick R.M. (1994) Similarity-based testing for community pattern: the 2-way layout with no replication. *Mar Biol* 118: 167-176.
 - Clarke K.R., Warwick R.M. (2001). A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar Ecol Prog Ser* 216: 265-278.
 - Colloca F., Gentiloni P., Belluscio A., Carpentieri P., Ardizzone G.D. (2002). Estimating growth parameters of the European hake (*Merluccius merluccius*) through the analysis and validation of annual increments in otoliths. IN: Carpentieri P., Colloca F., Cardinale M., Belluscio A., Ardizzone G.D. (2005). Feeding habits of European hake (*Merluccius merluccius*) in the central Mediterranean Sea. *Fishery Bulletin* 103 (2): 411-416.
 - Costalago D., Palomera I., Tirelli V. (2014). Seasonal comparison of the diets of juvenile European anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardina pilchardus* in the Gulf of Lions. *Journal of Sea Research* Volume 89: 64–72.
 - Costalago D., Navarro J., Álvarez-Calleja I., Palomera I. (2012). Ontogenetic and seasonal changes in the feeding habits and trophic levels of two small pelagic fish species. *Marine Ecology Progress Series* 460: 169-181.
 - Cresson P., Ruitton S., Ourgaud M., Harmelin-Vivien M. (2014). Contrasting perception of fish trophic level from stomach content and stable isotope analyses: A Mediterranean artificial reef experience. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 452: 54–62.
 - Cury P., Bakun A., Crawford R.J.M., Jarre A., Quinones R.A., Shannon L.J. & Verheye H.M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. *ICES Journal of Marine Science* 57: 603-618.
 - Daskalov G.M. (2002). Overfishing drives a trophic cascade in the Black Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 225: 53–63.
 - De Niro M. J. & Epstein S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: 495-506.

- Doiuchi R., Yasue N., Takeuchi T., Yamauchi M., Okuyama Y., Suwa T., Mukaino M. (2011). Comparison of carbon sources for *Trichiurus japonicus* and other benthic fishes in the Kii Channel, Japan, based on carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Nippon Suisan Gakkaishi* 77: 205–214.
- El Habouz H., Recasens L., Kifani S., Moukrim A., Bouhaimi A., El Ayoubi S. (2011). Maturity and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius*, Linnaeus, 1758) in the eastern central Atlantic. *Scientia Marina* 75(3): 447-454.
- Espinoza P., Bertrand A., Van der Lingen C. D., Garrido S., Rojas de Mendiola B. (2009). Diet of sardine (*Sardinops sagax*) in the northern Humboldt Current system and comparison with the diets of clupeoids in this and other eastern boundary upwelling systems. *Progress in Oceanography* 83: 242–250.
- Fanelli E., Cartes J.E., Badalamenti F., D’Anna G., Pipitone C., Azzurro E., Rumolo P., Sprovieri M. (2011 B). Meso-scale variability of coastal suprabenthic communities in the southern Tyrrhenian Sea (western Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 91: 351-360.
- Fanelli E., Papiol V., Cartes J.E., Rumolo P., Brunet C., Sprovieri M. (2011). Food web structure of the epibenthic and infaunal invertebrates on the Catalan slope (NW Mediterranean): Evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Deep-Sea Research I* 58: 98–109.
- Ferraton F., Harmelin-Vivien M., Mellon-Duval C., Souplet A. (2007). Spatio-temporal variation in diet may affect condition and abundance of juvenile European hake in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Mar Ecol Prog Ser* Vol. 337: 197–208.
- Field J.G., Clarke K.R., Warwick R.M. (1982). A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Mar Ecol Prog Ser* 8: 37-52.
- France R.L. (1995). Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 124: 307-312.
- Fry B. (1991). Stable Isotope Diagrams of Freshwater Food Webs. *Ecology* Vol. 72, No. 6: 2293-2297.
- Gale B.H., Johnson J.B., Schaalje G. B. , Belk M.C. (2013). Effects of predation environment and food availability on somatic growth in the Livebearing Fish *Brachyrhaphis rhabdophora* (Pisces: Poeciliidae). *Ecology and Evolution* 3 (2): 326–333.

- Gantias K., Somarakis S., Koutsikopoulos C., Machias A. (2007). Factors affecting the spawning period of sardine in two highly oligotrophic seas. *Marine Biology* 151: 1559–1569.
- Gantias K. (2009). Linking sardine spawning dynamics to environmental variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84: 402–408.
- Garciâ Lafuente J., Garciâ A., Mazzola S., Quintanilla L., Delgado J., Cuttita A., Patti B. (2002). Hydrographic phenomena influencing early life stages of the Sicilian Channel anchovy. *Fish. Oceanogr.* 11 (1): 31-44.
- Garrido S., Marcalo A., Zwolinski J., Van der Lingen C.D. (2007). Laboratory investigations on the effect of prey size and concentration on the feeding behaviour of *Sardina pilchardus*. *Mar Ecol Prog Ser* 330: 189–199.
- Garrido S., Ben-Hamadou R., Oliveira P.B., Cunha M.E., Chícharo M.A., Van Der Lingen C.D. (2008). Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Mar Ecol Prog Ser Vol.* 354: 245–256.
- Gasparini G.P., Bonanno A., Zgozi S., Basilone G., Borghini M., Buscaino G., Cuttitta A., Essarbout N., Mazzola S., Patti B., Ramadan A. B., Schroeder K., Bahri T., Massa F. (2008). Evidence of a dense water vein along the Libyan continental margin. *Ann. Geophys.* 26: 1–6.
- Gasparini G.P., Zodiatis G., Astraldi M., Galli C., Sparnocchia S. (1999). Winter Intermediate Water lenses in the Ligurian Sea. *J. Mar. Syst.* 20: 319–332.
- Giráldez A. & Abad R. (1995). Aspects on the reproductive biology of the Western Mediterranean anchovy from the coast of Málaga (Alboran Sea). *Sci. mar.* 59: 15–23.
- ICES (2008). Report of the Workshop on Small Pelagics (*Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*) maturity stages (WKSPMAT). ICES REPORT, 10–14 November 2008, Mazara del Vallo, Italy. pp.82.
- ICES (2009). Report of the Workshop on Age reading of European anchovy (WKARA). ICES REPORT, 9-13 November 2009, Sicily, Italy.
- IREPA 2011, Osservatorio economico sulle strutture produttive della pesca marittima in Italia. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane, 2012.

- James A.G. & Findlay K.P. (1989). Effect of particle size and concentration on feeding behaviour, selectivity and rates of food ingestion by the Cape anchovy *Engraulis capensis*. Marine Ecology Progress Series 50: 275–294.
- Jardas I., Santic´ M. & Pallaoro A. (2004). Diet composition and feeding intensity of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Osteichthyes: Carangidae) in the eastern Adriatic. Marine Biology 144: 1051–1056.
- Jennings S., Greenstreet S.P.R., Hill L., Piet G.J., Pinnegar J.K., Warr K.J. (2002) Long-term trends in the trophic structure of the North Sea fish community: evidence from stable isotope analysis, size-spectra and community metrics. Marine Biology 141: 1085-1097.
- Jennings S., Renones O., Morales-Nin B., Polunin N.V.C., Moranta J., Coll J. (1997). Spatial variation in the ^{15}N and ^{13}C stable isotope composition of plants, invertebrates and fishes on Mediterranean reefs: implications for the study of trophic pathways. Mar Ecol Prog Ser 14: 109-116.
- Karacle P.K. & Stergiou K.I.(2013). Feeding and ecomorphology of three clupeoids in the North Aegean Sea. Medit. Mar. Sci.15/1: 9-26.
- Karlou-Riga C. & Sinis A. (1997). Age and growth of horse mackerel *Trachurus trachurus* (L.) in the Gulf of Saronikos (Greece). Fish. Res. 32: 157-171.
- Koppelman R., Böttger-Schnack R., Möbius J., Weikert H. (2009) Trophic relationships of zooplankton in the eastern Mediterranean based on stable isotope measurements. Journal of Plankton Research 31(6): 669–686.
- Koppelman R., Kullmann B, Lahajnar N, Martin B, Mohrholz V (2013). Onshore-offshore distribution of Thecosomata (Gastropoda) in the Benguela Current upwelling region off Namibia: species diversity and trophic position. Journal of the marine Biological Association UK, 93: 1625-1640.
- Korta M., Domínguez-Petit R., Murua H., Saborido-Rey F. (2010). Regional variability in reproductive traits of European hake *Merluccius merluccius* L. populations. Fisheries Research 104: 64–72
- Kurle C.M., Sinclair E.H., Edwards A.E. & Gudmundson C.J. (2011). Temporal and spatial variation in the $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of fish and squid from Alaskan waters. Mar Biol 158: 2389-2404.

- Le Cren E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *J. Anim. Ecol.* 20: 201-19.
- 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.
- Lindsay D. J., Minagawa M., Mitani I., Kawaguchi K. (1998). Trophic Shift in the Japanese Anchovy *Engraulis japonicus* in its Early Life History Stages as Detected by Stable Isotope Ratios in Sagami Bay, Central Japan. *Fisheries Science* 64(3): 403-410.
- Leonart J. & Maynou F. (2003). Fish stock assessments in the Mediterranean: state of the art. *Scientia Marina* 67(S1): 37-49.
- Lloret J., Gil de Sola L., Souplet A., Galzin R. (2002). Effects of large-scale habitat variability on condition of demersal exploited fish in the north-western Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science* 59: 1215–1227.
- Lloret J., Palomera I., Salat J., Sole I. (2004). Impact of freshwater input and wind on landings of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in shelf waters surrounding the Ebre (Ebro) River delta (north-western Mediterranean). *Fish Oceanogr* 13: pp. 102-110.
- Madigan D. J., Carlisle A. B., Dewar H., Snodgrass O.E., Litvin S.Y., Micheli F., Block B.A. (2012). Stable Isotope Analysis Challenges Wasp-Waist Food Web Assumptions in an Upwelling Pelagic Ecosystem. *Scientific Reports* 2: 654.
- Mahe K., Amara R., Bryckaert T., Kacher M., Brylinski J. M (2007). Ontogenetic and spatial variation in the diet of hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay and the Celtic Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 64 (6): 1210-1219.
- 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 Research* 35: 1021–1035.
- Marullo S., Santoleri R. & Bignami F. (1994). The Surface Characteristics of the Tyrrhenian Sea: Historical Satellite Data Analysis, in: *Seasonal and Interannual Variability of the Western Mediterranean Sea* (ed P. E. La Violette), American Geophysical Union, Washington, D. C.

- Michener R. & Lajtha K. (2007). *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Blackwell publishing. 594p.
- Miller T.W., Brodeur R.D., Rau G., Omori K.(2010). Prey dominance shapes trophic structure of the northern California Current pelagic food web: evidence from stable isotopes and diet analysis. *Mar Ecol Prog Ser Vol. 420*: 15–26.
- Miller T.W., Van Der Lingen C., Brodeur R., Omori K., Hamaoka H., Isobe T. (2011). Understanding What Drives Food Web Structure in Marine Pelagic Ecosystems. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry—Marine Environmental Modeling & Analysis*, Eds.: Omori K., Guo X., Yoshie N., Fujii N., Handoh I. C., Isobe A. e Tanabe S., pp. 125–131.
- Millot C. (1999). Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems* 20: 423–442.
- Minagawa M. & Wada E.(1984). Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1135-1140.
- Nikolioudakis N., Isari S., Pitta P., Somarakis S.(2012). Diet of sardine *Sardina pilchardus*: an ‘end-to-end’ field study. *Mar Ecol Prog Ser* 453: 173–188.
- Olive P.J.W., Pinnegar J.K., Polunin N.V.C., Richards G., Welch R.(2003). Isotope trophic-step fractionation: a dynamic equilibrium model. *Journal of Animal Ecology* 72: 608-617.
- Palomera I. & Rubiés P. (1996). The European anchovy and its environment. In: Tudela S. e Palomera I. (1997). *Trophic ecology of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Catalan Sea (northwest Mediterranean)*. *Mar Ecol Prog Ser Vol. 160*: 121-134.
- Palomera I., Olivar M.P., Salat J., Sabate’s A., Coll M., Garcia A., Morales-Nin B.(2007). Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography* 74: 377–396.
- Pantoja S., Repeta D.J., Sachs J.P., Sigman D.M. (2002). Stable isotope constraints on the nitrogen cycle of the Mediterranean Sea water column. *Deep-Sea Research I* 49: 1609–1621.
- Parnell A.C., Inger R., Bearhop S., Jackson A.L. (2010). Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *PLoS ONE* 5 (3): e9672.

- Pauly D., Christensen V., Guénette S., Pitcher T., Sumaila U.R., Walters C., Watson R. & Zeller D. (2002). Toward sustainability in world fisheries. *Nature* 418: 689–695.
- Pauly D., Watson R. & Alder J. (2005). Global trends in world fisheries: impacts on marine ecosystems and food security. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360: 5–12.
- Peterson B.J. & Fry B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 18: 293–320.
- Philips A.E. (2012). Feeding behavior of the European hake *Merluccius merluccius* Linnaeus, 1758 (Family: Gadidae) from Egyptian Mediterranean waters off Alexandria. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 38: 39–44.
- Philips A.E. (2014). Comparison of some biological aspects between the two sexes of the European hake *Merluccius merluccius* from the Egyptian Mediterranean waters. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 40: 309–315.
- Pierini S. & Simioli A. (1998). A wind-driven circulation model of the Tyrrhenian Sea area. *Journal of Marine Systems* 18: 161–178.
- Pinnegar J.K. & Polunin N. V.C. (2000). Contributions of stable-isotope data to elucidating food webs of Mediterranean rocky littoral fishes. *Oecologia* 122: 399–409.
- Pinnegar J.K. & Polunin N.V.C. (1999). Differential fractionation of d13C and d15N among fish tissues: implications for the study of trophic interactions. *Functional Ecology* 13: 225–231.
- Placenti F., Schroeder K., Bonanno A., Zgozi S., Sprovieri M., Borghini M., Rumolo P., Cerrati G., Bonomo S., Genovese S., Basilone G., Haddoud D. A., Patti B., El Turki A., Hamza M., Mazzola S. (2013). Water masses and nutrient distribution in the Gulf of Syrte and between Sicily and Libya. *J. Marine Sys.*, 121–122, 36–46.
- Plounevez S. & Champalbert G. (2000). Diet, feeding behaviour and trophic activity of the anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Gulf of Lions (Mediterranean Sea). *Oceanologica Acta* Vol. 23 N° 2.
- Plounevez S. & Champalbert G. (1999). Feeding Behaviour and Trophic Environment of *Engraulis encrasicolus* (L.) in the Bay of Biscay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 49: 177–191.

- Polunin N.V.C., Morales-Nin B., Pawsey W.E., Cartes J.E., Pinnegar J.K., Moranta J. (2001). Feeding relationships in Mediterranean bathyal assemblages elucidated by stable nitrogen and carbon isotope data. *Mar Ecol Prog Ser* Vol. 220: 13–23.
- Post D.M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions. *Ecology* 83: 703–718.
- Poulain P. & Zambianchi E. (2007). Surface circulation in the central Mediterranean Sea as deduced from Lagrangian drifters in the 1990s. *Continental Shelf Research* 27: 981–1001.
- Raab K., Nagelkerke L.A.J., Boerée C., Rijnsdorp A.D., Temming A., Dickey-Collas M. (2011). Anchovy *Engraulis encrasicolus* diet in the North and Baltic Seas. *Journal of Sea Research* 65: 131–140.
- Rinaldi E., Buongiorno Nardelli B., Zambianchi E., Santoleri R, Poulain P. M. (2010). Lagrangian and Eulerian observations of the surface circulation in the Tyrrhenian Sea. *J. Geophys. Res.* 115.
- Rio M. H., Poulain P.M., Pascual A., Mauri E., Larnicol G., Santoleri R. (2007). A mean dynamic topography of the Mediterranean Sea computed from altimetric data, in-situ measurements and a general circulation model. *J. Mar. Syst.* 65: 484–508.
- Robinson A. J., Sellshop J., Warn-Warnas A., Leslie W.J., Lozano C.J., Haley Jr. P.J., Anderson L.A., Lermusiaux P.F.J. (1999). The Atlantic Ionian Stream. *Journal of Marine Systems* 20: 129–156.
- Salat J. & Font J. (1987). Water mass structure near and offshore the Catalan coast during winters 1982 and 1983. *Annales Geophys.*, 5B (1): 49-54. In: Salat J. (1996). Review of hydrographic environmental factors that may influence anchovy habitats in northwestern Mediterranean. *Sci. Mar.*, 60 (Supl. 2): 21-32.
- Sammari C., Millot C., Taupier-Letage I., Stefani A., Brahim M. (1999). Hydrological characteristics in the Tunisian-Sardinia-Sicily area during spring 1995. *Deep-Sea Res. Pt. I*, 46: 1671–1703.
- Santic´ M., Jardas I. e Pallaoro A. (2005). Feeding habits of horse mackerel, *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758), from the central Adriatic Sea. *J. Appl. Ichthyol.* 21: 125–130.

- Schlacher T. A., Connolly R.M., Skillington A.J., Gaston T.F. (2009). Can export of organic matter from estuaries support zooplankton in nearshore, marine plumes? *Aquatic Ecology* 43(2):383-393.
- Sinovic' G., Cikes Kec V., Zorica B.(2008). Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76: 739-744.
- Sorgente R., Drago A.F., Ribotti A.(2003). Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation. *Ann. Geophys.* 21: 299–322.
- Sorgente R., Olita A., Oddo P., Fazioli L., Ribotti A. (2011). Numerical simulation and decomposition of kinetic energy in the Central Mediterranean: insight on mesoscale circulation and energy conversion. *Ocean Science* 7: 503–519.
- Spitz J., Chauvelon T., Cardinaud M., Kostecky C., Lorange P. (2013). Prey preferences of adult sea bass *Dicentrarchus labrax* in the northeastern Atlantic: implications for bycatch of common dolphin *Delphinus delphis*. *ICES Journal of Marine Science* 70(2): 452–461.
- Stagioni M., Montanini S., Vallisneri M. (2011). Feeding habits of European hake, *Merluccius merluccius* (actinopterygii: gadiformes: merlucciidae), from the northeastern Mediterranean sea. *Acta ichthyologica et piscatoria* 41 (4): 277–284.
- Stergiou K.I. & Karpouzi V. S. (2002). Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11: 217–254.
- Stransky C., Murta A.G., Schlickeisen J., Zimmermann C. (2008). Otolith shape analysis as a tool for stock separation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean. *Fisheries Research* 89: 159–166.
- Takai N., Mishima Y., Yorozu A., Hoshika A. (2002). Carbon sources for demersal fish in the western Seto Inland Sea, Japan, examined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses. *Limnol. Oceanogr.* 47: 730–741.
- Takai N., Hirose N., Osawa T., Hagiwara K., Kojima T., Okazaki Y., Kuwae T., Taniuchi T., Yoshihara K. (2007). Carbon source and trophic position of pelagic fish in coastal waters of south-eastern Izu Peninsula, Japan, identified by stable isotope analysis. *Fisheries Science* 73: 593–608.

- Tanaka H., Ohshimo S., Takagi N., Ichimaru T. (2010). Investigation of the geographical origin and migration of anchovy *Engraulis japonicus* in Tachibana Bay, Japan: A stable isotope approach. *Fisheries Research* 102: 217–220.
- Tanaka H., Takasuka A., Aoki I., Ohshimo S., 2008. Geographical variations in the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, inferred from carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Mar. Biol.* 154: 557–568.
- Thomas C. J. & Cahoon L. B. (1993). Stable isotope analyses differentiate between different trophic pathways supporting rocky-reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 95: 19-24.
- Tsikliras A.C., Antonopoulou E., Stergiou K.I. (2010). Spawning period of Mediterranean marine fishes. *Rev Fish Biol Fisheries* 20: 499–538.
- Tudela S. & Palomera I. (1997). Trophic ecology of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Catalan Sea (northwest Mediterranean). *Mar Ecol Prog Ser Vol.* 160: 121-134.
- Tudela S. & Palomera I. (1995). Diel feeding intensity and daily ratios in the Anchovy *Engraulis encrasicolus* in the northwest Mediterranean sea during the spawning period. *Mar Ecol Prog Ser Vol.* 129: 55-61.
- Uttieri M., Cianelli D., Buongiorno Nardelli B., Buonocore B., Falco P., Colella S., Zambianchi E. (2011). Multiplatform observation of the surface circulation in the Gulf of Naples (Southern Tyrrhenian Sea). *Ocean Dynamics* 61: 779–796.
- Van Der Lingen C. D. & Miller T. W. (2014). Spatial, ontogenetic and interspecific variability in stable isotope ratios of nitrogen and carbon of *Merluccius capensis* and *Merluccius paradoxus* off South Africa. *Journal of Fish Biology* 85: 456–472.
- Van der Lingen C.D. (1994). Effect of particle size and concentration on the feeding behaviour of adult pilchard *Sardinops sagax*. *Mar.Ecol.Prog.Series.* 109: 1-13.
- Van der Lingen C.D., Hutchings L., Field J.G. (2006). Comparative trophodynamics of anchovy *Engraulis encrasicolus* and *Sardine Sardinops sagax* in the southern Benguela: are species alternations between small pelagic fish trophodynamically mediated? *African Journal of Marine Science* 28(3&4): 465–477.
- Vetrano A., Gasparini G.P., Molcard R., Astraldi M. (2004), Water flux estimates in the central Mediterranean Sea from an inverse box model. *J. Geophys. Res.*, 109. In: Vetrano

- A., Napolitano E., Iacono R., Schroeder K., Gasparini G.P.(2010). Tyrrhenian Sea circulation and water mass fluxes in spring 2004: Observations and model results. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 115.
- Yasue N., Doiuchi R., Takasuka A. (2014). Trophodynamic similarities of three sympatric clupeoid species throughout their life histories in the Kii Channel as revealed by stable isotope approach. *ICES Journal of Marine Science* 71(1): 44–55.
 - Yasue N., Doiuchi R.e Takasuka A. (2013). Trophodynamic similarities of three sympatric clupeoid species throughout their life histories in the Kii Channel as revealed by stable isotope approach. *ICES Journal of Marine Science* 2013.
 - Yasue N., Takasuka A., Shirakihara K. (2011). Interspecific comparisons of growth and diet among late larvae of three co-occurring clupeoid species in the Kii Channel, Japan. *Mar Biol* 158: 1709–1720.

RINGRAZIAMENTI

Giunta al termine di questo lavoro è mio desiderio ringraziare ed esprimere la mia riconoscenza nei confronti di tutte le persone che mi hanno aiutato e supportato scientificamente, fisicamente e psicologicamente e che mi hanno permesso la realizzazione e la stesura di questa tesi.

Innanzitutto un sentito ringraziamento va a Gualtiero Basilone e Paola Rumolo, miei correlatori, per il supporto scientifico e per i preziosi consigli dati in questi anni di duro lavoro, che mi hanno permesso di crescere sia professionalmente che umanamente.

Grazie anche al mio tutor interno, Prof. Piero Franzoi, e al segretario amministrativo dei dottorandi dell'Università Cà Foscari di Venezia per la disponibilità dimostratami in questi anni e per aver messo a mia disposizione le loro competenze e la loro professionalità.

Un ringraziamento altrettanto sentito va al Dott. Angelo Bonanno, al Dott. Salvatore Mazzola e al Dott. Mario Sprovieri per avermi concesso l'opportunità di svolgere il lavoro di dottorato di ricerca presso l'IAMC-CNR di Capo Granitola, mettendomi a disposizione tutte le strumentazioni necessarie per l'attività di ricerca. Desidero inoltre ringraziare Enza Quinci, Marco Barra e Marco Torri per il supporto statistico e per gli innumerevoli consigli elargiti.

Un ringraziamento speciale va ai ragazzi appartenenti al mio gruppo di lavoro che mi sono stati sempre vicini e senza i quali sarebbe stato impossibile portare a termine questo lavoro di tesi, nonché tutti i ragazzi dell'IAMC di Capo Granitola ed a tutti i miei amici che mi hanno sostenuto con un sorriso anche nei momenti più difficili di questo percorso!

Per ultimi, ma di certo non per importanza, ringrazio i miei familiari, che mi hanno sopportata e supportata moralmente dandomi sempre fiducia.... Siete voi la mia forza!

Il ringraziamento più grande di tutti va a mio marito... nessuno come lui mi è stato accanto durante questo tortuoso percorso, spronandomi ogni giorno ad andare avanti e migliorare sempre di più e regalandomi tantissime gioie, la più bella delle quali continua a crescere dentro di me!

Senza l'aiuto di tutti coloro che ho menzionato questo lavoro non sarebbe stato possibile, pertanto a tutte queste persone rivolgo un GRAZIE di cuore.

Estratto per riassunto della tesi di dottorato

Studente: Calabrò Monica

matricola: 955954

Dottorato: Scienze Ambientali

Ciclo: XXVII

Titolo della tesi: Ecologia trofica di comunità pelagiche in due aree del Mediterraneo: Stretto di Sicilia e mar Tirreno.

Sommario:

Le analisi degli isotopi stabili di azoto e carbonio ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) condotte sui muscoli di *E. encrasicolus*, *S. pilchardus*, *T. trachurus* e *M. merluccius* documentano differenze significative tra le due aree di studio (Stretto di Sicilia e Mar Tirreno). La variabilità analizzata nello stato fisiologico degli organismi non giustifica però tali variazioni. L'integrazione tra i fattori idrologici e topografici e la variabilità isotopica nelle specie evidenziano alcune sub-aree, altamente eterogenee tra loro. Nelle sub-aree, le analisi isotopiche del POM e dello zooplancton campionato evidenziano un diverso comportamento alimentare delle specie, facendo ipotizzare una diretta influenza dell'ambiente circostante sulla loro dieta. Il contributo di ciascuna preda nell'alimentazione delle specie è stato identificato attraverso il modello SIAR. Questo lavoro presenta i primi risultati isotopici di quattro specie ittiche nel Mediterraneo centrale e pone le basi per possibili futuri lavori nell'ambito del comportamento trofico di pesci nel "middle trophic level".

Abstract:

Stable isotopes analysis of nitrogen and carbon ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) conducted on muscles of *E. encrasicolus*, *S. pilchardus*, *T. trachurus* and *M. merluccius* showed significant differences between the two study areas Strait of Sicily and the Tyrrhenian Sea. The variability analyzed in the physiological state of fishes not justify such changes. The integration between the physical factors (hydrological and topographical) and the isotopic variability in the species pointed out different sub-areas, highly heterogeneous between them. In sub-areas, the isotopic analysis of POM and zooplankton underline different feeding behavior of the species, highlighting a direct influence of

the environment on their diet. The contribution of each prey in the feeding of the species was identified through the model SIAR. This thesis shows the first isotopic results of four species in the central Mediterranean sea, and sets the basis for possible future works on the feeding behavior of middle trophic level fish.

Firma dello studente

