
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

XXI CICLO DEL DOTTORATO DI RICERCA IN METODOLOGIE DI BIOMONITORAGGIO
DELL'ALTERAZIONE AMBIENTALE

ECOLOGIA TROFICA DI SARDINA *Sardina pilchardus* (WALBAUM, 1792) E ACCIUGA *Engraulis encrasicolus* (LINNAEUS, 1758) NEL GOLFO DI TRIESTE

(Settore scientifico-disciplinare BIO 07)

DOTTORANDA
SARA LEGOVINI

COORDINATORE DEL COLLEGIO DEI DOCENTI
CHIAR.MO PROF. ***MAURO TRETJACH***
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

RELATORE
CHIAR.MA PROF.SSA ***SERENA FONDA UMANI***
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

CORRELATORE
DOTT.SSA ***VALENTINA TIRELLI***
DIPARTIMENTO DI OCEANOGRAFIA BIOLOGICA
ISTITUTO DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA
SPERIMENTALE - OGS - TRIESTE

CORRELATORE
DOTT. ***DIEGO BORME***
DIPARTIMENTO DI OCEANOGRAFIA BIOLOGICA
ISTITUTO DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA
SPERIMENTALE - OGS - TRIESTE

ANNO ACCADEMICO 2007/2008

A mamma e papà

*“...Sì! L'amo! Il mare è tutto...è
l'immenso deserto in cui l'uomo non è
mai solo...Il mare non è altro che il
veicolo di un'esistenza straordinaria e
prodigiosa; non è che movimento e
amore, è l'infinito vivente...”*

Jules Verne "Ventimila leghe sotto i mari"

Ringraziamenti

Il lavoro di questa tesi si è svolto nell'ambito del progetto EcoMAdr, progetto INTERREG IIIA Italia-Slovenia. Si ringrazia il progetto per aver fornito il materiale e parte dei finanziamenti necessari per l'analisi e l'elaborazione dei dati.

Ringrazio la Prof.ssa Serena Fonda Umani per avermi permesso di svolgere la tesi di dottorato sotto la sua direzione.

Grazie ai miei insostituibili amici, nonché correlatori, Valentina e Diego, che mi sono stati sempre vicino, che mi hanno sostenuto, aiutato e fatto "crescere"...

Ringrazio la cara AdeO ed i suoi occhi, sotto i quali nessun copepode ha via di scampo!!!

Grazie al prof. Giorgio Fontolan e a Cristiano Landucci del Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste per la disponibilità, l'accoglienza ed il supporto logistico.

Grazie al prof. Alberto Basset e al dott. Fabio Vignes per l'accoglienza presso il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali dell'Università di Lecce, per il supporto logistico e per avermi fatto sentire come a casa.

Grazie a Simo, amica e collega, per le micro pause, le risate e le parole di conforto.

Grazie ad Alberto, che nuovamente mi ha sopportato con pazienza.

Con la speranza di non avere tralasciato nessuno

Grazie a tutti !!!

INDICE

Premessa	1
1. Introduzione	4
1.1. Area di studio	5
1.2. Biologia delle specie	8
1.2.1. <i>Sardina pilchardus</i>	9
1.2.2. <i>Engraulis encrasicolus</i>	14
1.3. Importanza economica delle due specie nel Mare Adriatico	19
1.4. Alimentazione di sardina e acciuga nell'Atlantico nord-orientale e nel Mediterraneo	21
1.4.1. Modalità alimentare in <i>S. pilchardus</i>	24
1.4.2. Modalità alimentare in <i>E. encrasicolus</i>	24
2. Materiali e metodi	26
2.1. Campionamento	27
2.2. Analisi di laboratorio	28
2.3. Ritmo e fabbisogno alimentare	29
2.3.1. Estrazione del contenuto stomacale e ritmo di alimentazione	29
2.3.2. Fabbisogno alimentare	30
2.4. Analisi del mesozooplankton	34
2.4.1. Campionamento del mesozooplankton	34
2.5. Composizione della dieta	36
2.6. Analisi energetiche	39
2.6.1. Valore energetico dei contenuti stomacali stimato tramite analisi calorimetrica	39
2.6.2. Contenuto energetico delle prede stimato tramite analisi calorimetrica	41
2.7. Variabilità mensili dell'indice gonadosomatico e del grasso mesenterico	42
3. Risultati	44
3.1. Ritmo e fabbisogno alimentare di <i>Sardina pilchardus</i>	45
3.1.1. Maggio	45
3.1.2. Giugno	46
3.1.3. Luglio	48

3.2. Ritmo e fabbisogno alimentare di <i>Engraulis encrasicolus</i>	50
3.2.1. Settembre	50
3.2.2. Ottobre	52
3.3. Analisi energetiche	55
3.3.1. Valore energetico dei contenuti stomacali	55
3.3.2. Valore energetico delle prede	55
3.4. Popolamento mesozooplanctonico	58
3.5. Composizione della dieta di <i>Sardina pilchardus</i>	61
3.5.1. Maggio	61
3.5.2. Giugno	63
3.5.3. Luglio	65
3.6. Selezione alimentare di <i>Sardina pilchardus</i>	67
3.7. Composizione della dieta di <i>Engraulis encrasicolus</i>	72
3.7.1. Settembre	72
3.7.2. Ottobre	74
3.8. Selezione alimentare di <i>Engraulis encrasicolus</i>	76
3.9. Variabilità mensili dell'indice gonadosomatico e del grasso mesenterico	80
3.9.1. <i>Sardina pilchardus</i> : indice gonadosomatico, indice del grasso mesenterico	80
3.9.2. <i>Engraulis encrasicolus</i> : indice gonadosomatico	82
4. Dissussione	84
4.1. Variazioni giornaliere	85
4.1.1. <i>Sardina pilchardus</i>	85
4.1.2. <i>Engraulis encrasicolus</i>	86
4.2. Fabbisogno alimentare	87
4.2.1. <i>Sardina pilchardus</i>	87
4.2.2. <i>Engraulis encrasicolus</i>	88
4.3. Variabilità mensile dell'indice gonadosomatico e dell'indice del grasso mesenterico in <i>Sardina pilchardus</i>	89
4.4. Analisi qualitativa della dieta	90
4.4.1. <i>Sardina pilchardus</i>	90
4.4.2. <i>Engraulis encrasicolus</i>	93
5. Conclusioni	95
Bibliografia	
Appendice	

Premessa

La produzione alieutica del Golfo di Trieste appare fortemente connotata nel tempo da poche specie a comparsa impulsiva, in primo luogo appartenenti alla categoria del “pesce azzurro”. Tale gruppo è rappresentato nel Golfo dalle seguenti specie: sardine o sardelle (*Sardina pilchardus*), acciughe o sardoni (*Engraulis encrasicolus*), lanzardi (*Scomber japonicus*), sgombri (*Scomber scombrus*) e spratti o papaline (*Sprattus sprattus*). L’introito economico riguardante le sole acciughe e sardine, era stato stimato alcuni anni fa intorno ai 2 milioni di euro/anno (Orel e Zamboni, 2001), essendo, in termini di prezzo di mercato, le acciughe nettamente più pregiate rispetto alle sardine. Tali specie convivono nel Golfo durante tutto l’anno, presentando, tranne gli spratti, i massimi di abbondanza durante i periodi estivi.

Data la breve vita di queste specie, le fluttuazioni anno per anno in termini di abbondanza sono elevate e maggiormente evidenti rispetto a quanto accade per altre categorie di pesci. Inoltre, le complesse interazioni biologiche tra specie (competizione per le risorse alimentari e predazione) e la relazione tra queste e la portanza biologica dell’ambiente in cui vivono, sono spesso molto difficili da quantificare benché queste specie rappresentino un anello di congiunzione importante tra plancton e predatori pelagici di livello trofico superiore.

Le condizioni ambientali marine svolgono un’azione diretta sulle specie dei piccoli pesci pelagici in quanto processi fisico-chimici e idrodinamici influiscono in modo rilevante sulla deposizione delle uova, sul loro reclutamento e post-reclutamento, determinando il successo di ciascuna classe di età, ma possono altresì avere importanti effetti indiretti. Infatti van der Lingen *et al.* (2009) hanno recentemente proposto che le variazioni climatiche possano indirettamente influenzare i piccoli pesci pelagici, agendo primariamente sulle loro prede. In particolare, per quanto riguarda acciughe e sardine, van der Lingen *et al.* (2006), basandosi sulle differenze trofiche osservate sulle due specie presenti in Sud Africa, hanno ipotizzato che variazioni delle condizioni ambientali possano favorire o meno una determinata specie, influenzando direttamente la presenza di diverse risorse alimentari (fig. 1).

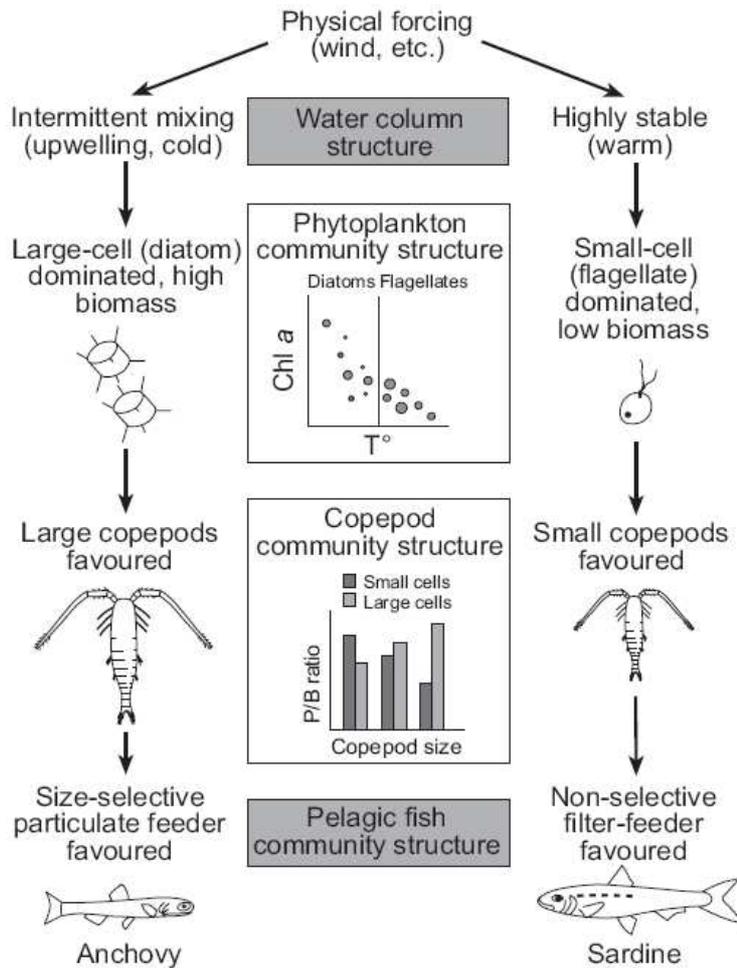


Fig. 1 Schema concettuale su come variazioni delle condizioni ambientali possano favorire sardina o acciuga in Sud Africa (tratto da van der Lingen et al. 2006)

Condizioni di rimescolamento della colonna d'acqua (come accade durante fenomeni di upwelling) risultano favorevoli allo sviluppo di diatomee di grandi dimensioni, mentre condizioni di stabilità della colonna d'acqua, soprattutto in periodi caldi, favoriscono i piccoli flagellati (Mitchell-Innes e Pitcher 1992). Ne consegue che la struttura della comunità zooplanctonica sia influenzata da quella della comunità fitoplanctonica, risultando maggiormente formata da copepodi di grandi dimensioni, come *Calanus*, che presentano un tasso di ingestione più elevato ed un conseguente tasso crescita più importante (Walker e Peterson 1991) quando si alimentano di grandi cellule fitoplanctoniche rispetto a condizioni in cui dominano piccoli flagellati (Peterson 1989). Tali condizioni favorirebbero quindi l'acciuga che si nutre efficientemente di questi copepodi di grandi dimensioni. Viceversa piccoli copepodi, come *Oithona*, sembrano essere favoriti quando in ambiente dominano piccole cellule fitoplanctoniche. In questo caso, sarebbe favorita la sardina che predilige questo tipo di prede.

Risulta quindi evidente che per comprendere l'effetto dei cambiamenti delle condizioni ambientali su sardina ed acciuga, si debba assolutamente avere una conoscenza approfondita dell'ecologia trofica di queste specie.

Per quanto riguarda il Golfo di Trieste e più in generale il Mar Adriatico, risulta a tutt'oggi quasi inesistente un'esatta descrizione della dieta di acciuga e sardina, nonché l'intensità della loro predazione. Scopo della presente tesi è contribuire a colmare le importanti lacune relative all'ecologia trofica di *Engraulis encrasicolus* e *Sardina pilchardus* nel Golfo di Trieste, in modo da fornire conoscenze indispensabili alla gestione di tali risorse ittiche.

1. Introduzione

1.1. Area di studio

Il Golfo di Trieste è un bacino semichiuso situato nella parte più settentrionale del Mare Adriatico con una profondità massima di 23 m. Si estende su una superficie di circa 600 Km² con un volume di 9.5 Km³ (Olivotti *et al.* 1986) (fig. 2). La porzione meridionale del Golfo è delimitata dal transetto che va da Grado, sul versante occidentale, a Punta Salvore (Savudrija), sul versante orientale (Covelli e Fontolan 1997).

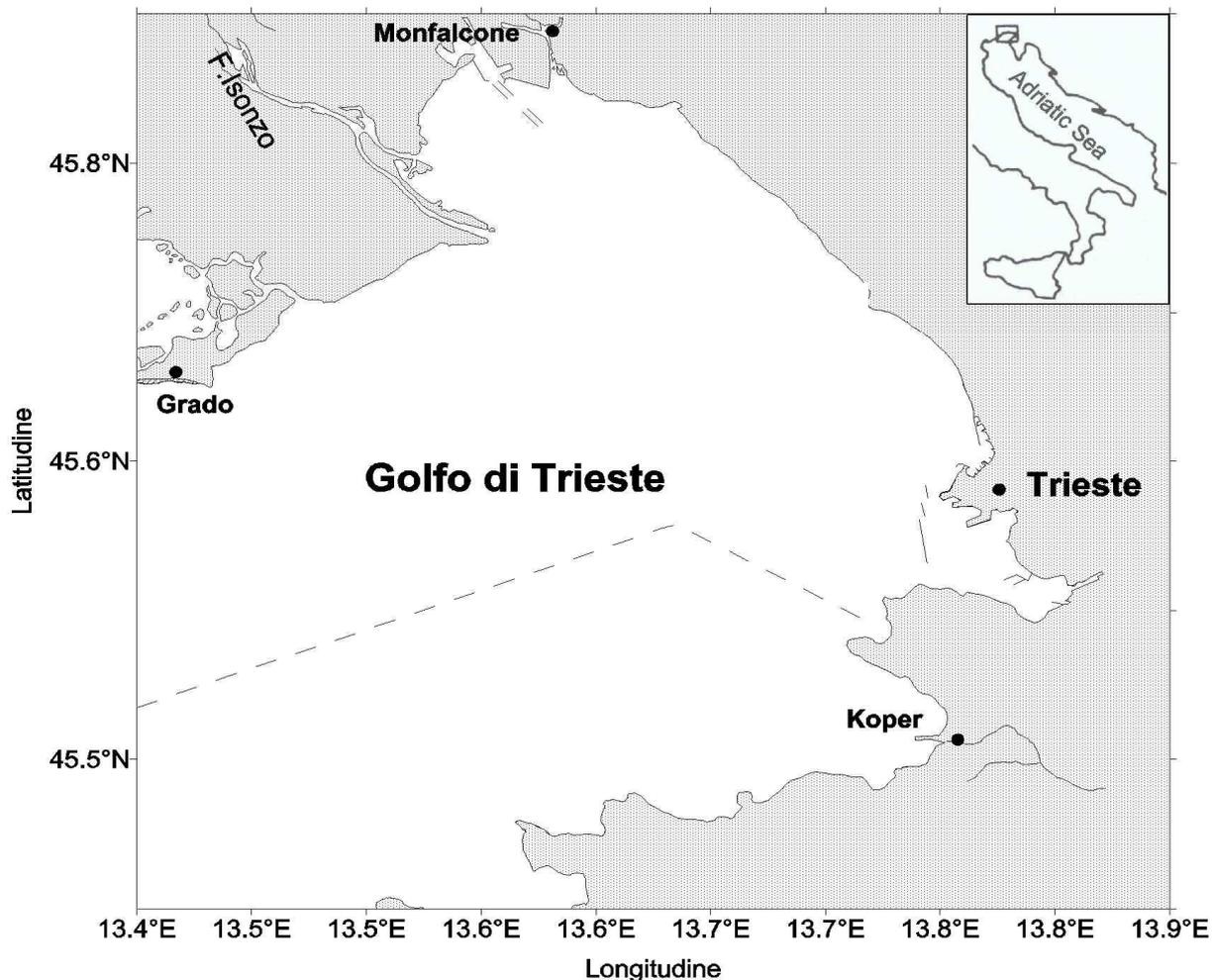


Fig. 2 Area di studio

La temperatura dello strato superficiale presenta un andamento annuale con minimi di 9.2°C (gennaio-febbraio) e massimi di 25.0°C (agosto), mentre lungo la colonna d'acqua la temperatura varia da 9.2°C (febbraio-marzo) a 22.6°C (agosto) (Malačić *et al.* 2006).

La salinità varia in funzione degli apporti di acqua dolce, quasi completamente a carico del fiume Isonzo (Comici e Bussani 2007), il quale apporta 100-130 m³ s⁻¹. In superficie la situazione durante l'anno risulta meno stabile rispetto al fondo, con un minimo assoluto di 32.8 psu nel mese di giugno ed uno relativo nel mese di ottobre; i massimi si verificano nei mesi invernali e si

attestano attorno ad un valore di circa 36.5 psu (Malačič *et al.* 2006). Queste fluttuazioni sono dovute rispettivamente allo scioglimento dei ghiacci alpini concomitanti col picco primaverile di precipitazioni per quanto riguarda il minimo di giugno e al picco autunnale di precipitazioni per il minimo di ottobre (Stravisi 1983). La salinità si mantiene più stabile lungo la colonna d'acqua in un intervallo che va da 36.5 a 38.5 psu (Malačič *et al.* 2006). In particolari periodi dell'anno, la colonna d'acqua va incontro a stratificazione termoalina; infatti, mentre nei periodi invernali essa si presenta omogenea (fenomeno soprattutto legato al mescolamento delle acque a causa di forti venti che causano turbolenza), in primavera si assiste alla formazione di un termoclino e di un aloclino che persistono fino ad autunno inoltrato. Nella zona sottocosta il termoclino può temporaneamente scomparire anche in estate per il mescolamento delle acque a causa di forti venti, specialmente Bora (ENE) e talvolta Maestrale (NO) e Libeccio (SO) (Mosetti 1988). La stratificazione della colonna porta alla distinzione di diverse masse d'acqua nel corso dell'anno. Nel periodo invernale si riconoscono due masse non ben distinte, ed il passaggio dall'una all'altra è abbastanza graduale, evidenziando una colonna d'acqua quasi del tutto omogenea. La parte settentrionale del Golfo è più fredda ma meno salata essendo influenzata dagli apporti di acqua dolce (sia fluviali, sia derivanti da altre sorgenti di acque dolci presenti nella laguna di Grado e Marano) che sono più importanti rispetto a quelli che interessano la parte meridionale.

Nel periodo estivo si riconoscono tre masse d'acqua:

- Una massa densa di fondo nella parte centrale del Golfo
- Acqua dolce al largo della costa settentrionale
- Una massa d'acqua nella parte meridionale che entra nel Golfo da sud (Malačič e Petelin 2001).

La massima fluttuazione di marea registrata è di circa 1.5 m, la più alta registrata per il bacino Mediterraneo (Cardin e Celio 1997).

Dalle analisi delle dinamiche stagionali del plancton appare come questo sia fortemente influenzato dall'apporto di acque dolci da parte del fiume Isonzo, provocando un'ampia variabilità interannuale (Malej *et al.* 1995) nella composizione del popolamento planctonico. Picchi annuali nella biomassa di fitoplancton sono causati principalmente dall'incremento in abbondanze di diatomee, particolarmente evidente durante i mesi primaverili ed autunnali. La comunità relativa a questi mesi è dominata da Diatomee opportunistiche, caratterizzate da una crescita veloce, come *Skeletonema costatum*, *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, *Chaetoceros* sp., *Cyclotella* sp., *Cylindrotecha closterium*, che sembrano rispondere velocemente a nuovi apporti in nutrienti introdotti da fiumi o precipitazioni (Mozetič *et al.* 1998). Durante i mesi in cui l'abbondanza di

fitoplancton registra valori minimi, i microflagellati sono molto numerosi, seguiti principalmente da Dinoflagellati e Coccolitofori (Mozetič *et al.* 2002).

Nel Golfo di Trieste i Copepodi, e particolarmente i Calanoidi, sono la componente principale del mesozooplancton. Dinamiche temporali dello zooplancton nel Golfo di Trieste riflettono le fluttuazioni di poche specie dominanti come *Acartia clausi*, *Penilia avirostris* ed i generi *Temora* ed *Oithona* (Specchi *et al.* 1981, Cataletto *et al.* 1995, Fonda Umani 1996). Recenti studi basati su *cluster analyses* hanno permesso di distinguere due principali associazioni ecologiche (gruppi), costituite da specie e generi più significativi della comunità dei Copepodi (Mozetič *et al.* 2002, Kamburska e Fonda Umani 2006). La prima, caratteristica dei mesi primaverili-estivi, è rappresentata dalle specie *Acartia clausi* (specie dominante), *Diaixis pygmoea*, *Temora longicornis* ed il genere *Oithona*, di cui *O. similis* è diventata componente costante. Recenti studi hanno evidenziato che questa associazione ora include alcuni nuovi elementi, come *Centropages typicus* e *Pseudoclanus elongatus* (Kamburska e Fonda Umani 2006). La seconda associazione, caratteristica dei mesi autunnali-invernali, presenta un'ampia diversità in specie ed è contraddistinta dall'incremento di abbondanza grazie a specie di piccole dimensioni come *Euterpina acutifrons* ed *Oncaea* spp.

Come già menzionato precedentemente, negli ultimi anni si è verificato un aumento dell'abbondanza del genere *Oithona*, mentre quella di specie di dimensioni maggiori, come *Centropages kroyeri*, e degli Arpacticoidi, ha subito una diminuzione, facendo presupporre uno slittamento della comunità dei Copepodi verso la prevalenza di specie di piccola taglia (Kamburska e Fonda Umani 2006).

1.2. *Biologia delle specie*

Caratteristiche morfologiche delle specie trattate

L'ordine dei Clupeiformi comprende pesci di piccole dimensioni, la cui lunghezza generalmente non supera i 20-30 cm. Nonostante il loro aspetto e le loro dimensioni possano variare, solitamente il loro corpo è compresso lateralmente, spesso rivestito da scaglie cicloidi, con pinna caudale omocerca e pinne sprovviste di veri e propri raggi spinosi.

La loro carne è spesso oleosa ed il contenuto in grassi varia in funzione della stagionalità e della latitudine. Attualmente si conoscono circa 300 specie distribuite in una larga ripartizione geografica (Tortonese 1970), sia in acque marine sia in acque dolci (Culley 1971). Tra le numerose famiglie vengono qui trattate la famiglia dei Clupeidi e la famiglia degli Engraulidi.

Clupeidi- Famiglia di pesci affini (es: *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurita*, *Sprattus sprattus*, *Alosa fallax*) con cui spesso le specie di Engraulidi condividono l'areale. Si distinguono principalmente per i seguenti caratteri morfologici: corpo solitamente fusiforme, fortemente compresso ai lati, testa priva di scaglie, il muso non conico e non oltrepassante l'estremità della mascella inferiore con bocca terminale, piccoli denti sulla mascella, se presenti. Singola pinna dorsale, piccola e posizionata a metà del corpo, linea laterale con poche scaglie dietro la testa in alcune specie, persa in altre; presenza di una carena di scutelli sul profilo ventrale. Dimensioni comprese tra 2 e 75 cm. Diffusi a livello globale, soprattutto nelle zone tropicali, da 70° N a circa 60° S, principalmente in zone marine costiere (Whitehead 1985).

Engraulidi – Famiglia che presenta un corpo allungato e meno compresso lateralmente rispetto ai Clupeidi, testa arrotondata, muso che si protende oltre una bocca di grandi dimensioni, più o meno obliqua, armata o meno di piccolissimi denti. Occhi ben sviluppati, situati in posizione posteriore e coperti da membrane adipose. Opercoli sottili e membranosi. Assente la linea laterale. La lunghezza totale asintotica varia da 13 a 21 cm, in relazione alla specie, alla posizione geografica e alle condizioni ambientali. Diffusi principalmente nei mari temperati caldi, nei mari tropicali e talvolta anche in acque dolci (Tortonese 1970).

1.2.1. *Sardina pilchardus*

Morfologia

La sardina europea (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) è un piccolo pesce pelagico appartenente alla famiglia dei Clupeidi. Tutto il corpo, ad eccezione della testa, è ricoperto di grosse squame molto caduche. Il corpo della sardina può raggiungere i 27.5 cm, è subcilindrico con il ventre piuttosto tondeggiante, più compresso nei giovanili. Ha i fianchi e il ventre bianco argentei, mentre il dorso è verde-azzurro con riflessi iridescenti. Sul fianco, a partire dall'opercolo branchiale, e fino ad oltre la pinna dorsale, si allineano una fila di macchie scure, poco visibili in vivo. La bocca è rivolta verso l'alto e l'occhio è grande. Il margine posteriore dell'apertura branchiale è arrotondato e l'opercolo è caratterizzato da distinte strie (da 3 a 5) a raggiera dirette verso il basso (Whitehead 1985). Le pinne ventrali sono inserite molto indietro, ben oltre la pinna dorsale, le pinne pettorali sono inserite in basso. Il numero totale di raggi molli dorsali varia da 13 a 21, mentre il numero di quelli anali varia da 12 a 23.

Distribuzione

La sardina, sia del genere *Sardina* che *Sardinops*, è ampiamente diffusa in tutti i mari. Le specie oggetto di pesca sono le seguenti:

Sardina pilchardus (Walbaum, 1792) – sardina europea (Penisola iberica, Golfo di Biscaglia, Mar Mediterraneo)

Sardinops sagax (Jenyns, 1842) – sardina sudamericana (dal Sud Africa all'Oceano Pacifico)

Sardinops caeruleus (Girard, 1854) – sardina californiana

Sardinops ocellatus (Pappe, 1853) – sardina sudafricana

Sardinops neopilchardus (Steindachner, 1879) – sardina australiana

Sardinops melanosticus (Temminck e Schlegel, 1846) – sardina giapponese

La specie *S. pilchardus* è ampiamente e ininterrottamente distribuita lungo le coste del nord est Atlantico (NEA), dalla Manica alla Mauritania, comprendendo anche le Isole Azzorre, con occasionali presenze estese fino al Senegal (Freon e Stequert 1979) al sud e alle coste scozzesi al nord (Beare *et al.* 2004). È frequente nel Mediterraneo occidentale e nel Mar Adriatico, è meno comune nel Mediterraneo orientale, nel Mar Egeo e nel Mar Nero (Whitehead 1985, Parrish *et al.* 1989).

Sulla base di differenze somatiche, *S. pilchardus* è considerata una specie polimorfica (Alegria *et al.* 1985). Sebbene studi genetici abbiano descritto che la struttura della popolazione della sardina sia piuttosto indivisa (Spanakis *et al.* 1989, Magoulas 2006), alcuni autori riportano che essa sia suddivisa in due distinte sottospecie, la sottospecie atlantica *Sardina pilchardus*

pilchardus e la sottospecie mediterranea *Sardina pilchardus sardina* (Chabanaud 1926, Lee 1962, Alegría *et al.* 1985, Atarhouch *et al.* 2007). Inoltre è stata anche fatta un'ulteriore distinzione per la popolazione adriatica (Alegría Hernández 1983, Alegría *et al.* 1985, Sinovčić e Alegría Hernández 1997, Sinovčić 2000, Tičina *et al.* 2000). Sulla base di caratteristiche morfometriche, meristiche ed ecologiche è stata supposta l'ipotesi di una suddivisione dello stock adriatico in due subpopolazioni distinte a nord e a sud della Fossa di Pomo (Alegría Hernández *et al.* 1985), messa in dubbio dal fatto che indagini sulla variazione allozimica e sul DNA mitocondriale (Carvalho *et al.* 1994), e analisi della variabilità di sequenza del citocromo b (Tinti *et al.* 2002a, 2002b), hanno dimostrato la mancanza di una eterogeneità genetica nello stock adriatico. Queste disuguaglianze morfometriche e meristiche descritte per le due aree adriatiche sarebbero causate principalmente da diverse condizioni trofiche e ambientali, che potrebbero causare differenze nei tassi di crescita. Al contrario, una suddivisione in subpopolazioni è stata evidenziata negli stock di sardine dei Mari Ionio ed Egeo (Spanakis *et al.* 1989), dove ad una variazione morfologica è associata effettivamente una variazione genetica significativa a carico di alcuni loci allozimatici tra i popolamenti dei due bacini.

Riproduzione

La sardina europea, come la maggior parte dei clupeidi, si riproduce diverse volte durante la stagione riproduttiva, emettendo gruppi di uova pelagiche (Ganias *et al.* 2001, 2004). Nelle sardine le dimensioni delle gonadi variano considerevolmente sia con lo stadio di maturazione, sia con la lunghezza del pesce. Le sardine dell'Adriatico raggiungono la maturità sessuale fra il primo ed il secondo anno di vita, se temperatura e disponibilità di cibo lo permettono, ma in ogni caso sono sessualmente mature quando raggiungono una lunghezza totale media di circa 12 cm (Sinovčić *et al.* 2008, Akyol *et al.* 1996). Mužinić (1954) riporta che in linea generale le sardine diventano sessualmente mature fra i 13 e 14 cm di lunghezza. D'altra parte studi recenti nei pressi dell'estuario del fiume Krka (Croazia) rivelano che la maturità sessuale è compresa tra i 7 cm ed i 12 cm (Sinovčić *et al.* 2003, 2008).

Le informazioni sulle abitudini riproduttive delle sardine sono piuttosto controverse; questo poiché la sardina presenta un periodo riproduttivo che varia di anno in anno e in funzione dell'area in cui staziona. Infatti studi riguardanti il periodo riproduttivo in diverse popolazioni di sardina, sia del genere *Sardina* che *Sardinops*, suggeriscono che essa è influenzata da diversi fattori come la temperatura dell'ambiente (Stratoudakis *et al.* 2004), dimensioni del corpo (Herrera *et al.* 1994) e condizioni somatiche (Voulgaridou e Stergiou 2003, Silva *et al.* 2006). In generale, i processi dello sviluppo ovarico e del periodo riproduttivo nei teleostei è sincronizzato da una serie di stimoli

interni ed esterni collegati anche con il fotoperiodo e la disponibilità di cibo, considerato il fattore più importante (Nicolas 1999, Coward e Bromage 2000).

Mužinić (1954) riporta che per la sardina del Mare Adriatico i mesi di giugno, luglio e agosto costituiscono un periodo di riposo, giustificato dal fatto che il peso delle gonadi è minimo; mentre i mesi autunnali corrispondono alla fase di preparazione alla riproduzione, che avviene durante i mesi invernali. Infatti nel Mar Adriatico la riproduzione avviene prevalentemente in inverno, generalmente fra ottobre e maggio, sebbene sia stata riportata la presenza di uova già a settembre (Vučetić 1971) e fino a giugno (Teskeredžić 1978). All'interno di questo periodo sono presenti picchi di emissione di uova, generalmente uno o due (inverno e primavera), regolati prevalentemente da fattori ambientali. Anche Somarakis *et al.* (2006) confermano che i mesi di luglio ed agosto rappresentano fasi di riposo per la sardina che popola le acque del Mar Egeo, mentre nel Mar Ionio questa fase si protrae fino al mese di settembre. Nelle acque portoghesi la sardina si riproduce generalmente da ottobre a maggio-giugno (Coombs *et al.* 2006), confermando che i rimanenti mesi sono dedicati alla fase di riposo. Anche nelle acque atlantiche antistanti la penisola iberica la stagione riproduttiva si estende per lunghi periodi: da novembre ad aprile lungo le coste portoghesi (Cunha e Figueiredo 1988) e da ottobre a luglio nel Mar Cantabrico (García *et al.* 1988). Poiché la produzione di uova avviene solitamente durante il periodo più freddo dell'anno (Koutrakis *et al.* 2001, Voulgaridou e Stergiou 2003), potrebbe esserci la richiesta di ulteriore energia, rendendo necessario l'utilizzo di quella accumulata durante i periodi di alta produttività ambientale specialmente quando avviene in luoghi carenti in nutrienti. Infatti, Blaxter e Hunter (1982), nella loro revisione, suggeriscono che molti Clupeidi sincronizzino l'accumulo di grassi con i cicli annuali produttivi.

In Adriatico la riproduzione avviene tra i 9°C ed i 20°C ad una salinità compresa tra 35.2 psu e 38.8 psu, con picchi tra 11°C e 16°C, ad una profondità compresa fra 30 m e 150 m (Škrivanić e Zavodnik 1973) o più tipicamente tra 60 m e 120 m (Kačić 1981, Vučetić 1975, Sinovčić 2000). Indagini condotte sull'ittioplancton hanno mostrato che, durante il picco di riproduzione, le uova e le larve di sardina sono ampiamente distribuite sulla piattaforma continentale di molte regioni, tra cui il Marocco (Furnestin e Furnestin 1959, Ettahiri *et al.* 2003), la penisola iberica meridionale ed occidentale (Stratoudakis *et al.* 2003, Baldó *et al.* 2006), il Mar Cantabrico, il Golfo di Biscaglia e la piattaforma celtica (Petitgas *et al.* 2006, Ibaibarriaga *et al.* 2007), la Manica ed il Mare del Nord meridionale (Haynes e Nichols 1994, Coombs *et al.* 2005).

In Adriatico orientale i risultati di diverse ricerche rivelano l'esistenza di due principali zone di riproduzione (Piccinetti *et al.* 1980, 1981, Regner *et al.* 1981, 1987), localizzate rispettivamente l'una in Adriatico settentrionale (al largo dell'isola di Otok, arcipelago zaratino nell'Adriatico

centro orientale) e l'altra in Adriatico meridionale (attorno alla costa esterna delle isole della Dalmazia centrale fino al largo dell'isola di Palagruža).

La Fossa di Pomo, luogo in cui non sono mai stati registrati ritrovamenti di uova, separa queste due aree (Regner *et al.* 1987) e si suppone rappresenti una barriera fisica alle migrazioni (Škrivanić e Zavodnik 1973); non sono neppure mai state trovate uova di sardina nella fossa adriatica meridionale, che costituisce una seconda barriera fisica chiudendo a sud il Mare Adriatico (Škrivanić e Zavodnik 1973, Gamulin e Hure 1983).

In queste aree la migrazione degli adulti, così come quella delle larve e post-larve, presenta caratteristiche diverse. Infatti, al nord la migrazione è longitudinale, ovvero in inverno la popolazione di sardine adulte migra verso sud, dal Golfo di Trieste e di Venezia e dalle coste dell'Istria verso l'isola di Otok per la riproduzione (Tičina *et al.* 2000, Štirn e Kubic 1974, Škrivanić e Zavodnik 1973). All'inizio della maturazione sessuale, gli adulti ricercano un ambiente favorevole alle future larve e si spostano lontano dalle acque dell'Adriatico settentrionale le quali, malgrado siano estremamente produttive, sono anche idrologicamente instabili e maggiormente soggette a variabilità ambientali a causa della loro natura poco profonda (Tičina *et al.* 2000, Štirn e Kubic 1974, Regner *et al.* 1988). Alla fine della riproduzione, in primavera (già a marzo), i riproduttori seguono la direzione opposta, spostandosi a settentrione verso le acque produttive del nord Adriatico alla ricerca di cibo (Tičina *et al.* 2000, Štirn e Kubic 1974, Regner *et al.* 1988).

Al contrario, la migrazione nella parte centrale dell'Adriatico è traversa (Regner *et al.* 1988, Škrivanić e Zavodnik 1973, Mužinić 1973). Nell'Adriatico centrale si è visto che gli individui adulti di grandi dimensioni stazionano al largo, mentre i più piccoli sono concentrati sotto costa (Mužinić 1954, 1973). Durante l'ultima fase della maturazione sessuale, le sardine adulte migrano al largo, verso le acque più profonde e più fredde delle isole dalmate fino a Palagruža, allontanandosi dai gradienti di temperatura e dalla bassa salinità della costa (Mužinić 1973). Situazione opposta si ritrova all'inizio della stagione primaverile, quando gli adulti, le larve e le post-larve fanno un rapido ritorno verso le acque costiere (Mužinić 1973). Esperimenti in cui le sardine sono state marcate hanno dimostrato l'esistenza di due distinti cicli migratori, l'uno appunto ad inizio di primavera, che però si rivela non essere completo, ed un secondo nella tarda estate (Mužinić 1973). Le ragioni del verificarsi di queste due migrazioni sembrano essere diverse. La prima migrazione sembra essere relazionata alla ricerca di cibo in seguito ad un'intensa attività riproduttiva, ipotesi supportata anche dal fatto che le riserve lipidiche sono molto scarse ed incrementano una volta giunti sotto costa (Krvarić e Mužinić 1950), mentre la seconda coincide con la fase iniziale della maturazione sessuale, in cui le riserve lipidiche sono decisamente notevoli. A supporto di tale ipotesi sta il fatto che mentre in primavera le condizioni ottimali per alimentarsi si trovano sotto costa con una concentrazione

superficiale di zooplancton, a fine estate le opportunità più favorevoli, in termini di concentrazione di zooplancton, sono al largo (Hure 1964, Mužinić 1969). Ma soprattutto è al largo che le sardine, che nella fase finale della maturazione delle gonadi sono meno tolleranti a variazioni delle proprietà fisiche delle masse d'acqua, trovano un ambiente con condizioni idrologiche omogenee, elevata salinità e temperatura ottimale (Mužinić 1973, Škrivanić e Zavodnik 1973, Županović 1985, Regner *et al.* 1988, Tičina *et al.* 2000).

Gamulin e Hure (1955) riportano che la deposizione delle uova e la fertilizzazione seguente avvengono nelle stesse ore del giorno, a seconda del mese: fra le 18 e le 22 in dicembre e fra le 19 e le 24 in marzo; la differenza fra tali periodi è da imputare alla diversa estensione delle ore di luce. La schiusa delle uova dipende fortemente dalla temperatura, durando circa 46 ore a 18°C e 88 ore a 13°C. Considerando che le temperature dell'acqua nel nord Adriatico durante la stagione invernale sono basse, il tempo necessario al completo sviluppo delle uova è di circa 4.5 giorni (Gamulin e Hure 1955). Ogni femmina riesce a deporre da 11337 a 12667 uova nel massimo del periodo di riproduzione (Sinovčić 1983), in particolare nell'Adriatico settentrionale e centrale ogni lotto di deposizione presenta in media 929 uova per ogni grammo di peso corporeo della femmina (Regner *et al.* 1981).

Comportamento

La sardina è un pesce gregario che solitamente forma banchi di dimensioni comprese tra i 5-10 metri di larghezza e 3-20 metri di altezza (mediamente 8 metri), con un baricentro della maggior parte dei banchi attorno a 20 m di profondità, nonostante dipenda anche dall'ora del giorno (Azzali 1980, Azzali *et al.* 1983, Balteza 1985). Simili risultati sono stati trovati anche per le sardine della costa atlantica della Spagna (Muiño *et al.* 2003). In generale, si è visto che l'aggregazione inizia allo stadio di post larva, poiché allo stadio di larva le sardine sono ancora piuttosto disperse. Il caratteristico comportamento di formare banchi risulta di particolare importanza per la pesca commerciale, poiché l'aggregazione aumenta le possibilità di cattura. Inoltre esiste una stretta relazione fra aggregazione in banchi ed illuminazione, poiché in condizioni di buio totale o prossime al buio i gruppi sono piuttosto dispersi e presentano un'attività rallentata, mentre in condizioni di luminosità elevata gli individui si uniscono portandosi verso il fondo (Mužinić 1964, Azzali *et al.* 1985). Azzali *et al.* (1980) hanno stimato che la densità dei banchi varia da una media di 7 individui m⁻³ durante il giorno a 3 individui m⁻³ durante la notte.

1.2.2. *Engraulis encrasicolus*

Morfologia

L'acciuga europea (*Engraulis encrasicolus* Linnaeus, 1758) è la sola specie, tra gli Engraulidi, presente nel Mediterraneo. È un pesce pelagico di piccole dimensioni (fino a 20 cm), con corpo affusolato, ricoperto da grandi scaglie cicloidi caduche, e ventre arrotondato. La testa allungata ha ampie aperture branchiali. La bocca, posta inferiormente, è grande ed oltrepassa ampiamente il margine posteriore degli occhi, che sono di grandi dimensioni. La mascella inferiore è corta e presenta piccoli denti. Il dorso del corpo è azzurro-verdastro quando è ancora viva, ma assume una colorazione bluastra a morte avvenuta; ventralmente e lateralmente è argentea. L'acciuga presenta un'unica pinna dorsale situata nella parte mediana del corpo, mentre l'anale è impiantata molto più indietro rispetto alla dorsale. Le piccole pinne ventrali sono poste in posizione mediana e le pettorali, sottili ed allungate, sono inserite quasi centralmente. Il numero totale di raggi molli dorsali varia da 16 a 18, mentre il numero di quelli anali varia da 13 a 15 (Whitehead *et al.* 1988).

Distribuzione

Il genere *Engraulis* è ampiamente diffuso in tutti i mari. Le specie che sono oggetto di pesca industriale sono le seguenti:

Engraulis anchoita (Hubbs and Marini, 1935) – acciuga argentina (Atlantico Sud-Ovest)

Engraulis australis (White, 1790) – acciuga australiana (Australia Sud-Ovest)

Engraulis capensis (Gilchrist, 1913) – acciuga sudafricana (Atlantico Sud-Est e Sud Africa)
(ora chiamata *E. encrasicolus*; Grant e Bowen 1998)

Engraulis encrasicolus (Linnaeus, 1758) – acciuga europea (Atlantico Nord-Est, Mediterraneo)

Engraulis japonicus (Temminck e Schkegel, 1846) – acciuga giapponese (Pacifico Nord-Ovest)

Engraulis mordax (Girard, 1854) – acciuga californiana (Pacifico Nord-Est)

Engraulis ringens (Jenyns, 1842) – acciuga peruana (Pacifico Sud-Est)

Questa specie è diffusa in tutto il Mediterraneo, nel Mar Nero e nel Mar d'Azov, con rari individui ritrovati anche nel Canale di Suez e nel Golfo di Suez. È distribuita lungo l'Atlantico orientale, dalla Scandinavia alla Nuova Guinea ed anche Sud Africa (Whitehead *et al.* 1988, Bellido *et al.* 2000).

E' una specie eurialina che tollera variazioni di salinità comprese tra 5 psu ed 41 psu. Questa caratteristica le permette di penetrare in lagune, laghi salmastri ed estuari (Ragusa 2000).

Sono state ipotizzate numerosissime sottospecie o razze. Secondo Fage (1911, 1920) la razza atlantica è diversa da quella mediterranea; secondo Alexandrov (1927) all'interno del

Mediterraneo esistono altre tre differenti razze: *Engraulis encrasicolus mediterraneus* Fage nel Mediterraneo occidentale e nell'Adriatico, *Engraulis encrasicolus ponticus* Alexandrov nel Mar Nero occidentale ed *Engraulis encrasicolus moeoticus* Pusanov nella parte orientale del Mar d'Azov e del Mar Nero. Majarova e Chugunova (1954) distinguono all'interno del Mar Nero le due forme *Engraulis encrasicolus ponticus orientalis* ed *Engraulis encrasicolus ponticus occidentalis* in base alle differenze nelle proporzioni somatiche, nel numero di vertebre, di raggi della pinna dorsale, di spine branchiali ed in base all'utilizzo di differenti rotte migratorie, zone di alimentazione, deposizione e svernamento. Dulzetto (1938) suggerisce ulteriori differenziazioni tra le popolazioni delle diverse coste italiane. Esclusivamente nei laghi salmastri di Ganzirri e Faro, in provincia di Messina, vive la sottospecie *Engraulis encrasicolus russoi* (Dulzetto) 1947, che differisce per alcune caratteristiche somatiche, nonché per il numero di raggi della pinna dorsale (Costa 1991). Junquera e Perez-Gándaras (1993), studiando la morfologia, distinguono nettamente il gruppo di acciughe del Golfo del Leone (Mediterraneo) dal gruppo atlantico. Un certo grado di differenziazione fenotipica viene riscontrato anche tra le acciughe dell'area Sud-Est del Golfo di Biscaglia rispetto a quelle dell'area della Galizia, mentre le acciughe della Cantabria occidentale presentano caratteristiche intermedie. L'idrologia di tali regioni è profondamente diversa, presentando il Golfo di Biscaglia caratteristiche neritiche, ed essendo, invece, la Galizia interessata da *upwelling* estivo. Le differenze morfologiche tra le acciughe atlantiche rispecchierebbero lo sfasamento della stagione riproduttiva, che risulta più breve (marzo-giugno) e con picco in aprile in Biscaglia, mentre risulta più estesa (marzo-ottobre) e con picco in agosto in Galizia (Sola *et al.* 1990, Junquera e Perez-Gándaras 1992).

All'interno dell'Adriatico, studi più recenti (Bembo *et al.* 1996), descrivono una separazione genetica tra lo stock di acciughe localizzato nell'Adriatico nord-occidentale rispetto allo stock della regione centro-meridionale. Tali differenze appaiono corrispondere non solo alle differenze morfologiche, ma anche alla variazione fenotipica di colorazione: morfotipo "argento" nelle acque meno profonde (Nord) e morfotipo "blu" nelle acque più profonde (Sud). Circuiti idrologici indipendenti nel Nord e nel Sud (Zore-Armanda 1969) rinforzano le discontinuità di latitudine nel bacino adriatico, come messo in evidenza dall'esistenza di diverse specie ittiche endemiche delle acque settentrionali (Tortonese 1983). Non devono, dunque, sorprendere le differenze nella distribuzione di specie e popolazioni. *Engraulis encrasicolus* nelle acque adriatiche comprenderebbe almeno due stocks geneticamente distinti, strettamente corrispondenti agli aspetti idrografici come la profondità, l'idrologia e la produttività (Bombace 1990, Fonda Umani *et al.* 1992). Per cui, nonostante le abitudini pelagiche e la natura mobile di questi Clupeidi, esiste una differenziazione a livello di popolazione. La forte associazione di varianti genetiche con la

profondità costituisce una base biologica per l'evolversi della differenziazione genetica, dal momento che le differenze di temperatura, ad esempio, possono portare a variazioni nel tasso di crescita, nel raggiungimento della maturità sessuale e nella stessa attività riproduttiva. Tale distinzione supporta anche le conclusioni delle precedenti letture di otoliti (Levi *et al.* 1994) che documentano tassi di crescita inferiori al nord rispetto al centro-sud. Bembo *et al.* (1996) non ritengono pertanto verosimile alcuna migrazione di acciughe su larga scala tra le aree settentrionali e meridionali, poiché questa avrebbe portato all'annullamento delle differenze da loro osservate.

Riproduzione

Similarmente alle sardine, anche le acciughe si riproducono diverse volte durante la stagione riproduttiva, emettendo gruppi di uova pelagiche (Blaxter e Hunter 1982). Contrariamente alle sardine, la riproduzione delle acciughe avviene nei mesi più caldi, generalmente tra aprile ed ottobre, per quanto la presenza di uova sia stata testimoniata a febbraio (Zavodnik 1970) così come a novembre (Regner 1972). Le riserve lipidiche hanno un importante ruolo nel ciclo riproduttivo poiché esse vengono mobilizzate dai muscoli e dalla cavità addominale, rispettivamente depositi principali e secondario (Melo 1992), per essere poi trasferite alle gonadi. Questa energia, solitamente usata per il mantenimento e la crescita dell'individuo, è dirottata verso la produzione delle uova (Sinovčić e Zorica 2006). Le dimensioni delle gonadi delle acciughe variano considerevolmente con lo stadio di maturazione del pesce, il peso delle gonadi in individui adulti e maturi di circa 10 cm varia da pochi milligrammi a circa 2.14 grammi per i maschi e 4.05 grammi per le femmine. Inoltre da un paragone controlaterale dei pesi delle gonadi, è stato dimostrato che in entrambi i sessi la gonade sinistra è tendenzialmente più pesante rispetto a quella destra, specialmente durante i mesi del periodo riproduttivo e nelle femmine (Vallisneri e Scapolatempo 2001).

In Adriatico la riproduzione dell'acciuga avviene in ampie zone, ma generalmente a maggiore intensità nelle aree più settentrionali e, in particolare, nell'area circostante il delta del fiume Po (Piccinetti 2001). La constatazione che le uova si trovano all'epoca della deposizione in tutto l'alto e medio Adriatico, come riportato da numerosi autori (Gamulin 1964, Karlovac 1963, Štirn 1969, 1970, Varagnolo 1965, Vučetić 1963) indicano la mancanza di aree preferenziali per la deposizione, rendendo poco probabile l'esistenza di popolazioni differenziate (Piccinetti e Specchi 1984). Il rilevamento di uova e larve conferma che le zone sotto l'influenza degli apporti fluviali sono comunque quelle preferite per la fecondazione delle uova (Gamulin e Hure 1983, Palomera e Sabates 1990).

La stagione riproduttiva è piuttosto lunga e può estendersi da metà primavera ad inizio autunno (Regner 1996, Gamulin e Hure 1983). Nel Mare Adriatico, però, l'85% delle uova vengono prodotte tra maggio ed agosto (Varagnolo 1964, Vučetić 1963, Regner 1972, Piccinetti *et al.* 1982). Molti autori concordano nel ritenere che l'inizio della stagione riproduttiva dipenda fortemente dalla temperatura (Palomera 1992, Motos *et al.* 1996). Gli adulti compaiono in banchi più o meno grandi durante la primavera e l'estate, si portano nelle acque basse dove ogni femmina depone fino a 40000 uova. Le uova emesse sono galleggianti, di forma ellissoidale, senza gocce oleose, e con diametro di circa 1.1-1.3 mm (Varagnolo 1965, Regner 1972, Ragusa 2000). Nell'alto Adriatico il picco massimo di riproduzione si registra tra le 18:00 e le 20:00, mentre nel medio Adriatico tra le 19:00 e le 21:00 (Regner 1985). La massima densità di uova nel plancton viene registrata a seconda delle caratteristiche del periodo riproduttivo e dell'area di riproduzione, e si verifica entro un metro dalla superficie (Varagnolo 1965) o tra i 7 ed i 27 cm (Ghirardelli 1967), mentre la massima densità di larve e stadi post-larvali è concentrata nei primi 10 metri (Regner 1972). Le uova non maturano tutte contemporaneamente per cui le deposizioni possono avvenire in tempi diversi. Negli individui giovani, che affrontano la loro prima stagione riproduttiva, la deposizione dei prodotti sessuali avviene nei mesi di agosto-ottobre, mentre negli adulti coincide con i mesi primaverili ed il ciclo riproduttivo dura più a lungo (Costa 1991, Millán 1999). Nel Mediterraneo nord-occidentale sono state individuate 3 principali aree di riproduzione: a sud della Catalogna, nei pressi del delta del fiume Ebro, nel Golfo del Leone, vicino alle foci del fiume Rodano e tra le coste della Liguria e della Toscana, presso l'arcipelago toscano (Palomera 1992). In tale regione il periodo riproduttivo va da aprile ad ottobre con un picco nella deposizione delle uova in giugno-luglio (Palomera 1991). La stagione riproduttiva nel Golfo di Cadice (Atlantico nord-occidentale) comincia, invece, nel tardo inverno per terminare all'inizio dell'autunno (Millán 1999).

Nel Golfo di Biscaglia la riproduzione di *Engraulis encrasicolus* è stata descritta da Motos *et al.* (1996). Durante il periodo riproduttivo, il 20-30% delle femmine emette ogni giorno delle uova, il che equivale a dire che le femmine mature depongono ogni 3-5 giorni. Ogni lotto di deposizione va da 422 a 569 uova per ogni grammo di peso corporeo della femmina (peso delle gonadi escluso). Con il progredire della stagione e l'innalzarsi della temperatura, le uova maturano prima, risultando di minori dimensioni e divenendo più numerose nel singolo lotto. La durata completa della riproduzione è di circa 2.5 mesi. La fecondità annua che viene realizzata da una femmina di 10 g è di circa 110000 uova.

Comportamento

E' un pesce gregario, forma banchi molto numerosi che si avvicinano alla costa in primavera ed estate, attratti dal plancton più ricco e vario (Tortonese 1970). Il fatto di addensarsi in banco è una tecnica di difesa efficace contro predatori dalla portata limitata, grazie all'effetto di dispersione e confusione. Tuttavia i grandi predatori possono approfittare del comportamento di banco per catturare porzioni non indifferenti dello stesso. Tale è pure la strategia dei pescatori. Sia gli attrezzi da pesca sia le tecniche di pesca si sono evolute per ottenere vantaggi dalle risposte canalizzate e similari, tipiche delle specie aggreganti (Parrish 1999).

Varie specie di acciughe compiono migrazioni verticali nell'arco della giornata, ad esempio *Engraulis encrasicolus* (Tudela e Palomera 1997), *E. ringens* (Jordan 1971) ed *E. japonicus* (Munekiyo 1990). Durante le ore diurne le acciughe si riuniscono in banchi che scendono verso gli strati d'acqua più profondi, sia per trovare nutrimento sia per sfuggire ai predatori (Pitcher 1986). Durante le ore notturne, invece, e soprattutto nella stagione riproduttiva, gli individui maturi salgono sopra il termocline per rilasciare i gameti (Palomera 1991). La forma stessa dei loro banchi viene modificata nel corso della giornata. Secondo Mužinić (1964) sarebbe sempre il fattore luce a determinare lo stato di aggregazione dei piccoli pesci pelagici. Durante le ore diurne questi mantengono il contatto visivo con altri individui, primariamente per scopi difensivi, fino a formare banchi numerosi e compatti, con un orientamento di nuoto ben definito e coerente tra tutti gli elementi. Durante le ore notturne, venendo meno la possibilità di mantenere il contatto con gli altri elementi del gruppo, i banchi si scompongono e gli individui si dispongono più distanziati ed in ordine sparso.

Perché i pesci vengano attratti dalla luce resta per molti aspetti un mistero. Alcuni ritengono che la luce della lampada imiti il chiarore della luna piena, condizione nella quale molte specie rimangono in piccoli banchi distinti piuttosto che disperdersi completamente. Altri ritengono che l'attrazione luminosa sia, di fatto, l'effetto del disorientamento, come accade per gli uccelli migratori notturni quando vengono attratti dalle luci delle città (Verheijen 1959, Woodhead 1966, Ben-Yami 1976).

1.3. Importanza economica delle due specie nel Mare Adriatico

Il Mare Adriatico è uno dei sistemi più produttivi nel Mediterraneo e ivi la pesca dei piccoli pesci pelagici si sviluppa maggiormente su sardine e acciughe; infatti le catture di queste due specie ammontano a circa il 41% delle catture totali del Mare Adriatico (calcolate per il periodo 1970-2005). La pesca di queste due specie si è sviluppata su entrambi i versanti dell'Adriatico, tuttavia la quantità che complessivamente viene catturata, risulta diversamente ripartita, poiché oltre il 90% delle acciughe pescate vengono scaricate dalla flotta italiana, mentre le flotte pelagiche di Slovenia, Croazia e Albania si concentrano essenzialmente sulle sardine (Cingolani *et al.* 2003a). Inoltre questa differenza nelle quantità di pescato è da attribuire al fatto che in Italia le acciughe sono considerate più pregiate rispetto alle sardine, pensiero opposto sviluppato sulla costa dell'Adriatico orientale.

Adriatico occidentale – Il massimo quantitativo di sardine pescate risale al 1981 con 59076 tonnellate, picco che ha subito un decremento fino a valori che si attestano attorno alle 2510 tonnellate nel 2006 (Morello e Arneri, *in press*). Anche le catture delle acciughe hanno subito un drastico decremento tra il 1980 ed il 1987, ad eccezione del 1985, quando i quantitativi registrati hanno raggiunto il minimo storico di 3375 tonnellate. Dal 1988 i quantitativi di acciughe catturate sono aumentati, particolarmente dal 1994, e negli ultimi anni la popolazione sembra avere dato segni di ripresa, attestandosi attorno alle 9000 tonnellate annue (Cingolani *et al.* 2003a). Le flotte italiane, tra gli anni 1970 e 2005, hanno pescato mediamente quantità simili di sardine e acciughe (16% e 19% delle catture), rappresentando così il 35% delle catture italiane ed il 28% delle catture totali dell'Adriatico. Le catture di sardine prevalsero fra il 1986, quando la pesca di acciughe collassò, ed il 1993; dal 1993 in poi il quantitativo di sbarcato di acciughe aumentò attestandosi attorno al 35% delle catture totali delle flotte italiane nel solo 2005. Stime del valore della quantità di acciughe pescate sul versante italiano dell'Adriatico sono state quantificate come 35 milioni di euro nel 1998 (Falco *et al.* 2007) oppure 32 milioni di dollari USA dei primi anni del 2000 (Cingolani *et al.* 2003b).

Le flotte per la pesca dei piccoli pesci pelagici sono distribuite da Trieste fino a Bari, di cui le più produttive operano nella parte centro settentrionale dell'Adriatico, tra Trieste e Vieste (Cingolani *et al.* 1996, Santojanni *et al.* 2001, Cingolani *et al.* 2003a). La flotta italiana è composta da 50 paia di *volanti* e 40 *lampare*. Le prime sono imbarcazioni che operano con reti pelagiche a strascico (*volante*), usate nell'Adriatico centro-settentrionale, che pescano durante il giorno quando i banchi di acciughe e sardine sono vicino al fondo; le altre sono utilizzate maggiormente a sud di

Ancona, anche se quasi la metà operano nel Golfo di Trieste (Falco *et al.* 2007). Le *lampare*, dette anche *saccavele* o *ciancioli*, pescano con reti da circuizione durante notti tranquille, quando il pesce si avvicina alla superficie e si aggrega grazie all'ausilio di fonti luminose.

Adriatico orientale – A differenza dell'Adriatico occidentale, la pesca nell'Adriatico orientale è concentrata principalmente sulle sardine (Mužinić 1954, Tičina e Giovanardi 1997, Tičina e Kačić 1997, Tičina *et al.* 1999, Grbec *et al.* 2002, Cingolani *et al.* 2003a) e solo nell'ultimo decennio le catture di acciuga sono aumentate. Infatti nel periodo 1970-1991 le sardine rappresentavano il 65% delle catture complessive jugoslave, mentre nel periodo 1992-2005 esse rappresentavano l'81%, il 55% ed il 14% delle catture totali rispettivamente di Slovenia, Croazia e Montenegro. Le catture di acciughe nella Repubblica jugoslava sono state molto basse attraverso gli anni, raggiungendo un massimo di 3559 tonnellate nel 1985, per poi subire un collasso negli anni seguenti (1986-1992).

Fra le tre nuove nate repubbliche balcaniche, la Croazia registra le più abbondanti catture di sardina, raggiungendo un massimo di 16000 tonnellate nel 2005 dopo una lenta ripresa a metà degli anni Novanta. Come per le sardine, la Croazia registra anche le più abbondanti catture di acciughe per l'Adriatico orientale, che hanno sfiorato le 9500 tonnellate nel 2005 (Morello e Arneri *in press*). Le flotte croate sono distribuite lungo la costa, da Umago a Dubrovnik, pescando principalmente fra l'Istria e le isole dalmate (Škrivanić e Zavodnik 1973, Tičina *et al.* 2000, Cingolani *et al.* 2003a).

In Slovenia i quantitativi di sbarcato sono decisamente inferiori rispetto ai precedenti, soprattutto negli ultimi anni, con appena 327 tonnellate nel 2005; ancora minori sono le tonnellate di sardine catturate in Montenegro (43 tonnellate nel 2005). Lo stesso vale per le catture di acciughe che, in entrambe le regioni, sono state estremamente basse (Morello e Arneri *in press*).

Le flotte slovene e croate utilizzate per la pesca dei piccoli pesci pelagici sono rappresentate principalmente dalle *lampare* (Tičina *et al.* 1999). Appena nel 1978 vennero introdotte imbarcazioni a strascico pelagico, ma comunque meno numerose e concentrate in Istria e in Quarnero (Grbec *et al.* 2002).

1.4. Alimentazione di sardina e acciuga nell'Atlantico nord-orientale e nel Mediterraneo

Alimentazione nei pesci planctivori

Alimentazione per filtrazione: "Filter feeding"

L'alimentazione per filtrazione è caratterizzata da due fondamentali tipologie. La filtrazione a setaccio (*tow-net filter feeding*), in cui il pesce nuota attorno alle prede a bocca aperta e con gli opercoli divaricati, trattenendo le particelle alimentari con le branchiospine, e la filtrazione a pompa (*pump filter feeding*) in cui il pesce applica suzioni ritmiche per catturare le prede rimanendo stazionario o muovendosi lentamente. Il modello di filtrazione prevede che le particelle di dimensioni maggiori vengano trattenute dalle spine branchiali, mentre quelle di dimensioni minori escano seguendo il flusso d'acqua attraverso l'apertura percolare.

Esiste tuttavia una modalità intermedia chiamata *gulping*, simile al *pump filter feeding*, ma è una modalità di alimentazione visiva, essendo in questo caso i pesci capaci di selezionare le loro prede.

Alimentazione su singole particelle: "Particulate feeding"

I *particulate feeders*, ovvero i predatori che si alimentano assumendo piccole particelle di cibo una per volta, individuano e selezionano le loro prede visivamente, ed è ciò che li distingue dai pesci filtratori. Questi predatori si alimentano per suzione, grazie alla quale il cibo viene convogliato nella cavità orale da una corrente d'acqua. Infatti il processo di suzione si origina da una depressione creata nella cavità orale ancora chiusa; quando la bocca si apre, la pressione negativa genera una corrente che viene spinta assieme al cibo all'interno della bocca. Tale categoria di predatori comprende pesci che si alimentano di organismi planctonici selezionandoli uno alla volta, pesci che assumono insetti caduti sulla superficie dell'acqua e pesci che si cibano di benthos o di detrito. Importante è la fase dell'incontro con la preda, infatti il ruolo della visione assume nei *particulate feeders* una funzione di estrema importanza.

I piccoli pesci pelagici sono in generale planctivori microfagi ed i loro elevati livelli di abbondanza nei sistemi di *upwelling* sono attribuibili, in particolare, alla loro capacità di alimentarsi utilizzando direttamente il fitoplancton e perciò di trarre vantaggio da una catena alimentare corta ed efficiente (Ryther 1969, Walsh 1981). Questa ipotesi di catena alimentare semplice, in cui i piccoli pesci pelagici figurano come fitofagi che si nutrono essenzialmente di grandi diatomee formanti lunghe colonie (*Chaetoceros* e *Fragilaria*) (Yoneda e Yoshida 1955, Bensam 1964, Loukashkin 1970, King e Macleod 1976) fu inizialmente ben accettata (Lounghurst 1971, Durbin

1979, Walsh 1981). Comunque, studi successivi modificarono tale ipotesi e suggerirono che i Clupeidi sono capaci di consumare sia fitoplancton sia zooplancton (Cushing 1978), alimentandosi principalmente di fitoplancton laddove le condizioni di *upwelling* sono un aspetto costante dell'ambiente (al largo della Namibia e del Perù), ma alimentandosi, invece, in prevalenza di zooplancton dove l'*upwelling* risulta più debole e meno persistente (coste meridionali della California, Blaxter e Hunter 1982). Una rivisitazione sulla dieta dei Clupeidi commercialmente importanti conclude che le specie strettamente fitofaghe sono veramente poche, mentre la maggior parte dei Clupeidi è microfaga onnivora, ricavando piuttosto la maggior parte dell'energia dallo zooplancton (James 1988).

La maggior parte dei Clupeidi microfagi possiede due principali modalità di alimentazione, passando dall'uno all'altro a seconda delle condizioni. Più precisamente passano dalla filtrazione su particelle alimentari di piccole dimensioni (*filter feeding*) alla suzione mirata su particelle di dimensioni maggiori (*particulate feeding*) (Blaxter e Hunter 1982). La capacità di cambiare modalità di alimentazione rende tali specie altamente opportuniste e flessibili, permettendo loro di massimizzare l'acquisizione di energia dall'ambiente utilizzando la modalità di alimentazione più appropriata in base al tipo di alimento disponibile. Tale capacità può dipendere dall'età del pesce, ad esempio *Brevortia tyrannus* presenta *particulate feeding* da larva mentre da adulta è un *filter feeder* obbligato (Durbin e Durbin 1975). Altri pesci mantengono l'abilità di cambiare da una modalità all'altra anche da adulti, tra cui *Engraulis mordax* (Leong e O'Connell 1969), *Scomber japonicus* (O'Connell e Zweifel 1972), *Alosa pseudoharengus* e *Coregonus artedii* (Janssen 1976), *Dorosoma petenense* (Holanov e Tash 1978), *Clupea harengus* (Gibson e Ezzi 1985), *Engraulis encrasicolus* (James e Findlay 1989), *Sardinops sagax* (van der Lingen 1994) e *Sardina pilchardus* (Garrido *et al.* 2007). Questi pesci alternano le due modalità di alimentazione in funzione della concentrazione e/o della dimensione delle prede disponibili (Gibson e Ezzi 1985), e dell'intensità luminosa (Batty *et al.* 1990). Perciò il *filter feeding* è più comune quando i pesci sono grandi, le prede sono piccole e presenti in elevate concentrazioni e l'intensità luminosa è bassa. Il *particulate feeding* viene invece adottato quando i pesci sono piccoli, le prede sono grandi e presenti in basse concentrazioni e la quantità di luce è sufficiente per cacciare visivamente (Crowder 1985). Le sardine del Benguela (*Sardinops sagax*) usano esclusivamente il *particulate feeding* quando sono presenti prede di grandi dimensioni in basse concentrazioni, poiché dal calcolo del tasso di respirazione e dalla velocità di nuoto è stato osservato che il *filter feeding* è la modalità di alimentazione energeticamente meno dispendiosa (van der Lingen 1995). Anche le sardine europee utilizzano il *particulate feeding* in presenza di prede di grandi dimensioni (>780µm), ottenendo in questo modo un aumento della velocità di nuoto rispetto al *filter feeding* (Garrido *et al.* 2007).

D'altra parte, le acciughe del Benguela (*Engraulis encrasicolus*) iniziano usando il *particulate feeding* con prede di dimensioni minori rispetto a quelle delle sardine, indipendentemente dalla concentrazione, e in generale questo modo di alimentazione è energeticamente meno dispendioso per le acciughe (James e Probyn 1989).

Apparato alimentare di sardina ed acciuga

Studi sulla morfologia dell'apparato alimentare sono disponibili essenzialmente per la regione iberica e principalmente per le sardine, sebbene qualche misura sia stata effettuata anche per le acciughe (Andreu 1953, 1960, 1969).

Le larve di entrambe le specie sono prive di un qualsiasi apparato utile alla filtrazione delle particelle alimentari e sono pertanto costrette a catturare le prede singolarmente. L'apparato filtratore dei giovanili e degli adulti di *S. pilchardus* è stato descritto dettagliatamente da Andreu (1969), paragonandolo per alcuni aspetti a quello di *E. encrasicolus*. Tale apparato è composto da 5 paia di archi branchiali, ognuno dei quali supporta una serie di spine branchiali coperte con denticoli sulla parte anteriore e branchie sul lato posteriore dei primi quattro archi branchiali (Andreu 1969). Gli archi branchiali si sviluppano lungo le ossa basali portanti e quelle del primo arco si sviluppano sopra i lati della lingua, formando un efficiente filtro per le particelle di cibo. Gli archi branchiali compaiono quando la sardina raggiunge i 15 mm in lunghezza ed aumentano in numero e dimensione con la crescita. Al contrario, nell'acciuga il numero di archi branchiali non varia in modo significativo. Considerando le sardine catturate a Vigo (Galizia, NO Spagna), la morfologia degli archi branchiali varia di poco negli individui dopo che questi hanno raggiunto una lunghezza compresa tra i 15 e 20 cm; da cui si deduce che il sistema filtrante è pienamente sviluppato nelle sardine che hanno raggiunto il primo anno di vita (ICES 2005). Gli spazi formati dagli archi branchiali e dai dentelli è di circa 40 µm sebbene le sardine siano capaci di trattenere particelle di dimensioni minori (Garrido *et al.* 2007).

Gli archi branchiali nelle acciughe sono presenti in numero minore e sono molto più separati rispetto a quelli delle sardine; inoltre gli spazi tra gli archi branchiali aumentano a un tasso più veloce con l'aumentare della taglia dei pesci rispetto a quanto avviene nelle sardine, indicando che le acciughe sono meno adatte a filtrare rispetto le sardine.

Gli studi morfologici condotti da Andreu (1969) hanno anche rivelato sostanziali differenze nel numero delle branchiospine e nella separazione tra loro in sardine provenienti da diverse regioni; infatti le sardine del Mar Mediterraneo, paragonate a quelle dell'Atlantico, presentano meno branchiospine che sono anche più distanziate. Questa differenza è stata spiegata come un adattamento alla più elevata abbondanza di plancton disponibile che viene catturato dalle sardine

attraverso il *filter feeding*, mentre le sardine del Mediterraneo potrebbero catturare preferenzialmente singole prede attraverso il *particulate feeding* (Andreu 1969).

1.4.1. Modalità alimentare in *S. pilchardus*

Nel caso delle sardine europee (*S. pilchardus*) la correlazione trovata fra i contenuti stomacali e la disponibilità delle prede suggerisce che le sardine sono essenzialmente dei filtratori la cui dieta riflette la composizione del plancton (Varela *et al.* 1990, Bode *et al.* 2003). Comunque Varela *et al.* (1988), in uno studio condotto al largo della costa settentrionale spagnola, trovarono negli stomaci delle sardine una percentuale di zooplancton molto più abbondante rispetto a quella nell'ambiente, dove dominava il fitoplancton, fatto che suggeriva come probabilmente fosse stato utilizzato il *particulate feeding* anziché il *filter feeding*.

Le sardine adulte sono capaci di cogliere il vantaggio del *filter feeding* poiché possono nuotare ad una velocità adeguata per la cattura di prede disperse (Cushing 1978). Al contrario, l'apparato filtrante dei giovani individui non è fitto a sufficienza, perciò i piccoli pesci fanno affidamento al *particulate feeding* per la cattura delle prede. Inoltre è stato dimostrato che l'utilizzo del *filter feeding* dipende, oltre che dall'età, anche dalla taglia dell'individuo (Bode *et al.* 2003). Recenti esperimenti di laboratorio hanno dimostrato che la modalità di alimentazione dipende esclusivamente dalla taglia delle prede e non dalla concentrazione di queste. Il *particulate feeding* viene utilizzato in presenza di particelle alimentari di dimensioni attorno ai 780 μm , quando le sardine si trovano disperse e la loro velocità di nuoto aumenta per consentire attacchi indirizzati a singole prede. Il *filter feeding* viene applicato quando le dimensioni delle particelle sono inferiori ai 724 μm , quando vi sono cellule fitoplanctoniche, anche di piccole dimensioni (4 μm), ed il gruppo di sardine nuota strettamente, a velocità costante, senza esibire alcuna selezione delle prede (Garrido *et al.* 2007).

Mancano completamente studi sulla modalità alimentare utilizzata dalle sardine nel Mare Adriatico.

1.4.2. Modalità alimentare in *E. encrasicolus*

È sorprendente come le informazioni sulla modalità di alimentazione dell'acciuga europea siano scarse, rispetto alle altre specie. Dagli studi condotti in laboratorio ed in campo si deduce che gli individui adulti di *E. encrasicolus* che popolano l'emisfero boreale e quelli che occupano le coste del Benguela (precedentemente chiamati *E. capensis*; Grant e Bowen 1998) siano principalmente dei *particulate feeders* che generalmente consumano particelle alimentari di grandi dimensioni, ma che filtrano le prede di piccole dimensioni (Plounevez e Champalbert 2000, James

1987, 1988, James e Findlay 1989, Borne 2006). Durante il *filter feeding* l'acciuga da 5-6 colpi di coda mantenendo la bocca aperta, quindi avanza nuotando dopo aver chiuso la bocca; nel *particulate feeding*, invece, l'acciuga mantiene la bocca chiusa mentre nuota e la apre solo nel momento in cui sta per inghiottire l'intera preda. Inoltre la velocità del nuoto e la lunghezza dell'avanzamento sono diverse nelle due modalità di caccia (James e Findlay 1989). È stato dimostrato che il *filter feeding* per le acciughe è energeticamente più dispendioso rispetto al *particulate feeding*, inducendo James e Probyn (1989) ad ipotizzare che il cambiamento nella forma del corpo ed il risultante aumento della resistenza associato all'apertura degli opercoli durante il *filter feeding* è responsabile dell'incremento dei costi energetici.

2. Materiali e metodi

Il materiale utilizzato per questa tesi è stato raccolto nel corso di sette campionamenti realizzati nell'ambito del progetto EcoMAAdr (Ecologia del Mar Adriatico), tra maggio 2006 e febbraio 2007 nel Golfo di Trieste.

2.1. Campionamento

I campionamenti di sardina ed acciuga sono stati condotti nelle acque del Golfo di Trieste dal mese di maggio 2006 a febbraio 2007, ad esclusione dei mesi di agosto 2006, novembre 2006 e gennaio 2007 a causa di inconvenienti tecnici. I campionamenti sono stati eseguiti a bordo di pescherecci atti alla pesca sperimentale in collaborazione con i pescatori. Sono stati effettuati complessivamente 7 campionamenti, utilizzando una rete da posta (denominata *sardellera*) di lunghezza approssimativa di 400 m con vuoto di maglia di 15,5 mm per le prime 3 uscite, mentre per le rimanenti è stata utilizzata una rete a strascico (denominata *volantina*), con vuoto di maglia di 10 mm, trainata alla velocità di 3 nodi. Ogni campionamento ha avuto una durata non inferiore alle 24 ore, in modo da coprire l'intero ciclo giornaliero. In tale arco di tempo sono state eseguite delle pescate (cale) ravvicinate nel tempo, tentando di mantenere un intervallo non superiore alle 4 ore dall'una all'altra. Per ogni campionamento sono così state eseguite dalle 5 alle 8 cale, anche se non tutte sono andate a buon fine (tab. 1). Allo stesso tempo sono stati anche registrati i valori di salinità e temperatura lungo la colonna d'acqua e le ore in cui il sole è sorto e tramontato.

<i>Data</i>	<i>Attrezzo</i>	<i>Cale effettuate</i>	<i>Cale positive per sardina</i>	<i>Cale positive per acciuga</i>
Maggio 06	<i>sardellera</i>	6	4	0
Giugno 06	<i>sardellera</i>	8	7	2
Luglio 06	<i>sardellera</i>	6	6	2
Settembre 06	<i>volantina</i>	8	2	8
Ottobre 06	<i>volantina</i>	7	3	7
Dicembre 06	<i>volantina</i>	8	0	3
Febbraio 07	<i>volantina</i>	6	0	2

Tab. 1 Data dei campionamenti con il numero delle cale effettuate, relative ad ogni attrezzo, e con il numero di cale che hanno dato esito positivo nelle catture di sardina e acciuga (>20 individui), rispettivamente.

Una volta imbarcato, il pesce è stato accuratamente suddiviso in gruppi di circa 10 individui scelti casualmente, riposto in sacchetti di plastica trasparente ed immediatamente congelato a -20°C

al fine di bloccare il processo digestivo. Il congelamento è stato effettuato ancora a bordo dell'imbarcazione utilizzando un congelatore portatile, alimentato da un accumulatore.

2.2. Analisi di laboratorio

In laboratorio i campioni sono stati scongelati a temperatura ambiente e per ogni individuo sono state prese le misure di lunghezze (espresse in mm) e pesi (espresi in $g \pm 0.0001$) di seguito descritte:

lunghezza totale (LT), dall'apice del muso alla fine della pinna caudale

lunghezza standard (LS), dall'apice del muso alla fine del corpo

peso totale (TWW), peso dell'intero individuo

peso somatico (SWW), peso del pesce senza visceri

peso delle gonadi (GWW)

peso del grasso mesenterico (LWW)

Le pesate sono state effettuate con una bilancia analitica METTLER AT 250.

Al fine di recuperare gli stomaci necessari per le successive analisi del fabbisogno alimentare e della dieta, ogni esemplare è stato dissezionato incidendo la parte molle del ventre con un bisturi ed esponendo gli organi interni (foto 1, 2). Lo stomaco, una volta rimosso assieme all'esofago, è stato conservato in formalina al 4% fino al momento dell'analisi del suo contenuto. Inoltre, durante il processo di dissezione, in seguito all'osservazione delle gonadi di ogni pesce, è stato determinato e registrato il sesso di ogni esemplare.



Foto 1. Sardina. Cavità addominale; gonadi (rosa) ben visibili.



Foto 2. Sardina dissezionata, stomaco (sinistra) e grasso (destra)

2.3. Ritmo e fabbisogno alimentare

Gli stessi dati, relativi ai contenuti stomacali, che sono stati utilizzati per descrivere il ritmo di alimentazione, sono stati poi utilizzati anche per calcolare il fabbisogno alimentare giornaliero delle due specie questo studio.

2.3.1. Estrazione del contenuto stomacale e ritmo di alimentazione

Lo stomaco di ogni esemplare è stato posto in una capsula Petri contenente acqua distillata. Al microscopio binoculare (OLYMPUS SZX 12 , obiettivo OLYMPUS DF PLAPO 1X) sono state incise con il bisturi sia la parte pilorica sia quella cardiaca dello stomaco e, con l'aiuto di pinzette ed aghi, il contenuto è stato riversato nella capsula, recuperando tutto il materiale possibile anche dalle pareti gastriche. L'esofago è stato anch'esso inciso per verificare che non vi fosse presenza di cibo, chiaro indizio di rigurgito, che avrebbe invalidato l'attendibilità del dato raccolto. Quindi, dopo avere rimosso eventuali parti di epitelio gastrico, il contenuto stomacale è stato recuperato con una pipetta Pasteur e conservato nuovamente in formalina al 4% fino alle ulteriori analisi. In seguito il contenuto stomacale è stato filtrato su filtri in microfibra di vetro Whatman[®] GF/F, dal diametro di 25 o 47 mm, in base alla quantità di materiale rinvenuta. Prima dell'utilizzo dei filtri, questi sono stati essiccati in stufa per circa 24h e riposti per altrettanto tempo in essiccatore per farli raffreddare senza che potessero assorbire umidità. Sono stati successivamente pesati per 3 volte su una bilancia analitica METTLER AT250 ($\pm 0.0001g$). Dopo la filtrazione, effettuata con l'ausilio di una pompa da vuoto collegata ad un rubinetto d'acqua corrente (foto 3, 4), i filtri sono stati essiccati in stufa alla temperatura di 70°C per 48h e, trascorso tale periodo di tempo, sono stati posti in essiccatore per ulteriori 24 h, al fine di farli raffreddare senza assorbire umidità (foto 5, 6). Infine ogni filtro, con il relativo contenuto stomacale secco, è stato pesato almeno 3 volte. Per ricavare il peso del contenuto stomacale è stato sottratto il peso del filtro prima del suo utilizzo (tara) da quello ottenuto dopo la filtrazione (lordo).



Foto 3. Pompa da vuoto



Foto 4. Contenuto stomacale filtrato su filtri Whatman[®]



Foto 5. Diversi contenuti stomacali di sardina



Foto 6. Contenuti stomacali prima di essere messi in stufa

Per determinare il ritmo di alimentazione e per stimare il fabbisogno giornaliero di sardina e di acciuga, per ogni individuo è stato calcolato l'indice di pienezza dello stomaco (I), espresso dalla seguente l'equazione:

$$I = \frac{DW}{SWW} \times 1000 \text{ g } SWW$$

in cui DW esprime il peso secco del contenuto stomacale, espresso in grammi, e SWW il peso somatico umido del pesce. La decisione di scegliere il peso somatico è scaturita dal fatto che il peso totale può introdurre degli errori nel periodo riproduttivo, poiché il peso delle gonadi può variare notevolmente. In seguito, per facilitare il confronto con i dati presenti in letteratura, l'indice di pienezza è stato calcolato anche utilizzando il peso umido totale (TWW). In entrambi i casi l'indice è stato espresso in termini di 1000 g di peso del pesce.

L'indice di pienezza di ogni cala è stato utilizzato per descrivere dapprima il ritmo di alimentazione giornaliera e in seguito per determinare il fabbisogno alimentare giornaliero delle specie in esame.

2.3.2. Fabbisogno alimentare

Una rivisitazione della letteratura dell'ultimo trentennio evidenzia come numerosi studi sono stati condotti per descrivere il fabbisogno giornaliero nei pesci (Godin 1981, Garcia e Adelman 1985, Amundsen e Klemetsen 1988, Jarre *et al.* 1991, Tudela e Palomera 1995, Plounevez e Champalbert 2000, Figueiredo e Vieira 2005). La stima del fabbisogno alimentare giornaliero dei pesci è stata usata ampiamente per comprendere ed approfondire altri argomenti come la relazione fra fabbisogno ed accrescimento (Walsh *et al.* 1988, Boisclair e Leggett 1989, Parrish e Margraf 1990), la pressione di predazione su prede bersaglio (Boisclair e Leggett 1985, Ruggerone 1989,

Vigg *et al.* 1991), la preferenza per diversi habitat (Héroux 1990), l'impatto delle modificazioni ambientali (Borgström *et al.* 1992), le limitazioni nella disponibilità di cibo durante le stagioni (Ensing *et al.* 1990) e la competizione (Parrish e Margraf 1990). Inoltre la stima del fabbisogno giornaliero dei pesci è stata applicata per testare modelli bioenergetici nelle diverse specie.

Il fabbisogno giornaliero dei pesci può essere stimato utilizzando molteplici differenti approcci e può essere determinato sia da esperimenti condotti in laboratorio (Walsh e Stein 1991) sia da esperimenti *in situ* (Thorpe 1977, Boisclair e Leggett 1989), ma anche, come spesso accade, dalla combinazione di entrambi gli approcci (es. variazioni giornaliere della quantità di cibo determinate in campo e tasso di evacuazione gastrica stimato in laboratorio) (Amundsen e Klemetsen 1988). Indipendentemente dal modello applicato, la stima del fabbisogno giornaliero richiede informazioni sulla quantità media di cibo trovata nello stomaco del pesce durante un dato intervallo di tempo (es. 24 ore) e sul tasso di cibo evacuato durante questo intervallo. Questo tasso, detto tasso di evacuazione gastrica istantanea, è spesso stimato in laboratorio. In tali studi i pesci catturati sono acclimatati in laboratorio rispettando alcune condizioni come temperatura, fotoperiodo e alimentazione artificiale. Prima dell'inizio degli esperimenti i pesci sono tenuti generalmente a digiuno per poi essere alimentati *ad libitum* e sacrificati ad intervalli regolari fintanto che un intero gruppo non mostra di aver completamente evacuato il cibo. Un vantaggio nell'uso di tale procedura è che si suppone che i pesci non siano stressati durante gli esperimenti. Ci sono altri studi in cui il tasso di evacuazione gastrica viene stimato da esperimenti eseguiti in campo (Thorpe 1977, Garcia e Adelman 1985, Boisclair e Leggett 1988, Booth 1990, Walsh *et al.* 1988, Héroux 1990). In questi casi i pesci sono catturati in campo a determinati intervalli di tempo e posti immediatamente in vasche in cui viene pompata acqua filtrata proveniente dalla stessa profondità e alla stessa temperatura di cattura. I pesci sono poi campionati a regolari intervalli di tempo a partire dal tempo di cattura e processati come negli esperimenti di laboratorio.

Il tasso di evacuazione gastrica non viene determinato sperimentalmente, ma viene stabilito dall'apparente tasso di decremento della pienezza dello stomaco (peso corporeo evacuato per ora). Il tasso di evacuazione gastrica istantanea (R) è calcolato a partire dal valore medio di pienezza dello stomaco (I) durante un periodo di digiuno seguito ad un periodo di abbondante alimentazione (Arrhenius e Hansson 1994), usando l'equazione:

$$S_t = S_0 e^{-Rt}$$

da cui si ricava:

$$R = \frac{\ln S_0 - \ln S_t}{t}$$

dove t è il periodo di digiuno considerato, S_0 ed S_t sono le medie della pienezza dello stomaco all'inizio ed alla fine del periodo. In un determinato esperimento, il tasso di evacuazione gastrica stimato corrisponde al valore più elevato di tutti gli intervalli di tempo considerati, per cui:

$$R_{(max)} = \text{massimo valore di } R$$

Ciò significa che un dato valore di R è calcolato soltanto quando i valori di S_t ed S_0 sono significativamente diversi. Questo approccio si basa sull'assunzione che l'evacuazione di cibo è costante durante un completo ciclo di alimentazione ed R_{max} è rappresentativo di R poiché corrisponde ad un periodo di alimentazione minima o di non alimentazione. L'uso di R_{max} è anche basato sull'assunzione che eventi stocastici a breve termine, che implicano un decremento nell'alimentazione, possono non influenzare la stima del tasso di evacuazione massimo.

In passato sono stati utilizzati tre modelli per descrivere nei pesci la relazione tra cibo evacuato e tempo impiegato: il modello lineare, il modello esponenziale e quello a radice quadrata. Recenti studi empirici e teorici hanno suggerito che il modello esponenziale è probabilmente il più appropriato per la descrizione dell'evacuazione del cibo dall'apparato digerente nella maggior parte dei pesci (Persson 1986, Ruggerone 1989, Héroux e Magnan 1996). A partire da Bajkov (1935) numerosi metodi sono stati proposti per stimare il fabbisogno giornaliero dei pesci, basati tutti sull'analisi quantitativa del loro contenuto stomacale (Elliott e Persson 1978, Eggers 1977, 1979, Durbin *et al.* 1983).

Inizialmente Eggers (1977) propose un modello in cui il consumo era calcolato con la seguente equazione:

$$C_{T(24)} = \bar{S} R * 24$$

in cui \bar{S} è il peso medio del contenuto stomacale nell'intero intervallo di tempo delle 24 ore, R è il tasso di evacuazione gastrica e C_T è il consumo totale nell'intervallo considerato. Questo modello si basa sull'assunto che il peso del cibo presente nello stomaco o nell'intero tratto digestivo non cambi fra l'inizio e la fine del ciclo di 24 ore. Nel 1979 Eggers suggerì una modifica al suo precedente modello, affinché questo fosse applicabile anche ai casi di studio in cui l'assunto precedente non si verificasse, ovvero quando il peso del cibo nello stomaco o nel tratto digestivo all'inizio e alla fine del ciclo di 24 ore fosse significativamente differente. Il nuovo modello prosposto è descritto dalla seguente equazione:

$$C_T - (S_t - S_0) = \bar{S} R t$$

in cui C_T è il consumo nell'intervallo considerato (24 ore), S_t è la media della pienezza alla fine dell'intervallo e S_0 è la media della pienezza all'inizio dell'intervallo, \bar{S} è la media della pienezza dell'intero intervallo, R è il tasso di evacuazione gastrica istantanea e t è la durata dell'intervallo.

La stima del fabbisogno giornaliero seguendo il modello di Elliott e Persson (1978) si basa sul calcolo del consumo di cibo assunto in intervalli di tempo t consecutivi nelle 24 ore, preferibilmente di breve durata (3 h al massimo), descritto dalla seguente equazione:

$$C_t = \frac{Rt(S_t - S_0 e^{-Rt})}{1 - e^{-Rt}}$$

dove C_t è il consumo di cibo nel tempo t , R è il tasso di evacuazione gastrica istantanea, S_t è la media della pienezza dello stomaco al tempo t , S_0 è la media della pienezza dello stomaco all'inizio dell'intervallo temporale considerato. Il consumo totale dell'intero ciclo di 24 h C_T è determinato dalla somma dei consumi parziali degli n intervalli:

$$C_T = \sum_1^n C_m$$

Per la sua natura, il modello di Elliott e Persson (1978) assume che l'evacuazione del cibo è esponenziale e che il tasso di cibo consumato all'interno dell'intervallo di campionamento è costante (Godin 1981).

In questo studio il fabbisogno giornaliero è stato calcolato applicando il modello di Eggers (1979). La scelta si è basata sul fatto che Amundsen e Klemetsen (1986) suggeriscono che il modello di Eggers (1979), rispetto al modello di Elliott e Persson (1978), conferisce una stima più precisa e robusta del calcolo del fabbisogno giornaliero; questo quando nei campioni si verifica un'ampia variabilità in peso del contenuto stomacale o dell'intero tratto digestivo o quando gli intervalli di campionamento sono maggiori di 3 ore. Anche Hayward (1991) dimostrò che il modello rivisto di Eggers (1979) conferisce stime del fabbisogno giornaliero più accurate rispetto ai modelli proposti in passato (Elliott e Persson 1978, Eggers 1977). Sebbene Eggers (1979) riportò che l'utilizzo del suo modello non era raccomandabile per pesci ittiofagi, che consumano periodicamente prede di grandi dimensioni ed hanno un tasso di evacuazione gastrica lento, i risultati di Boisclair e Leggett (1988) suggeriscono che esso può essere applicato a specie che si

cibano durante la giornata su un ampio spettro di tipi di prede, esibendo occasionali picchi di alimentazione e presentando periodi di alimentazione flessibili.

L'errore standard associato all'uso dell'equazione del modello di Eggers (1979) nel calcolo del fabbisogno giornaliero è stato approssimato seguendo il metodo proposto da Worobec (1984).

Il fabbisogno giornaliero, espresso in termini di peso secco di cibo in proporzione al peso del pesce, è poi stato convertito in unità energetiche in base al valore calorico del contenuto stomacale per ogni mese analizzato (vedi *Analisi energetiche*). Al fine di esprimere il fabbisogno alimentare in termini percentuali, intendendo con questo la percentuale di peso umido del pesce consumata giornalmente, è stato necessario convertire in peso umido la quantità di cibo ingerita, inizialmente espressa come peso secco. Sapendo che la dieta di sardina ed acciuga si basa principalmente sullo zooplancton, il valore del contenuto in acqua utilizzato è stato dell'87% (Borme 2006), perfettamente in accordo con il contenuto medio d'acqua ($78.7 \pm 15.2\%$) dei Copepodi riportato da Båmstedt (1986), delle larve di Decapodi (86.7%) e dei Chetognati (87.2%) riportato da Omori (1969). Conoscendo la composizione percentuale in acqua, il peso secco del contenuto stomacale è stato convertito applicando la seguente formula:

$$C_T^* = \frac{C_T}{(1 - AQ\%)}$$

in cui C_T^* e C_T sono rispettivamente il peso umido ed il peso secco del contenuto stomacale e $AQ\%$ il contenuto in acqua dello zooplancton, ossia in termini percentuali:

$$C_T^*\% = \frac{C_T^*}{1000} 100$$

2.4. Analisi del mesozooplancton

2.4.1. Campionamento del mesozooplancton

Contemporaneamente alle cale è stato campionato il mesozooplancton per definire la disponibilità di cibo nell'ambiente e poter quindi confrontare il cibo ingerito da sardina e acciuga con quello presente nell'ambiente al momento delle pescate. I prelievi di mesozooplancton sono stati eseguiti nelle stesse posizioni delle cale, utilizzando un retino standard WP2 di forma tronco-conica (0.25 m^2 di apertura e vuoto di maglia di $200 \mu\text{m}$), trainato verticalmente da una profondità

di circa 2 m dal fondo fino alla superficie. L'estremità anteriore del retino è fissata ad un anello metallico collegato ad una fune di traino, mentre l'estremità posteriore termina con un recipiente (collettore) cilindrico di materiale plastico, nel quale si concentra il campione raccolto. All'anello metallico è stato fissato un flussometro, che consta di un'elica che gira con il flusso dell'acqua e di un contatore che registra il numero di giri; questo strumento permette di conoscere la distanza percorsa dalla rete che, assieme alla superficie della bocca della rete, serve per determinare il volume d'acqua filtrato durante la retinata.

A bordo dell'imbarcazione, il mesozooplankton raccolto è stato trasferito in contenitori di plastica, diluito con acqua di mare e fissato con formalina neutralizzata al 4%. Le analisi qualitative sono state svolte successivamente in laboratorio dove ogni campione è stato subcampionato nel seguente modo: l'intero campione di plancton è stato posto in un becker assieme all'acqua del recipiente in cui era contenuto, sono stati fatti dei versamenti da un becker all'altro per renderlo il più omogeneo possibile. Quindi il campione è stato frazionato e sono state contate tante frazioni quante erano necessarie per contare almeno 1000 individui.

Le analisi sono state eseguite mediante un microscopio binoculare OLYMPUS SZX 12 con obiettivo OLYMPUS DF PLAPO 1X. Gli individui presenti sono stati riconosciuti al minor livello tassonomico possibile. Per la determinazione tassonomica delle specie mesozooplantoniche sono stati utilizzati i seguenti testi:

- Rose M.- Faune de France (1933), Copépodes pélagiques
- Trègouboff G. e Rose M. (1957), Manuel de Planctonologie méditerranéenne

Il totale concernente la frazione di campione contata è stato utilizzato per ricavare il numero complessivo di individui presenti nel campione intero e quindi, conoscendo i m³ di acqua filtrata, è stato possibile calcolare il numero di individui presenti in un m³ di acqua di mare al momento del campionamento.

Per descrivere il popolamento mesozooplantonico i valori di abbondanza numerica sono stati rappresentati in forma di istogrammi e gli organismi sono stati suddivisi in 5 gruppi principali: Dinoflagellati, Copepodi, Cladoceri, Uova e Larve (di Invertebrati - Cnidari, Molluschi, Crostacei, Echinodermi; e Vertebrati -Teleostei) e Altri (Cnidari, Chetognati e Urocordati). Essendo *Noctiluca scintillans* l'unico Dinoflagellato trovato nei campioni, poiché trattenuto dalla maglia del retino a causa delle sue dimensioni, il gruppo dei Dinoflagellati è rappresentato soltanto da questa specie.

2.5. *Composizione della dieta*

Lo studio delle diete di *S. pilchardus* e di *E. encrasicolus* è stato condotto solamente nei mesi in cui l'entità dei campioni ha permesso di descriverne anche il ritmo di alimentazione; più precisamente: maggio, giugno e luglio 2006 per la sardina, settembre ed ottobre 2006 per l'acciuga. L'analisi qualitativa della composizione della dieta è stata effettuata negli esemplari catturati al momento della loro massima attività alimentare, solitamente in corrispondenza del tramonto.

Per ogni cala esaminata, i contenuti di 8 stomaci sono stati uniti ed omogenati per poi essere suddivisi in subcampioni (generalmente 8). La decisione di affrontare in questo modo l'analisi qualitativa è supportata dal fatto che molti autori hanno riportato che sono minime le differenze fra il contenuto stomacale di individui appartenenti allo stesso banco (Davies 1957, Hand e Berner 1959, Louw *et al.* 1998, van der Lingen 2002). Questa aliquota è stata analizzata ad ingrandimento 40-90X, determinando al minimo livello tassonomico possibile ogni singola preda ingerita. Le prede così riconosciute sono state identificate a livello di gruppo per Ostracodi, larve di Bivalvi, larve di Gasteropodi e larve di Decapodi. Cladoceri e Copepodi sono stati invece identificati a livello di specie, quando possibile, utilizzando come testo di riferimento il manuale di plancton di Tregouboff e Rose (1957). Sono stati inoltre identificati Diatomee, Dinoflagellati tecati ed altri organismi microzooplanctonici, sufficientemente grandi per essere individuati con l'ausilio degli ingrandimenti utilizzati.

La lunghezza totale o la lunghezza del prosoma di tutti i Copepodi identificati e la dimensione massima (lunghezza, diametro, ecc.) delle altre prede sono state misurate, con una precisione di 11 µm usando una scala micrometrica montata sull'oculare del microscopio. In presenza di prede danneggiate e non misurabili, le sole teste sono state considerate nei conteggi e le relative dimensioni sono state ottenute, applicando opportune proporzioni, facendo riferimento a misurazioni dirette effettuate su individui interi appartenenti alla stessa categoria, rinvenuti nei campioni di plancton da retino.

Per valutare quantitativamente chi fornisce il maggior contributo in carbonio nella dieta di sardina e di acciuga, il contenuto in carbonio di ogni preda è stato stimato utilizzando le equazioni fornite da Strathmann (1967) per il fitoplancton, Smetacek (1975) per i Dinoflagellati e Verity e Langdon (1984) per i Tintinnidi. Per Ostracodi, Copepodi, naupli di Cirripedi, larve di Decapodi, Chetognati, Appendicolarie e uova di Teleostei il contenuto in carbonio è stato stimato applicando opportune equazioni che utilizzano la lunghezza del prosoma, il peso secco, oppure in alcuni casi attraverso misurazione diretta (tab. 2). Le prede ritrovate sono state raggruppate nelle seguenti categorie: Copepodi Calanoidi (*Acartia clausi*, *Centropages typicus*, *C. kroyeri*, *Temora longicornis*, *T. stylifera*, Clauso-Paracalanidae, altri Calanoidi), Copepodi Ciclopoidi (*Oithona* spp.,

Oncaea spp., *Corycaeus* spp.), Copepodi Arpacticoidi (*Clytemnestra* spp., *Euterpina acutifons*, *Microsetella rosea*, Arpacticoidi indeterminati.), Cladoceri (*Evadne nordmanni*, *E. spinifera*, *E. tergestina*, *Penilia avirostris*, *Podon polyphemoides*, *P. intermedius*), Ostracodi, larve di Molluschi (*Creseis acicula*, Bivalvia e Gasteropoda), uova di Copepodi, naupli di Copepode, naupli di Cirripede, larve di Decapodi, Stomatopodi, Appendicolarie, Chetognati, uova di Teleostei, uova di Invertebrati (tab. 2).

<i>Categoria alimentare</i>	<i>Genere</i>	<i>Peso secco DW(µg)</i>	<i>Regressione L - DW</i>	<i>Relazione C/L o C/V</i>	<i>(C/DW) 100</i>	<i>n</i>	<i>Riferimento</i>
Diatomee	<i>Cocconeis</i> <i>Coscinodiscus</i> <i>Diploneis</i> <i>Paralia</i> <i>Pleurosigma</i> <i>Nitzschia</i>			C= Vx11			Strathmann (1967)
Diatomee	Pennate			C= Vx11			Strathmann (1967)
Dinoflagellati	<i>Ceratium</i> <i>Dinophysis</i> <i>Diplopsalis</i> <i>Goniaulax</i> <i>Katodinium</i> <i>Lingulodinium</i> <i>Ornithocercus</i> <i>Prorocentrum</i> <i>Protoperidinium</i> <i>Scropsiella</i>			C= Vx13			Smetacek (1975)
Dinoflagellati	Peridineae			C= Vx13			Smetacek (1975)
Tintinnidi	<i>Stenosemella</i> <i>Eutintinnus</i> <i>Tintinnopsis</i>			$C=(444.5+0.053xV) \times 10^{-6}$			Verity e Langdon (1984)
Gasteropode larve		4,209 (a)	media		31.25(b)		(a) Borme 2006 (b) James 1987
Bivalvi veliger		3.758 (a)	media		31.25(b)		(a) Borme 2006 (b) James 1987
Policheti larve		5.670 (a)	media		40.00(c)		(a) Borme 2006 (c) Båmsted 1986
Cladoceri	<i>Evadne nordmanni</i> <i>E. spinifera</i> , <i>E. tergestina</i> <i>Penilia avirostris</i> <i>Podon intermedius</i> <i>P. polyphemoides</i> .	1.2 (d) 1.6 (d) 1.6 (d)	DW = 3.946 L ^{2.436} (b) DW = 3.946 L ^{2.436} (b) DW = 3.946 L ^{2.436} (b)		41.5 (b) 41.5 (b) 41.5 (b)		(b) James 1987 (d) Fonda Umani et al. 1979 (d) Fonda Umani et al. 1979
Cladoceri uova			lnDW = 0.0143 (Ø) - 3.381 (e)				(e) van der Lingen 2002
Ostracodi juv.		6.035 (a)	media		40.00 (c)	94	(a) Borme 2006 (c) Båmsted 1986
Copepodi Calanoidi	<i>Acartia clausi</i>		LogDW = 2.71 LogL - 7.28 (f)		53.5 (g)	20	(f) Cataletto e Fonda Umani 1994 (g) questo lavoro
	<i>Calanus helgolandicus</i>		LogDW = 2.691 LogPL - 6.883 (h)		40 (c)		(h) Hay et al. 1991

<i>Categoria alimentare</i>	<i>Genere</i>	<i>Peso secco DW(µg)</i>	<i>Regressione L - DW</i>	<i>Relazione C/L o C/V</i>	<i>(C/DW) 100</i>	<i>n</i>	<i>Riferimento</i>
Copepodi Calanoidi	<i>Centropages</i>		LogDW = 2.451 LogPL - 6.103 (h)		40 (c)		(h) Hay <i>et al.</i> 1991
	<i>Temora longicornis</i>		LogDW = 3.059 LogPL - 7.682		46.8 (g)		(h) Hay <i>et al.</i> 1991 (g) questo lavoro
	<i>Temora stylifera</i>		(LogDW = 2.71 Log L - 3.685)/1000 (i)		46.8 (g)	100	(i) Razouls 1972 (g) questo lavoro
	Clauso-Paracalanidae (rif. <i>Paracalanus parvus</i>)		LogDW = 2.738 Log L - 6.934		40 (c)		(h) Hay <i>et al.</i> 1991 (c) Båmsted 1986
Copepodi Cyclopoidi	<i>Oithona nana</i> <i>Oithona plumifera</i> <i>Oithona setigera</i>		LogDW = 3.16 LogPL - 8.18 (l) CW = 9.4676 10 ⁻⁷ L ^{2.16} (m) CW = 9.4676 10 ⁻⁷ L ^{2.16} (m)		40 (c) 40 (m) 40 (m)		(l) Hopcroft <i>et al.</i> 1998 (m) Sabatini e Kiørboe 1994a,b
	<i>Corycaeus</i>	2.56 (g)			43.1 (g)	200	(g) questo lavoro
	<i>Oncaea</i> spp.	1.95 (g)	media		38.2	100	(g) questo lavoro
Copepodi Arpacticoidi	<i>Clytemnestra</i>		LnDW = 1.96 LnPL - 11.64 (n)	C = 0.424 DW (n)			(n) Chisholm e Roff 1990
	<i>Euterpina acutifrons</i>		DW = 1.389 10 ⁻⁸ L ^{2.857} (o)		46 (o)		(o) Ara 2001
	<i>Microsetella rosea</i> altri Arpacticoidi (rif. <i>M. norvegica</i>)			CW = 2.65 10 ⁻⁶ L ^{1.95} (p)	40		(p) Uye <i>et al.</i> 2002
Copepode nauplii (rif. nauplii <i>Acartia</i>)			Log DW = 2.848 Log L - 7.265 (q)	C = 0.424 DW (n)			(q) Durbin e Durbin 1978 (n) Chisholm e Roff 1990
larve Cirripede		1.67		CW = 0.67 (r)	39.97 (b)		Sautour e Castel 1995 (r) + James 1987 (b)
larve Decapode		27.798 (a)	media		43.69 (g)	>50	(a) Borme 2006 (g) questo lavoro
Stomatopodi	<i>Squilla mantis</i> <i>Jaxea nocturna</i>	160 (p)			41.1 (s)		(s) Omori 1969
uova invertebrato uova copepodi			volume sfera 0.08		140x10 ⁻⁹ x V (t)		(t) Kiørboe <i>et al.</i> 1985
	<i>Sagitta</i> spp. (rif. <i>Sagitta elegans</i>)	1430 (p)			47.7 (s)		(s) Omori 1969
uova Teleostei (rif. <i>Engraulis mordax</i>)		30 (u)		C = 0.424 DW (n)			(u) Hunter e Dorr 1982 (n) Chisholm e Roff 1990

Tab. 2 Relazioni impiegate per il calcolo dei pesi secchi e del contenuto in carbonio delle categorie alimentari di *S. pilchardus* ed *E. encrasicolus*. Alcuni pesi secchi e percentuali di carbonio sono stati determinati durante questo studio

Per facilitare l'indagine sulla selezione alimentare tutte le prede identificate sono state raggruppate in classi dimensionali di 70 µm; inoltre le specie *Evadne nordmanni*, *E. spinifera* ed *E. tergestina* sono state raggruppate come *Evadne* spp., le specie *Podon polyphemoides* e *P. intermedius* sono state raggruppate come *Podon* spp.; per quanto riguarda i Copepodi, le specie *Oithona nana*, *O. plumifera*, *O. setigera* e *O. similis* sono state raggruppate come *Oithona* spp., le specie *Centropages typicus* e *C. kroyeri* sono state raggruppate come *Centropages* spp. A causa delle difficoltà riscontrate nella identificazione dei Copepodi Calanoidi appartenenti alle famiglie

Clausocalanidae e Paracalanidae rinvenuti nel contenuto stomacale, essi sono stati accomunati nel gruppo Clauso-Paracalanidae a cui già erano ricorsi Plounevez e Champalbert (1999, 2000). I Copepodi Calanoidi non appartenenti a tale categoria sono stati classificati come “altri Calanoidi”.

L'indagine sulla selezione è stata approfondita a livello specifico, calcolando l'indice di selettività di Ivlev (E)(1955). L'indice è stato calcolato per i mesi oggetto di studio.

Indice di selettività di Ivlev (E):

$$E = (\% \text{preda nello stomaco} - \% \text{preda nell'ambiente}) / (\% \text{preda nello stomaco} + \% \text{preda nell'ambiente})$$

L'indice di selettività di Ivlev presenta un valore variabile tra -1 e +1. Valori superiori a zero, riferiti ad una data preda, derivano dalla sua maggiore proporzione negli stomaci rispetto all'ambiente, indicando una selezione positiva per quel determinato alimento. Valori prossimi allo zero indicano invece che non vi è selezione, per cui le prede considerate sono ingerite in proporzioni simili a quelle in cui si trovano nell'ambiente. Al contrario, valori inferiori a zero suggeriscono una selettività negativa poiché una data preda, nonostante compaia nei contenuti stomacali, lo è in proporzione minore rispetto alla sua disponibilità nell'ambiente. L'indice può assumere due valori limite (-1 e +1) con E = -1 quando il pesce non si alimenta di una categoria alimentare che pur è presente nell'ambiente ed E = +1 quando una categoria alimentare viene selezionata dal pesce anche se non risulta campionata nell'ambiente (nel caso di un campionamento poco efficace o non specifico).

L'abbondanza numerica delle singole prede nell'ambiente è stata dedotta dall'analisi dei campioni di mesozooplankton raccolti durante il campionamento del pesce azzurro.

2.6. Analisi energetiche

2.6.1. Valore energetico dei contenuti stomacali stimato tramite analisi calorimetrica

Al fine di poter valutare in termini energetici il fabbisogno alimentare nelle specie in questione, è stato determinato il valore energetico dei contenuti stomacali utilizzando una semi-micro bomba calorimetrica *Parr 1425* calibrata con acido benzoico.

In base alla quantità di cibo rinvenuta negli stomaci, sono stati svuotati circa 10-15 stomaci per ogni mese considerato. Anche in questa occasione, per ogni esemplare sono state prese le misure di lunghezza totale (mm), lunghezza standard (mm), peso totale (g), peso somatico (g) e peso delle gonadi (g). Ogni stomaco è stato posto in una capsula Petri e, dopo essere stato inciso e svuotato, il suo contenuto è stato posto in un crogiolo. Per effettuare le misure con la bomba

calorimetrica, i campioni sono stati essiccati a 60°C per 48 ore, ridotti in polvere in un mortaio in ceramica e pressati al fine di ottenere pastiglie di peso non superiore ai 200 mg (foto 7, 8). Ove possibile, sono state eseguite due repliche.



Foto 7. Contenuto stomacale ridotto in polvere e pressato in pastiglie



Foto 8. Particolari delle pastiglie

Per ottenere la misura del valore energetico, ogni pastiglia è stata posizionata su un piattello di platino e messa in contatto con un filo di nichel agganciato a due uncini di platino attraverso cui passa la corrente elettrica. Questo sistema viene chiuso in un recipiente d'acciaio in cui viene compresso ossigeno alla pressione di 35 atm, per rendere possibile la combustione del campione. Il calore fornito dall'ossidazione dei substrati presenti nel campione fa innalzare la temperatura di un volume noto d'acqua distillata, che circonda il recipiente d'acciaio ed è isolata dall'esterno da un'intercapedine di materiale isolante. Ogni misura può essere suddivisa in tre fasi:

- Una prima fase in cui viene dato alle varie parti del calorimetro il tempo di raggiungere l'equilibrio termico (T_i);
- Una seconda fase in cui il campione è ossidato e nel sistema si ha una variazione di temperatura (T_f);
- Una terza fase in cui il calorimetro raggiunge nuovamente l'equilibrio termico.

Attraverso il registratore della temperatura, collegato al termometro immerso nell'acqua, è stato misurato l'innalzamento termico (DT), come differenza tra la temperatura massima alla combustione (T_f) e quella prima della combustione (T_i). Effettuando delle misure ripetute con pastiglie di acido benzoico secco, di cui è noto il calore specifico di combustione (26.4 KJ g^{-1}), è stata inizialmente determinata la capacità termica dell'apparecchio, dopodiché, conoscendo il peso delle pastiglie di campione ed il DT prodotto dalla loro combustione, è stato calcolato il loro contenuto energetico, espresso come J prodotti per milligrammo di campione secco.

2.6.2. Contenuto energetico delle prede stimato tramite analisi calorimetrica

Al termine di ogni campionamento sono state effettuate ulteriori retinate di plancton, necessarie per la stima del contenuto energetico delle prede dei piccoli pelagici. Complessivamente sono stati ottenuti 7 campioni tramite retinate diagonali compiute trainando un retino WP2 (maglia 200 µm) dal fondo verso la superficie. Materiale supplementare è stato ottenuto in altri 6 campionamenti condotti nel Golfo di Trieste nelle seguenti giornate: 13/10/2006, 17/01/2007, 07/02/2007, 13/02/2007, 23/03/2007, 08/05/2007.

Immediatamente dopo la raccolta, i campioni di mesozooplancton sono stati filtrati su un retino con vuoto di maglia di 200 µm e congelati a -20°C senza l'aggiunta di fissativi. Al momento delle analisi un'aliquota è stata prelevata dal campione totale, è stata posta in una capsula Petri ed è stata sciacquata con acqua MilliQ. Durante le analisi al microscopio binoculare, le differenti specie sono state suddivise in gruppi monospecifici e separate per taglia in base alla misura del cefalotorace, per poi essere essiccate in stufa a 60°C per circa 24 ore.

L'analisi del contenuto energetico delle prede è stata effettuata attraverso due metodiche: tramite misura diretta attraverso l'uso di una semimicro-bomba calorimetrica e tramite l'analisi del contenuto di carbonio al CHN. La scelta di utilizzare il contenuto in carbonio per ottenere una stima dell'energia di organismi acquatici (come proposto da Salonen *et al.* 1976) ha permesso di ottenere tale informazione anche per campioni biologici di organismi particolarmente piccoli e leggeri per i quali è risultato particolarmente difficile ottenere una massa sufficiente per le analisi calorimetriche. Infatti, a titolo d'esempio, considerando che ogni campione per la semimicro-bomba calorimetrica doveva essere di almeno 20 mg, per un copepode piccolo quale *Oncaea* spp. sarebbero stati necessari almeno 10000 individui!

Contenuto energetico delle prede stimato tramite calorimetro adiabatico

Il contenuto energetico delle prede è stato determinato utilizzando una semi-microbomba calorimetrica *Parr 1425* calibrata con acido benzoico. Le prede, precedentemente suddivise in gruppi monospecifici in quantità sufficiente per formare una pastiglia di almeno 20 mg, sono state pressate senza ridurle in polvere. Nei casi in cui non è stato possibile accumulare sufficiente materiale biologico, le prede sono state miscelate ad una quantità nota di acido benzoico, per raggiungere la quantità minima necessaria (20 mg) per l'analisi.

Contenuto energetico delle prede stimato tramite analisi al CHN

Le differenti specie sono state separate per taglia in base alla misura del cefalotorace e suddivise in gruppi monospecifici da 20 a 100 individui a seconda delle dimensioni delle prede.

Laddove il materiale è stato sufficiente, ogni specie è stata suddivisa in almeno 3 gruppi. Sono state analizzate le seguenti prede: *Oncaea* spp., *Corycaeus* spp., *Temora stylifera*, *Acartia clausi* e larve di Decapodi. Tutti i campioni, dopo l'essiccazione, sono stati trasferiti in capsule di stagno prepesate per poi essere processate. Il contenuto in carbonio totale è stato misurato tramite un analizzatore elementare *Perkin Elmer 2400 CHNS/O* (temperatura di combustione: 950°C). Il contenuto in carbonio organico totale è stato trasformato in equivalenti di energia seguendo i fattori di conversione proposti da Salonen *et al.* (1976): 45.6 J mg⁻¹ C.

2.7. Variabilità mensili dell'indice gonadosomatico e del grasso mesenterico

I campioni di sardina, utilizzati per descrivere gli andamenti degli indici fisiologici (indice gonadosomatico IGS; indice del grasso mesenterico IGM) sono stati raccolti durante i campionamenti condotti nel Golfo di Trieste da maggio ad ottobre 2006.

Per ogni individuo, dopo essere stato delicatamente tagliato dall'apertura anale fino agli opercoli, sono stati acquisiti dati biologici, quali la lunghezza totale (mm), la lunghezza standard (mm), il peso totale (g), il peso somatico (g), il peso delle gonadi (g) ed il peso del grasso presente nella cavità addominale (foto 9, 10).



Foto 9. Sardina. Grasso mesenterico che copre gli organi interni



Foto 10. Sardina. Gonadi mature (femminili a sinistra, maschili a destra)

Per ogni mese di campionamento sono stati esaminati 30-40 esemplari, per un totale di 178 individui. Gli indici sono stati calcolati individualmente per ogni esemplare esaminato, applicando le seguenti formule:

$$\text{indice gonadosomatico (IGS)} = (\text{peso gonadi} / \text{peso somatico}) * 100$$

$$\text{indice del grasso mesenterico (IGM)} = (\text{peso grasso periviscerale} / \text{peso somatico}) * 100$$

L'IGS è utilizzato per stimare la condizione riproduttiva, poiché si basa sul grado di sviluppo delle gonadi in rapporto alla massa corporea. Per ogni mese di campionamento è stato calcolato un valore medio di IGS e di IGM, dapprima considerando la promiscuità del subcampione, poi distinguendo

gli individui del subcampione in base al sesso. Per ogni valore medio degli indici è stato calcolato l'errore standard.

Nel caso di acciuga non è stato possibile stimare il valore dell'indice del grasso a causa delle difficoltà riscontrate nel recupero del grasso stesso, poiché si deposita fra i ciechi intestinali. È così stato calcolato esclusivamente il valore dell'IGS utilizzando le acciughe campionate durante il periodo giugno 2006-febbraio 2007.

3. Risultati

Ritmo e fabbisogno alimentare di sardina e di acciuga

Sebbene siano stati effettuati sette campionamenti (maggio, giugno, luglio, settembre, ottobre e dicembre 2006 e febbraio 2007), soltanto tre di questi hanno fornito materiale sufficiente (almeno 20 individui in buone condizioni per ogni cala) per lo studio del ritmo e del fabbisogno alimentare giornaliero di sardina, e due per quello di acciuga. Per sardina i tre mesi oggetto di studio sono maggio, mese in cui è stato possibile studiare esclusivamente il ritmo di alimentazione, giugno e luglio; lo studio del ritmo e del fabbisogno alimentare di acciuga è stato realizzato per i mesi di settembre ed ottobre.

3.1. Ritmo e fabbisogno alimentare di *Sardina pilchardus*

Il ritmo di alimentazione è stato studiato analizzando i contenuti stomacali delle sardine catturate nei mesi di maggio, giugno e luglio 2006. La media aritmetica degli indici di pienezza (I) degli individui appartenenti alla stessa cala è stata considerata come rappresentativa del livello di alimentazione dei pesci catturati a quella determinata ora.

3.1.1. Maggio

Nel giorno di campionamento (10 maggio 2006) il sole è sorto alle ore 4:41, è tramontato alle ore 19:23 ed il crepuscolo è finito alle ore 21:31; la temperatura media del mare lungo la colonna d'acqua è stata di $12.7 \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ (media \pm ES).

Per descrivere il ritmo alimentare sono state utilizzate 81 sardine, di lunghezza media totale 175.5 ± 0.7 mm (LT media \pm ES) e peso medio totale 44.6 ± 0.5 g (TWW medio \pm ES) (tab. 3). Sebbene siano state catturate sardine soltanto in quattro momenti della giornata, l'andamento degli indici di pienezza indica (fig. 3) che l'attività alimentare di *S. pilchardus* si svolge prevalentemente nelle ore diurne, presentando un picco massimo al tramonto (1.938 ± 0.098 g DW/1000 g SWW; cala 5, ore 18:15 del 10 maggio). Al contrario, valori di indice di pienezza relativamente bassi sono stati misurati di notte (0.374 ± 0.033 g DW/1000 g SWW; cala 6, ore 03:00 del 11 maggio), indicando che in tale fase della giornata l'attività alimentare di sardina decresce. In questo mese non sono mai stati trovati stomaci vuoti.

<i>Data</i> (Maggio 2006)	<i>Cala</i>	<i>T media</i> (°C)	<i>Inizio Cala (h)</i>	<i>Numero di pesci</i>	<i>LT (mm)</i>	<i>Indice di pienezza</i>
10 Maggio	2	12.6	07:20	20	178.9	0.762±0.043
10 Maggio	4	12.6	10:00	20	175.8	1.058±0.074
10 Maggio	5	12.6	18:15	20	174	1.938±0.098
11 Maggio	6	12.6	03:00	21	173.7	0.374±0.033

Tab. 3 Valori dell'indice di pienezza dello stomaco in relazione al periodo di campionamento considerato.

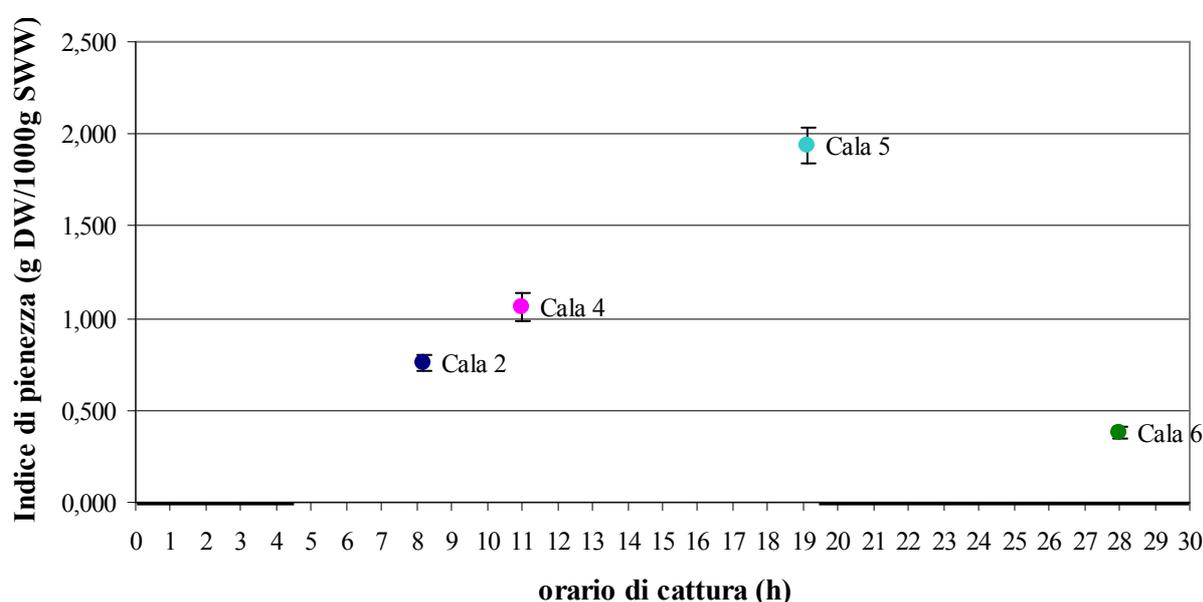


Fig. 3 Valori medi dell'indice di pienezza (\pm ES) dello stomaco relativi al campionamento di maggio.

3.1.2. Giugno

Nel giorno di campionamento (20 giugno 2006) il sole è sorto alle ore 4:15, è tramontato alle ore 19:57 ed il crepuscolo è finito alle ore 22:37; la temperatura media del mare lungo la colonna d'acqua è stata di $17.4 \pm 1.02^\circ\text{C}$ (media \pm ES).

In questo mese sono state studiate 142 sardine adulte di lunghezza media totale pari a 172.3 ± 0.8 mm e peso umido medio di 44.4 ± 0.5 g (tab. 4). I valori di I misurati durante la giornata sono variati da un minimo di 0.045 ± 0.008 g DW/1000 g SWW relativo alla cala 8 (03:15 del 21 giugno) fino ad un massimo di 0.719 ± 0.078 g DW/1000 g SWW della cala 6 (19:45 del 20 giugno). L'osservazione degli indici di pienezza calcolati (fig. 4) rivela un ritmo di alimentazione giornaliera caratterizzato da due picchi massimi, uno nelle prime ore della mattina (0.571 g DW/1000 g SWW;

cala 3, ore 10:00) ed un secondo più importante al tramonto (cala 6, 19:45) mentre i valori minimi di I sono stati misurati durante le ore notturne.

A giugno, nonostante la bassa attività alimentare nelle ore notturne, soltanto 5 sono stati gli stomaci vuoti.

Data (Giugno 2006)	Cala	T media (°C)	Inizio Cala (h)	Numero di pesci	LT (mm)	Indice di pienezza
20 Giugno	1	17.4	03:00	20	168.6	0.071±0.022
20 Giugno	3	17.4	10:00	20	176.3	0.571±0.032
20 Giugno	4	17.4	13:30	20	175.6	0.452±0.030
20 Giugno	5	17.4	17:30	21	177.6	0.398±0.041
20 Giugno	6	17.4	19:45	20	174.7	0.719±0.078
20 Giugno	7	17.4	20:30	20	167.1	0.704±0.049
21 Giugno	8	17.4	03:15	21	166.2	0.045±0.008

Tab. 4 Valori dell'indice di pienezza dello stomaco in relazione al periodo di campionamento considerato.

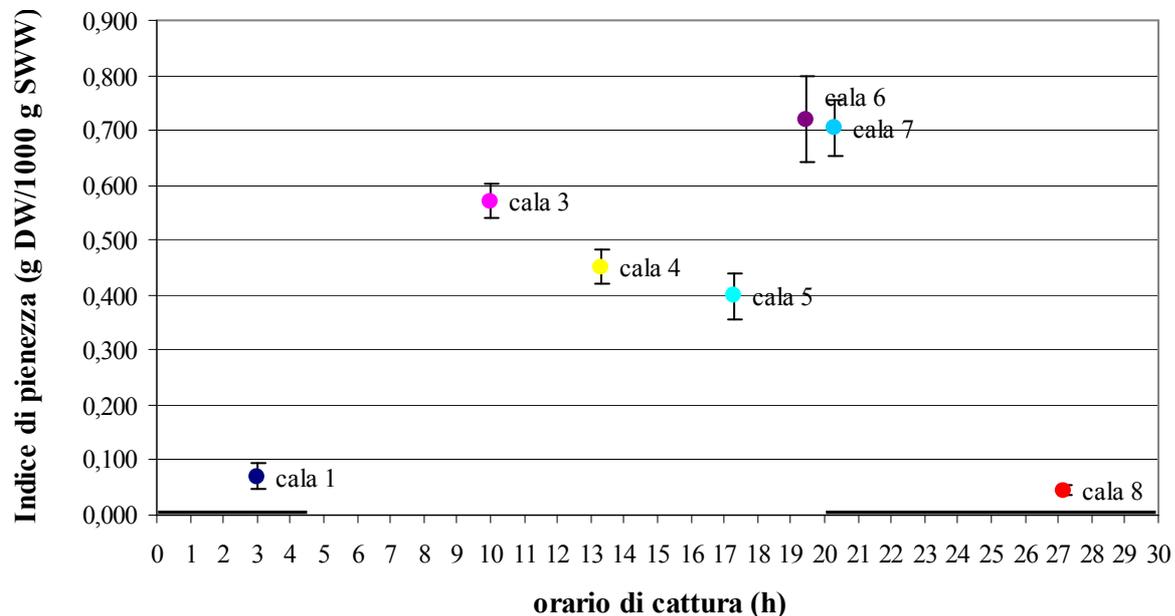


Fig. 4 Valori medi dell'indice di pienezza (±ES) dello stomaco relativi al campionamento di giugno.

Il valore massimo del tasso di evacuazione gastrica istantanea (R_{max}) corrisponde a $0.408 \pm 0.03 \text{ h}^{-1}$ ed è stato calcolato tra la cala 7 (h 20:30) e la cala 8 (h 03:15), periodo durante il quale si osserva un forte decremento dei contenuti stomacali.

Applicando questo tasso di evacuazione, il fabbisogno alimentare, ottenuto per il periodo di campionamento compreso tra la cala 1 e la cala 7 (17.5 ore) tramite il modello di Eggers, è stato così stimato:

$$\sum_{3.00}^{20.30} C_t = 4.100 \pm 0.236 \text{gDW} / 1000\text{gSWW}$$

La media dell'indice di pienezza dello stomaco nell'intervallo considerato impiegata nel modello di Eggers (1979) è pari a 0.486g DW/1000g SWW.

Il fabbisogno giornaliero è stato anche calcolato dividendo l'indice di pienezza di ciascun esemplare per il suo peso corporeo totale (TWW). In questo modo si ottiene un fabbisogno alimentare giornaliero di 3.696 g DW/1000g TWW, che espresso in quantità di cibo umido equivale a una razione giornaliera pari al 2.84% di peso corporeo.

Utilizzando i valori energetici dei contenuti stomacali, di cui si tratta nel seguente paragrafo (3.3. *Analisi energetiche*), la stima del fabbisogno alimentare di sardina è stata calcolata in termini di energia, ottenendo il valore di:

$$C_T = 81.00 \text{ J g}^{-1} 1000\text{g}^{-1} \text{ TWW} \quad \text{modello di Eggers (1979)}$$

3.1.3. Luglio

Nel giorno di campionamento il sole è sorto alle 4:40, è tramontato alle 19:42 ed il crepuscolo è terminato alle 21:55; il valore medio della temperatura del mare nello strato in cui le sardine sono state campionate è stato di $20.5 \pm 0.84^\circ\text{C}$.

Al fine di descrivere il ritmo ed il fabbisogno alimentare delle sardine catturate a luglio, sono stati analizzati 120 individui adulti di lunghezza media pari a 175.0 ± 1.1 mm e peso umido medio di 45.3 ± 0.6 g (tab. 5).

L'andamento degli indici di pienezza (fig. 5) rivela un'attività alimentare prevalentemente diurna, con valori che tendono ad aumentare da un minimo di 0.139 g DW/1000 g SWW (cala 3, ore 08:00) fino ad un picco massimo di 0.738 g DW/1000 g SWW (cala 6, ore 18:30) verificatosi poco prima del tramonto. Valori minimi di I sono stati misurati durante le ore notturne e le prime ore del mattino

Inoltre, nonostante il basso livello di attività alimentare, soltanto 3 sono stati gli stomaci vuoti trovati nelle cale eseguite nelle ore notturne.

<i>Data</i> (Luglio 2006)	<i>Cala</i>	<i>T media</i> (°C)	<i>Inizio Cala (h)</i>	<i>Numero di pesci</i>	<i>LT (mm)</i>	<i>Indice di pienezza</i>
26 Luglio	2	20.5	03:45	20	168.5	0.042±0.008
26 Luglio	3	20.5	08:00	20	179.2	0.139±0.015
26 Luglio	4	20.5	12:35	20	177.6	0.348±0.043
26 Luglio	5	20.5	16:40	20	180.8	0.485±0.047
26 Luglio	6	20.5	18:30	20	168.5	0.738±0.072
25 Luglio	1	20.5	20:45	20	175.3	0.250±0.033

Tab. 5 Valori dell'indice di pienezza dello stomaco in relazione al periodo di campionamento considerato

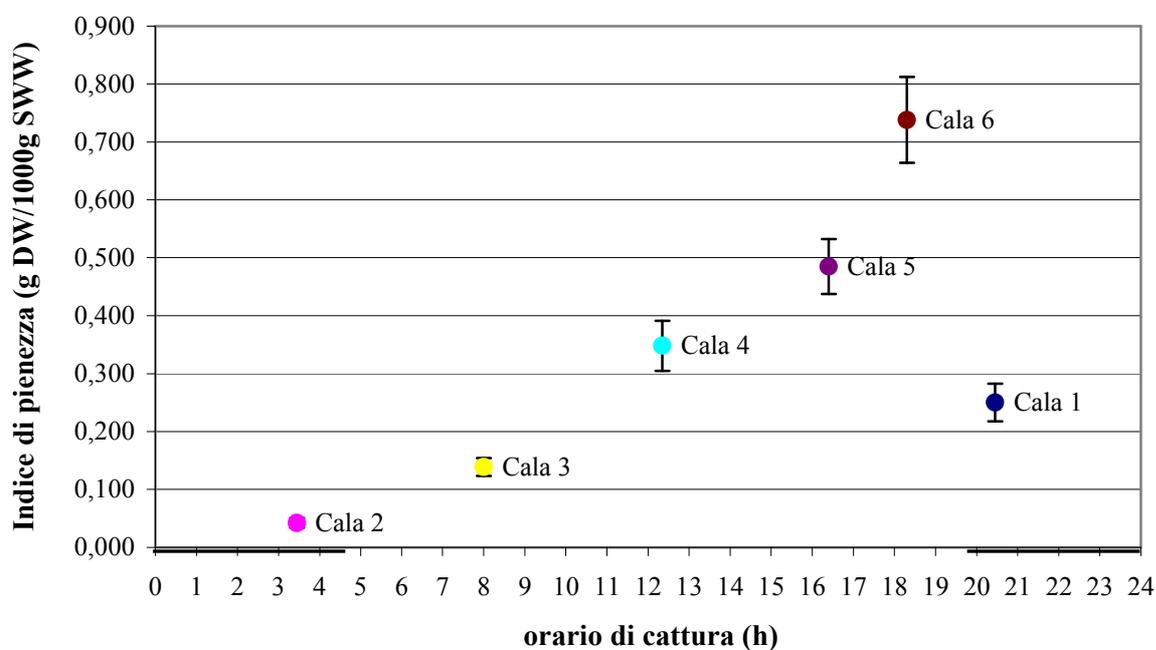


Fig. 5. Valori medi dell'indice di pienezza (\pm ES) dello stomaco relativi al campionamento di luglio

Il tasso di evacuazione gastrica istantanea (R_{max}) è stato ricavato utilizzando i campioni della cala 6 (0.738g DW/1000g SWW) e della cala 1 (0.250g DW/1000g SWW). Si è così ottenuto un valore pari a $0.481 \pm 0.073 \text{ h}^{-1}$.

Nel periodo di campionamento compreso tra la cala 2 e la cala 6, la stima del fabbisogno alimentare ottenuta, applicando il modello di Eggers (1979) è di:

$$\sum_{3.00}^{20.30} C_t = 3.146 \pm 0.295 \text{gDW} / 1000\text{gSWW}$$

in cui di 0.350 g DW/1000 g SWW è il valore medio dell'indice di pienezza dello stomaco dell'intervallo considerato.

Esprimendo il fabbisogno in termini di peso umido totale di sardina, si ottiene un valore di 2.839 DW/1000g TWW, che espresso in quantità di cibo umido equivale al 2.18% di peso corporeo. Il fabbisogno alimentare espresso in termini di energia è di:

$$C_T = 63.50 \text{ J g}^{-1} 1000\text{g}^{-1} \text{ TWW} \quad \text{modello di Eggers (1979)}$$

3.2. Ritmo e fabbisogno alimentare di *Engraulis encrasicolus*

Il ritmo di alimentazione è stato studiato analizzando i contenuti stomacali delle acciughe catturate nei mesi di settembre ed ottobre 2006. La media aritmetica degli indici di pienezza (I) degli individui appartenenti alla stessa cala è stata considerata come rappresentativa del livello di alimentazione dei pesci catturati a quella determinata ora.

3.2.1. Settembre

Nel giorno di campionamento il sole è sorto alle 05:28, è tramontato alle 18:38 ed il crepuscolo è terminato alle 21:50. La temperatura media del mare dello strato campionato in cui è avvenuto il campionamento è stata di $21.7 \pm 1.21^\circ\text{C}$.

Per lo studio del ritmo e del fabbisogno alimentare di acciuga sono stati impiegati 173 individui adulti di lunghezza media totale di 127 ± 0.6 mm e peso medio totale di 11.9 ± 0.2 g (tab. 6).

<i>Data</i> (Settembre 2006)	<i>Cala</i>	<i>T media</i> (°C)	<i>Inizio Cala (h)</i>	<i>Numero di pesci</i>	<i>LT (mm)</i>	<i>Indice di pienezza</i>
04 Settembre	1	21.7	05:28	20	124.1	0.055±0.006
04 Settembre	2	21.7	06:15	20	132.2	0.184±0.019
04 Settembre	3	21.7	09:10	20	122.8	0.326±0.035
04 Settembre	4	21.7	11:05	21	131.8	0.432±0.061
04 Settembre	5	21.7	15:05	22	132.0	0.577±0.091
04 Settembre	6	21.7	13:33	20	128.8	0.407±0.063
04 Settembre	7	21.7	21:50	30	124.4	0.513±0.063
05 settembre	8	21.7	00:30	20	125.1	0.175±0.026

Tab. 6 Valori dell'indice di pienezza dello stomaco in relazione al periodo di campionamento considerato

I valori degli indici di pienezza ottenuti mostrano l'esistenza di un vero e proprio ciclo giornaliero in cui i massimi livelli di pienezza dello stomaco si registrano nelle prime ore del pomeriggio e dopo il crepuscolo, mentre i livelli minimi durante le ore notturne (fig. 6). Il ritmo di alimentazione è caratterizzato da due picchi massimi, il primo più evidente che raggiunge un valore massimo di I pari a $0.577 \text{ g DW}/1000 \text{ g SWW}$ nel primo pomeriggio (ore 15:06, cala 5) ed il secondo dopo il crepuscolo (attorno alle 21:50, cala 7) quando si è misurato un I di $0.513 \text{ g DW}/1000 \text{ g SWW}$. I valori di I diminuiscono dalle ore notturne ($0.175 \text{ g DW}/1000 \text{ g SWW}$, ore 00:30, cala 8) fino alle prime ore del mattino ($0.055 \text{ g DW}/1000 \text{ g SWW}$, ore 05:28 cala 1). Sebbene l'attività alimentare sia stata minima durante le ore notturne, non sono mai stati trovati stomaci vuoti.

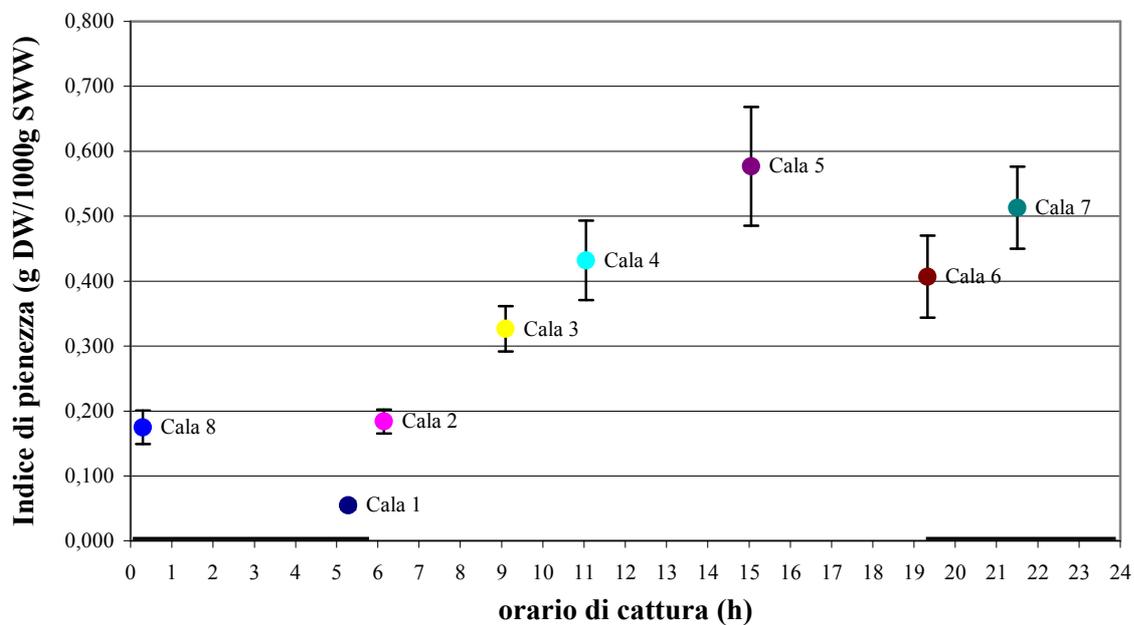


Fig 6 Valori medi dell'indice di pienezza (\pm ES) dello stomaco relativi al campionamento di settembre

I campioni utilizzati per la stima del tasso di evacuazione gastrica istantanea appartengono alle cale 7 ed 8, poiché appare che gli individui in questo arco di tempo non si alimentino molto, bensì stiano evacuando il cibo ingerito precedentemente. Il valore di R_{max} così calcolato è di $0.403 \pm 0.072 \text{ h}^{-1}$.

Sapendo che l'acciuga si alimenta anche nelle prime ore dopo il tramonto, informazione ricavata dallo studio del ritmo alimentare, il calcolo del fabbisogno alimentare è stato esteso sino alla cala 7, effettuata poco dopo il crepuscolo (h 21:50). Applicando il modello di Eggers (1979),

nel periodo di campionamento compreso tra la cala 1 e la cala 7, la stima del fabbisogno alimentare ottenuta è di:

$$\sum_{5.28}^{21.50} C_t = 2.829 \text{gDW} / 1000 \text{gSWW}$$

Il valore medio dell'indice di pienezza dello stomaco utilizzato per il calcolo del fabbisogno con il modello di Eggers (1979) è 0.359g DW/1000 g SWW.

Siccome il fabbisogno alimentare è spesso presentato in forma percentuale di peso umido di cibo del peso umido totale del pesce, si ottiene un fabbisogno giornaliero di 2.480 g DW/1000 g TWW, che espresso in quantità di cibo umido equivale all'1.908% di peso corporeo.

Il fabbisogno espresso in termini di energia è pari a:

$$C_T = 49.02 \text{ J g}^{-1} 1000 \text{g}^{-1} \text{ TWW}$$

3.2.2. Ottobre

Nel giorno di campionamento il sole è sorto alle 06:36, è tramontato alle 17:01 ed il crepuscolo è terminato alle 18:41. La temperatura media del mare dello strato campionato in cui è avvenuto il campionamento è stata di 19.2±0.6°C.

Per l'analisi quantitativa del contenuto stomacale, sono stati esaminati 148 individui adulti con una media di 20 acciughe per ognuna delle cale considerate, di lunghezza media totale di 123.4±0.7 mm e peso totale medio di 10.9±0.2 g (tab. 7).

<i>Data</i> <i>(Ottobre 2006)</i>	<i>Cala</i>	<i>T media</i> <i>(°C)</i>	<i>Inizio Cala (h)</i>	<i>Numero di pesci</i>	<i>LT (mm)</i>	<i>Indice di pienezza</i>
26 Ottobre	1	19.2	06:50	20	123.2	0.064±0.027
26 Ottobre	2	19.2	08:40	20	128.5	0.119±0.042
26 Ottobre	3	19.2	11:00	20	119.3	0.361±0.051
26 Ottobre	4	19.2	16:20	24	118.0	0.522±0.089
26 Ottobre	5	19.2	20:10	22	123.9	0.482±0.066
26 Ottobre	6	19.2	22:40	21	128.2	0.356±0.057
27 Ottobre	7	19.2	00:50	21	123.3	0.175±0.034

Tab. 7 Valori dell'indice di pienezza dello stomaco in relazione al periodo di campionamento considerato

Similarmente a quanto descritto per il campionamento precedente, i dati di ottobre confermano un ritmo di alimentazione giornaliera, con valori minimi degli indici di pienezza dello stomaco relativi alle ore notturne, da 0.175 a 0.064 g DW/1000 g SWW rispettivamente alle 00:50 (cala 7) e alle 06:50 (cala 1) (fig. 7). Durante il giorno, i valori degli indici tendono ad aumentare nelle ore pomeridiane, con un picco massimo del valore di I pari a 0.522 g DW/1000 g SWW registrato alle 16:20 (cala 4) ed un verosimile secondo picco di minore entità rilevato dopo il crepuscolo.

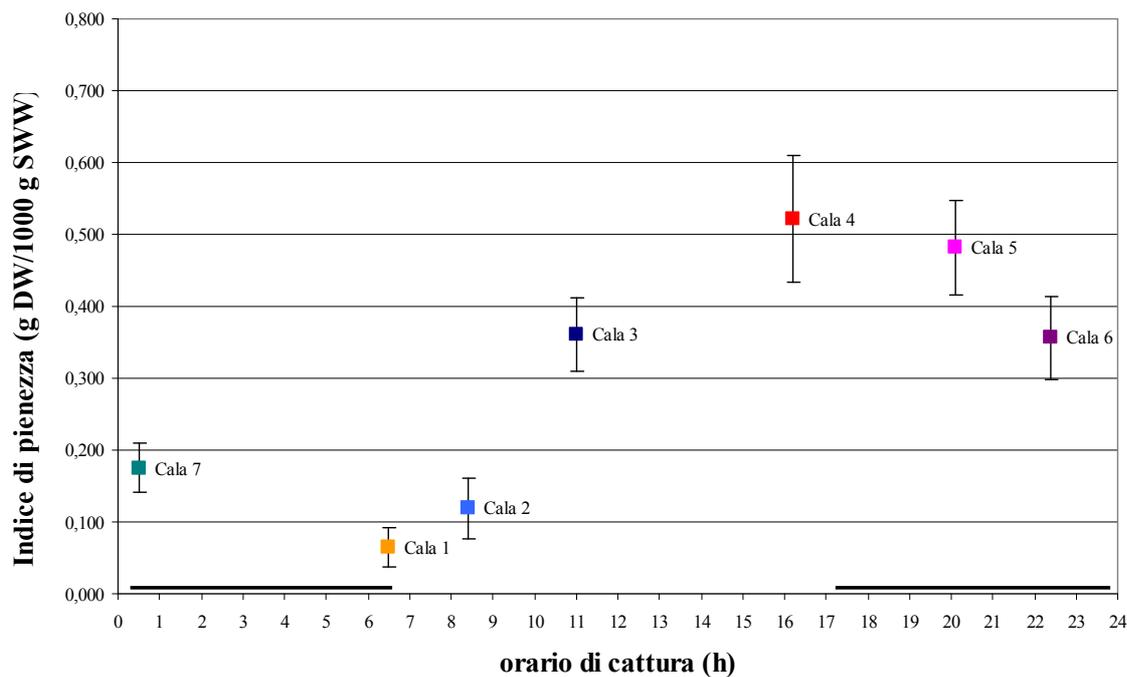


Fig. 7 Valori medi dell'indice di pienezza (\pm ES) dello stomaco relativi al campionamento di ottobre

Nei campioni relativi al mese di ottobre, su un totale di 148 stomaci analizzati, ben 37 sono stati trovati privi di prede.

Il periodo di massimo decremento dei contenuti stomacali è stato osservato dopo il crepuscolo, durante l'intervallo di tempo intercorso tra le cale 6 (22:40 h) e 7 (00:50 h). Tale intervallo è stato scelto per stimare il tasso di evacuazione gastrica istantanea (R_{max}), corrispondente a $0.329 \text{ h}^{-1} \pm 0.117$. Avendo osservato che l'attività alimentare di acciuga continua anche nelle prime ore dopo il tramonto, il calcolo del fabbisogno alimentare è stato esteso sino alla cala 5, effettuata poco dopo il crepuscolo (h 20:10). Applicando il valore del tasso di evacuazione gastrica al modello di Eggers (1979), si è ottenuta così una stima del fabbisogno alimentare giornaliero di:

$$\sum_{6.50}^{20.10} C_t = 1.773 \pm 0.293 \text{ gDW}/1000\text{gSWW}$$

La media della pienezza dello stomaco dell'intero intervallo è di 0.310 ± 0.03 g DW/1000 g SWW.

Al fine di facilitare il confronto con i risultati trovati in letteratura, il fabbisogno appena trovato è stato calcolato in relazione al perso umido totale dell'acciuga, ottenendo un valore di 1.586 g DW/1000 g TWW, che espresso in quantità di cibo umido equivale al 1.22% di peso corporeo.

Utilizzando il valore energetico del cibo presente negli stomaci degli individui, il consumo giornaliero risulta essere di:

$$C_T = 35.87 \text{ J g}^{-1} 1000\text{g}^{-1} \text{ TWW}$$

3.3. Analisi energetiche

3.3.1. Valore energetico dei contenuti stomacali

Il valore energetico dei contenuti stomacali delle sardine è stato misurato su campioni pescati nel periodo maggio-ottobre 2006. I dati ottenuti mostrano un minimo di valore energetico per il contenuto stomacale nel mese di settembre, pari a 14.15 J mg^{-1} , mentre il valore massimo si registra nel mese di ottobre, pari a 23.86 J mg^{-1} . L'analisi energetica dei contenuti stomacali delle acciughe è stata condotta su esemplari catturati nel periodo giugno 2006-febbraio 2007 ed i valori ottenuti risultano variare da un minimo di 18.90 J mg^{-1} in dicembre ad un massimo di 22.61 J mg^{-1} in ottobre. I valori energetici relativi a tutte i mesi sono riportati in tab. 8.

Campionamento	<i>Sardina pilchardus</i>		<i>Engraulis encrasicolus</i>	
	N repliche	J mg^{-1}	N repliche	J mg^{-1}
Maggio	1	17.27	-	-
Giugno	1	21.91	2	21.33
Luglio	1	22.37	1	22.09
Settembre	1	14.15	2	19.76
Ottobre	2	23.86	2	22.61
Dicembre	-	-	2	18.90
Febbraio	-	-	2	21.47

Tab. 8 Densità energetica dei contenuti stomacali di sardina e acciuga nei diversi mesi di campionamento

3.3.2. Valore energetico delle prede

- *Analisi calorimetrica: calorimetro abiabatico*

Il contenuto energetico delle prede di sardina ed acciuga è stato misurato su campioni monospecifici: Copepodi Calanoidi della specie *Acartia clausi* (l'unico campione conservato in formalina al 4%) e *Temora stylifera*, sul Copepode Ciclopoide *Oncaea* spp. e su un campione di zooplancton indistinto ottenuto da una retinata obliqua effettuata nel maggio 2007 (tab. 9).

A causa dello scarso peso degli organismi analizzati, i campioni dei Copepodi *Oncaea* spp. e *T. stylifera* sono stati miscelati e omogenati con una quantità nota di acido benzoico ed infine pressati in pastiglie. Ciò nonostante, a causa delle difficoltà incontrate nel pressare e compattare le pastiglie, dovute alla natura del materiale biologico, le analisi di tali campioni non hanno fornito una stima affidabile del contenuto energetico delle suddette prede.

<i>Preda</i>	<i>n</i>	<i>n individui/campione</i>	<i>J mg⁻¹DW</i>
<i>Oncaea</i> spp.	1	>6000	n.d.
<i>Temora stylifera</i>	1	~600	n.d.
<i>Acartia clausi</i>	1	~7000	24.14
Zooplancton	2		20.93

Tab. 9 Contenuto energetico espresso in J mg⁻¹ di alcune prede, misurato direttamente tramite calorimetria.

- *Analisi calorimetrica: analizzatore elementare*

Il contenuto energetico delle prede del pesce azzurro è stato misurato anche in via indiretta, tramite la stima del loro contenuto di carbonio, successivamente trasformato in energia tramite il fattore di conversione proposto da Salonen *et al.* (1976): 45.7 J mg⁻¹ (tab. 10).

<i>Campione</i>	<i>n individui</i>	<i>C%</i>	<i>J mg⁻¹ DW</i>
<i>Temora stylifera</i> ottobre 2006	95	46,60	21,30
<i>Temora stylifera</i> settembre 2006	100	45,18	20,65
<i>Temora stylifera</i> settembre 2006	50	46,94	21,45
<i>Temora stylifera</i> settembre 2006	50	47,81	21,85
<i>Temora stylifera</i> settembre 2006	50	46,62	21,31
<i>Temora stylifera</i> settembre 2006	50	47,55	21,73
<i>Acartia clausi</i> marzo 2007	20	51,04	23,33
<i>Acartia clausi</i> marzo 2007	20	54,54	24,92
<i>Acartia clausi</i> marzo 2007	polvere	55,11	25,19
<i>Oncaea</i> spp. ottobre 2006	100	29,19	13,34
<i>Oncaea</i> spp. ottobre 2006	100	26,27	12,01
<i>Oncaea</i> spp. ottobre 2006	100	25,74	11,76
<i>Oncaea</i> spp. gennaio 2007	36 + sacche ovigere	51,40	23,49
<i>Oncaea</i> spp. gennaio 2007	100	49,26	22,51
<i>Oncaea</i> spp. gennaio 2007	100	47,35	21,64
<i>Coryceus</i> spp. ottobre 2006	100	42,08	19,23
<i>Coryceus</i> spp. ottobre 2006	200	44,13	20,17
Decapoda larvae settembre 2006	> 50	43,91	20,07
Decapoda larvae ottobre 2006	> 50	43,47	19,87
Zooplancton maggio 2007		38,51	17,60
Zooplancton maggio 2007		38,23	17,47
Zooplancton maggio 2007		39,10	17,87
Zooplancton maggio 2007		37,38	17,08
Zooplancton maggio 2007		39,12	17,88

Tab. 10 Valori energetici delle prede ottenuti mediante la determinazione del contenuto in carbonio

Nonostante si consideri che generalmente il contenuto di carbonio sia pari al 40%, la stima ottenuta per i campioni in esame è risultata variare da un minimo di 25.74%, misurato per *Oncaea* spp., ad

un massimo di 55.11% ottenuto per *A. clausi*. I dati ottenuti in questo studio, che pur rientrano nell'intervallo ottenuto in studi precedenti per questi organismi (Mauchline 1998), evidenziano, oltre ad una variabilità interspecifica, anche una variabilità intraspecifica tra organismi della stessa specie ma catturati in periodi diversi, come ad esempio nel caso di *Oncaea* spp.

3.4. Popolamento mesozooplanctonico

Le abbondanze del mesozooplancton relative al periodo di campionamento compreso tra maggio 2006 e febbraio 2007 sono presentate in figura 8. Poiché il mesozooplancton è stato pescato in diversi momenti del giorno, in concomitanza alle cale di pesce, si è scelto di rappresentare soltanto le abbondanze relative alle retinate effettuate durante il momento di massima alimentazione di sardina e di acciuga (tab. 11), che serviranno per la discussione della dieta.

<i>Data Campionamento</i>	<i>Ora campionamento (h)</i>	<i>Cala</i>	<i>Profondità cala (m)</i>
10 Maggio 2006	22:45	5	16
20 Giugno 2006	20:45	6	16
26 Luglio 2006	18:05	5	16
04 Settembre 2006	17:15	5	19
26 Ottobre 2006	18:10	4	20
14 Dicembre 2006	15:40	4	19
01 Febbraio 2007	19:15	5	22

Tab. 11 Ora e profondità di campionamento delle cale in cui si è verificato il picco di alimentazione di acciuga e sardina

Il più elevato valore di abbondanza (13212 ind. m⁻³) è stato riscontrato a luglio, mentre il minimo (1291 ind. m⁻³) è stato riscontrato a dicembre. L'abbondanza degli organismi aumentava gradualmente con il progredire della stagione estiva per poi decrescere nei mesi invernali (fig. 8).

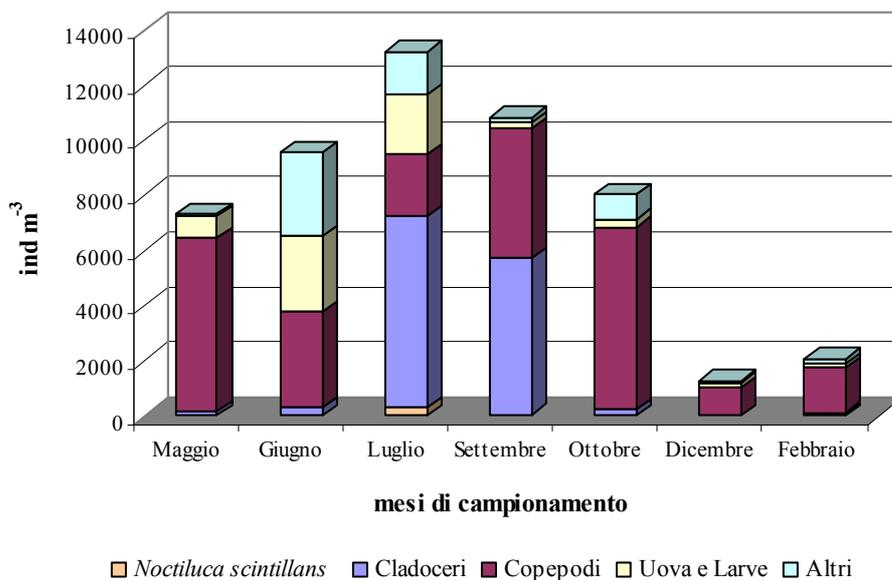


Fig. 8 Abbondanza mensile del popolamento mesozooplanctonico

In linea generale, considerando il popolamento in termini di abbondanza relativa (fig. 9), la componente a Copepodi risulta dominante per la maggior parte dell'anno, ad eccezione del mese di

giugno (36.45%), quando aumenta la presenza di varie forme larvali (soprattutto di Molluschi ed Echinodermi), e dei mesi di luglio e settembre, quando a dominare sono i Cladoceri (rispettivamente 52.69% e 52.39%).

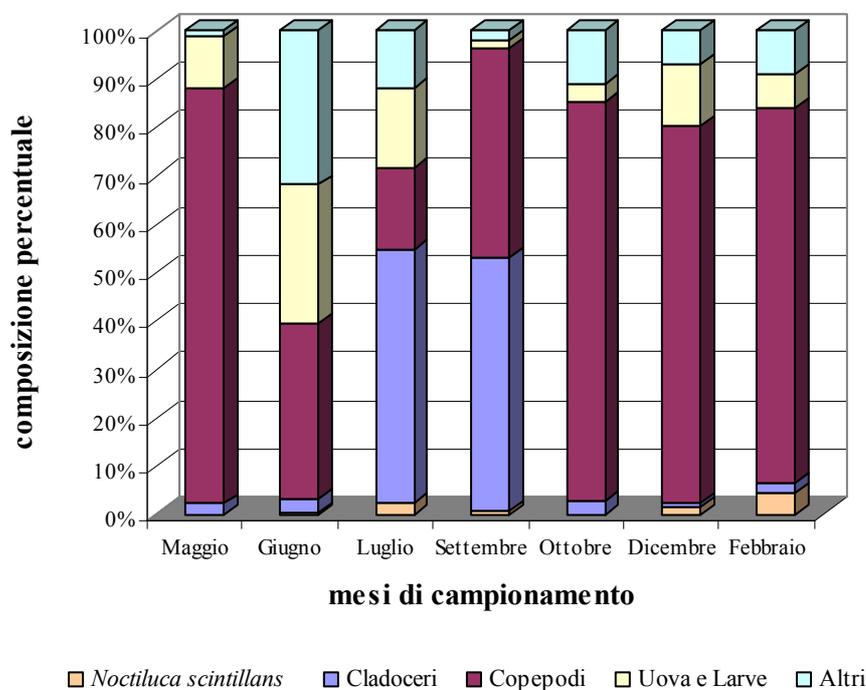


Fig. 9 Composizione percentuale del popolamento mesozoo planctonico

Nei mesi di maggio e giugno i Copepodi sono per la maggior parte Calanoidi (rispettivamente 93% e 79.2%) rappresentati principalmente dai generi *Paracalanus* e *Centropages* e dalla specie *Acartia clausi*.

Luglio e settembre sono i mesi in cui il popolamento mesozooplanctonico è formato per oltre il 50% da Cladoceri, di cui *Penilia avirostris* è la specie che rappresenta la quasi totalità del gruppo. In entrambi i mesi i Copepodi Calanoidi sono sempre i più abbondanti e le specie più importanti sono *Paracalanus parvus* ed *Acartia clausi* per il mese di giugno, mentre il genere *Paracalanus* e la specie *Temora stylifera* sono le più rappresentative per il mese di settembre, costituendo quasi il 60% dell'intero popolamento a Copepodi.

I mesi di ottobre, dicembre e febbraio, sebbene abbiano abbondanze diverse tra loro, presentano un popolamento costituito principalmente da Copepodi, con valori compresi tra 77.5% in febbraio e 85.5% in ottobre, mentre sono abbastanza simili le proporzioni tra gli altri gruppi (fig. 9). I mesi di ottobre e dicembre (fig. 10) si distinguono per avere un popolamento a Copepodi costituito per circa il 60% dall'ordine dei Ciclopoidi; ad ottobre questo ordine è rappresentato

principalmente dal genere *Oncaea* (85%), mentre a dicembre è rappresentato dai generi *Oncaea*, *Oithona* e *Corycaeus*.

A febbraio, invece, l'ordine più abbondante è nuovamente quello dei Calanoidi (circa 74% dei Copepodi), rappresentati per la maggior parte dalla famiglia Clauso-Paracalanidae.

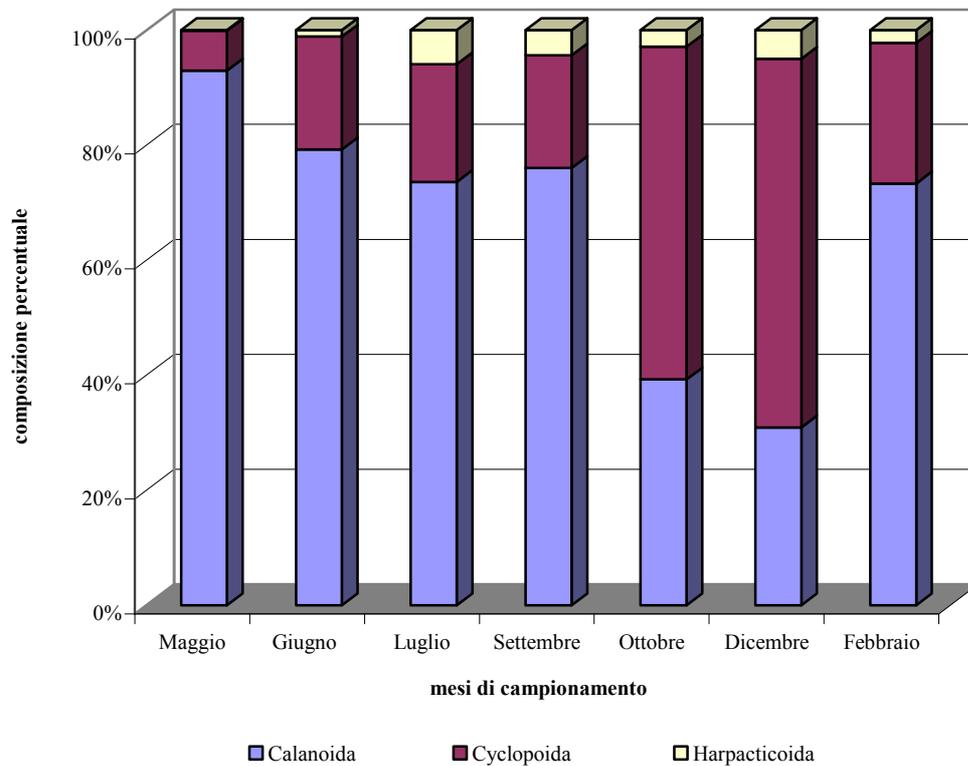


Fig. 10 Composizione percentuale dei Copepodi

In generale i copepodi appartenenti all'ordine Harpacticoida sono i meno abbondanti, con valori compresi tra lo 0.01% e 5.9%, ad eccezione del mese di dicembre in cui raggiungono il 18.9% dell'intero popolamento a Copepodi (fig. 10). Allo stesso modo anche il Dinoflagellato *Noctiluca scintillans* è poco abbondante: è totalmente assente a maggio e ottobre, e non raggiunge mai valori superiori al 4.3% (febbraio).

3.5. Composizione della dieta di *Sardina pilchardus*

3.5.1. Maggio

La lunghezza totale delle sardine utilizzate per l'analisi del contenuto stomacale varia da 160 mm a 169 mm ed il peso umido totale da 30.90 g a 46.40 g. Soltanto in questo campionamento è stata rinvenuta un'importante quantità di granuli di polline (stimata a quasi 4000 granuli/sardina di dimensione variabile tra i 26 e i 143 μm) che però si presuppone non siano stati predati ma ingeriti occasionalmente e casualmente durante l'attività alimentare e per questo esclusi dalle successive analisi della dieta. Le osservazioni effettuate sul contenuto stomacale delle sardine hanno permesso di riconoscere complessivamente 2381 organismi/sardina appartenenti a 31 categorie alimentari. La parte fondamentale del contenuto stomacale è costituita da Copepodi Calanoidi (75.6%), numericamente dominanti, rappresentati dalla famiglia Clauso-Paracalanidae e dalla specie *Centropages typicus*; in minori proporzioni sono presenti anche le uova di Copepode (8.74%) e i Dinoflagellati (7.56%), tra i quali *Protoperidinium crassipes* è il più abbondante (tab. 12).

COMPOSIZIONE DELLE PREDE (%)

Diatomee	0.17	Uova di Copepodi	8.74
Dinoflagellati	7.56	Copepodi naupli	0.17
Tintinnidi	0.00	Cirripedi naupli	0.50
Molluschi larve	0.34	Stomatopodi	0.00
Cladoceri	0.50	Decapodi larve	0.50
Ostracodi	0.17	<i>Oikopleura</i> spp.	0.00
Copepodi Calanoidi	75.60	<i>Sagitta</i> spp.	0.04
Copepodi Ciclopoidi	3.02	Uova di invertebrati	0.17
Copepodi Arpacticoidi	1.34	Uova di Teleostei	1.18

Tab. 12 Composizione percentuale delle prede delle sardine campionate a maggio

Le prede che danno il maggior contributo alla dieta in termini di carbonio sono essenzialmente quelle appartenenti al mesozooplankton (99.97% del carbonio), mentre microzooplankton e fitoplankton apportano soltanto lo 0.03% (fig. 11a). Il contributo in carbonio fornito dalle prede ritrovate nel contenuto stomacale è stato anche messo in relazione alle dimensioni delle prede stesse (fig. 11b). La maggior parte del carbonio risulta essere fornita da prede appartenenti a tre gruppi dimensionali: le prede di dimensioni comprese tra 560 e 910 μm (75% delle prede trovate nel contenuto stomacale) forniscono circa il 69% del carbonio totale della dieta e corrispondono principalmente alla specie *Centropages typicus* e alla famiglia Clauso-Paracalanidae; le prede di dimensioni di 980-1050 μm (4.7%) forniscono il 10.45% in carbonio e sono rappresentate nuovamente da individui adulti della specie *Centropages typicus*, mentre le prede di dimensioni $>1260 \mu\text{m}$, rappresentate essenzialmente da larve di Decapodi, contribuiscono al 16% nonostante numericamente siano soltanto lo 0.4% del contenuto stomacale.

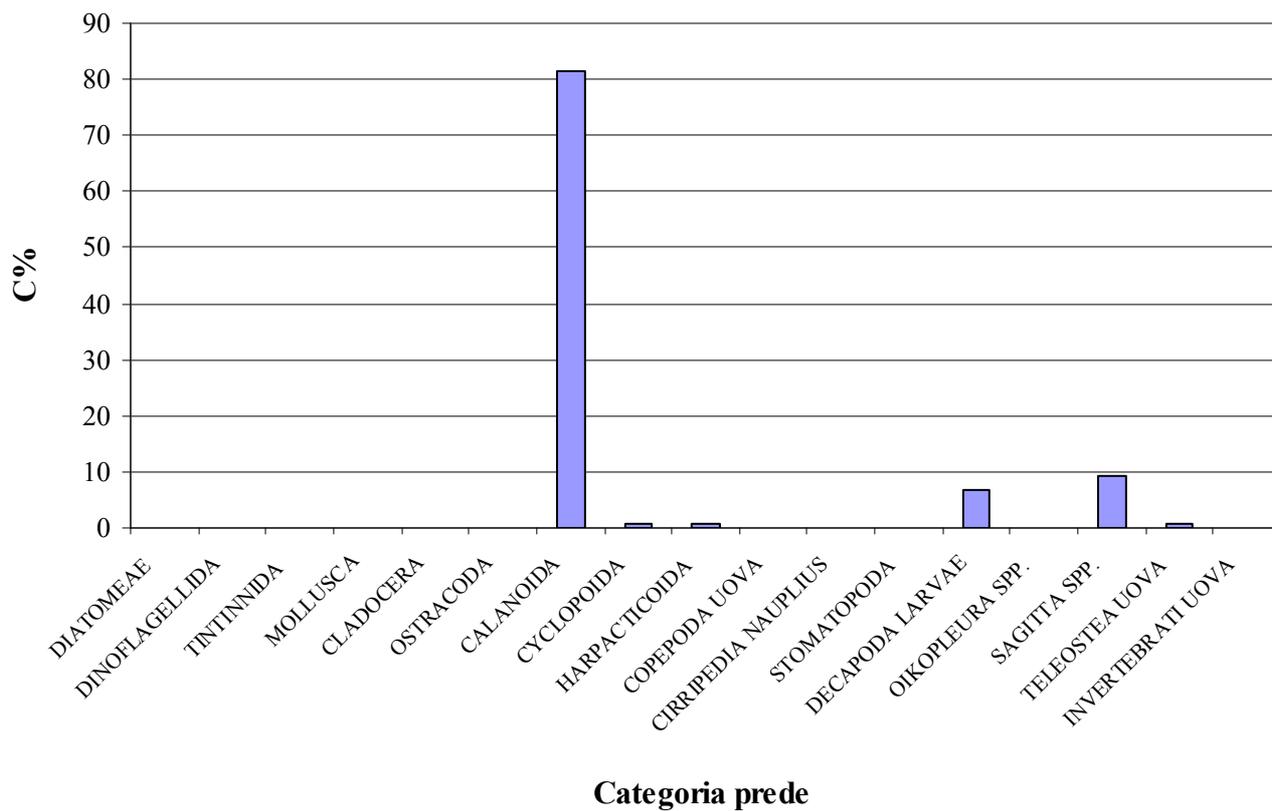


Fig. 11a Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle categorie di prede

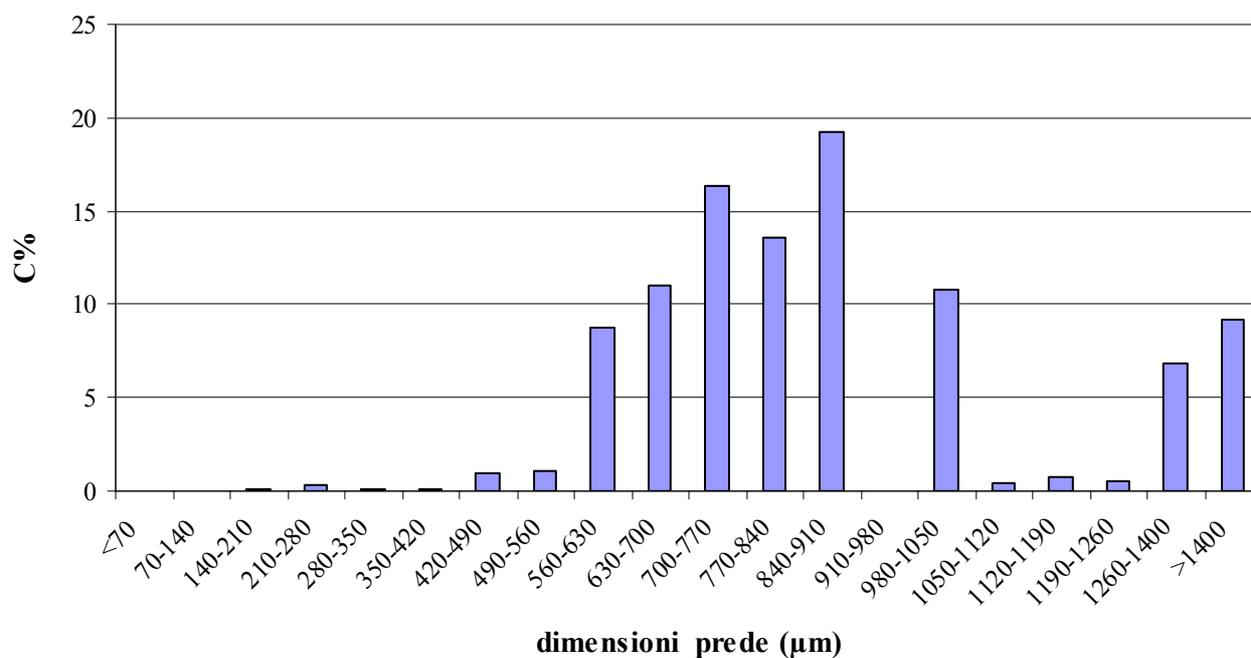


Fig. 11b Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle classi dimensionali

3.5.2. Giugno

La lunghezza totale delle sardine utilizzate per l'analisi del contenuto stomacale varia da 160 mm a 180 mm ed il peso umido totale da 40 g a 52.7 g.

L'analisi qualitativa della dieta di sardina relativa al mese di giugno, ha permesso di identificare complessivamente 1855 prede/sardina appartenenti a 46 taxa differenti. A differenza del mese precedente, particelle di piccole dimensioni dominano il contenuto stomacale delle sardine. Tra queste i Tintinnidi sono la categoria maggiormente predata (61.6%), di cui la specie dominante è *Tintinnopsos radix*. I Copepodi costituiscono soltanto il 13.16% di tutte le prede identificate, rappresentate dalla famiglia Clauso-Paracalanidae, dai generi *Oncaea* ed *Oithona* (tab. 13).

COMPOSIZIONE DELLE PREDE (%)

Diatomee	0.11	Uova di Copepodi	2.05
Dinoflagellati	4.58	Copepodi naupli	0.54
Tintinnidi	61.60	Cirripedi naupli	0.50
Molluschi larve	0.11	Stomatopodi	0.00
Cladoceri	1.56	Decapodi larve	6.36
Ostracodi	0.27	<i>Oikopleura</i> spp.	0.00
Copepodi Calanoidi	7.66	<i>Sagitta</i> spp.	0.05
Copepodi Ciclopoidi	5.12	Uova di invertebrati	9.55
Copepodi Arpacticoidi	0.38	Uova di Teleostei	0.00

Tab. 13 Composizione numerica delle prede delle sardine campionate a giugno

Sebbene il mesozooplancton costituisca il 33.7% del contenuto stomacale, esso concorre al 99.3% del carbonio totale ingerito, a dispetto del microzooplancton e del fitoplancton i cui valori sono trascurabili (fig. 12a).

Nonostante la dominanza numerica dei Tintinnidi nella dieta, essi contribuiscono soltanto allo 0.15% del carbonio totale ingerito. Infatti le categorie di prede che apportano la maggior parte del carbonio hanno dimensioni comprese tra 770-840 μm e $>1260 \mu\text{m}$ (fig. 12b) e sono rappresentate dalle larve di Decapodi e dalle uova di Teleostei, contribuendo con valori che si attestano rispettivamente attorno al 66.7% ed al 23.3%.

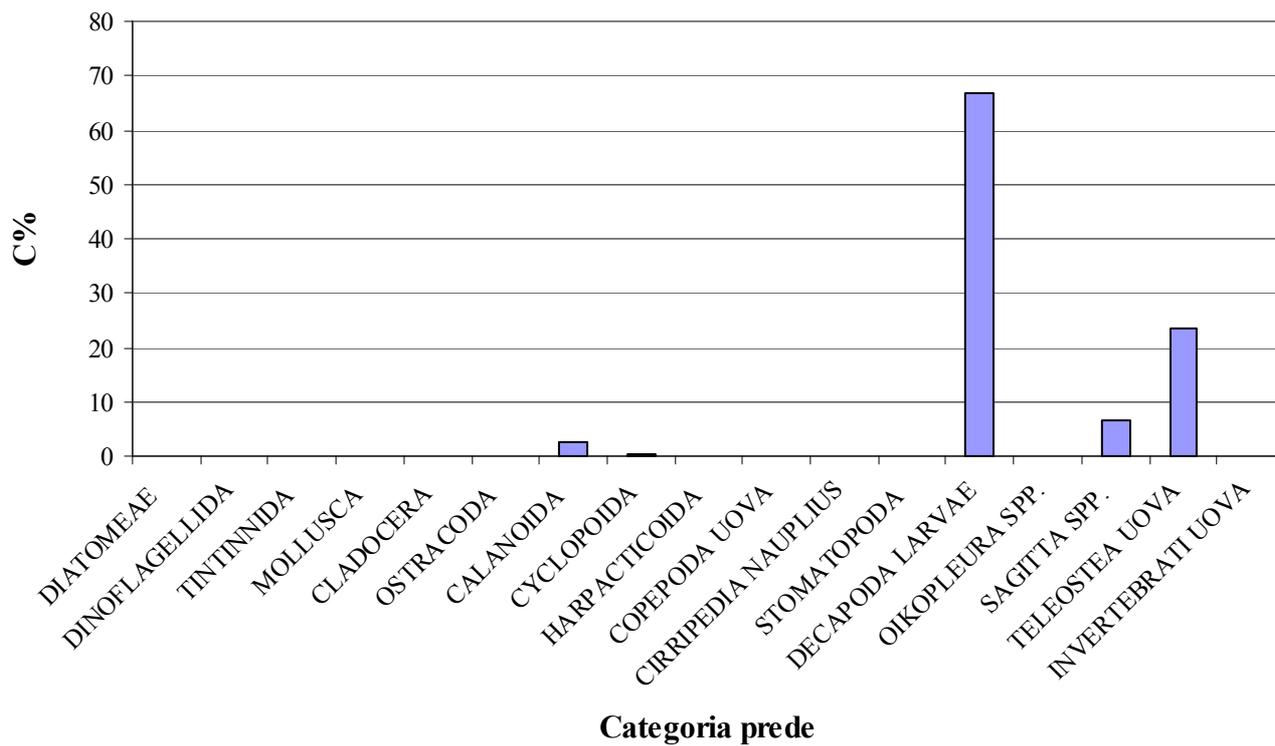


Fig. 12a Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle categorie di prede

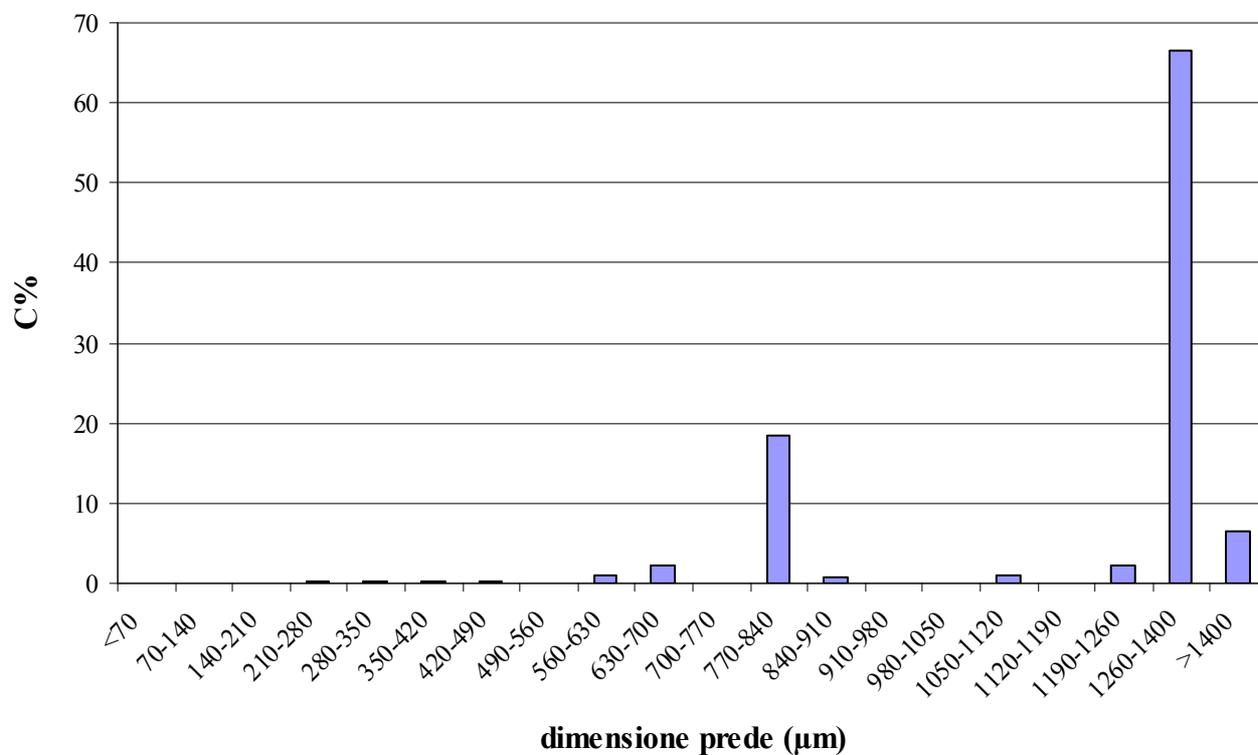


Fig. 12b Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle classi dimensionali

3.5.3. Luglio

La lunghezza totale delle sardine utilizzate per l'analisi del contenuto stomacale varia da 150 mm a 191 mm ed il peso umido totale da 28 g a 56.8 g.

Il numero di prede rinvenute nel contenuto stomacale delle sardine di luglio risulta di gran lunga inferiore ai mesi precedenti, contando solo 880 prede/sardina appartenenti a 43 taxa. Il 43.5% delle prede identificate è costituito da Copepodi e in particolare da Copepodi Ciclopoidi, rappresentati dal genere *Oncaea* (23.5%), e da Calanoidi della famiglia Clauso-Paracalanidae. Risultano però numericamente importanti anche Diatomee (diatomee pennate) e Dinoflagellati (*Dinophysis caudata*, *Goniaulax* spp., *Protoperidinium conicum* e *P. divergens* ed il gruppo Peridinae), rappresentando circa il 30% delle prede ingerite (tab. 14)

COMPOSIZIONE DELLE PREDE (%)

Diatomee	15.45	Uova di Copepodi	6.14
Dinoflagellati	15.00	Copepodi naupli	0.00
Tintinnidi	0.00	Cirripedi naupli	6.48
Molluschi larve	0.23	Stomatopodi	0.11
Cladoceri	3.41	Decapodi larve	4.64
Ostracodi	0.80	<i>Oikopleura</i> spp.	0.00
Copepodi Calanoidi	11.25	<i>Sagitta</i> spp.	1.93
Copepodi Ciclopoidi	29.77	Uova di invertebrati	0.80
Copepodi Arpacticoidi	2.50	Uova di Teleostei	1.48

Tab. 14 Composizione numerica delle prede delle sardine campionate a luglio.

Così come per i mesi precedenti, anche a luglio la quasi totalità (99.99%) del carbonio ingerito dalle sardine è fornito dal mesozooplancton, nonostante la sua frequenza all'interno del contenuto stomacale sia di poco superiore al 69% (fig. 13a). In particolare, la maggior parte del carbonio deriva dalle prede di dimensioni >1400 µm (78%) (fig. 13b) seguite da prede di dimensioni comprese tra 1260µm e 1400 µm (17.5%), identificate nel chetognato *Sagitta* spp. e nelle larve di Decapodi.

Trascurabile è quindi l'apporto fornito da fitoplancton e da microzooplancton.

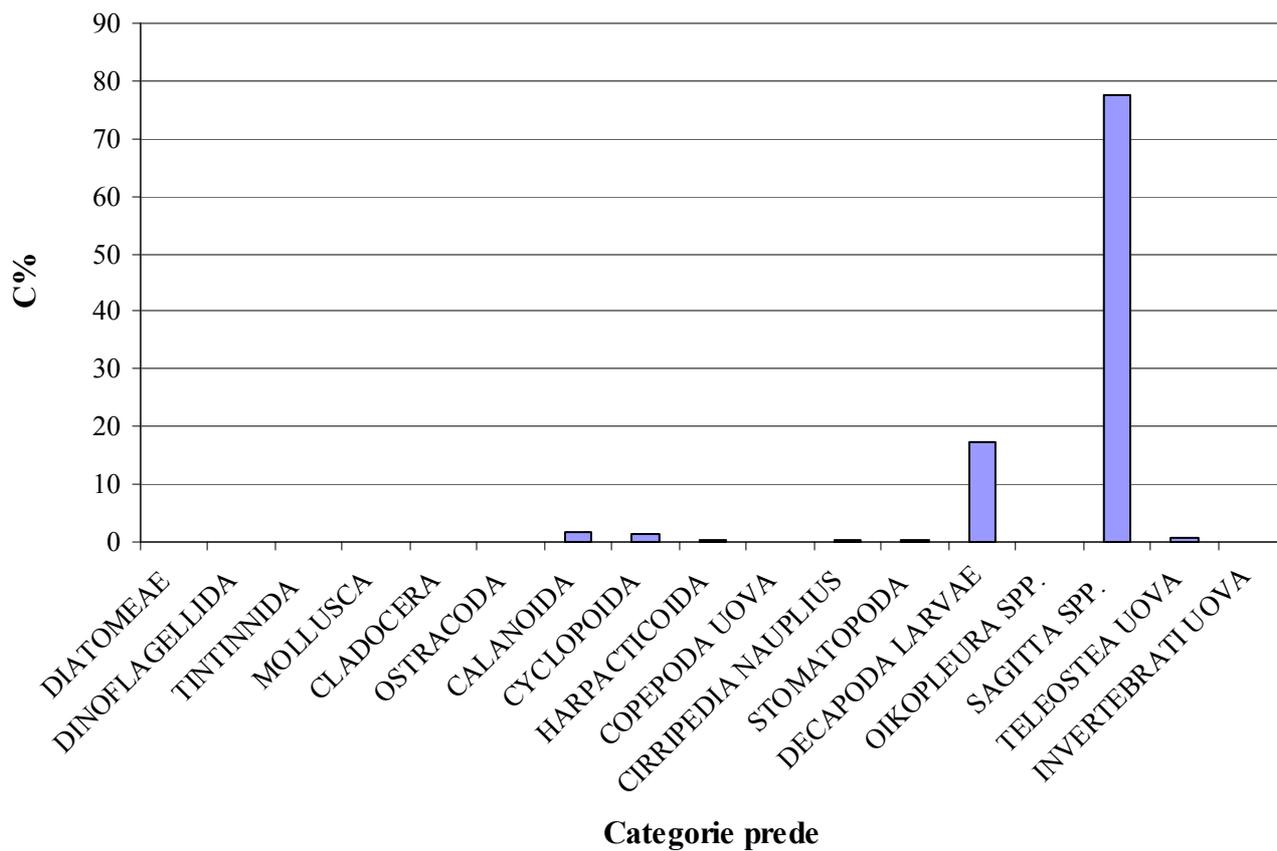


Fig. 13a Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle categorie di prede

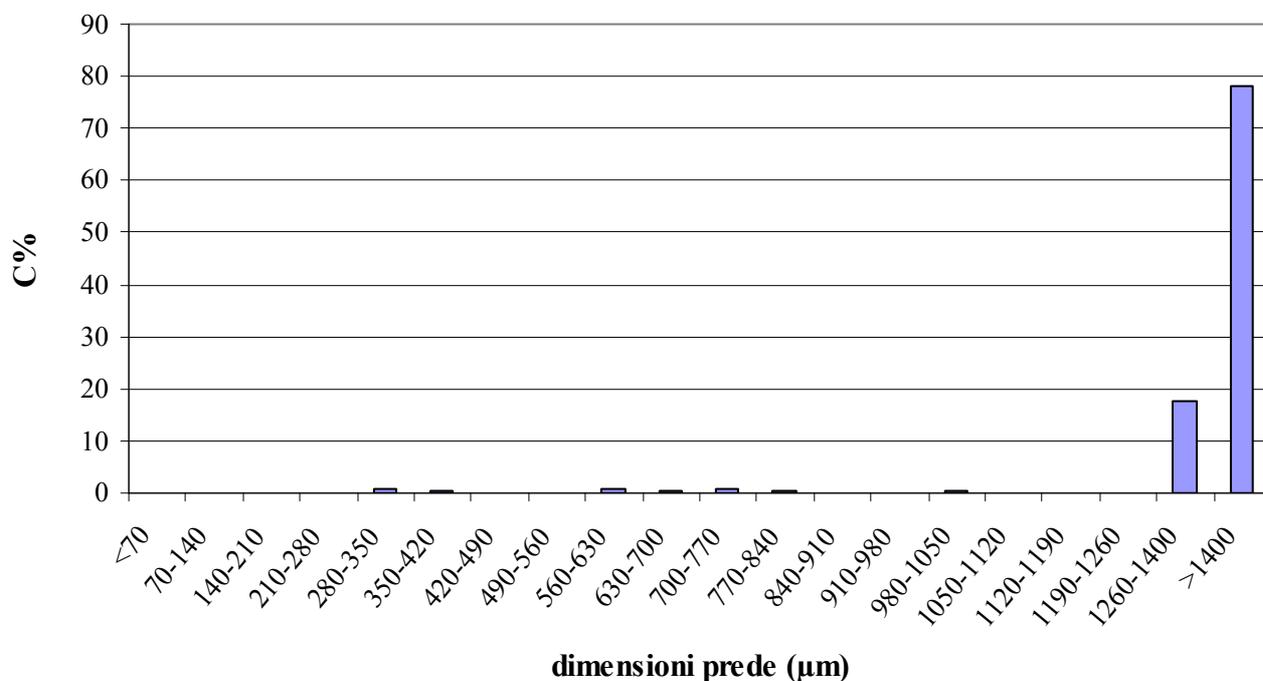


Fig. 13b Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle classi dimensionali

3.6. Selezione alimentare di *Sardina pilchardus*

Per descrivere le scelte alimentari da un punto di vista dimensionale, è stata riportata l'abbondanza delle prede riferita a ciascuna classe di taglia per ciascun mese (fig. 14).

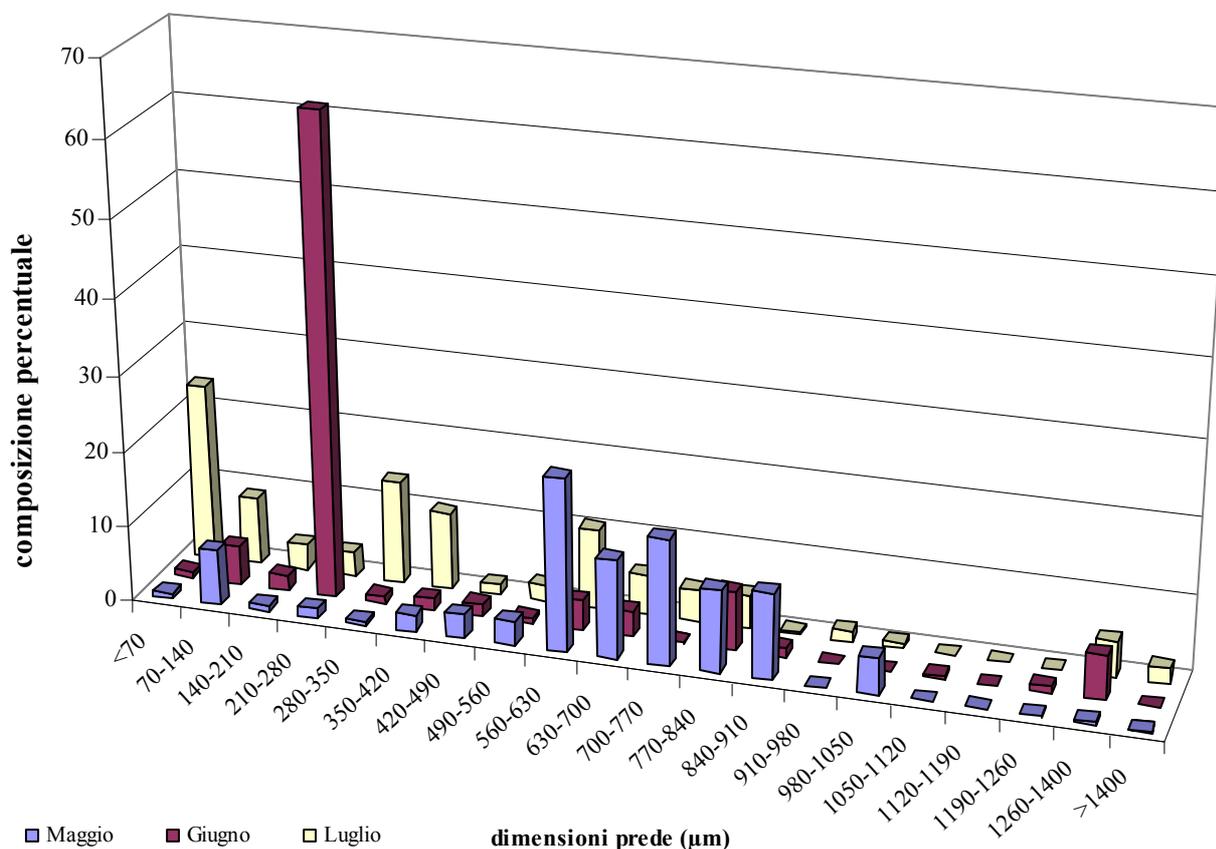


Fig. 14 Composizione percentuale in base alle dimensioni delle prede

Benchè lo spettro delle dimensioni delle prede ingerite sia molto ampio e simile tra i mesi di campionamento, variano però sensibilmente di mese in mese le percentuali relative alle classi dimensionali delle prede osservate. La composizione delle prede a maggio è principalmente costituita da organismi di taglia compresa tra 560 µm e 910 µm, rappresentate principalmente dalla specie *Centropages typicus* e dalla famiglia Clauso-Paracalanidae. A giugno la distribuzione delle prede è pressoché unimodale, essendo la maggior parte delle prede di dimensioni pari a 210-280 µm, rappresentata quasi totalmente dal Tintinnide *Tintinnopsis radix*. A luglio si possono distinguere quattro principali gruppi di prede identificati da una primo gruppo di prede di piccole dimensioni (<70-140 µm), costituito principalmente da Dinoflagellati e Diatomee pennate indeterminate; il secondo gruppo comprende prede di dimensioni variabili tra 280 µm e 420 µm e corrisponde principalmente al Copepode Ciclopoide *Oncaea* spp.; il terzo gruppo, di dimensioni 560-840 µm, comprende la famiglia Clauso-Paracalanidae, il genere *Corycaeus* e larve di Cirripedi,

mentre nel quarto gruppo compaiono quasi esclusivamente prede di dimensioni >1260 µm costituite da larve di Decapodi e Sagitte.

Utilizzando l'indice di selettività di Ivlev (1955) è stato possibile descrivere la selezione alimentare attuata dalle sardine, confrontando quanto rinvenuto nei contenuti stomacali con l'abbondanza delle prede in ambiente, in termini di percentuali (tab. 15a, b, c). Poichè l'analisi del contenuto in carbonio ha evidenziato che il mesozooplankton contribuisce alla maggior parte dell'apporto in carbonio alla dieta di sardina, le componenti fitoplanctonica e microzooplanctonica non sono state considerate per questa parte d'analisi e la numerosità delle prede nell'ambiente è stata determinata considerando i campioni di mesozooplankton ottenuti con retinate verticali allo stesso momento e nella stessa posizione in cui stazionavano le sardine.

MAGGIO 2006	Ambiente (ind/m³)	Stomaco (n°prede/acciuga)	Ambiente (%)	Stomaco (%)	IVLEV (E)
<i>Noctiluca scintillans</i>	0	0	0,00	0,00	-
Cnidaria	41	0	0,56	0,00	-1,00
Ctenophora larve	10	0	0,13	0,00	-1,00
Nemertea larve	0	0	0,00	0,00	-
Phoronida larve	2	0	0,03	0,00	-1,00
<i>Creseis acicula</i>	0	0	0,00	0,00	-
Gastropoda	239	4	3,27	0,20	-0,88
Bivalvia	6	4	0,08	0,20	0,43
Polychaeta larve	24	0	0,32	0,00	-1,00
<i>Evadne</i> spp.	151	12	2,06	0,61	-0,54
<i>Penilia avirostris</i>	0	0	0,00	0,00	-
<i>Podon</i> spp.	4	0	0,05	0,00	-1,00
Ostracoda	0	4	0,00	0,20	1,00*
<i>Acartia clausi</i>	733	0	10,02	0,00	-1,00
<i>Calanus helgolandicus</i>	200	24	2,73	1,22	-0,38
<i>Centropages</i> spp.	965	568	13,19	28,96	0,37
<i>Temora longicornis</i>	171	24	2,33	1,22	-0,31
<i>Temora stylifera</i>	2	56	0,03	2,86	0,98
Clauso-Paracalanidae	3053	1128	41,73	57,52	0,16
Altri Calanoidi	741	0	10,13	0,00	-1,00
<i>Oithona</i> spp.	404	4	5,52	0,20	-0,93
<i>Corycaeus</i> spp.	27	52	0,38	2,65	0,75
<i>Oncaea</i> spp.	6	16	0,08	0,82	0,82
<i>Clytemnestra</i> sp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Euterpina acutifrons</i>	4	16	0,05	0,82	0,88
<i>Microsetella rosea</i>	0	12	0,00	0,61	1,00
Harpacticoida Indet.	2	4	0,03	0,20	0,77
Copepoda Nauplius	122	4	1,66	0,20	-0,78
Cirripedia Nauplius	39	12	0,54	0,61	0,07
Isopoda larve	0	0	0,00	0,00	-
Decapoda larve	16	12	0,21	0,61	0,48
Mysidacea Indet.	2	0	0,03	0,00	-1,00
Echinodermata	296	0	4,05	0,00	-1,00
<i>Oikopleura</i> spp.	39	0	0,54	0,00	-1,00
<i>Doliolum</i> spp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Sagitta</i> spp.	4	1	0,05	0,05	-0,02

<i>Brachiostoma lanceolatum</i>	0	0	0,00	0,00	-
Uova Teleostei	14	4	0,19	0,20	0,04
Totale	7316	1961	100	100	

Tab. 15a Indice di selettività di Ivlev *segnala valori positivi di E dovuti al mancato campionamento della preda in ambiente

GIUGNO 2006	Ambiente	Stomaco	Ambiente (%)	Stomaco (%)	IVLEV (E)
	(ind/m³)	(n°prede/acciuga)			
<i>Noctiluca scintillans</i>	20	0	0,21	0,00	-1,00
Cnidaria	2404	0	25,18	0,00	-1,00
Ctenophora larve	31	0	0,33	0,00	-1,00
Nemertea larve	20	0	0,21	0,00	-1,00
Phoronida larve	0	0	0,00	0,00	-
<i>Creseis acicula</i>	0	0	0,00	0,00	-
Gastropoda	408	1	4,27	0,17	-0,92
Bivalvia	67	1	0,70	0,17	-0,61
Polychaeta larve	118	1	1,23	0,17	-0,76
<i>Evadne</i> spp.	212	21	2,22	3,57	0,23
<i>Penilia avirostris</i>	20	5	0,21	0,85	0,61
<i>Podon</i> spp.	39	3	0,41	0,51	0,11
Ostracoda	8	5	0,08	0,85	0,82
<i>Acartia clausi</i>	498	4	5,22	0,68	-0,77
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	0	0,00	0,00	-
<i>Centropages</i> spp.	529	3	5,55	0,51	-0,83
<i>Temora longicornis</i>	4	0	0,04	0,00	-1,00
<i>Temora stylifera</i>	0	1	0,00	0,17	1,00*
Clauso-Paracalanidae	1188	134	12,45	22,79	0,29
Altri Calanoidi	545	0	5,71	0,00	-1,00
<i>Oithona</i> spp.	580	43	6,08	7,31	0,09
<i>Corycaeus</i> spp.	4	7	0,04	1,19	0,93
<i>Oncaea</i> spp.	102	45	1,07	7,65	0,76
<i>Clytemnestra</i> sp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Euterpina acutifrons</i>	4	3	0,04	0,51	0,85
<i>Microsetella rosea</i>	0	2	0,00	0,34	1,00*
Harpacticoida Indet.	35	2	0,37	0,34	-0,04
Copepoda Nauplius	78	10	0,82	1,70	0,35
Cirripedia Nauplius	8	1	0,08	0,17	0,35
Isopoda larve	0	0	0,00	0,00	-
Decapoda larve	122	118	1,27	20,07	0,88
Mysidacea Indet.	0	0	0,00	0,00	-
Echinodermata	1788	0	18,73	0,00	-1,00
<i>Oikopleura</i> spp.	557	0	5,83	0,00	-1,00
<i>Doliolum</i> spp.	47	0	0,49	0,00	-1,00
<i>Sagitta</i> spp.	39	1	0,41	0,17	-0,41
<i>Brachiostoma lanceolatum</i>	43	0	0,45	0,00	-1,00
Uova Teleostei	27	177	0,29	30,10	0,98
Totale	9545	588	100	100	

Tab. 15b Indice di selettività di Ivlev

*segnala valori positivi di E dovuti al mancato campionamento della preda in ambiente

LUGLIO 2006	Ambiente	Stomaco	Ambiente (%)	Stomaco (%)	IVLEV (E)
	(ind/m³)	(n°prede/acciuga)			
<i>Noctiluca scintillans</i>	286	0	2,18	0,00	-1,00
Cnidaria	216	0	1,64	0,00	-1,00
Ctenophora larve	0	0	0,00	0,00	-
Nemertea larve	0	0	0,00	0,00	-
Phoronida larve	0	0	0,00	0,00	-
<i>Creseis acicula</i>	0	0	0,00	0,00	-
Gastropoda	455	0	3,46	0,00	-1,00
Bivalvia	357	2	2,71	0,37	-0,76
Polychaeta larve	16	0	0,12	0,00	-1,00
<i>Evadne</i> spp.	373	1	2,83	0,18	-0,88
<i>Penilia avirostris</i>	6533	10	49,67	1,83	-0,93
<i>Podon</i> spp.	55	19	0,42	3,49	0,79
Ostracoda	0	7	0,00	1,28	1,00*
<i>Acartia clausi</i>	329	2	2,50	0,37	-0,74
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	0	0,00	0,00	-
<i>Centropages</i> spp.	24	0	0,18	0,00	-1,00
<i>Temora longicornis</i>	12	0	0,09	0,00	-1,00
<i>Temora stylifera</i>	24	6	0,18	1,10	0,72
Clauso-Paracalanidae	710	91	5,40	16,70	0,51
Altri Calanoidi	553	0	4,20	0,00	-1,00
<i>Oithona</i> spp.	157	12	1,19	2,20	0,30
<i>Corycaeus</i> spp.	35	43	0,27	7,89	0,93
<i>Oncaea</i> spp.	267	207	2,03	37,98	0,90
<i>Clytemnestra</i> sp.	0	2	0,00	0,37	1,00*
<i>Euterpina acutifrons</i>	125	19	0,95	3,49	0,57
<i>Microsetella rosea</i>	0	1	0,00	0,18	1,00*
Harpacticoida Indet.	8	0	0,06	0,00	-1,00
Copepoda Nauplius	59	0	0,45	0,00	-1,00
Cirripedia Nauplius	75	57	0,57	10,46	0,90
Isopoda larve	0	0	0,00	0,00	-
Decapoda larve	51	42	0,39	7,71	0,90
Mysidacea Indet.	8	0	0,06	0,00	-1,00
Echinodermata	1063	0	8,08	0,00	-1,00
<i>Oikopleura</i> spp.	1259	0	9,57	0,00	-1,00
<i>Doliolum</i> spp.	35	0	0,27	0,00	-1,00
<i>Sagitta</i> spp.	35	17	0,27	3,12	0,84
<i>Brachiostoma lanceolatum</i>	0	0	0,00	0,00	-
Uova Teleostei	35	7	0,27	1,28	0,65
Totale	13153	545	100	100	

Tab. 15c Indice di selettività di Ivlev

*segnala valori positivi di E dovuti al mancato campionamento della preda in ambiente.

In base alle tabelle 15a, b, c si nota che c'è stata una selezione positiva, comune in tutte e tre i mesi per Ostracodi, *Temora stylifera*, *Corycaeus* spp., *Oncaea* spp., *Euterpina acutifrons* e *Microsetella rosea*. A giugno e a luglio le sardine selezionano positivamente anche le larve di Decapodi e le uova di Teleostei. Gli Arpacticoidi invece sono ricercati attivamente soltanto a maggio, mentre *Podon* spp., le larve di Cirripedi e il Chetognato *Sagitta* spp. sono selezionati

positivamente a luglio. Alcune prede, seppur selezionate positivamente in taluni mesi o presenti in quantità simili sia negli stomaci che nell'ambiente, non sono preferite in altre circostanze, come le larve di Bivalvi, i Cladoceri *Evadne* spp., *Penilia avirostris*, *Podon* spp., i Copepodi *Centropages* spp., *Oithona* spp., Arpacticoidi e naupli di Copepodi. Altri organismi planctonici, al contrario, pur essendo presenti abbondantemente nell'ambiente, non vengono quasi mai inclusi nella dieta di sardina. È il caso del Dinoflagellato *Noctiluca scintillans*, delle larve di Cnidari, Ctenofori, Foronidi, Policheti, delle Appendicolarie (*Oikopleura* spp.) e sorprendentemente anche del Copepode *Acartia clausi*, che pur è conosciuto come uno dei Copepodi maggiormente abbondanti nel Golfo di Trieste.

Per facilitare l'interpretazione dei dati e valorizzare le abbondanze dei taxa presenti negli stomaci, sono state considerate soltanto le prede che erano presenti all'interno del contenuto stomacale in quantità $\geq 5\%$ in termini di abbondanza numerica, in almeno un campionamento (fig. 15). Risulta così che i Copepodi della famiglia Clauso-Paracalanidae, *Corycaeus* spp., *Oncaea* spp., *Euterpina acutifrons*, i naupli di Cirripede, le larve di Decapode e le uova di Teleostei sono sempre stati positivamente selezionati; fanno invece eccezione *Centropages* spp. (selezionato positivamente soltanto a maggio) ed *Oithona* spp. per cui l'indice E relativo presenta valori variabili, da negativo (maggio) a nullo o debolmente positivo rispettivamente in giugno e luglio.

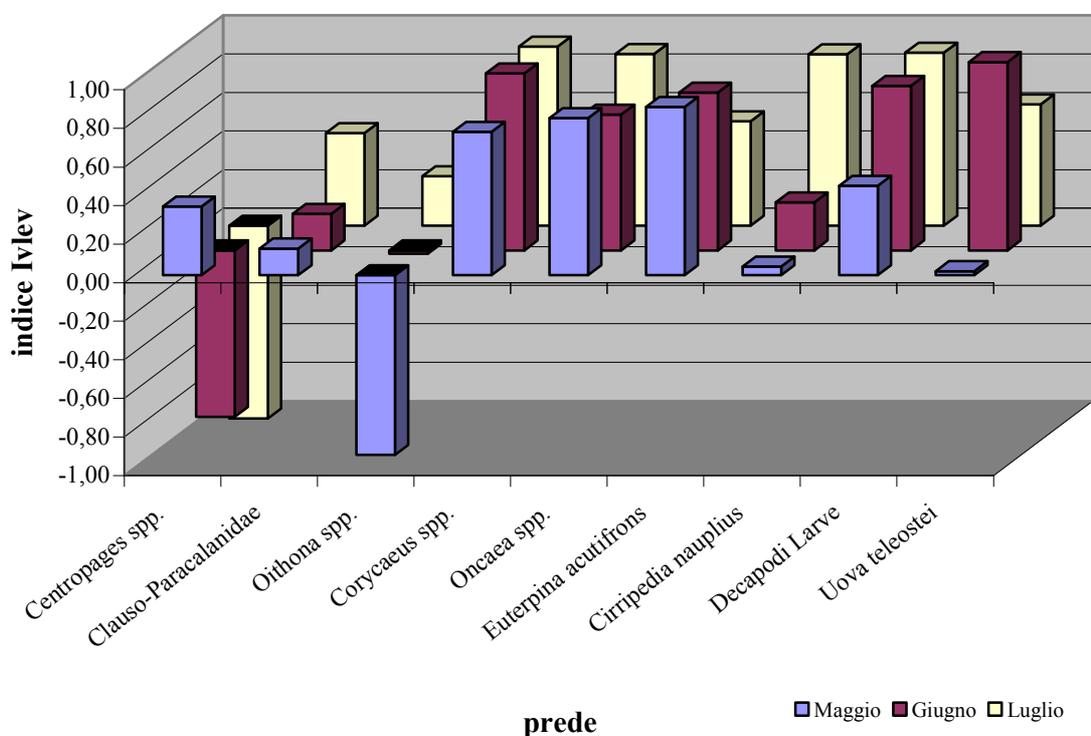


Fig. 15 Indice di Ivlev relativo a prede presenti nello stomaco in quantità $\geq 5\%$

3.7. Composizione della dieta di *Engraulis encrasicolus*

3.7.1. Settembre

La lunghezza totale delle acciughe utilizzate per l'analisi del contenuto stomacale varia da 114 mm a 136 mm ed il peso umido totale da 8.79 g a 15.15 g.

Le osservazioni effettuate sul contenuto stomacale delle acciughe hanno permesso di riconoscere complessivamente 1341 organismi/acciuga appartenenti a 27 categorie alimentari. L'analisi qualitativa della dieta ha dimostrato che acciuga si ciba per la maggior parte (76%) di Copepodi ed in particolare principalmente dei Copepodi Ciclopoidi *Corycaeus* spp. (27.4%) ed *Oncaea* spp. (11.2%). Seppur in quantità minori, sono risultate importanti anche le larve di molluschi Bivalvi (11.8%) e le uova di Copepodi (5.07%) (tab. 16).

COMPOSIZIONE DELLE PREDE (%)

Diatomee	1.94	Uova di Copepodi	5.07
Dinoflagellati	0.00	Copepodi naupli	0.37
Tintinnidi	0.00	Cirripedi naupli	0.07
Molluschi larve	14.77	Stomatopodi	0.00
Cladoceri	0.45	Decapodi larve	0.82
Ostracodi	0.00	<i>Oikopleura</i> spp.	0.00
Copepodi Calanoidi	21.63	<i>Sagitta</i> spp.	0.00
Copepodi Ciclopoidi	39.60	Uova di invertebrati	0.22
Copepodi Arpacticoidi	15.06	Uova di Teleostei	0.00

Tab. 16 Composizione percentuale delle prede delle acciughe campionate a settembre

Il mesozooplankton contribuisce alla quasi totalità del carbonio della dieta, raggiungendo un valore equivalente al 99.99%; irrisorio è l'apporto fornito dal fitoplancton (fig. 16a). In particolare, il 65% del carbonio nella dieta delle acciughe di settembre è fornito da prede di 840 µm mentre le prede di dimensioni comprese tra 1260-1400 µm contribuiscono ad un ulteriore 26% (fig. 16b). Queste classi dimensionali sono rappresentate rispettivamente dai copepodi *Temora stylifera*, *Corycaeus* spp., dalla famiglia Clauso-Paracalanidae ed dalle larve di Bivalvi, dall'altro dalle larve di Decapodi (fig. 16a).

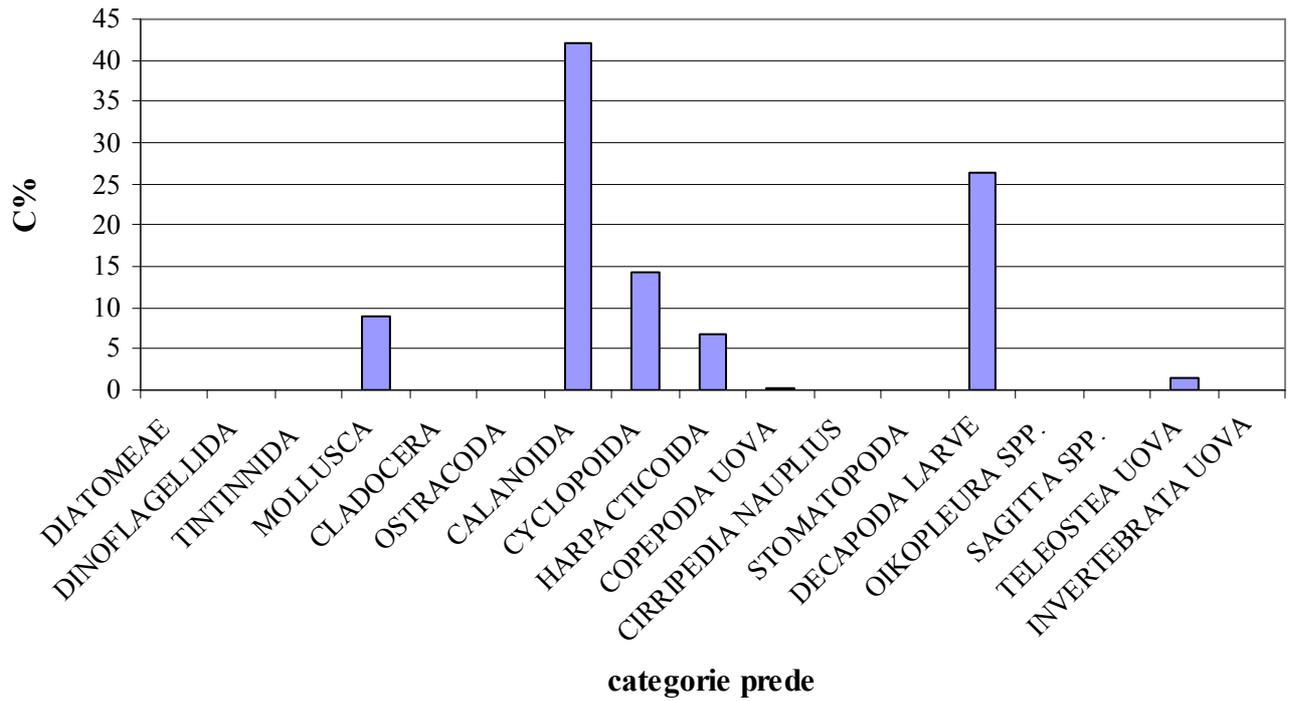


Fig. 16a Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle categorie di prede

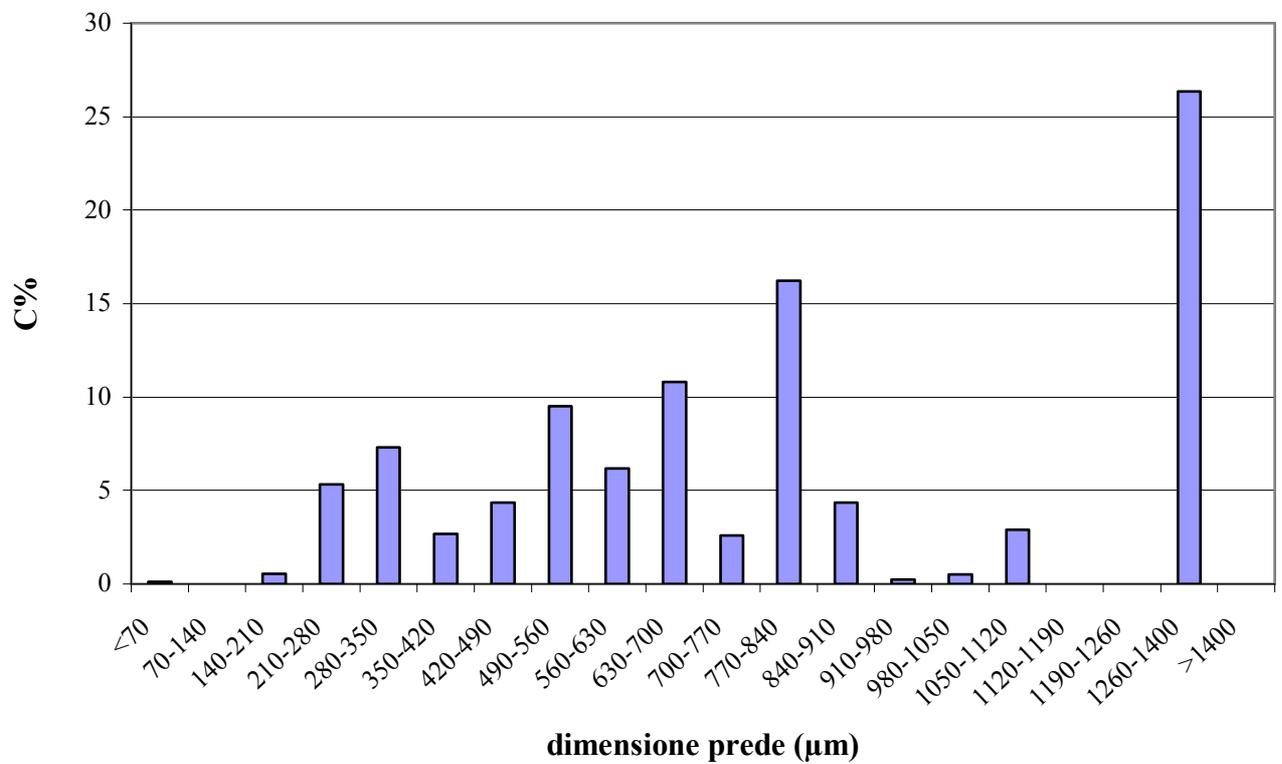


Fig. 16b Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle dimensioni delle prede

3.7.2. Ottobre

La lunghezza totale delle acciughe utilizzate per l'analisi del contenuto stomacale varia da 115 mm a 137 mm ed il peso umido totale da 9.66 g a 14.11 g.

L'analisi qualitativa della dieta di acciuga ha permesso di identificare un totale di 1147 prede/acciuga appartenenti a 29 categorie alimentari. Come per la dieta delle acciughe del mese di settembre, anche quella delle acciughe catturate ad ottobre è costituita principalmente da Copepodi, che numericamente rappresentano l'87.7% (tab. 17).

COMPOSIZIONE DELLE PREDE (%)			
Diatomee	0.09	Uova di Copepodi	3.92
Dinoflagellati	0.00	Copepodi naupli	0.44
Tintinnidi	0.00	Cirripedi naupli	0.00
Molluschi larve	0.87	Stomatopodi	0.26
Cladoceri	0.00	Decapodi larve	0.52
Ostracodi	0.00	<i>Oikopleura</i> spp.	6.10
Copepodi Calanoidi	5.32	<i>Sagitta</i> spp.	0.09
Copepodi Ciclopoidi	78.20	Uova di invertebrati	0.00
Copepodi Arpacticoidi	4.18	Uova di Teleostei	0.00

Tab. 17 Composizione percentuale delle prede delle acciughe campionate ad ottobre

Il Copepode trovato maggiormente nel contenuto stomacale appartiene al genere *Oncaea* spp. e costituisce il 77% dell'intero ordine. Meno importanti (<5%) sono i contributi di *Corycaeus* spp., *Oithona* spp. ed *Euterpina acutifrons*. Rispetto al mese precedente, le larve di Molluschi diminuiscono, mentre aumentano di importanza le Appendicolarie del genere *Oikopleura* spp. Le uova di Copepode continuano ad essere una categoria presente nella dieta dell'acciuga, anche se in minime quantità.

Il mesozooplankton contribuisce alla totalità dell'apporto di carbonio nella dieta delle acciughe di ottobre (fig. 17a). La fig. 17b indica che ad ottobre il contributo in carbonio relativo alla dieta è fornito per il 58% da prede di dimensioni >1260 µm, rappresentate da *Sagitta* spp., larve di Decapodi, larve di Stomatopodi e *Oikopleura* spp.; le prede comprese nella classe dimensionale 210-420 µm, rappresentate principalmente da *Oncaea* spp., forniscono circa il 25%, mentre il resto del carbonio è fornito dalle restanti classi dimensionali, rappresentate da *Temora stylifera* e dalla famiglia Clauso-Paracalanidae.

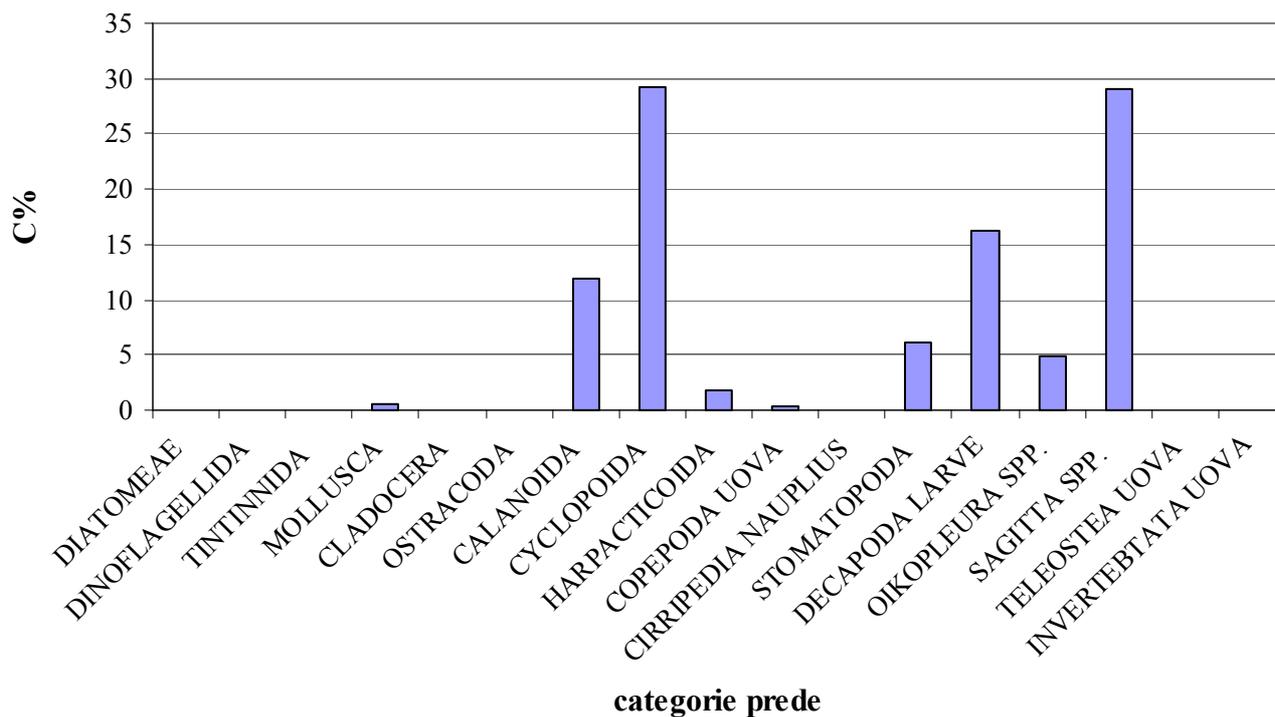


Fig. 17a Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle categorie di prede

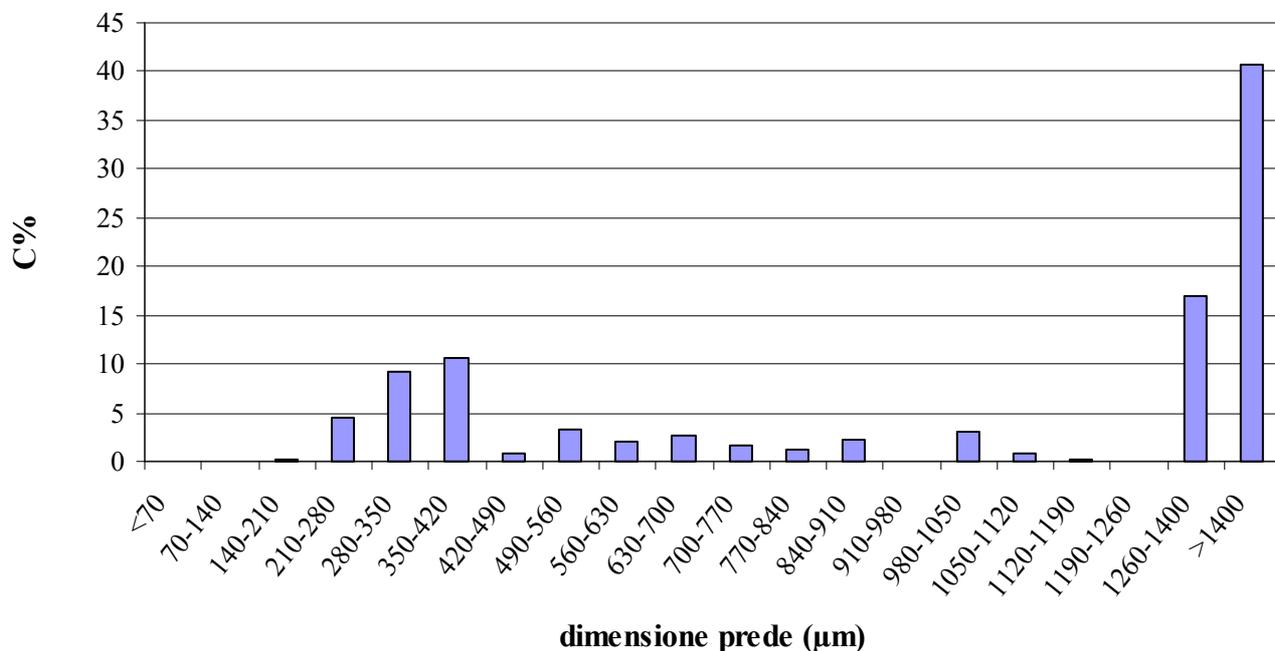


Fig. 17b Percentuale di carbonio fornito alla dieta relativo alle dimensioni delle prede

3.8. Selezione alimentare di *Engraulis encrasicolus*

Per descrivere le scelte alimentari delle acciughe da un punto di vista dimensionale, è stata calcolata la frequenza delle prede in base a classi dimensionali (fig. 18).

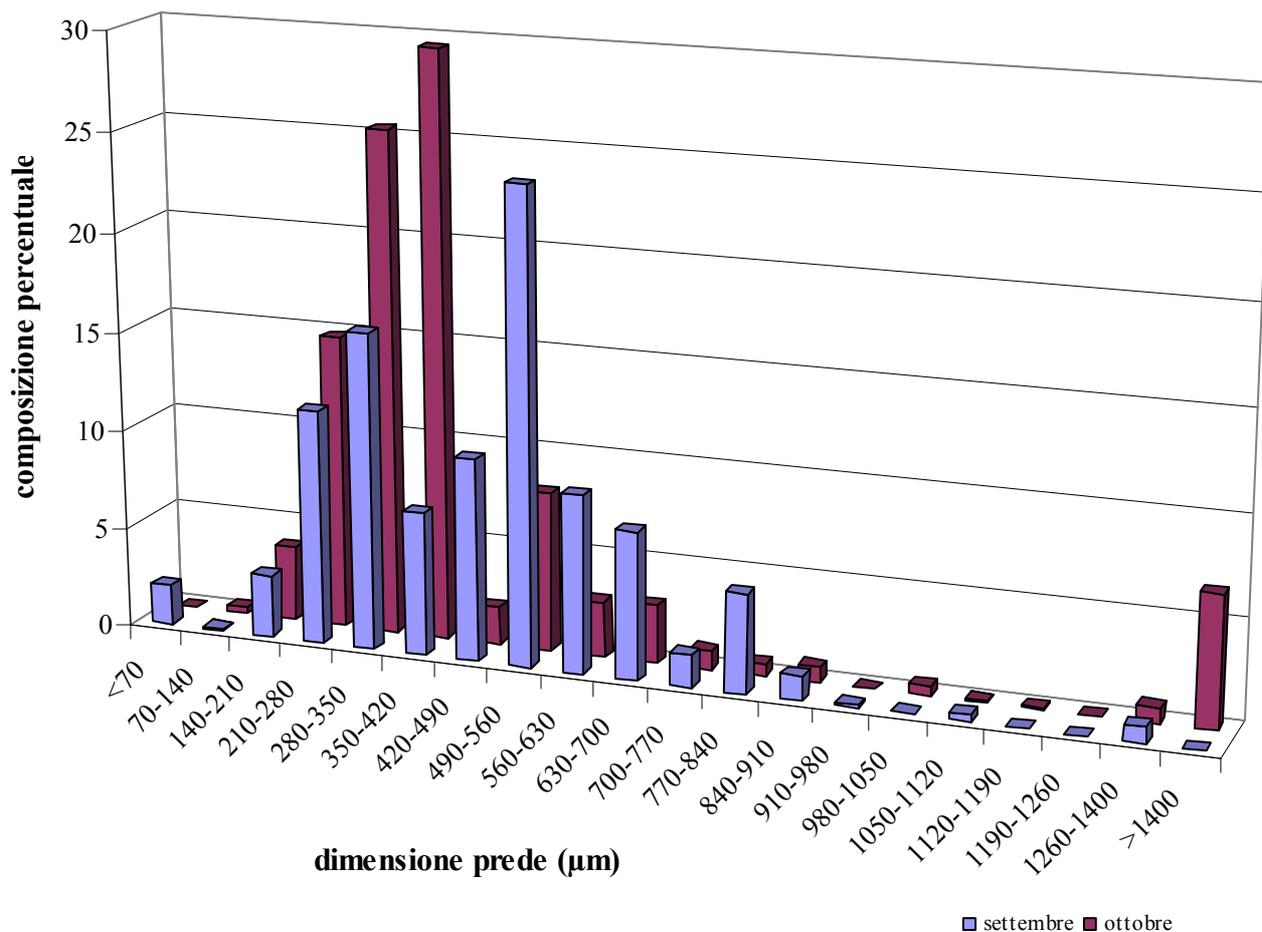


Fig. 18 Composizione percentuale in base alle dimensioni delle prede

La distribuzione delle prede ingerite a settembre presenta due massimi, a 210-350 µm (larve di Bivalvi ed *Oncaea* spp.) ed a 490-560 µm (quasi esclusivamente dovuto al genere *Corycaeus* spp.). Ad ottobre le prede più frequentemente ingerite sono di dimensioni comprese nell'intervallo di taglia di 210-420 µm. Sono però presenti anche prede di grandi dimensioni (>1400 µm), seppur in quantità inferiori a 10%. Le prede di dimensioni 210-420 µm sono composte per la quasi totalità dal Copepode *Oncaea* spp., mentre il gruppo di dimensioni >1400 µm è rappresentato dall'Appendicolaria *Oikopleura* spp.

Per una migliore comprensione dei risultati ottenuti dall'analisi del contenuto stomacale delle acciughe, è stato applicato l'indice di selettività di Ivlev (E), per permettere di confrontare il regime alimentare dei pesci con la disponibilità delle prede in natura (tab. 18a, b). Essendo stato constatato che il mesozooplankton contribuisce alla quasi totalità dell'apporto in carbonio alla dieta delle acciughe, il fitoplancton ed il microzooplankton non sono stati inclusi nello studio della selezione alimentare.

SETTEMBRE 2006	Ambiente (ind/m³)	Stomaco (n°prede/acciuga)	Ambiente (%)	Stomaco (%)	IVLEV (E)
<i>Noctiluca scintillans</i>	66	0	0,61	0,00	-1,00
Cnidaria	112	0	1,04	0,00	-1,00
Ctenophora larve	0	0	0,00	0,00	-
Nemertea larve	0	0	0,00	0,00	-
Phoronida larve	0	0	0,00	0,00	-
<i>Creseis acicula</i>	0	0	0,00	0,00	-
Gastropoda	0	15	0,00	1,20	1,00*
Bivalvia	33	183	0,30	14,68	0,96
Polychaeta larve	17	0	0,15	0,00	-1,00
<i>Evadne</i> spp.	225	0	2,07	0,00	-1,00
<i>Penilia avirostris</i>	5456	5	50,30	0,40	-0,98
<i>Podon</i> spp.	3	1	0,03	0,08	0,45
Ostracoda	3	0	0,03	0,00	-1,00
<i>Acartia clausi</i>	102	13	0,94	1,04	0,05
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	0	0,00	0,00	-
<i>Centropages</i> spp.	79	4	0,73	0,32	-0,39
<i>Temora longicornis</i>	0	4	0,00	0,32	1,00*
<i>Temora stylifera</i>	1357	130	12,52	10,43	-0,09
Clauso-Paracalanidae	1404	139	12,94	11,15	-0,07
Altri Calanoidi	627	0	5,79	0,00	-1,00
<i>Oithona</i> spp.	317	14	2,92	1,12	-0,45
<i>Corycaeus</i> spp.	92	367	0,85	29,43	0,94
<i>Oncaea</i> spp.	512	150	4,72	12,03	0,44
<i>Clytemnestra</i> sp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Euterpina acutifrons</i>	201	197	1,86	15,80	0,79
<i>Microsetella rosea</i>	0	0	0,00	0,00	-
Harpacticoida Indet.	3	5	0,03	0,40	0,86
Copepoda Nauplius	69	5	0,64	0,40	-0,23
Cirripedia Nauplius	0	1	0,00	0,08	1,00*
Isopoda larve	0	0	0,00	0,00	-
Decapoda larve	59	11	0,55	0,88	0,23
Mysidacea Indet.	0	0	0,00	0,00	-
Echinodermata	3	0	0,03	0,00	-1,00
<i>Oikopleura</i> spp.	56	0	0,52	0,00	-1,00
<i>Doliolum</i> spp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Sagitta</i> spp.	43	0	0,40	0,00	-1,00
<i>Brachiostoma lanceolatum</i>	0	0	0,00	0,00	-
Uova Teleostei	3	3	0,03	0,24	0,78
Totale	10845	1247	100	100	

Tab.18a Indici di Ivlev. *segnala valori positivi di E dovuti al mancato campionamento della preda in ambiente.

OTTOBRE 2006	Ambiente	Stomaco	Ambiente (%)	Stomaco (%)	IVLEV (E)
	(ind/m³)	(n°prede/acciuga)			
<i>Noctiluca scintillans</i>	0	0	0,00	0,00	-
Cnidaria	533	0	6,64	0,00	-1,00
Ctenophora larve	0	0	0,00	0,00	-
Nemertea larve	0	0	0,00	0,00	-
Phoronida larve	0	0	0,00	0,00	-
<i>Creseis acicula</i>	3	1	0,04	0,09	0,40
Gastropoda	13	3	0,16	0,27	0,27
Bivalvia	110	6	1,37	0,54	-0,43
Polychaeta larve	56	0	0,70	0,00	-1,00
<i>Evadne</i> spp.	9	0	0,12	0,00	-1,00
<i>Penilia avirostris</i>	198	0	2,46	0,00	-1,00
<i>Podon</i> spp.	9	0	0,12	0,00	-1,00
Ostracoda	0	0	0,00	0,00	-
<i>Acartia clausi</i>	157	1	1,95	0,09	-0,91
<i>Calanus helgolandicus</i>	0	1	0,00	0,09	1,00*
<i>Centropages</i> spp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Temora longicornis</i>	0	0	0,00	0,00	-
<i>Temora stylifera</i>	370	21	4,61	1,91	-0,41
Clauso-Paracalanidae	1456	38	18,13	3,45	-0,68
Altri Calanoidi	618	0	7,70	0,00	-1,00
<i>Oithona</i> spp.	242	58	3,01	5,27	0,27
<i>Corycaeus</i> spp.	348	63	4,34	5,72	0,14
<i>Oncaea</i> spp.	3250	776	40,47	70,48	0,27
<i>Clytemnestra</i> sp.	0	0	0,00	0,00	-
<i>Euterpina acutifrons</i>	191	44	2,38	4,00	0,25
<i>Microsetella rosea</i>	0	4	0,00	0,36	1,00*
Harpacticoida Indet.	0	0	0,00	0,00	-
Copepoda Nauplius	63	5	0,78	0,45	-0,26
Cirripedia Nauplius	13	0	0,16	0,00	-1,00
Isopoda larve	3	0	0,04	0,00	-1,00
Decapoda larve	28	9	0,35	0,82	0,40
Mysidacea Indet.	3	0	0,04	0,00	-1,00
Echinodermata	6	0	0,08	0,00	-1,00
<i>Oikopleura</i> spp.	314	70	3,91	6,36	0,24
<i>Doliolum</i> spp.	19	0	0,23	0,00	-1,00
<i>Sagitta</i> spp.	13	1	0,16	0,09	-0,26
<i>Brachiostoma lanceolatum</i>	0	0	0,00	0,00	-
Uova Teleostei	6	0	0,08	0,00	-1,00
Totale	8031	1101	100	100	

Tab.18b Indici di Ivlev.

*segnala valori positivi di E dovuti al mancato campionamento della preda in ambiente.

Dall'osservazione delle tabelle risulta che le larve di Bivalvi, *Corycaeus* spp., *Oncaea* spp., *Euterpina acutifrons*, *Microsetella rosea* e le larve di Decapodi sono selezionate in entrambi i mesi. A settembre però acciuga seleziona positivamente anche *Temora longicornis*, mentre ad ottobre

risulta importante anche la selezione per *Oikopleura* spp. Nonostante la loro abbondanza in ambiente, nel mese di settembre i Cladoceri non sono stati predati.

Al fine di facilitare l'interpretazione dei dati e valorizzare le abbondanze dei taxa presenti negli stomaci, come nel caso di sardina, sono state considerate soltanto le prede presenti nei contenuti stomacali in quantità $\geq 5\%$ in almeno un campionamento (fig. 19). Risulta così che *Oncaea* spp., *Euterpina acutifrons* e *Corycaeus* spp. sono sempre positivamente selezionati. *Temora stylifera* ed i Copepodi della famiglia Clauso-Paracalanidae sono associati a valori di E prossimi allo zero (settembre) o negativi (ottobre). Le larve di Bivalvi, fortemente selezionate nel mese di settembre, non lo sono altrettanto ad ottobre. Dati contrastanti si ottengono anche per *Oithona* spp. e *Oikopleura* spp.

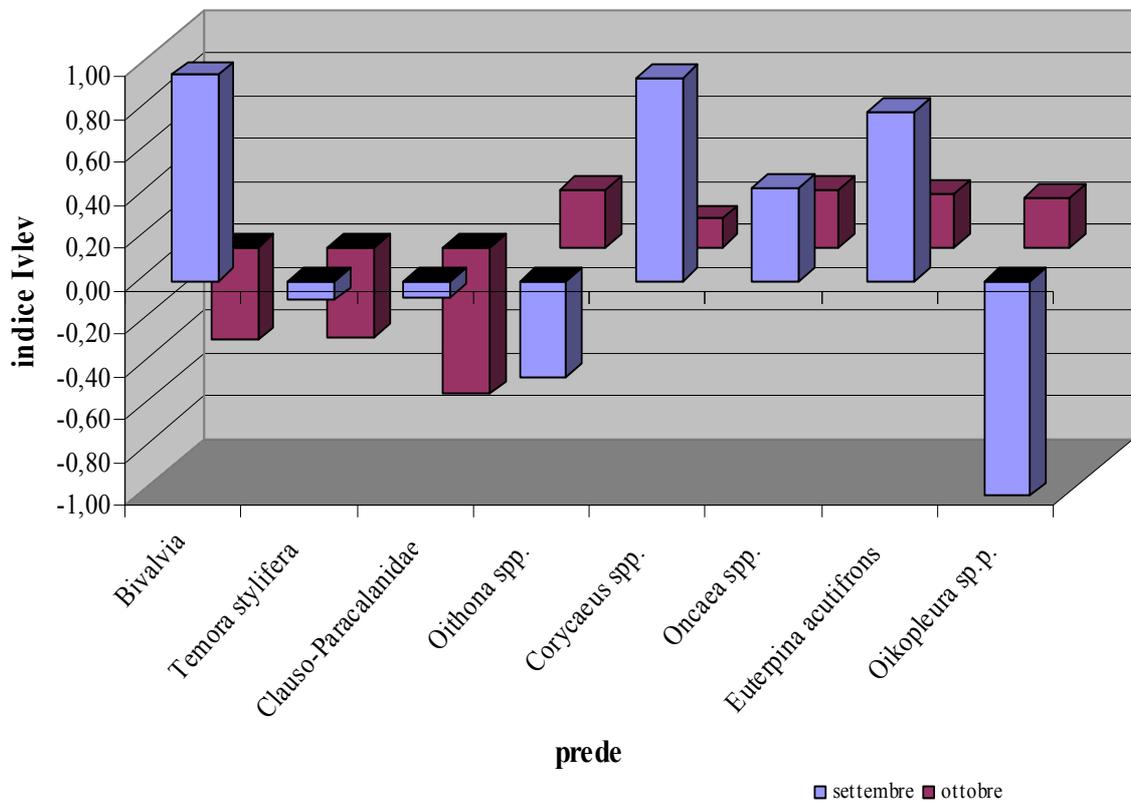


Fig. 19 Indice di Ilev relativo a prede presenti nello stomaco in quantità $\geq 5\%$.

3.9. Variabilità mensili dell'indice gonadosomatico e del grasso mesenterico

3.9.1. *Sardina pilchardus*: indice gonadosomatico e indice del grasso mesenterico

Dei 178 campioni di sardine adulte esaminati, 109 sono le femmine e 69 sono i maschi. In una prima analisi dell'indice gonadosomatico (IGS), i campioni sono stati considerati senza far distinzione di sesso. I valori dell'indice mostrano un repentino decremento da un valore medio di 6.24 ± 0.43 in maggio fino a valori minimi in giugno e luglio (rispettivamente 0.43 ± 0.04 e 0.46 ± 0.05), con un successivo rapido incremento fino a 6.62 ± 0.69 in ottobre, quando le gonadi raggiungono nuovamente dimensioni importanti. L'indice del grasso mesenterico (IGM) presenta un andamento speculare rispetto a quello dell'indice gonadosomatico, aumentando da valori minimi di maggio (0.06 ± 0.02) a massimi in luglio (2.29 ± 0.19), prima di diminuire ad ottobre (fig. 20).

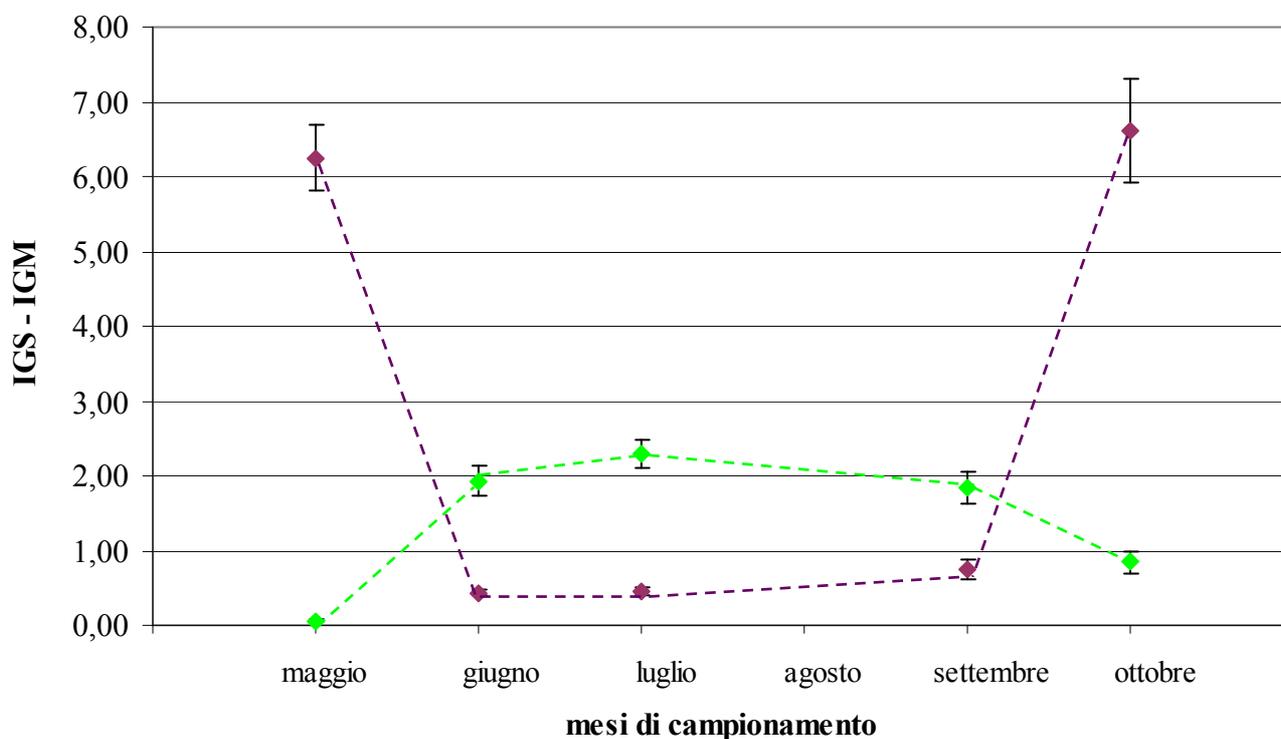


Fig. 20 Variabilità di IGS (viola) ed IGM (verde) (\pm ES) delle sardine

Valutando gli indici per i gruppi sessualmente separati, si osserva un andamento comune sebbene gli indici maschili risultano sensibilmente inferiori a quelli femminili durante tutto il periodo considerato (fig. 21a, b). Ovvero, l'IGS delle femmine decresce da un valore di 6.98 ± 0.48 di maggio fino a 0.56 ± 0.036 di giugno per poi aumentare nuovamente all'inizio della stagione autunnale, attestandosi attorno al 9.28 ± 1.37 . Allo stesso modo l'IGS maschile, dopo un primo picco

del mese di maggio (3.90 ± 0.23), raggiunge valori minimi nei mesi estivi, aumentando ancora ad ottobre (4.72 ± 0.28).

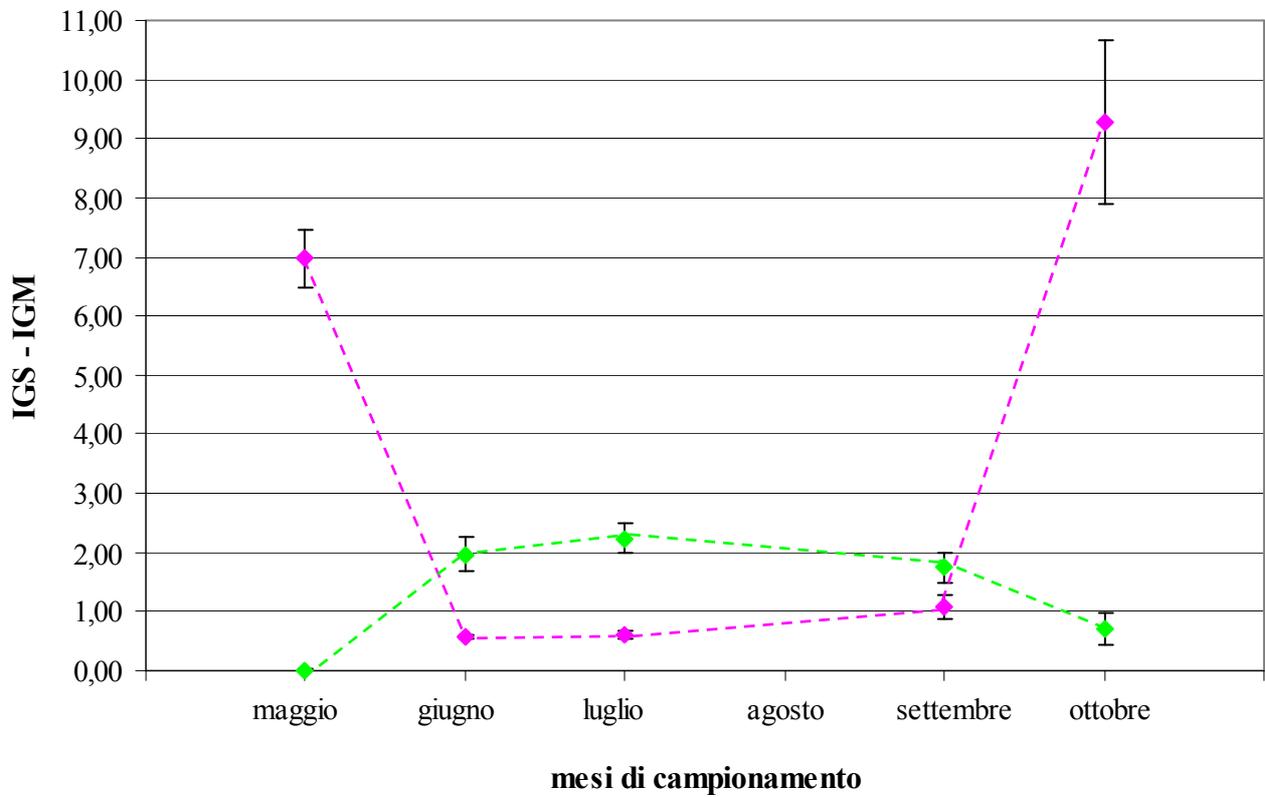


Fig. 21a Variabilità di IGS-IGM (\pm ES) di sardina in individui femminili. IGS (rosa), IGM (verde).

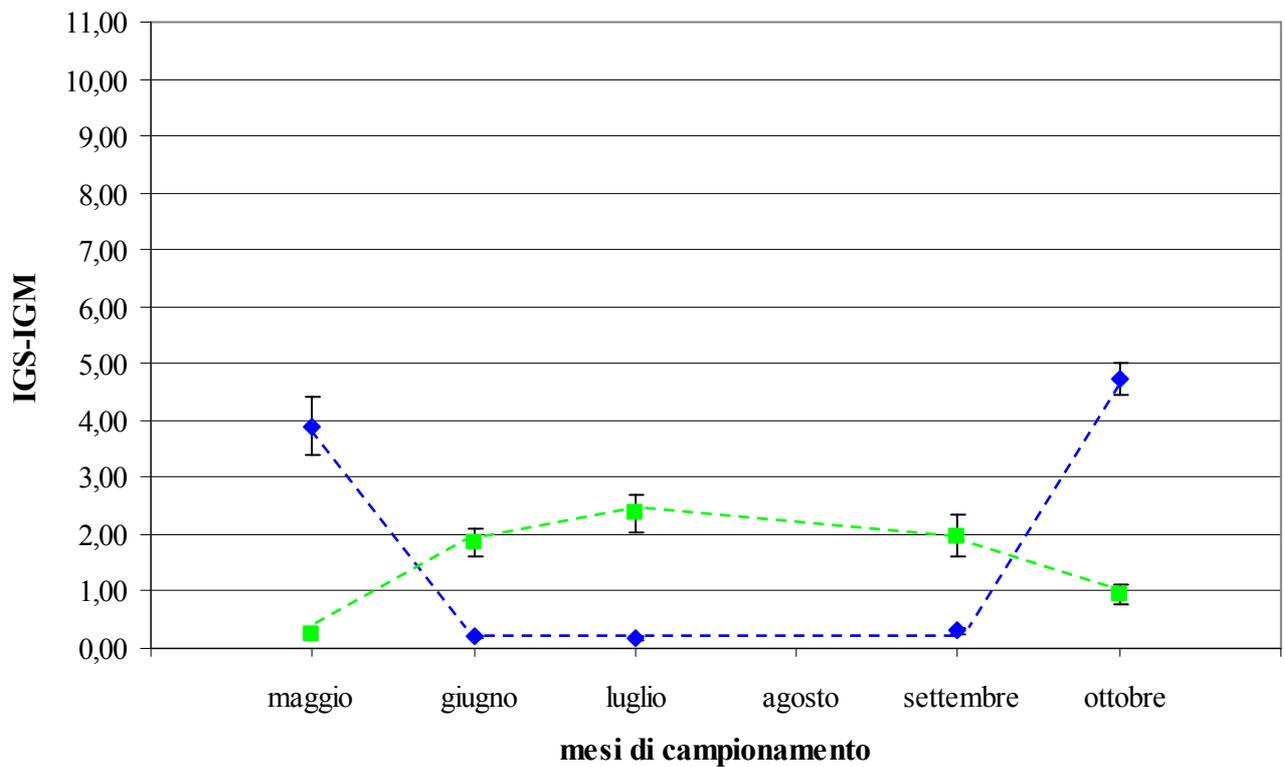


Fig. 21b Variabilità di IGS-IGM (\pm ES) di sardina in individui maschili. IGS (blu), IGM (verde).

Dall'osservazione dell'IGM per i gruppi maschile e femminile si evince che i valori sono piuttosto simili nei vari mesi, ad eccezione del mese di maggio in cui il valore percentuale del grasso viscerale degli individui maschili (0.23 ± 0.06) è decisamente maggiore rispetto a quello degli esemplari femminili (0.011 ± 0.006).

3.9.2. *Engraulis encrasicolus*: indice gonadosomatico

Lo studio delle variazioni dell'IGS è stato realizzato su 413 acciughe, di cui 161 femmine, 250 maschi e 2 individui di sesso non determinato. Considerando assieme entrambi i sessi, i valori più elevati di IGS sono stati registrati nei mesi estivi, con un picco massimo a giugno (7.20 ± 0.29), momento centrale dell'attività riproduttiva, mentre i più bassi sono stati registrati da ottobre a febbraio (rispettivamente 1.99 ± 0.13 e 0.60 ± 0.08) (fig. 22).

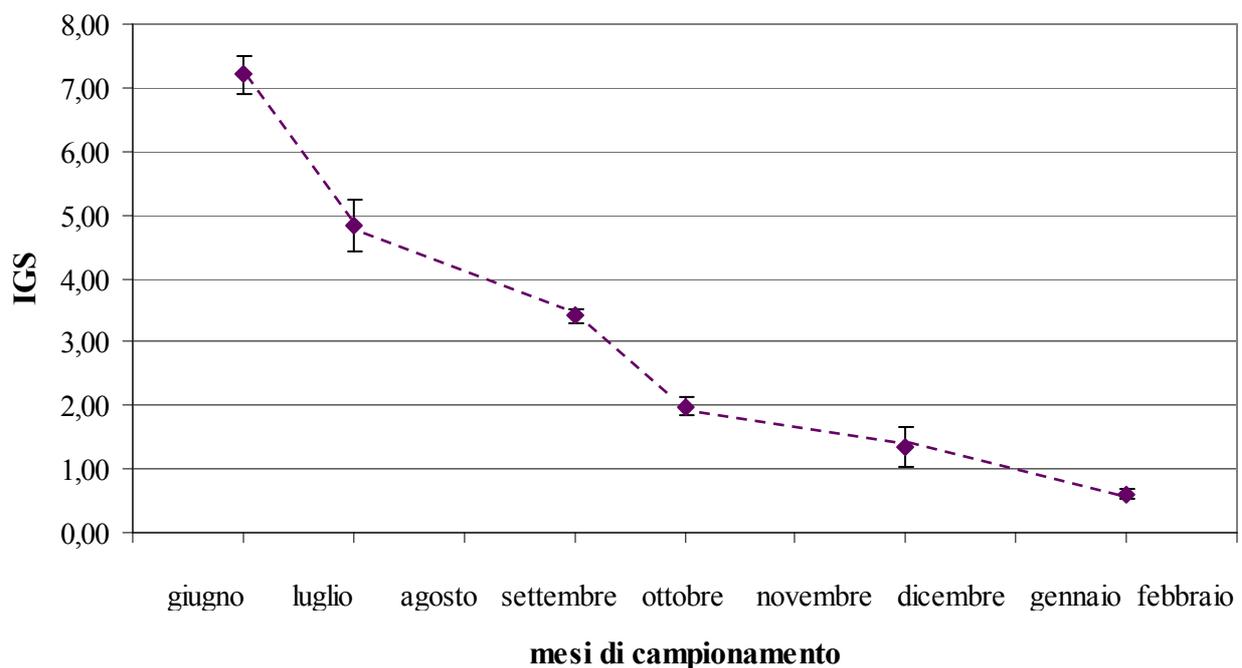


Fig. 22 Andamenti di IGS totale (\pm ES) in individui adulti di acciuga

Osservando le variazioni dei valori medi dell'IGS per le acciughe di sesso femminile e maschile (fig. 23), si riscontra un andamento comune, con valori relativi alle femmine leggermente inferiori nella prima parte del campionamento, probabilmente a seguito di una precedente deposizione, mentre presenta valori più elevati nella seconda metà del periodo considerato. I valori

dell'IGS femminile oscillano da 0.84 ± 0.07 (febbraio) a 3.78 ± 0.12 (settembre), mentre quelli maschili variano da 0.30 ± 0.06 (febbraio) a 7.20 ± 0.29 (giugno). Mancano i valori relativi all'IGS femminile di giugno poiché non sono stati trovati individui di tale sesso nei subcampioni analizzati.

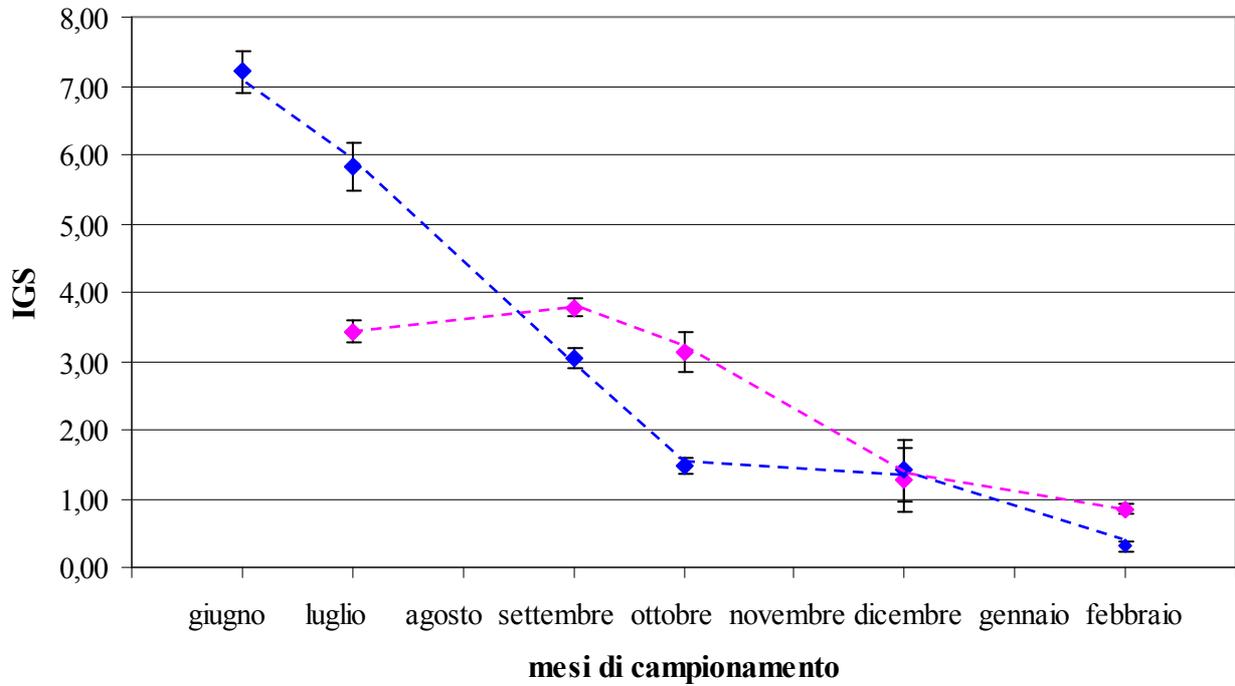


Fig. 23 Andamento IGS in individui adulti di acciuga di sesso maschile (blu) e femminile (rosa)

4. Discussione

4.1. *Variazioni giornaliere*

Il ciclo giornaliero del sorgere e del tramontare del sole impone sull'attività e sul comportamento dei pesci una serie di conseguenze prevedibili, che si riflettono su determinate attività, quali ad esempio l'alimentazione e la riproduzione. Anche cambiamenti stagionali e maree influenzano i cicli di attività giornaliera.

La maggior parte dei pesci a temperature tropicali e temperate caccia primariamente durante il giorno o la notte, mentre un piccolo numero durante il crepuscolo o l'alba (Gushima *et al.* 1977; Emery 1978). In generale il tempo di attività è una caratteristica a livello di famiglia, ma le eccezioni sono comuni; ad esempio alcune specie classificate come predatori notturni usano alimentarsi anche di giorno se c'è disponibilità di cibo. Ciò suggerisce inoltre che i modelli di attività dei pesci siano influenzati da quelli delle loro prede.

Giorno e notte non sono necessariamente sinonimi di luce e buio in ambiente acquatico. In ambienti limpidi, dove la luce penetra bene, pesci predatori diurni possono mantenere la loro attività anche di notte con la luce della luna piena (Allen e Wootton 1984). Al contrario, in laghi o in ambienti marini costieri poco profondi, sedimenti sospesi o detrito e organismi planctonici possono portare a condizioni di oscuramento in pieno giorno.

4.1.1. *Sardina pilchardus*

È sorprendente come non vi siano studi dedicati all'attività alimentare della sardina europea *Sardina pilchardus*. Gli unici dati reperiti in letteratura su individui adulti si riferiscono a studi affrontati in Mediterraneo a metà del secolo scorso da Andreu (1969) e da Vučetić (1964), i quali suggeriscono che l'attività alimentare si svolge prevalentemente durante le ore di luce; Vučetić (1964) segnala che per *S. pilchardus* nell'Adriatico centro-orientale le ore pomeridiane sono quelle di massima attività alimentare, spiegando che sono appunto gli orari in cui lo zooplancton (alimento di base) comincia la sua migrazione verso gli strati superficiali, rendendosi più vulnerabile alla predazione.

Solo recentemente altri studi nel Mar Adriatico e Cantabrico hanno affrontato questa tematica concentrata però soltanto su stadi larvali di sardina, confermando l'attività prettamente diurna (Conway 1994, Dulčić 1999, Munuera Fernández e González-Quirós 2006).

I risultati ottenuti in questo studio confermano che anche nel Golfo di Trieste l'attività alimentare della sardina adulta è principalmente diurna, con massimi in prossimità del tramonto, come già osservato da Vučetić (1964). Le sardine originarie di altre aree geografiche (Pacifico nord orientale, California, Humboldt), appartenenti al genere *Sardinops*, presentano pure un ritmo di alimentazione diurno (Espinoza *et al.* 1998, van der Lingen 1998, Yoneda e Yoshida 1995, Nakai *et*

al. 1962); fa però eccezione *Sardinops sagax* (la sardina del Benguela) che adotta un comportamento diverso in base al peso corporeo. Le sardine di peso <25 g mostrano un picco di alimentazione attorno al tramonto, quelle >25 g sembrano alimentarsi continuamente durante l'intero arco della giornata (van der Lingen 1998). L'alimentazione prevalentemente diurna di sardina potrebbe essere spiegata dal comportamento migratorio giornaliero, durante il quale il banco scende verso il fondo attorno al crepuscolo e rimane in stretto contatto con esso durante la notte (Zwolinski *et al.* 2007). Altro fattore che potrebbe favorire l'alimentazione diurna di sardina potrebbe essere la morfologia del suo occhio, privo di un *tapetum lucidum* nella retina e quindi incapace di vedere in condizioni di bassa luminosità, come scoperto sia per il genere *Sardina* che *Sardinops* (McEwan 1938, Vilter 1950).

4.1.2. *Engraulis encrasicolus*

I risultati ottenuti dimostrano che l'attività alimentare di questa specie è risultata fondamentalmente diurna, nonostante un certo livello di attività esista anche durante le prime ore dopo il crepuscolo. La luce sembra dunque giocare un ruolo importante nella regolazione dell'attività alimentare dell'acciuga. Per quanto riguarda *Engraulis encrasicolus*, numerosi sono gli autori che hanno evidenziato un'alimentazione prevalentemente diurna in diverse regioni: nel Mar d'Azov (Mikhman e Tomanovich 1977, Budnichenko *et al.* 1999), nel Mar Nero (Bulgakova 1992), nel Mar Catalano (Tudela e Palomera 1995, 1997), nel Golfo di Biscaglia (Plounevez e Champalbert 1999) e nel Golfo del Leone (Plounevez e Champalbert 2000). In certi casi, tuttavia, è stata segnalata una notevole attività alimentare anche durante le ore notturne, come riportato da Bulgakova (1992) e da Angelescu e Anganuzzi (1981) per *E. anchoita*, da James (1987) per *E. capensis*. Bulgakova (1993a) inoltre sostiene che l'attività alimentare di *E. encrasicolus* dipenda dalla struttura del popolamento planctonico, ed in particolare che l'acciuga sia capace di nutrirsi, tramite filtrazione di piccoli organismi (fitoplancton), in qualsiasi momento del giorno, mentre predilige attivamente organismi zooplanctonici di grandi dimensioni esclusivamente di giorno. Successivamente Bulgakova *et al.* (1997) hanno dimostrato, con esperimenti di laboratorio, che il ritmo di alimentazione può restare costante durante l'intero arco di una giornata, purchè vi sia un'adeguata disponibilità di cibo.

Sebbene studi sugli organi visivi delle acciughe siano rari, i pochi dettagli sulla struttura dei coni nella retina dell'acciuga del genere *Anchoa* spp. e della specie *E. encrasicolus* ipotizzano che questi pesci possano percepire differenze nella direzione della luce polarizzata o anche differenze di colore (Fineran e Nicol 1976, 1978, Zueva 1981). O'Connell (1963) ha dimostrato che l'occhio di *E.*

mordax era ben adattato alla visione in condizioni di bassa luminosità. Hunter e Nicoll (1984) calcolarono che a 30 m di profondità, in acque povere di clorofilla (0.24 mg Chl-*a* m⁻³), in una notte stellata, l'intensità luminosa era sufficiente per permettere, alla stessa specie, la visione necessaria all'aggregazione ed alla riproduzione. Awaiwanont *et al.* (2000) ritengono che *E. japonicus*, grazie alle sue caratteristiche retiniche simili a quelle dei pesci dei mari profondi e di animali notturni, sia altamente sensibile e ben adattato alla diminuzione della luce nell'ambiente, così come Heß *et al.* (2006) che hanno trovato che acciuga è dotata di *tapetum lucidum*.

Nei periodi considerati, infatti, sono stati registrati due massimi; a settembre uno più importante alle ore 15:05 ed un altro alla fine del crepuscolo (ore 21:50), ad ottobre un primo e più importante alle 16:20 ed un altro di simile entità un'ora e mezza dopo il crepuscolo (20:10). I risultati ottenuti nel Golfo di Trieste sono in accordo con studi precedenti che riportano l'esistenza di due picchi di alimentazione per l'acciuga nel Mar Adriatico settentrionale, uno prettamente diurno ed uno poco dopo il crepuscolo (alle 15:00 ed alle 22:22, Borme 2006). La presenza di due massimi di alimentazione è stata riportata anche per *E. encrasicolus* nel Mar d'Azov (tra le 9:00 e le 10:00 ed alle 18:00; Okul 1941) e nel Mar Nero (tra le 15:00 e le 16:00 e fra le 19:00 e le 22:00; Sirotenko e Danilevskiy 1978). Anche l'acciuga del Sud Africa *E. capensis* dimostra di avere due periodi di massima alimentazione, il più importante dei quali tra le 17:00 e le 19:00 (Valdés Szeinfeld 1993).

4.2. Fabbisogno alimentare

4.2.1. *Sardina pilchardus*

A nostra conoscenza, al momento non esistono studi, oltre al presente lavoro di tesi, dedicati alla valutazione del fabbisogno alimentare di *S. pilchardus*. Le uniche stime presenti in letteratura si riferiscono ad uno studio effettuato su *Sardinops sagax* nelle acque al largo del Benguela (van der Lingen 1998) e su *S. sagax* al largo delle coste peruviane (Alamo e Bouchon 1987). Sono comunque studi effettuati in zone molto diverse rispetto all'area di studio del Golfo di Trieste, poiché sono regioni di *upwelling*. I valori del tasso di evacuazione gastrica ($R = 0.408 \text{ h}^{-1}$ e $R = 0.481 \text{ h}^{-1}$) ottenuti in questo studio da individui catturati in ambiente, la cui dieta si basa principalmente su zooplancton, sono sensibilmente più elevati rispetto a quelli riportati da van der Lingen (1998) (0.09 h^{-1} e 0.027 h^{-1}) per pesci alimentati in laboratorio rispettivamente con zooplancton e fitoplancton. van der Lingen (1998) calcolò anche il tasso di evacuazione gastrica da

esperimenti condotti in campo, ottenendo valori compresi fra un intervallo da 0.05 h⁻¹ a 0.10 h⁻¹, non significativamente diverso dalle stime derivate da esperimenti di laboratorio.

La quantità di cibo consumata giornalmente dalle sardine, espressa in termini di percentuale è pari a 2.84% e 2.18% di peso corporeo, equivalente a 81 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW e 63.5 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW. I dati ottenuti sono in accordo con quanto trovato da van der Lingen (1998) per *S. sagax* (0.99%-2.52% di peso per giorno con preda lo zooplancton, 2.97% - 7.58% di peso per giorno con preda il fitoplancton) e per *S. sagax* del mar del Perù (2.31%-6.93% di peso per giorno, dati calcolati da van der Lingen basandosi sui risultati di contenuti stomacali di Alamo e Bouchon, 1987). Le differenze riscontrate relative ai valori di fabbisogno alimentare possono essere attribuite sia alla diversa composizione delle prede rinvenute negli stomaci (fitoplancton, zooplancton), sia alle condizioni ecologiche (temperatura, condizioni trofiche, ecc.) delle aree di studio, sia alla tipologia di sperimentazione (esperimenti di laboratorio o *in situ*).

4.2.2. *Engraulis encrasicolus*

I dati relativi al fabbisogno energetico di esemplari adulti di *E. encrasicolus* presentati in questo lavoro, rappresentano la prima stima calcolata per le acciughe catturate nel Golfo di Trieste. Pochi sono gli studi dedicati al fabbisogno alimentare dell'acciuga europea, di cui uno solo condotto nel Mar Adriatico (Borme 2006), uno nel Mar Catalano (Tudela e Palomera 1995), uno nel Golfo del Leone (Plounevez e Champalbert 2000) e nel Mar Nero (Bulgakova *et al.* 1997).

Il fabbisogno energetico di 49.02 - 35.87 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW trovato in questo studio è di gran lunga inferiore a quanto osservato negli studi precedenti (149.6 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW Borme 2006, 136.46 - 142.75 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW Tudela e Palomera 1995, 473 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW Bulgakova *et al.* 1997 e 129 - 477 J g⁻¹ 1000g⁻¹ TWW Budnichenko *et al.* 1999).

Le differenze riscontrate nelle varie stime del fabbisogno alimentare presenti in letteratura possono essere attribuite sia al diverso modello utilizzato per il suo calcolo, sia alle diverse condizioni ecologiche (principalmente di temperatura e condizioni trofiche) degli ambienti considerati (Mar Argentino, Mar Nero, Mar d'Azov, Mar Catalano, Mar Mediterraneo e Adriatico settentrionale). Le differenze riscontrate tra questo studio, condotto nel Golfo di Trieste, quello intrapreso in Adriatico e quelli intrapresi nel Mediterraneo potrebbero essere maggiormente legate al diverso tipo di preda considerata come principale componente della dieta (*Corycaeus* spp. ed *Oncaea* spp. in questo studio, specie *Acartia clausi* in Borme 2006; genere *Calanus* in Tudela e Palomera 1995; Calanoidi di forma robusta quali *Candacia armata*, *Temora stylifera*, *Centropages typicus* in Plounevez e Champalbert 2000) ma anche al differente tasso di evacuazione gastrica utilizzato per il calcolo del fabbisogno alimentare. Quest'ultimo è a sua volta legato sia a fattori

ambientali (in particolare la temperatura) che alla qualità d'alimento ingerito. In letteratura sono stati trovati diversi valori di tasso di evacuazione gastrica istantanea, indispensabile per il calcolo del fabbisogno giornaliero. I valori misurato in questo studio (settembre: $R = 0.403 \text{ h}^{-1}$, ottobre: $R = 0.329 \text{ h}^{-1}$) sono prossimi a quelli riportati in letteratura per questa specie da Tudela e Palomera 1995 e 1997 ($R = 0.423 \text{ h}^{-1}$; $R = 0.430 \text{ h}^{-1}$). Sensibilmente più elevato è invece il valore di R riportato ottenuto da Borme (2006, $R = 0.715 \text{ h}^{-1}$) e Bulgakova (1993a: $R = 1.05 \text{ h}^{-1}$).

Un ulteriore fattore che può sicuramente aver differenziato i risultati di questa studio rispetto a quelli che lo hanno preceduto, è da ricercarsi nel fatto che, mentre gli altri autori hanno generalmente ottenuto i loro risultati con acciughe in piena fase riproduttiva, le acciughe analizzate erano prossime alla fine della stagione riproduttiva, come confermato dall'andamento discendente dell'indice gonadosomatico.

4.3. Variabilità mensile dell'indice gonadosomatico e dell'indice del grasso mesenterico in *Sardina pilchardus*

In questo studio è stata evidenziata una stretta relazione fra il contenuto di grasso periviscerale e le dimensioni delle gonadi delle sardine catturate nel Golfo di Trieste. Questo risultato avvalorava l'ipotesi che questa specie, nel periodo estivo, trovi nel Golfo di Trieste un'area di foraggiamento dove accumulare riserve in previsione della futura stagione riproduttiva invernale. Infatti, da osservazioni dirette in laboratorio, è stato constatato che quando la cavità del corpo era abbastanza o interamente colma di grasso sotto forma di manicotti (da giugno a settembre), le dimensioni delle gonadi erano ridotte al minimo; al contrario, le gonadi sono state trovate al massimo delle loro dimensioni e probabilmente anche in pieno stato di maturazione in individui con poche quantità di riserve lipidiche, se non addirittura privi.

Un metodo ampiamente utilizzato per stimare la condizione riproduttiva è quello di esprimere il peso delle gonadi in rapporto al peso corporeo del pesce. L'indice gonadosomatico risultante (IGS) fornisce una semplice misura dello stadio di sviluppo delle gonadi, alternativo a più precisi ma anche più laboriosi metodi come l'istologia delle gonadi o misure del diametro degli oociti (West 1990). Dall'osservazione degli indici gonadosomatici, si è visto che *S. pilchardus* presenta alti valori a maggio e ad ottobre, sinonimo di un'attiva riproduzione, e bassi nei mesi estivi, sinonimo di riposo. Proprio per questo motivo il peso delle gonadi è estremamente variabile e le gonadi maschili solitamente presentano un peso molto più uniforme e con valori mai tanto elevati come quelli delle gonadi femminili; esso dipendente dallo stadio di maturità e dalla taglia del pesce,

inoltre può variare fortemente tra i pesci appartenenti allo stesso banco e anche tra quelli di dimensioni comparabili.

Il contenuto in lipidi delle sardine varia ampiamente con le stagioni, ed è facilmente percepibile osservando le diverse quantità di grasso mesenterico accumulato. La relazione inversa esistente tra l'attività riproduttiva e la deposizione di grasso indica che l'energia immagazzinata durante l'estate sotto forma di grasso mesenterico, e probabilmente accumulata anche nella parte lipidica del muscolo, è poi utilizzata nella futura stagione riproduttiva per supportare la produzione e l'emissione di gruppi di uova. Abdelmouleh e Hadj Ali Salem (1981) osservarono che le sardine accumulano riserve sotto forma di grasso nei visceri, nei muscoli e sotto la pelle, più recentemente Somarakis *et al.* (2000) hanno dimostrato che *S. pilchardus* in Mar Mediterraneo, durante periodi di grande abbondanza di cibo, accumula energia per la futura attività riproduttiva, immagazzinandola sotto forma di grasso.

4.4. Analisi qualitativa della dieta

4.4.1. *Sardina pilchardus*

L'analisi dei contenuti stomacali ha evidenziato che *S. pilchardus* nel Golfo di Trieste, è una specie zooplanctivora, che si nutre in prevalenza di Copepodi, quali *Centropages* spp., i Copepodi della famiglia Clauso-Paracalanidae, o i Ciclopoidi *Oncaea* spp. ed *Oithona* spp., sebbene anche altre categorie di zooplancton, come Tintinnidi e larve di Decapodi siano, in certe occasioni, stati trovati in quantità abbondanti. Questi risultati sono in accordo con quanto trovato da altri autori, che hanno descritto la dieta come composta maggiormente da Copepodi quali *Acartia clausi*, *Temora* spp., altri Calanoidi, Ciclopoidi come *Oithona nana* ed *Oncaea* spp. (Massutí e Oliver 1948, Varela *et al.* 1990, Garrido 2002, Cunha *et al.* 2005, Garrido *et al.* 2008), per quanto fossero stati ritrovati anche altri gruppi zooplanctonici, come Tintinnidi e Cladoceri (in Mediterraneo: Massutí e Oliver 1948, in Atlantico: Varela *et al.* 1988, Cunha *et al.* 2005, Garrido 2002, Garrido *et al.* 2008), e uova di pesce (Varela *et al.* 1988, Garrido 2002) (tab. 19).

Nel contenuto stomacale dei campioni di sardina esaminati sono state ritrovate anche cellule fitoplanctoniche (268 cellule/stomaco= 30.45%), ma le quantità non sono mai state abbondanti quanto quelle trovate nelle sardine di altre aree geografiche (Mar Cantabrico, Portogallo: Navarro e Navaz 1946, Silva 1954, Varela 1990, Garrido 2002, Garrido *et al.* 2008; Sud Africa: van der Lingen 2002), dove la sardina è stata indicata come specie onnivora, capace di alimentarsi anche in modo cospicuo di fitoplancton (Navarro e Navaz 1946, Garrido *et al.*, 2008; van der Lingen 2006).

Area di studio	Taglia (mm)	Tipo analisi	% fitoplancton	% zooplancton	% altri	Autore
Mar Adriatico (primavera)	160-169	Numero prede	7.73	92.27	-	<i>Questo studio</i>
Mar Adriatico (estate)	160-180	Numero prede	4.69	95.31	-	<i>Questo studio</i>
Mar Adriatico (estate)	150-191	Numero prede	30.45	69.55	-	<i>Questo studio</i>
Mar Cantabrico (estate)	130-175	Numero prede	75±11.2	10±2.6	-	Navarro e Navaz (1946)
Mediterraneo (primavera-estate)	37-99	Numero prede	15.1±3.6	82.2±3.5	2.7±1.3	Massutí e Oliver (1948)
Mediterraneo	100-125	Numero prede	31.8±3.7	65.5±3.6	2.7±1.1	Massutí e Oliver (1948)
Galizia (prim.-estate)	adulti	Numero prede	36.6±11.3	57.9±11.8	5.6±3.5	Oliver (1951)
Galizia (primavera)	adulti	Numero prede	28.0±18.2	58.7±14.3	13.3±13.3	Oliver e Navarro (1952)
Portogallo W	adulti	Numero prede	66.2±25.7	33.8±25.7	-	Silva (1954)
Galizia, Mar Cantabrico (inverno-estate)	adulti	Numero prede	35±13.7	55.0±13.7	-	Varela <i>et al.</i> (1988)
Galizia, Mar Cantabrico (inverno-estate)	adulti	Peso contenuto stomacale	42.2±16.1	57.0±16.2	0.8±0.3	Varela <i>et al.</i> (1990)
Portogallo W e S	adulti	Numero prede	66.5±7.3	29.0±6.4	4.5±1.4	Garrido <i>et al.</i> (2002)
Portogallo W e S	adulti	Peso contenuto stomacale	11.3±1.9	77.3±7.8	11.5±7.5	Garrido <i>et al.</i> (2002)
Portogallo W e S	adulti	Peso contenuto stomacale	5.4±4.5	94.6±2.2	0.7±0.2	Cuhna <i>et al.</i> (2005)
Galizia, Mar Cantabrico (primavera)	110-179	Isotopi Carbonio	3.7±1.5	96.3±1.5	-	Bode <i>et al.</i> (2004)
Galizia, Mar Cantabrico (primavera)	110-179	Isotopi Azoto	0.0	100	-	Bode <i>et al.</i> (2004)
Galizia, Mar Cantabrico (primavera)	180-230	Isotopi Carbonio	13.0±1.3	87.0±3.1	-	Bode <i>et al.</i> (2004)
Galizia, Mar Cantabrico (primavera)	180-230	Isotopi Azoto	2.7±1.2	97.3±1.2	-	Bode <i>et al.</i> (2004)
Portogallo W e S	180	Numero prede	80.3±17	16.9±14.7	2.8±5.4	Garrido <i>et al.</i> (2008)
Portogallo W e S	180	Peso contenuto stomacale	17.2±21	55.2±29.8	27.5±31.9	Garrido <i>et al.</i> (2008)
Portogallo W e S	180	Contenuto Carbonio	17.6±20.2	59.7±28.4	22.7±30.4	Garrido <i>et al.</i> (2008)
Galizia, Mar Cantabrico (primavera)	4-2.4	Numero prede	0.1±0.1	87.5±1.8	12.4±1.8	Conway <i>et al.</i> (1994)
Mar Cantabrico	3-2.2	Numero prede	-	94.8±1.4	5.2±1.4	Munuera (2006)
Mar Cantabrico (primavera)	4-2.2	Numero prede	-	93.3±3.8	6.6±3.8	Fernández e González-Quirós (2006)

Tab. 19 Sommario degli studi sulla composizione quantitativa della dieta di *S. pilchardus*

Studi iniziali sulla dieta delle sardine del Benguela riportano che il contenuto stomacale era dominato dal fitoplancton (diatomee) in proporzioni 2:1 relative al volume di fitoplancton rispetto

allo zooplancton (Davies 1957), ipotizzando che le sardine fossero essenzialmente filtratori non selettivi che si alimentavano principalmente di fitoplancton. Questi studi però, basati sia sull'utilizzo di dati di frequenza sia sul metodo volumetrico, portavano ad una sovrastima del contributo apportato dal fitoplancton (James 1987) dovuto in particolare al basso rapporto tra carbonio e volume che si riscontra nel fitoplancton rispetto allo zooplancton. Il fitoplancton, inoltre, presenta bassi livelli di azoto rispetto allo zooplancton, poiché un'unità di volume di copepode possiede una quantità di azoto superiore di almeno 8 volte quella del fitoplancton (van der Lingen 2002). Studi più recenti, atti a valutare quale fosse la componente che fornisce il maggior contributo di carbonio, hanno dimostrato che lo zooplancton concorre alla maggior parte del contributo rispetto al fitoplancton, sebbene questo possa essere un'importante fonte di carbonio in determinate regioni (*upwelling*) o in particolari periodi dell'anno (James 1987, van der Lingen 2002). van der Lingen (2002), in uno studio condotto al largo delle coste del Benguela, trova che, nonostante il fitoplancton sia numericamente dominante nella dieta di *S. sagax*, lo zooplancton contribuisce alla maggiore quantità di carbonio fornito alla dieta. Lo stesso autore suppone che i diversi quantitativi di fitoplancton ritrovati nei contenuti stomacali delle sardine campionate in anni diversi nelle acque al largo del Benguela siano correlati alla diversa disponibilità di questo alimento nell'ambiente. Per esempio, alcune recenti stime hanno indicato come il fitoplancton possa presentare un valore compreso tra 14% e 19% del carbonio totale nel contenuto stomacale delle sardine catturate al largo delle coste portoghesi (Garrido *et al.* 2008).

Per quanto in questo studio il fitoplancton apporti una quantità di carbonio relativamente poco importante alla dieta delle sardine, è probabile che la sua importanza possa variare sia spazialmente sia temporalmente.

Il fatto che all'interno dei contenuti stomacali di sardina catturata nel Golfo di Trieste siano state rinvenute prede di una vasta gamma di taglie (da 20 μm a $>1400\mu\text{m}$) fa supporre che anche la sardina catturata nel Golfo applichi due strategie alimentari diverse, la filtrazione (*filter feeding*) e la predazione visiva (*particulate feeding*). La filtrazione è descritta come la principale modalità di alimentazione di sardina, sia per la capacità di trattenere piccole particelle (come fitoplancton) grazie ai piccoli spazi tra le branchiospine e la struttura dei denticoli, sia perché, come osservato da van der Lingen (1995), contrariamente a quanto avviene per l'acciuga, questo comportamento alimentare per sardina è energeticamente meno dispendioso, rispetto alla predazione visiva. Infatti, oltre al fatto che durante la filtrazione le sardine formano un banco compatto che conferisce idrodinamicità, non si verifica nemmeno l'apertura degli opercoli, causa di attrito e rallentamento (van der Lingen 1995). Sardina adotta invece la predazione visiva in presenza di particelle alimentari di grandi dimensioni.

L'abilità di *S. pilchardus* di passare da una modalità d'alimentazione all'altra è stata recentemente descritta da Garrido *et al.* 2007, i quali hanno osservato in esperimenti condotti in laboratorio, che sardina filtra (*filter feeding*) in presenza di organismi di piccole dimensioni ($\leq 724\mu\text{m}$) e preda visivamente (*particulate feeding*) quando alimentata con prede di grandi dimensioni ($\geq 780\mu\text{m}$). Le due modalità di alimentazione sono adottate contemporaneamente in presenza di prede di un'ampia gamma di taglie.

Tuttavia nel presente studio, sebbene la presenza di microorganismi nei contenuti stomacali avvalori il fatto che sardina riesca a filtrare e trattenere prede di piccole dimensioni, l'applicazione dell'indice di selettività di Ivlev (1955), dimostra che sardina ha adottato un comportamento selettivo anche nei confronti di prede di piccole dimensioni, quali i Copepodi *Corycaeus* spp. e *Oncaea* spp. Un'ulteriore indicazione che sardina non si sia alimentata solo per filtrazione è data dal risultato che, nonostante fossero abbondantemente presenti nell'ambiente, non si siano osservati Cladoceri nei contenuti stomacali.

4.4.2. *Engraulis encrasicolus*

I risultati delle analisi del contenuto stomacale delle acciughe studiate hanno confermato che *E. encrasicolus* è una specie zooplanctivora (tab. 20).

Area di studio	Taglia (mm)	% fitopl.	% copep.	% cladoc.	% altri crost.	% uova pesci-larve	% altro	Autore
Mar Adriatico (fine estate)	114-136	2.0	76.3	0.4	0.8	-	20.5	<i>Questo studio</i>
Mar Adriatico (autunno)	115-137	0.0	87.7	-	0.8	-	11.4	<i>Questo studio</i>
Golfo del Leone (estate)	102-150	-	85	2.0	8.9	1.9	3.3	Plounevez e Champalbert (2000)
Baia di Biscaglia (primavera)	140	-	96.3	0.0	3.4	0.0	0.1	Plounevez e Champalbert (1999)
Baia di Biscaglia (primavera)	125	-	99.5	-	0.5	-	-	Plounevez e Champalbert (1999)
Mar Adriatico (autunno)	80-107	0.3	94	1.9	0.0	0.0	3.5	Borme (2006)
Mar Adriatico (primavera)	89-124	1.0	98	0.2	0.4	0.0	0.7	Borme (2006)
Portogallo W	3-7	2.1	8.4	-	87.5	-	4.3	Ferreira e Ré (1993)
Mar Adriatico (primavera-estate)	2-19	0.0	95	-	-	-	5.0	Conway <i>et al.</i> (1998)
Mediterraneo NW	3-16	3.7	79.5	1.4	0.4	-	14.1	Tudela <i>et al.</i> (2002)
Baia di Biscaglia SE	3-1.3	-	94	-	-	-	6.0	Munuera (2006)

Tab. 20 Schema riassuntivo sulla composizione quantitativa della dieta di *E. encrasicolus* nelle acque europee indicante la composizione percentuale delle prede

Nel Golfo di Trieste la dieta di acciuga risulta composta principalmente da Copepodi di piccole dimensioni (<560µm) rappresentati dalle specie *Oncaea* spp. e *Corycaeus* spp. Già studi precedenti (Tudela e Palomera 1997, Plounevez e Champalbert 1999, 2000; Sciolis 2000, Zollet 2002, Borme 2006) evidenziavano come *Oncaea* spp. fosse una preda particolarmente importante nella dieta di acciuga, così come la specie *Acartia clausi* (Borme 2006, Tudela e Palomera 1997, Plounevez e Champalbert 1999, 2000).

Questi risultati confermano quelli già ottenuti da altri autori che hanno dimostrato che la dieta di *Engraulis* si basa principalmente sullo zooplancton (*Engraulis encrasicolus*: Borme 2006; Bulgakova 1993b, Mikhman e Tomanovich 1977; Bulgakova *et al.* 1997; Tudela e Palomera 1997; Plounevez e Champalbert 1999, 2000; *Engraulis ringens*: Konchina 1991; *Engraulis mordax*: Loukashkin 1970, Koslow 1981, Chiappa-Carrara e Gallardo-Cabello 1993; *Engraulis anchoita*: Angelescu e Anganuzzi 1981; Pájaro 2002; *Engraulis capensis*: James 1987). Va tuttavia ricordato che alcuni studi svolti nel Mar Nero e nel Mar d'Azov hanno messo in evidenza come la specie possa nutrirsi occasionalmente anche di microfitoplancton (Mikhman e Tomanovich 1977, Bulgakova 1993b) e di Tintinnidi (Ferreira e Ré 1993). James (1987) osservò che nei contenuti stomacali di *E. capensis* si possono trovare cellule di microfitoplancton, spesso di grandi dimensioni come quelle dei generi *Rhizosolenia*, *Pleurosigma* e *Coscinodiscus*. Budnichenko *et al.* (1999) osservarono che, quando il mesozooplancton era scarso, l'87% del contenuto stomacale di *E. encrasicolus maeoticus* era composto da microfitoplancton (*Coscinodiscus* spp.).

Il ruolo dello zooplancton nella dieta dell'acciuga diventa comunque assolutamente prioritario, quando si considera l'apporto in carbonio fornito dalle diverse categorie alimentari. Infatti, in un recente lavoro di sintesi, van der Lingen *et al.* (2009) hanno dimostrato che lo zooplancton apporta la maggior quantità di carbonio nella dieta di acciuga in varie regioni geografiche. Chiappa-Carrara e Gallardo-Cabello (1993) avevano già evidenziato che, nonostante le Diatomee e i Dinoflagellati fossero numericamente dominanti nella dieta di *E. mordax*, era lo zooplancton (principalmente uova di acciuga e crostacei) che forniva la quantità maggiore di carbonio della dieta. Più recentemente Espinoza e Bertrand (*in press*) hanno osservato che, nonostante i Copepodi rappresentassero numericamente soltanto lo 0.07% delle prede di *E. rigens*, considerando il contenuto in carbonio, hanno constatato che lo zooplancton era comunque la fonte più importante di carbonio, con valori prossimi al 98%, imputabili agli elevati valori in carbonio degli Eufasiacei (67%) e dei Copepodi (26.3%).

Anche in questo studio, la ricostruzione del contenuto in carbonio delle prede di *E. encrasicolus*, ha permesso di evidenziare che nel Golfo di Trieste la specie ottiene la totalità del carbonio ingerito dallo zooplancton.

5. Conclusioni

Le dinamiche trofiche di sardina e di acciuga nel Golfo di Trieste possono essere così riassunte:

- L'osservazione del ritmo di alimentazione giornaliera di *Sardina pilchardus* ha permesso di evidenziare che l'attività di questa specie si svolge durante le ore di luce, con un picco massimo attorno al tramonto. *Engraulis encrasicolus* esibisce un'attività alimentare prevalentemente diurna, presentando però due picchi massimi rispettivamente nel primo pomeriggio e dopo il crepuscolo.
- Questa tesi presenta le prime stime sul fabbisogno alimentare di esemplari adulti della specie *S. pilchardus* nel mar Adriatico.
- L'analisi dei contenuti stomacali di *S. pilchardus* evidenzia che la dieta nel Golfo di Trieste è costituita principalmente da zooplancton, sebbene vi si possa trovare una discreta quantità di fitoplancton. Al contrario, *E. encrasicolus* risulta essere una specie prettamente zooplanctivora, che si nutre principalmente di copepodi.
- La stima del contenuto in carbonio delle prede di *S. pilchardus* ed *E. encrasicolus*, ha permesso di evidenziare che nel Golfo di Trieste queste specie ottengono la quasi totalità del carbonio dallo zooplancton.
- A differenza di altre aree geografiche, in cui è stato osservato che sardina ed acciuga si differenziano per predare organismi di taglie differenti, nel Golfo di Trieste è stato osservato che sia *S. pilchardus* sia *E. encrasicolus* predano entrambe prevalentemente piccoli copepodi.
- Le condizioni ambientali giocano un ruolo fondamentale nel trofismo delle due specie, influenzando fortemente sulle modificazioni della disponibilità alimentare. In tale contesto risulta indispensabile seguire nel tempo l'evolvere del rapporto piccolo pesce pelagico-comparto planctonico.

Bibliografia

Abdelmouleh A, Hadj Ali Salem M (1981) Etude préliminaire sur les variations des lipides dans différentes parties du corp de la sardine: *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) de la region de Bizerte (Tunisie). Bull Inst Nat Scient Tech Océanogr, Pêche Salammbó 8:53-58

Akyol O, Tokac A, Unsal S (1996) An investigation on the growth and reproduction characteristics of the sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum, 1792) in the Bay of Izmir (Aegean Sea) J Aquat Sci 13:383-394

Alamo AV, Bouchon M (1987) Changes in the food and feeding of the sardine (*Sardinops sagax sagax*) during the years 1980-1984 off the Peruvian coast. J geophys Res 92(c13):14411-14415

Alegría Hernández V (1983) Assessment of pelagic fish abundance along the eastern Adriatic coast with special regard to sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) population. Acta Adriat 24:55-95

Alegría Hernández V, Jardas I, Sinovčić G (1985) Observations on the differences between sardine, *Sardina pilchardus* (Walb.) subpopulations from the eastern Adriatic. FAO Fish Rep 345:137-152

Alexandrov A (1927) Anchois de la mer d'Azoff et de la Mer Noire, leur origine et indications taxonomiques. Rep Sci Sta Fish Kertch 1:93-100

Allen JRM, Wootton RJ (1984) Temporal patterns in diet and rate of food consumption of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in Llyn Frongoch, an upland Welsh lake. Fresh Biol 14:335-346

Amundsen PA, Klemetsen A (1986) Within-sample variabilities in stomach contents weight of fish - implications for field studies of consumption rate. In: Simenstad CA, Cailliet GM (eds) Contemporary Studies on Fish Feeding, Dr W Junk, Dordrecht, 307-314 pp

Amundsen PA, Klemetsen A (1988) Diet gastric evacuation rates and food consumption in a stunted population of Artic charr, *Salvelinus alpinus* L., in Takvatn, northern Norway. J Fish Biol 33:697-709

Andreu B (1953) Sobre la relación entre el número de branquispinas y la talla de la sardina (*Sardina pilchardus*, Walb.) española. Bol Inst Esp Oceanogr 62:3-28

-
- Andreu B (1960) Sobre la aparición de las branquispinas en las formas juveniles de sardina (*Sardina pilchardus*, Walb.) Bol R Soc Esp Hist Nat, Sec Biol 58:199-216
- Andreu B (1969) Las branquispinas en la caracterización de las poblaciones de *Sardina pilchardus* (Walb.) Inv Pesq 33:425-607
- Angelescu V, Anganuzzi A (1981) Resultados sobre la alimentación de la anchoita (*Engraulis anchoita*) en el área explotada por el B/I 'Shinkai Maru' durante las campañas VI (21-9-78 / 12-10-78) y VIII (20-11-78 / 19-12-78) en el Mar Argentino. Contrib. Inst Nac Invest Des Pesq 383:281-298
- Ara K (2001) Temporal variability and production of *Euterpina acutifrons* (Copepoda: Harpacticoida) in the Cananéia Lagoon estuarine system, Sao Paulo, Brazil. Hydrobiologia 453/454:177-187
- Arrhenius F, Hansson S (1994) *In situ* food consumption by young-of-the-year Baltic Sea herring *Clupea harengus*: a test of predictions from a bioenergetics model. Mar Ecol Prog Ser 110:145-149
- Atarhouch T, Rami M, Naciri M, Dakkar A (2007) Genetic population structure of sardine (*Sardina pilchardus*) off Morocco detected with intron polymorphism (EPIC-PCR). Mar Biol 150:521-528
- Awaiwanont K, Gunarso W, Sameshima M, Hayashi S, Kawamura G (2001) Grouped, stacked rods and tapeta lucida in the retina of Japanese anchovy *Engraulis japonicus*. Fish Sci (Tokio) 67:804-810
- Azzali M (1980) Summary of the results of the research project "Evaluation of pelagic resources using electroacoustic instruments" from 1975 to 1980. FAO Fish Rep 239:33-42
- Azzali M, Cosimi G, Luna M (1983) Some applications and preliminary results of acoustic methods in monitoring resources in the north and middle Adriatic sea. FAO Fish Rep 290:201-215
- Azzali M, Buracchi G, Conti S, Gambetti S, Luna M (1985) Relationships between the forms of pelagic fish distribution and nycthemeral periods. A tentative model of behaviour. Oebalia 11:471-488

-
- Bajkov AD (1935) How to estimate the daily food consumption of fish under natural conditions. *Trans Am Fish Soc* 65:288-289
- Baldó F, García-Isarch E, Jiménez MP, Romero Z, Sánchez –Lamadrid A, Catalán IA (2006) Spatial and temporal distribution of the early life stages of the three commercial fish species in the northeastern shelf of the Gulf of Cádiz. *Deep Sea Res II* 53:1391-1401
- Baltëza B (1985) On the structural characteristics of sardine schools (*Sardina pilchardus* Walb.) along the Albanian coast in the winter period. *FAO Fish Rep* 342:161-163
- Båmstedt U (1986) Chemical composition and energy content. In: Corner EDS, O’Hara SCM (eds) *The Biological Chemistry of Marine Copepods*. Clarendon Press, Oxford, 1-58 pp
- Batty RS, Blaxter JHS, Richard JM (1990) Light intensity and feeding behaviour of herring, *Clupea harengus*. *Mar Biol* 107:383-388
- Beare D, Burns F, Jones E, Peach K, Portilla E, Greig T, Mckenzie E, Reid D (2004) An increase in the abundance of anchovies and sardines in the north-western North Sea since 1995. *Global Change Biology* 10(7):1209-1213
- Bellido JM, Pierce GJ, Romero JL, Millan M (2000) Use of frequency analysis methods to estimate growth of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) in the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Fish Res* 48:107-115
- Bembo DG, Carvalho GR, Cingolani N, Arneri E, Giannetti G, Pitcher TJ (1996) Allozymic and morphometric evidence for two stocks of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Adriatic waters. *Mar Biol* 126:529-538
- Ben-Yami M (1976) *Fishing with light*. FAO Fishing Manuals. Fishing News Books Ltd., Surrey, England, 121 pp
- Bensam P (1964) Differences in the food and feeding adaptations between juveniles and adults of the Indian oil sardine, *Sardinella longiceps* Valenciennes. *Indian J Fish Ser A* 11:337-390
- Blaxter JHS, Hunter JR (1982) The Biology of the Clupeoid Fishes. In: Blaxter JHS, Russell FS, Yonge M (eds) *Adv Mar Biol* 20:3-223

-
- 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 J Mar Sci* 60:11-22
- Bode A, Alvarez-Ossorio MT, Carrera P, Lorenzo J (2004) Reconstruction of trophic pathways between plankton and the North Iberian sardine (*Sardina pilchardus*) using stable isotopes. *Sci Mar* 68:165-178
- Boisclair D, Leggett WC (1985) Rates of food exploitation by littoral fishes in a mesotrophic north-temperate lake. *Can J Fish Aquat Sci* 42:556-566
- Boisclair D, Leggett WC (1988) In situ experimental evaluation of the Elliott & Persson and the Eggers models for estimating fish daily ration. *Can J Fish Aquat Sci* 45:138-145
- Boisclair D, Leggett WC (1989) Among-population variability of fish growth: I. Influence of the quantity of food consumed. *Can J Fish Aquat Sci* 46:457-467
- Bombace G (1990) Fisheries of the Adriatic Sea. In: *The Adriatic Sea. Papers presented at the XXV Eur Mar Biol Sym, University of Ferrara*:57-67 pp
- Booth DJ (1990) Effect of water temperature on stomach evacuation rates, and estimation of daily food intake of bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus* Rafinesque). *Can J Zool* 68:591-595
- Borgström RA, Braband A, Solheim (1992) Effect of siltation on resource utilization and dynamics of allopatric brown trout, *Salmo trutta*, in a reservoir. *Env Biol Fish* 34:247-255
- Borme D (2006) Ecologia trofica dell'acciuga *Engraulis encrasicolus* in Adriatico settentrionale. Tesi di dottorato. Università degli studi di Trieste, Trieste
- Budnichenko EV, Firulina AV, Bulgakova YV (1999) Feeding conditions of Azov anchovy *Engraulis encrasicolus maeoticus* during summer-fall 1995-1996. *J Ichthyol* 39:248-255
- Bulgakova YV (1992) Feeding intensity of the Black Sea anchovy *Engraulis encrasicolus ponticus* during spawning season. *Vopr Ikhtiol* 32:168-171
- Bulgakova Y (1993a) Intensity of feeding of the Black Sea anchovy, *Engraulis encrasicolus*, during the spawning period. *J Ichthyol* 32(7):146-151

-
- Bulgakova YV (1993b) Daily feeding dynamics of the Black Sea anchovy, *Engraulis encrasicolus*. J Ichthyol 33(7):78-88
- Bulgakova YV, Andrianov DP, Lisovenko LA (1997) Estimation of feeding intensity of Black Sea anchovy *Engraulis encrasicolus ponticus*. J Ichthyol 37:617-623
- Cardin V, Celio M (1997) Cluster analysis as a statistical method for identification of the water bodies present in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). Boll Geof Teor Appl 38 (1/2):119-135
- Carvalho GR, Bembo DG, Carone A, Giesbrecht G, Cingolani N, Pitcher TJ (1994) Stock discrimination in relation to the assessment of the Adriatic anchovy and sardine fisheries. Final Rep Europ Comm XIV-1/MED//91001/A. 172 pp
- Cataletto B, Fonda Umani S (1994) Seasonal variations in carbon and nitrogen content of *Acartia clausi* (Copepoda, Calanoida) in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). Hydrobiologia 292/293:283-288
- Cataletto B, Feoli E, Fonda Umani S, Cheng Yong S (1995) Eleven years of time series analysis on the net-zooplankton community in the Gulf of Trieste. ICES J Mar Sci 52:669-678
- Chabanaud P (1926) Sur les cluupeides du genre *Sardina* et de divers genres voisins. Bull Soc Zool France 51:8-16
- Chiappa-Carrara X, Gallardo-Cabello M (1993) Feeding behavior and dietary composition of the Northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard (Pisces: Engraulidae) off Baja California, Mexico. Cienc Mar 19:285-305
- Chisholm LA, Roff JC (1990) Size-weight relationships and biomass of tropical neritic copepods off Kingston, Jamaica. Mar Biol 106:71-77
- Cingolani N, Kirkwood G, Riannetti G, Arneri E, Levi D (1996) Note on the stock assessment of *Engraulis encrasicolus* (L) and *Sardina pilchardus* (Walb) of the Northern and Central Adriatic Sea. FAO Fish Rep. Rome: Fao, FIPL/3553 (SI):1-5
- Cingolani N, Kariš T, Sinovčić G, Kapedani E (2003a) Sardine (*Sardina pilchardus*, Walb.) stock assessment in the Adriatic Sea: 1975-2002. Paper presented at the GFCM-SAC

Working group on Small Pelagic Species (Tangier, 12th-14th March 2003). FAO-MiPAF Scientific Cooperation to Support Responsible Fisheries in the Adriatic Sea. GCP/RER/010/ITA/OP-09. AdriaMed Occasional Papers 10:1-11 pp

Cingolani N, Kariš T, Sinovčić G, Kapedani E (2003b) Anchovy (*Engraulis encrasicolus*, L.) stock assessment in the Adriatic Sea: 1975-2002. Paper presented at the GFCM-SAC Working group on Small Pelagic Species (Tangier, 12th-14th March 2003). FAO-MiPAF Scientific Cooperation to Support Responsible Fisheries in the Adriatic Sea. GCP/RER/010/ITA/OP-09. AdriaMed Occasional Papers 9:12 pp

Comici C, Bussani A (2007) Analysis of Isonzo River discharge (1998-2005) Boll Geof Teor Appl 48:435-454

Coombs SH, Halliday NC, Southward AJ, Hawkins SJ (2005) Distribution and abundance of sardine (*Sardina pilchardus*) eggs in the English Channel from Continuous Plankton Recorder sampling, 1958–1980. J Mar Biol Ass 85:1243–1247

Coombs SH, Smyth TJ, Conway DVP, Halliday NC, Bernal M, Stratoudakis Y, Alvarez P (2006) Spawning season and temperature relationships for sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern North Atlantic. J Mar Biol Ass UK 86(5):1245-1252

Conway DVP, Coombs SH, Fernández de Puelles ML, Tranter PRG (1994) Feeding of larval sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum), off the north coast of Spain. Bol Inst Esp Oceanogr 10(2):165-175

Conway DVP, Coombs SH, Smith C (1998) Feeding of anchovy *Engraulis encrasicolus* larvae in the northwestern Adriatic Sea in response to changing hydrobiological conditions. Mar Ecol Prog Ser 175:35-49

Costa F (1991) Atlante dei pesci dei mari italiani. Mursia, 429 pp

Covelli S, Fontolan G (1997) Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. Environ Geol 30 (1/2):34-45

Coward K, Bromage N (2000) Reproductive physiology of female tilapia broodstock. Rev Fish Biol Fish 10:1–25

Crowder LB (1985) Optimal foraging and feeding mode shifts in fishes. *Environ Biol Fish* 12:57-62

Cunha ME, Figueiredo I (1988) Reproductive cycle of *S. pilchardus* in the central region off the Portuguese coast (1971/1987). ICES, CM 1988/H 61:1-30

Cunha ME, Garrido S, Pissarra J (2005) The use of stomach fullness and colour indices to assess *Sardina pilchardus* feeding. *J Mar Biol Ass UK* 85:425-431

Culley M (1971) The pilchard, biology and exploitation. Kerkut GA (ed) Pergamon Press, Oxford, 241 pp

Cushing DH (1978) Upper trophic levels in upwelling areas. In: Boje R, Tomczak M (eds) New York: Springer-Verlag. *Upwelling Ecosystems*:101-110 pp

Davies DH (1957) The South African pilchard (*Sardinops ocellata*). Preliminary report on feeding off the West Coast, 1953-56. *Investl Rep Div Fish S Afr* 30:40 pp

Dulčić J (1999) The diet of larval sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the Eastern Central Adriatic. *Annales* 9:9-14

Dulzetto F (1938) Sui caratteri biometrici dell'acciuga "*Engraulis encrasicolus* L." del Golfo di Catania. *Boll Pesca Piscic Idrobiol* 14(2):180-209

Durbin AG (1979) Food selection by plankton feeding fishes. In: Clepper H (ed) Washington, DC: Sport Fishing Institute. *Predator-Prey System in Fisheries Management* 203-218 pp

Durbin AG, Durbin EG (1975) Grazing rates of the Atlantic Menhaden *Brevoortia tyrannus* as a function of particle size and concentration. *Mar Biol* 33:265-277

Durbin EG, Durbin AG (1978) Length and weight relationships of *Acartia clausi* from Narragansett Bay, R.I. *Limnol Oceanogr* 23:958-969

Durbin EG, Durbin AG, Langton RW, Bowman RE (1983) Stomach contents of Silver hake, *Merluccius bilinearis*, and Atlantic cod, *Gadus morhua*, and estimation of their daily rations. *Fish Bull US* 81(3):437-454.

-
- Eggers DM (1977) Factors in interpreting data obtained by diel sampling of fish stomachs. J Fish Res Board Can 34:290-294
- Eggers DM (1979) Comments on some recent methods for estimating food consumption by fish. J Fish Res Board Can 36:1018-1019
- Elliott JM, Persson L (1978) The estimation of daily rates of food consumption for fish. J Anim Ecol 47:977-991
- Emery AR (1978) The basis of fish community structure: marine and freshwater comparison. Env Biol Fish 3:33-47
- Ensing W, Strange RJ, Moore SE (1990) Summer food limitation reduces brook and rainbow trout biomass in a southern Appalachian stream. Trans Amer Fish Soc 119:894-901
- Espinoza P, Bertrand A (*in press*) Revising anchovy (*Engraulis rigens*) trophic niche and ecological role reveals its plasticity and provides a new vision of the Humboldt Current system. Prog Oceanogr
- Espinoza P, Navarro I, Torriani F (1998) Variaciones en el espectro alimentario de los principales precursores pelágicos durante el otoño 198. Crucero BIC Humboldt 9803-05 de Tumbres a Tacna. Inf Inst Mar Perú 138:134-152
- Ettahiri O, Berraho AM, Vidy G, Ramdani M, Do Chi T (2003) Observations on the spawning of *Sardina* and *Sardinella* off the south Moroccan Atlantic coast (21-26N) Fish Res 60:207-222
- Fage L (1911) Recherches sur la biologie de l'anchois (*Engraulis encrasicolus* Linné); races-age-migrations. Ann Inst Océanogr, Paris, 2 (4):140 pp
- Fage L (1920) Engraulidae, Clupeidae. Rep Danish oceanogr Exped Medit 2 (A9):136 pp
- Falco P, Belardinelli A, Santojanni A, Cingolani N, Russo A, Arneri E (2007) An observing system for the collection of fishery and oceanographic data. Ocean Sci 3:189-203
- Fernández IM, González-Quirós R (2006) Analysis of feeding of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) larval stages in the central Cantabrian Sea. Sci Mar 70(S1):131-139

-
- Ferreira PL, Ré P (1993) Feeding of larval anchovy, *Engraulis encrasicolus* (L.), in the Mira estuary (Portugal). *Port Zool* 2(3):1-37
- Figueiredo GM, Vieira JP (2005) Diel feeding, daily food consumption and the predatory impact of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in an estuarine environment. *Mar Ecol* 26(2):130-139
- Fineran BA, Nicol JAC (1976) Novel cones in the retina of the anchovy (Anchoa). *J Ultrastruct Res* 54:296-303
- Fineran BA, Nicol JAC (1978) Studies on the photoreceptors of *Anchoa mitchilli* and *A. hepsetus* (Engraulidae) with particular reference to the cones. *Phil Trans R Soc Lond* 994B:25-60
- Fonda Umani S (1996) Pelagic biomass and production in the Adriatic Sea. *Sci Mar* 60:65-77
- Fonda Umani S, Specchi M, Buda-Dancevich M, Zanolla F (1979) Lo zooplancton raccolto presso le due bocche principali della Laguna di Grado (Alto Adriatico - Golfo di Trieste). I. Dati quantitativi. *Boll Soc Adriatica Sci* 63:83-95
- Fonda Umani S, Franco P, Ghirardelli E, Malej A (1992) Outline of oceanography and the plankton of the Adriatic Sea. In: Colombo G, Ferrari I, Ceccherelli VU, Rossi R (eds): *Marine Eutrofication and Population Dynamics*, pp 347-365
- Fréon P, Stéquert B (1979) Note sur la presence de *Sardina pilchardus* (Walb.) au Senegal: Etude de la biometrie et interpretation. *Cybium* 6:65-90
- Furnestin J, Furnestin ML (1959) La reproduction de la sardine et de l'anchois des côtes Atlantiques de Maroc (saison et aires de ponte). *Rev Tran Inst Pêches Mar* 23:79-104
- Gamulin T (1964) Značenje sjevernog plitkog Jadrana za bolje poznavanje pelagičkih riba. *Acta Adriat* 11(11):91-96
- Gamulin T, Hure J (1955) Contribution a la connaissance de l'ecologie de la ponte de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) dans l'Adriatique. *Acta Adriat* 7:3-23

-
- Gamulin T, Hure J (1983) The spawning and spawning areas of pelagic fishes (*Sardina pilchardus*, *Engraulis encrasicolus*, *Scomber scombrus*, *Sardinella aurita* and *Sprattus sprattus*) in the Adriatic Sea. *Acta Adriat* 24:97-131
- Ganias K, Somarakis S, Caragitsou E, Koutsikopoulos C, Machias A, Theodorou A (2001) Differential egg production of sardine off the central Hellenic coasts in December 1999. *Rapp Comm int Mer Medit* 36:268
- Ganias K, Somarakis S, Machias A, Theodorou A (2004) Pattern of oocyte development and batch fecundity in the Mediterranean sardine. *Fish Res* 67:13-23
- Garcia LM, Adelman IR (1985) An in situ estimate of daily food consumption and alimentary canal evacuation rates of common carp, *Cyprinus carpio* L. *J Fish Biol* 27:487-493
- García A, Franco C, Solá A, Alonso M, Rodríguez JM (1988) Distribution of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) egg and larval abundances off the Spanish North Atlantic coast (Galician and Cantabrian areas) in April 1987. *ICES, CM* 1988/H 21:1-8
- Garrido S (2002) Alimentação de la *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) ao longo de costa continental portuguesa e implicações da condição nutricional das fêmeas na qualidade dos oócitos. M Sc thesis. Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Garrido S, Marçalo A, Zwolinski J, van der Lingen CD (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 PB, Cunha ME, Chícharo MA, van der Lingen CD (2008) Diet and feeding intensity of sardine *Sardina pilchardus*: correlation with satellite-derived chlorophyll data. *Mar Ecol Prog Ser* 354:245-256
- Ghirardelli E (1967) I fattori che regolano la microdistribuzione superficiale del plancton: la temperatura. *Boll Soc Adr Sci* 55:18-86
- Gibson RN, Ezzi IA (1985) Effect of particle concentration on filter- and particle-feeding in the herring *Clupea harengus*. *Mar Biol* 88:109-116

-
- Godin J-GJ (1981) Daily patterns of feeding behaviour, daily rations, and diets of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in two marine bays of British Columbia. *Can J Fish Aquat Sci* 38:10-15
- Grant WS, Bowen BW (1998) Shallow population histories in deep evolutionary linkages of marine fishes: insights from sardines and anchovies and lessons for conservation. *J Hered* 89:415-426
- Grbec B, Dulčić J, Morović M (2002) Long-term changes in landings of small pelagic fish in the eastern Adriatic - possible influence of climate oscillations over the northern hemisphere. *Clim Res* 20:241-252
- Gushima K, Kondou K, Murakami Y (1977) Diel change in daily composition of reef fishes. *J Fac Fish Anim Husb, Hiroshima Univ* 16:151-156
- Hand CH, Berner L (1959) Food of the Pacific sardine (*Sardinops caerulea*). *Fishery Bull Fish Wildl Serv, US* 60(164):175-184
- Hay SJ, Kiørboe T, Matthews A (1991) Zooplankton biomass and production in the North Sea during the Autumn Circulation Experiment, October 1987 – March 1988. *Cont Shelf Res* 11:1453-1476.
- Haynes GM, Nichols JH (1994) Pilchard (*Sardina pilchardus*, Walbaum) egg distribution in the English Channel from plankton surveys in 1978, 1981, 1988 and 1991. *J Plankton Res* 16:771–782
- Hayward RS (1991) Bias associated with using the Eggers model for estimating fish daily ration. *Can J Fish Aquat Sci* 48:1100-1103
- Héroux D (1990) Applicabilité d'une méthode basée sur le modèle de Eggers (1977), pour estimer les taux journaliers de consommation de l'omble de fontaine, *Salvelinus fontinalis*, en milieu naturel. Master's thesis. Université du Québec à Trois-Rivières. Trois-Rivières
- Héroux D, Magnan P (1996) In situ determination of food daily ration in fish: review and field evaluation. *Env Biol Fish* 46:61-74

-
- Herrera G, Claramunt G, Pizarro P (1994) Ovarian dynamics of the spanish sardine (*Sardinops sagax*) in northern Chile, period April 1992—March 1993 analysis by size stratum. *Rev Biol Mar Valparaiso* 29:47–166
- Heß M, Melzer RR, Eser R, Smola U (2006) The structure of anchovy outer retinae (Engraulididae, Clupeiformes) – A comparative light- and electron- microscopic study using museum-stored material. *J Morph* 267:1356-1380
- Holanov SH, Tash JC (1978) Particulate and filter feeding in threadfin shad, *Dorosoma petenense*, at different light intensities. *J Fish Biol* 13:619-625
- Hopcroft RR, Crof JC, Lombard D (1998) Production of tropical copepods in Kingston Harbour, Jamaica: the importance of small species. *Mar Biol* 130(4):593-604
- Hunter JR, Dorr H (1982) Thresholds for filter feeding in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Rep Calif coop oceanic Fish Invest* 23:198-204
- Hunter JR, Nicoll R (1984) Visual thresholds for schooling in northern anchovy *Engraulis mordax*. *Fish Bull US* 83:235-242
- Hure J (1964) Rythme saisonnier de la distribution vertical du zooplancton dans les eaux profondes de l'Adriatique meridionale. *Acta Adriat* 11(22):167-172
- Ibaibarriaga L, Irigoien X, Santos M, Motos L, Fives J, Franco C, Lago de Lanzós A, Acevedo S, Bernal M, Bez N, Eltink G, Farinha A, Hammer C, Iversen S, Milligan S, Reid D (2007) Egg and larvae distribution of seven fish species in the north-east Atlantic waters. *Fish Oceanogr* 16(3):284-293
- Ivlev VS (1955): *Experimental ecology of feeding fishes*. Translated by D. Scott, New Haven, Yale University Press, 1961, p 302
- James AG (1987) Feeding ecology, diet and field-based studies on feeding selectivity of the Cape anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist. In: Payne AIL, Gulland JA, Brink KH (eds) *The Benguela and comparable ecosystems*. *S Afr J Mar Sci* 5:673-692
- James AG (1988) Are clupeid microphagists herbivorous or omnivorous? A review of the diets of some commercially important clupeids. *S Afr J Mar Sci* 7:161-177

James AG, Findlay KP (1989) Effect of particle size and concentration on feeding behaviour, selectivity and rates of food ingestion by the Cape anchovy *Engraulis capensis*. Mar Ecol Prog Ser 50:275-294

James AG, Probyn T (1989) The relationship between respiration rate, swimming speed and feeding behaviour in the Cape anchovy *Engraulis capensis* Gilchrist. J Exp Mar Biol Ecol 131:81-100

Janssen J (1976) Feeding modes and prey size selection in the alewife (*Alosa pseudoharengus*). J Fish Res Board Can 33:1972-1975

Jarre A, Palomares ML, Soriano ML, Sambilay VC Jr, Pauly D (1991) Some new analytical and comparative methods for estimating the food consumption of fish. ICES Mar Sci Symp 193:99-108

Jordan RS (1971) Distribution of anchoveta (*Engraulis ringens* J.) in relation to the environment. Inv Pesq 335(1):113-126

Junquera S, Perez-Gándaras G (1992) Analysis of the stock identity in Bay of Biscay anchovy using biological parameters. ICES CM 1992/H:10

Junquera S, Perez-Gándaras G (1993) Population diversity in Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) as revealed by multivariate analysis of morphometric and meristic characters. ICES J Mar Sci 50:383-391

Kačić I (1981) Pelagic fish in the northern Adriatic - distribution and movements. FAO Fish Rep 253:131-136

Kamburska L, Fonda Umani S (2006) Long-term copepods dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): recent changes and trends. Clim Res 31:195-203

Karlovac J (1963) Contribution à la connaissance de la ponte de l'anchois (*Engraulis encrasicolus* L.) dans la haute Adriatique. Rapp Comm Int Mer Médit 17(2):321-326

King DPF, Macleod PR (1976) Comparison of the food and the filtering mechanism of pilchard *Sardinops ocellata* and anchovy *Engraulis capensis* off South West Africa, 1971-1972. Investl Rep Sea Fish Inst S Afr 111:1-29

-
- Kjørboe T, Møhlenberg F, Riisgård HU (1985) *In situ* feeding rates of planktonic copepods: a comparison of four methods. *J Exp Mar Biol Ecol* 88:67-81
- Konchina YV (1991) Trophic status of the Peruvian anchovy and sardine. *J Ichthyol* 31:59-71
- Koslow JA (1981) Feeding selectivity of schools of northern anchovy, *Engraulis mordax*, in the Southern California Bight. *Fish Bull* 79:131-142
- Koutrakis E, Tsikliras A, Kamidis N (2001) On the biology of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) in the Gulf of Kavala. In: Proceedings of the 10th Panhellenic Conf Ichthyol, Chania, Greece, 69–72 pp
- Krvarić M, Mužinić R (1950) Investigation into the fat content in the sardine tissues (*Clupea pilchardus* Walb.). *Acta Adriat* 4(8):1-26
- Lee JY (1962) Sardines de l'Atlantique et sardines de la Méditerranée. Différences morphologiques, biologiques et sérologiques. Conseil International pour l'Exploration de la Mer. Council Meeting. Comité de la Sardine 14:1-5
- Leong RJH, O'Connell CP (1969) A laboratory study of particulate and filter feeding of the northern anchovy (*Engraulis mordax*). *J Fish Res Board Can* 26:557-582
- Levi D, Andreoli MG, Arneri E, Giannetti G, Rizzo P (1994) Otolith reading as a tool for stock identification. *Fish Res* 20:97-107
- Longhurst AR (1971) The clupeid resources of tropical seas. *Oceanogr Mar Biol* 9:349-385
- Loukashkin AS (1970) On the diet and feeding behavior of the Northern anchovy, *Engraulis mordax* (Girard). *Proc Calif Acad Sci* 37:419-458
- Louw GG, van der Lingen CD, Gibbons MJ (1998) Differential feeding by sardine *Sardinops sagax* and anchovy *Engraulis capensis* recruits in mixed shoals. In: Pillar SC, Moloney CL, Payne AIL, Shillington FA (eds) Benguela dynamics: impacts of variability on shelf-sea environments and their living resources. *S Afr J Mar Sci* 19:227-232

Magoulas A, Castilho R, Caetano S, Marcato S, Patarnello T (2006) Mitochondrial DNA reveals a mosaic pattern of phylogeographical structure in Atlantic and Mediterranean population of anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Mol Phyl Evol* 39(3):734-746

Majarova AA, Chugunova NI (1954) *Biologia, raspredelenie i otsenka zapasa chernomorskoj khamsy*. *Trud vsesoiuz nauch- issled Inst morsk ryb Khoz* 28:5-33

Malačič V, Petelin B (2001) Gulf of Trieste. In: Cushman-Roisin B, Gačić M, Poulain PM, Artegiani A (eds) *Physical Oceanography of the Adriatic Sea, Past, Present, Future*. Kluwer Academics Publisher, 167-181 pp

Malačič V, Celio M, Čermelj B, Bussani A, Comici C (2006) Interannual evolution of seasonal thermohaline properties in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic) 1991-2003. *J Geophys Res* 111, C08009, doi:10.1029/2005JC003267.

Malej A, Mozetič P, Turk V, Terzić S, Ahel M, Cauwet G (1995) Phytoplankton responses to freshwater inputs in a small semi-enclosed gulf (Gulf of Trieste, Adriatic Sea). *Mar Ecol Prog Ser* 120:111-121

Massutí M, Oliver M (1948) Estudio de la biometría y biología de la sardina de Mahón (Balears), especialmente de su alimentación. *Bol Inst Esp Oceanogr* 3:1-15

Mauchline J (1998) The biology of Calanoid Copepods. Blaxter JHS, Southward AJ, Tyler PA (eds) *Adv Mar Biol* 710 pp

McEwan MR (1938) A comparison of the retina of mormyrids with that have various other teleosts. *Acta Zoologica* 19:427-465

Melo YC (1992) The biology of the anchovy *Engraulis capensis* in the Benguela Current region. Ph.D. thesis, University of Stellenbosch:180 pp

Mikhman AS, Tomanovich LV (1977) The feeding of the Azov anchovy, *Engraulis encrasicolus maeoticus*. *J Ichthyol* 17:240-244

Millan M (1999) Reproductive characteristics and condition status of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. from the Bay of Cadiz (SW Spain). *Fish Res* 41:73-86

-
- Morello EB, Arneri E (*in press*) Anchovy and sardine in the Adriatic Sea: an ecological review oceanography and marine biology: an annual review. 47
- Mosetti F (1988) Condizioni idrologiche della costiera triestina. *Hydrores* 6:29-38
- Motos L, Uriarte A, Valencia V (1996) The spawning environment of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Sci Mar* 60:117-140
- Mozetič P, Fonda Umani S, Cataletto B, Malej A (1998) Seasonal and inter-annual plankton variability in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *ICES J Mar Sci* 55:711-722
- Mozetič P, Fonda Umani S, Kamburska L (2002) Plankton variability in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *Archo Oceanogr Limnol* 23:7-19
- Muiño R, Carrera P, Iglesias M (2003) The characterization of sardine (*Sardina pilchardus* Walbaum) schools off the Spanish-Atlantic coast. *ICES J Mar Sci* 60:1361-1372
- Munekiyo M (1990) Diurnal vertical migration of a ribbon fish in the western Wakasa Bay. *Bull Jap Soc Sci Fish* 56(8):1193-1197
- Munuera I (2006) Ecología de la alimentación de las larvas de *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), *Scomber scombrus* (Linné, 1788) y *Engraulis encrasicolus* (Linné, 1798) en el mar Cantábrico. Ph.D. thesis, Universidad de Oviedo, Oviedo, Spain
- Munuera Fernández I, González-Quirós R (2006) Analysis of feeding of *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) larval stages in the central Cantabrian Sea. *Sci Mar* 70(S1):131-139
- Mužinić R (1954) Contribution à l'étude de l'oecologie de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) dans l'Adriatique orientale. *Acta Adriat* 5:1-219
- Mužinić R (1964) Neka opažanja o reagiranju srdele (*Sardina pilchardus* Walb.) na svjetlo u eksperimentalnim uvjetima. *Acta Adriat* 11(30):219-226
- Mužinić R (1969) On the catch distribution of the Yugoslav sardine, sprat, anchovy, mackerel and Spanish mackerel fisheries throughout the year. II. Characteristics of the catch distribution of the sardine, sprat, anchovy, mackerel and Spanish mackerel to light under experimental conditions. *Acta Adriat* 11(39):219-226

Mužinić R (1973) Migrations of adult sardines in the central Adriatic. *Neth J Sea Res* 7:19-30

Nakai Z, Honjo Y, Kidachi T, Suzuki H, Yokota T *et al.* (1962) Iwashirui kokisigyo no syokuzi to kanyuryo tonokanie (Relationship between food organism and size of recruitment of iwasi). *Suisan Sigen ni kansuru kuodo kenkyu suisin kaigi hokokusho*, Showa 36 nendo, 102-121, Norin Suisan Gijutsu Kaigi, Tokio

Navarro FDP, Navaz JM (1946) Apuntes para la biología y biometría de la sardina, anchoa, boga y chicharro de las costas vascas. *Inst Esp Oceanogr. Notas y Resúmenes* 134

Nicolas JM (1999) Vitellogenesis in fish and the effects of polycyclic aromatic hydrocarbon contaminants. *Aquat Toxicol* 45:77-90

O'Connell CP (1963) The structure of eye of *Sardinops caerulea*, *Engraulis mordax*, and four other pelagic marine teleosts. *J Morphol* 113:287-330.

O'Connell C P, Zweifel JR (1972) A laboratory study of particulate and filter feeding of the Pacific mackerel, *Scomber japonicus*. *Fish Bull* 70(3):973-981

Okul AV (1941) Feeding of planktivorous fishes in the Sea of Azov. *Zool Zh* 20:587-603

Oliver M (1951) La sardine de la costa noroeste española en 1948 y 1949 (Estudio biométrico y biológico). *Bol Inst Esp Oceanogr* 42:1-22

Oliver M, Navarro FDP (1952) Nuevos datos sobre la sardina de Vigo. *Bol Inst Esp Oceanogr* 56:25-39

Olivotti R, Faganeli J, Malej A (1986) Impact of organic pollutants on coastal waters. *Water Sci Technol* 18:57-68

Omori M (1969) Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. *Mar Biol* 3:4-10

Orel G, Zamboni R (2001) Proposte per un piano pluriennale di gestione della fascia costiera del Golfo di Trieste. I edizione. ARIES- Progetto Pilota Pesca. C.C.I.I.A.A. Trieste, 187 pp

-
- Pájaro M (2002) Alimentación de la anchoíta argentina (*Engraulis anchoita* Hubbs y Marini, 1935) (Pisces: Clupeiformes) durante la época reproductiva. *Rev Invest Desarr Pesq* 15:111-125
- Palomera I (1991) Vertical distribution of eggs and larvae of *Engraulis encrasicolus* in stratified waters of the western Mediterranean. *Mar Biol* 111:37-44
- Palomera I (1992) Spawning of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Northwestern Mediterranean relative to hydrographic features in the region. *Mar Ecol Prog Ser* 79:215-223
- Palomera I, Sabates A (1990) Co-occurrence of *Engraulis encrasicolus* and *Sardinella aurita* eggs and larvae, in the western Mediterranean. *Sci Mar* 54:61-67
- Parrish JK (1999) Using behaviour and ecology to exploit schooling fishes. *Env Biol Fish* 55:157-181
- Parrish DL, Margraf FJ (1990) Gastric evacuation rates of white perch, *Morone americana*, determined from laboratory and field data. *Env Biol Fish* 29:155-158
- Parrish RH, Serra R, Grant WS (1989) The monotypic sardines, *Sardina* and *Sardinops*: their taxonomy, distribution, stock structure, and zoogeography. *Can J Fish Aquat Sci* 46:2019-2036
- Persson L (1986) Patterns of food evacuation in fishes: a critical review. *Env Biol Fish* 15:51-58
- Petitgas P, Massé J, Bourriau P, Beillois P, Bergeron JP, Delmas D, Herbland A, Koueta N, Froidefond JM, Santos M (2006) Hydroplankton characteristics and their relationship with sardine and anchovy distributions on the French shelf of the Bay of Biscay. *Sci Mar* 70 (Suppl.1):161–172
- Piccinetti C (2001) Distribution of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) eggs in the Adriatic Sea. Priority topics related to small pelagic fishery resources of the Adriatic Sea. – Report of the first meeting of the AdriaMed Working Group on Small Pelagic Resources, Split, 12-13 October 2000. ADRIAMED Tech Doc n° 3, 78-81 pp

-
- Piccinetti C, Specchi M (1984) Ricerca e pesca pelagica in Adriatico: determinazione dello stock dei piccoli pesci pelagici con il metodo delle uova e larve. *Nova Thalassia* 6 (Suppl):333-342
- Piccinetti C, Regner S, Specchi M (1980) Etat des stocks d'anchois et de sardine en Adriatique. *FAO Fish Rep* 239:43-52
- Piccinetti C, Regner S, Specchi M (1981) Distribution des oeufs de sardine en Adriatique. *Rapp Comm Int mer Medit* 27(5):167-170
- Piccinetti C, Regner S, Specchi M (1982) Preliminary data on larval and postlarval mortality of anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in the Northern and Central Adriatic. *Acta Adriat* 23:449-456
- Pitcher TJ (1986) Functions of shoaling behaviour in teleosts. In: Pitcher TJ (ed) *The behaviour of teleost fishes*. John Hopkins Press, Baltimore, 294-337 pp
- Plounevez S, Champalbert G (1999) Feeding behaviour and trophic environment of *Engraulis encrasicolus* (L.) in the Bay of Biscay. *Estuar Coast Shelf Sci* 49:177-191
- Plounevez S, Champalbert G (2000) Diet, feeding behaviour and trophic activity of the anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Gulf of Lions (Mediterranean Sea). *Oceanol Acta* 23:175-192
- Ragusa G (2000) Specie ittiche marine commerciali del Mare Mediterraneo. FEDERCOOPESCA. Progetto realizzato con il contributo della Commissione Europea-DG Pesca e del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali – Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura, 11-12 pp
- Razouls C (1972) Estimation de la production secondaire (copepodes pelagiques) dans une province neritique méditerranéenne (Golfe du Lion). Thèse de doctorat d'état es-sciences naturelles. Faculté des Sciences de Paris, 301 pp
- Regner S (1972) Contribution to the study of the ecology of the planktonic phase in the life history of the anchovy in the Central Adriatic. *Acta Adriat* 14:3-31
- Regner S (1985) Ecology of planktonic stages of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), in the Central Adriatic Sea. *Acta Adriat* 26:1-113

-
- Regner S (1996) Effects of environmental changes on early stages and reproduction of anchovy in the Adriatic Sea. *Sci Mar* 60 (Suppl 2):167-177
- Regner S, Piccinetti Manfrin G, Piccinetti C (1988) The spawning of the sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in the Adriatic as related to the distribution of temperature. *FAO Fish Rep* 39:127-132
- Regner S, Specchi M, Piccinetti C, Sinovčić G (1981) Preliminary statistical analysis of sardine stock estimation from data obtained by egg surveys. *FAO Fish Rep* 253:143-154
- Regner S, Regner D, Marasovic I, Krsinić F (1987) Spawning of sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum,1792), in the Adriatic under upwelling conditions. *Acta Adriat* 28:161-198.
- Rose M (1933) Faune de France. Copépodes Pélagiques. Fédération Française des Sociétés Sciences Naturelles, Office Central de Faunistique. Lechevalier P (ed), Paris, 374 pp
- Ryther JH (1969) Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* 166 (3091):72-76
- Ruggerone GT (1989) Gastric evacuation rates and daily ration of piscivorous coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. *J Fish Biol* 34:451-463
- Sabatini M, Kiørboe T (1994a) Egg production, growth and development of the cyclopoid copepod *Oithona similis*. *J Plankton Res* 16 (10):1329-1351
- Sabatini M, Kiørboe T (1994b) Reproductive and life cycle strategies in egg-carrying cyclopoid and free-spawning calanoid copepods. *J Plankton Res* 16 (10):1353-1366
- Salonen K, Sarvala J, Hakala I, Viljanen ML (1976) The relation of energy and organic carbon in aquatic invertebrates. *Limnol Oceanog* 21(5):724-730
- Santojanni A, Arneri E, Belardinelli A, Cingolani N, Giannetti G (2001) Small pelagic fish in the Adriatic: stocks fluctuations and environmental factors. *Archo Oceanogr Limnol* 22:133-138
- Sautour B, Castel J (1995) Spring zooplankton distribution and production of the copepod *Euterpina acutifrons* in Marennes-Oléron Bay (France). *Hydrobiologia* 310:163-175

Sciolis D (2000) Comunità planctonica e contenuti stomacali della specie planctonofaga *Engraulis encrasicolus* L (acciuga) durante il suo periodo riproduttivo nel Golfo di Trieste. Corso di laurea in Scienze Biologiche. Tesi di laurea in Zoologia. Università degli Studi di Trieste

Silva E (1954) Some notes on the food of the pilchard *Sardina pilchardus* (Walb.), of the Portuguese coast. Rev Fac Cienc Lisboa, 2^a Ser 4(2):281-294

Silva A, Santos M, Caneco B, Pestana G, Porteiro C, Carrera P, Stratoudakis Y (2006) Temporal and geographic variability of sardine maturity at length in the northeastern Atlantic and the western Mediterranean. ICES J Mar Sci 63:663–676

Sinovčić G (1983) Fecundity of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb.) from the central Adriatic. Nova Thalassia 6:351-363

Sinovčić G (2000) Responsible exploitation of the sardine, *Sardina pilchardus* (Walb.), population in the coastal region of the eastern Adriatic. Period Biologorum 102:47-54

Sinovčić G, Alegría Hernández V (1997) Variation in the abundance and size of the sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum) in the eastern Adriatic. Oceanol Acta 20:201-206

Sinovčić G, Zorica B (2006) Reproductive cycle and minimal length at sexual maturity of *Engraulis encrasicolus* (L.) in the Zrmaja River estuary (Adriatic Sea, Croatia). Estuar Coast Shelf Sci 69:439-448

Sinovčić G, Zorica B, Franičević M, Cikes Kec V (2003) First sexual maturity of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb.) in the eastern Adriatic sea. Period Biologorum 105:401-404

Sinovčić G, Cikes Kec V, Zorica B (2008) Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia). Estuar Coast Shelf Sci 76(4):739-744

Sirotenko MD, Danilevskiy NN (1978) Quantitative feeding indices of the Black Sea anchovy, *Engraulis encrasicolus ponticus*. J Ichthyol 17:610-617

Škrivanić A, Zavodnik D (1973) Migrations of the sardine (*Sardina pilchardus*) in relation to hydrographical conditions of the Adriatic sea. Neth J Sea Res 7:7-18

Smetacek V (1975) Die Sukzession des Phytoplankton in der westlichen Kieler Buch. Ph.D Thesis. Kiel Univ

Sola A, Motos L, Franco C, Lago-Lanzos A (1990) Seasonal occurrence of pelagic fish eggs and larvae in the Cantabrian Sea (VIIIc) and Galicia (IXa) from 1987 to 1989. ICES CM 1990/H:25

Somarakis S, Maraveya E, Tsimenides N (2000) Multispecies ichthyoplankton associations in epipelagic species: is there any intrinsic adaptive function? Belgian J Zool 130(Suppl.1):125-129

Somarakis S, Ganias K, Siapatis A, Koutsikopoulos C, Machias A, Papaconstantinou C (2006) Spawning habitat and daily egg production of sardine (*Sardina pilchardus*) in the eastern Mediterranean. Fish Oceanog 15:281-292

Spanakis E, Tsimenides N, Zouros E (1989) Genetic differences between populations of sardine, *Sardina pilchardus*, and anchovy, *Engraulis encrasicolus*, in the Aegean and Ionian seas. J Fish Biol 35:417-437

Specchi M, Fonda Umani S, Radini G (1981) Les fluctuations du zooplankton dans une station fixe du Golfe de Trieste (Haute Adriatique). Rapp Comm Int Mer Mediterr 27:97-100

Štirn J (1969) The north Adriatic pelagial: its oceanological characteristics, structure and distribution of the biomass during the year 1965. Diss Acad Sci Art Slov 12(2):1-92

Štirn J (1970) The distribution of the pelagic fish eggs and larvae in the north Adriatic during 1965. Journées Etud planctonol, CIESMM, Monaco. 147-149 pp

Štirn J, Kubik L (1974) Contributions to the knowledge of migrations and the volume of the pilchard and anchovy populations in the northern Adriatic. Acta Adriat 16(24):401-422

Strathmann RR (1967) Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. Limnol Oceanogr 12:411-418

Stratoudakis Y, Bernal M, Borchers DL, Borges F (2003) Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. Fish Oceanogr 12:49-60

Stratoudakis Y, Coombs S, Halliday N, Conway D, Smyth T, Gersom C, Franco C, Lago de Lanzos A, Bernal M, Silva A, Santos B, Alvarez P, Santos M (2004) Sardine (*Sardina pilchardus*) spawning season in the North East Atlantic and relationships with sea surface temperature. ICES CM 04/Q:19

Stravisi F (1983) The vertical structure annual cycle of the mass field parameters in the Gulf of Trieste. Boll Oceanol Teor Appl 1(3):239-250

Teskeredžić Z (1978) The spawning of the sardine (*Sardina pilchardus*, Walb.) in the Kvarner region of the Adriatic sea. Thalass Jugoslav 14(3/4):323-338.

Thorpe JE (1977) Daily ration of adult perch, *Perca fluviatilis* L., during summer in Loch Leven, Scotland. J Fish Biol 11:55-68

Tičina V, Giovanardi O (1997) Osservazioni sulla pesca del pesce azzurro in alto Adriatico. In: Pesca e Ambiente nella Laguna di Venezia, O Giovanardi, F. Pranovi (eds), Chioggia, ICRAM. 91-97 pp

Tičina V, Kačić I (1997) Small pelagic fish catch in the western Istrian nearshore waters. Tisuću Godina Prvoga Spomena Ribarstva u Hrvata, 543-550

Tičina V, Kačić I, Cetinić P (1999) Two-boat mid-water trawling on the northern Adriatic Sea. Proc Inter Symp Res Fish Fish Tech, Insko, 16-19 June 1999. 267-274 pp

Tičina V, Ivančić I, Emrić V (2000) Relation between the hydrographic properties of the northern Adriatic Sea water and sardine (*Sardina pilchardus*) population schools. Period Biologorum 102:181-192

Tinti F, Di Nunno C, Guarniero I, Talenti M, Tommasini S, Fabbri E, Piccinetti C (2002a) Mitochondrial DNA sequence variation suggests the lack of genetic heterogeneity in the Adriatic and Ionian stocks of *Sardina pilchardus*. Marine Biotechnol 4:163-172

Tinti F, Di Nunno C, Guarniero I, Scapolatempo M, Vallisneri M (2002b). Population structure of the Adriatic *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1972) based on molecular and morphometric marker analysis. Biol Mar Mediterr 9:105-111

Tortonese E (1970) Fauna d'Italia. Osteichthyes. In: Calderini E (ed) Pesci ossei, Vol XI, 89-111 pp

-
- Tortonese E (1983) Distribution and ecology of endemic elements in the Mediterranean fauna (fishes and echinoderms). NATO Conf (Ser I Méditerranée or Ecosystems) 1:57-83
- Trègouboff G, Rose M (1957) Manuel de planctonologie méditerranéenne. Tome 1, 2. CNRS, Paris
- Tudela S, Palomera I (1995) Diel feeding intensity and daily ration in the anchovy *Engraulis encrasicolus* in the northwest Mediterranean Sea during the spawning period. Mar Ecol Prog Ser 129:55-61
- Tudela S, Palomera I (1997) Trophic ecology of the European anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Catalan Sea (northwest Mediterranean). Mar Ecol Prog Ser 160:121-134
- Tudela S, Palomera I, Quilez G (2002) Feeding of anchovy *Engraulis encrasicolus* larvae in the north-west Mediterranean. J Mar Biol Ass UK 82:349-350
- Uye S, Aoto I, Onbé T (2002) Seasonal population dynamics and production of *Microsetella norvegica*, a widely distributed but little-studied marine planktonic harpacticoid copepod. J Plankton Res 24 (2):143-153
- Valdés Szeinfeld E.(1993) The energetics and evolution of intraspecific predation (egg cannibalism) in the anchovy *Engraulis capensis*. Mar Biol 115:301-308
- Vallisneri M, Scapolatempo MA (2001) The population patterns and reproductive biology of *Engraulis encrasicolus* L. (Engraulidae, Teleostea) in the Northern and Middle Adriatic sea. Boll Soc Adriat Sci 53:81-86
- van der Lingen CD (1994) Effect of particle size and concentration on the feeding behaviour of adult pilchard *Sardinops sagax*. Mar Ecol Prog Ser 109:1-13
- van der Lingen CD (1995) Respiration rate of adult pilchard *Sardinops sagax* in relation to temperature, voluntary swimming speed and feeding behaviour. Mar Ecol Prog Ser 129:41-54
- van der Lingen (1998) Gastric evacuation, feeding periodicity and daily ration of sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela upwelling ecosystem. In: Pillar SC, Moloney CL, Payne AIL, Shillington FA (eds). S Afr J Mar Sci 19:305-316

-
- van der Lingen CD (2002) Diet of sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela upwelling ecosystem. *S Afr Mar Sci* 24:301-316
- van der Lingen CD, Hutchings L, Field JG (2006) Comparative trophodynamics of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela: are species alternations between small pelagic fish trophodynamically mediated? *S Afr J Mar Sci* 28(3/4):465-477
- van der Lingen CD, Bertrand A, Bode A, Brodeur R, Cubillos LA, Espinoza P, Friedland K, Garrido S, Irigoien X, Miller T, Möllmann C, Rodriguez-Sanchez R, Tanaka H, Temming A (2009) Trophic dynamics. In: *Climate change and small pelagic fish*. Dave Checkley, Claude Roy, Jurgen Alheit, Yoshioki Oozeki (eds). Cambridge University Press (2009):112-157 pp
- Varagnolo S (1964) Calendario di comparsa di uova pelagiche di Teleostei marini nel plancton di Chioggia. *Archo Oceanogr Limnol* 13:249-279
- Varagnolo S (1965) Alcune osservazioni sulla distribuzione delle uova galleggianti di Teleostei nell'Alto Adriatico. *Boll Zool* 32:849-858
- Varela M, Larrañaga A, Costas E, Rodriguez B (1988) Contenido estomacal de la sardina (*Sardina pilchardus* Walbaum) durante la campaña Saracus 871 en la plataformas Cantábrica y de Galicia en febrero de 1971. *Bol Inst Esp Oceanogr* 5:17-28
- Varela M, Alvarez-Ossorio MT, Valdés L (1990) Método para el estudio cuantitativo del contenido estomacal de la sardina. Resultados preliminares. *Bol Inst Esp Oceanogr* 6:117-126
- Verheijen FJ (1959) Attraction of fish by the use of light. In: Kristjonsson H (ed) *Modern fishing gear of the world*. Fishing News Books Ltd., London, 1:548-549
- Verity PG, Langdon C (1984) Relationship between lorica volume carbon, nitrogen and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay. *J Plankt Res* 6(5):857-869
- Vigg S, Poe TP, Prendergast LA, Hansel HC (1991) Rates of consumption of juvenile salmonids and alternative prey fish by northern squawfish, walleyes, smallmouth bass, and chenael catfish in John Day Reservoir, Columbia River. *Trans Amer Fish Soc* 120:421-438

Vilter V (1950) Adaptation biologique de l'appareil visual et les structures rétinienne de la sardine. C R Soc Biol Paris 144:200-203

Voulgaridou P, Stergiou KI (2003) Long-term trends in various biological parameters of the European sardine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792), in the Eastern Mediterranean Sea. Sci Mar 67:269–280

Vučetić T (1963) Données sur la ponte de l'*Engraulis encrasicolus* L. en haute mer dans l'Adriatique centrale et septentrionale. Proc gen Fish Coun Medit 7:203-209

Vučetić T (1964) Sur le comportement de la sardine (*Sardina pilchardus* Walb) envers les facteurs biotiques du milieu (zooplancton). Acta Adriat 11:269-276

Vučetić T (1971) Fluctuations a long terme de meroplancton dans l'Adriatique centrale: oeufs de *Sardina pilchardus*, Walb., d'*Engraulis encrasicolus*, L. et larves de different poissons. Arch Oceanogr Limnol 17:141-156

Vučetić T (1975) Synchronism of the spawning season of some pelagic fishes (sardine, anchovy) and the timing of the maximum food (zooplancton) production in the central Adriatic. Pubblicazioni della Stazione Zoologica di Napoli, 39(1):347-365

Walsh DH, Stein RA (1991) Food consumption and growth of three esocids: field tests of a bioenergetic model. Trans Am Fish Soc 120:230-246

Walsh JJ (1981) A carbon budget for overfishing off Peru. Nature 290:300-304

Walsh G, Morin R, Naiman (1988) Daily rations, diel feeding activity and distribution of age-0 brook charr, *Salvelinus fontinalis*, in two subarctic streams. Env Biol Fish 21:195-205

West G (1990) Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. Aust J Mar Freshw Res 41:199-222

Whitehead PJP (1985) FAO species catalogue. Vol 7 Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 1 – Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fish Synop 125(7/1):1-303

Whitehead PJP, Nelson GJ, Wongratana T (1988) FAO species catalogue. Vol 7 Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. Part 1 – Chirocentridae, Clupeidae and Pristigasteridae. FAO Fish Synop 125(7/2):305-579

Woodhead PMJ (1966) The behaviour of fish in relation to light in the sea. *Oceanogr Mar Biol* 4:337-403

Worobec MN (1984) Field estimates of the daily ration of the winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus* (Walbaum), in a southern New England Salt Pond. *J Exp Mar Biol Ecol* 77:183-196

Yoneda Y, Yoshida Y (1955) The relation between the sardine and the food plankton – I. On the food intake by *Sardinops melanostica*. *Bull Jap Sci Fish* 21(2):62-66

Zavodnik D (1970) Comparative data of the spawning of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.), sprat (*Sprattus sprattus* L.) and anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the north Adriatic. *Ichthyol* 2:171-178

Zollet T (2002) Studio del regime alimentare di due specie planctonofaghe *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus 1758) e *Sardina pilchardus* (Walbaum 1792) nel Golfo di Trieste. Corso di laurea in Scienze Biologiche. Tesi di laurea in Biologia Marina. Università degli Studi di Trieste, Trieste

Zore-Armanda M (1969) Water exchange between the Adriatic Sea and eastern Mediterranean. *Deep-Sea Res* 16:171-178

Zueva LV (1981) Retinal cones of the Black Sea anchovy *Engraulis encrasicolus* – an analyzer of polarized light in vertebrates. *Zhur Evol Biokim Fiziol* 17:602-605

Županović S (1985) Study of the Sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) concentrations and localizations by thermometric methods. *Pomorski zbornik* 2:923-983

Zwolinski J, Morais A, Marques V, Stratoudakis Y, Fernandes PG (2007) Diel variation in the vertical distribution and schooling behaviour of sardine (*Sardina pilchardus*) off Portugal. *ICES J Mar Sci* 64:963-972

Appendici

Relazioni peso-lunghezza

Sardina pilchardus

Per lo studio dell'attività alimentare di sardina, catturata nel periodo maggio-luglio 2006, è stato utilizzato un totale di 343 esemplari, che presentavano lunghezze da 147 mm a 206 mm e peso tra 29.2 g e 62.2 g (fig 1).

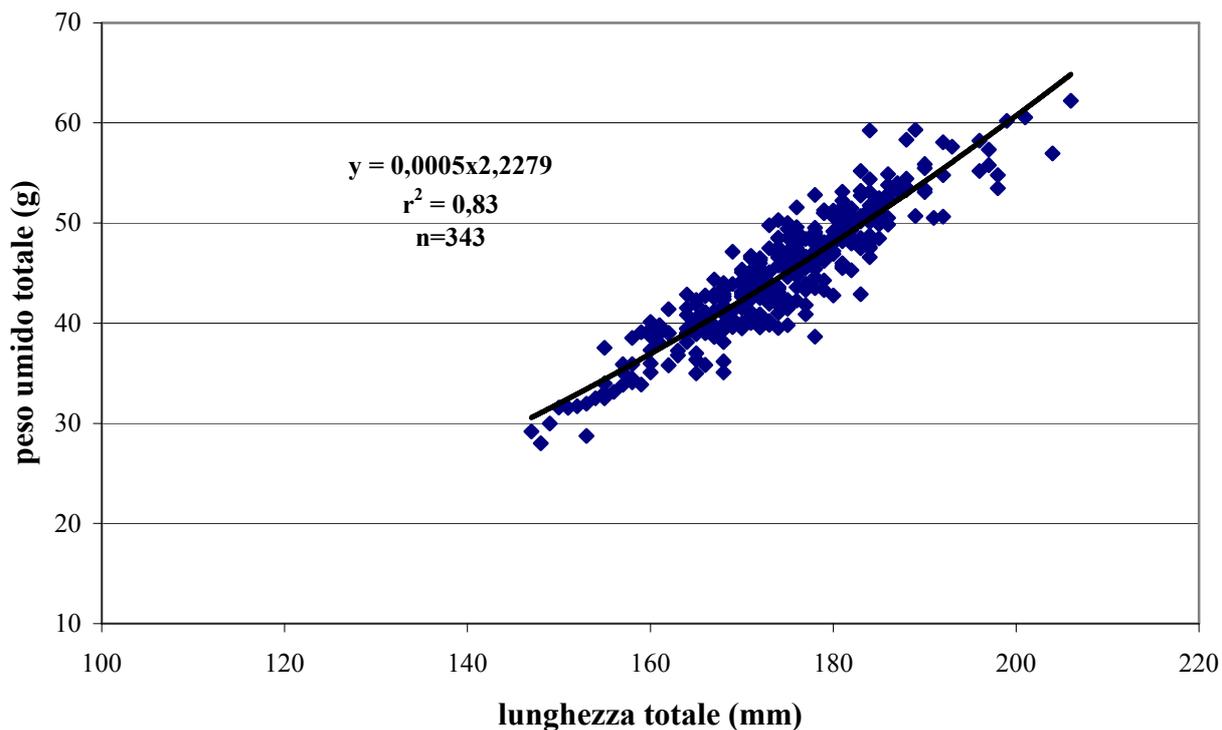


Fig. 1 Relazione tra lunghezza e peso totale di sardina (maggio-luglio 2006)

Engraulis encrasicolus

Per l'analisi quantitativa di acciuga è stato esaminato un totale di 321 esemplari, catturati nel periodo settembre-ottobre 2006, la cui lunghezza e peso erano compresi rispettivamente tra 100mm e 145.3mm e 5.85g e 17.4g (fig. 2).

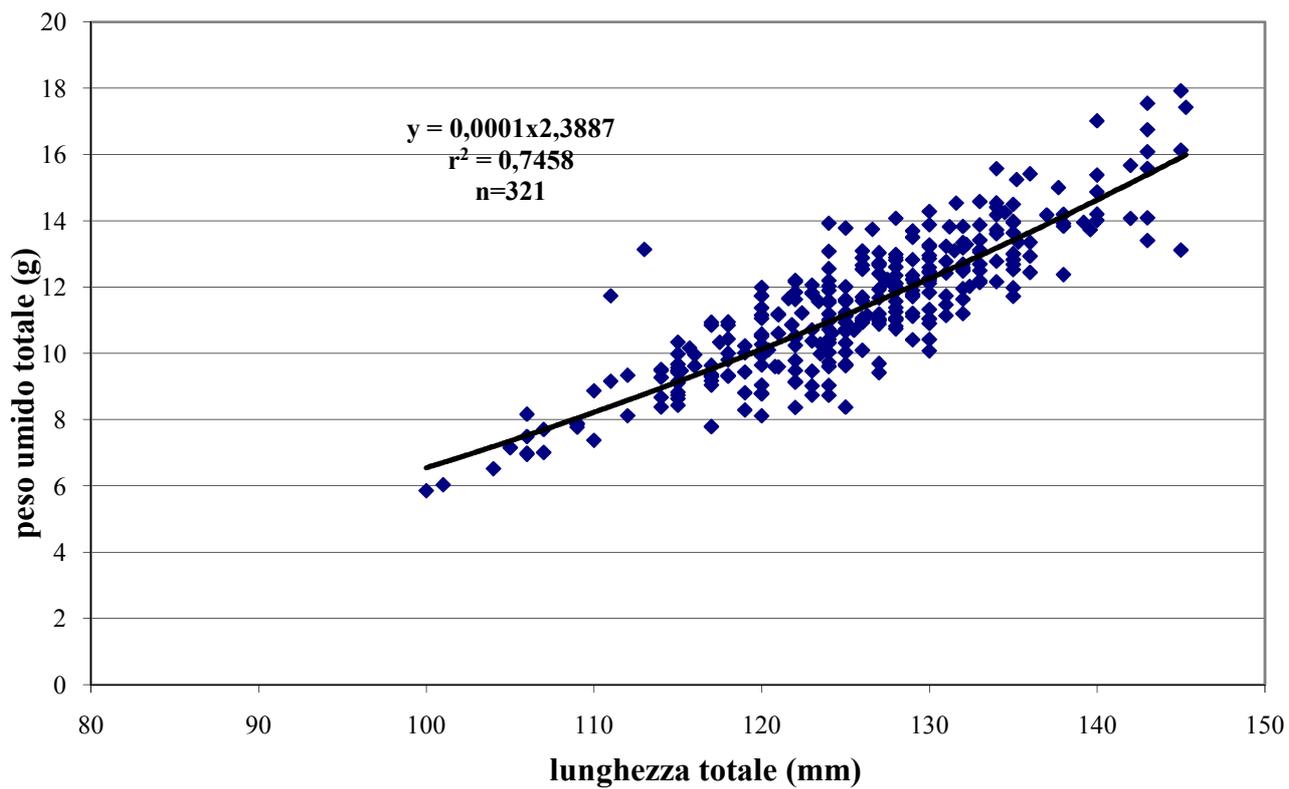


Fig. 2 Relazione tra lunghezza e peso totale di acciuga (settembre-ottobre 2006)

		<i>Sardina pilchardus</i>			<i>Engraulis encrasicolus</i>	
		10/05/2006	20/06/2006	26/07/2006	04/09/2006	26/10/2006
DIATOMEAE	<i>Cocconeis</i> spp.			6		
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	4	2	10	20	0
	<i>Diploneis</i> spp.			6		
	<i>Paralia sulcata</i>	0	0	36	6	0
	<i>Pleurosigma</i> spp.	0	0	6	0	1
	<i>Nitzschia</i> spp.	0	0	12	0	0
	<i>Diatomea pennata</i>	0	0	60	0	0
DINOFLAGELLIDA	<i>Ceratium candelabrum</i>		26			
	<i>Ceratium tripos</i>		3			
	<i>Dinophysis caudata</i>	0	10	18	0	0
	<i>Dinophysis rotundata</i>			6		
	<i>Gonyaulax</i> spp.		3			
	<i>Katodinium</i> spp.			6		
	<i>Lingulodinium polyedrum</i>	0	2	24	0	0
	<i>Diplopsalis</i> spp.	36				
	<i>Ornithocercus magnificus</i>		1			
	<i>Prorocentrum</i> spp.	16				
	<i>Protoperidinium claudicans</i>		2			
	<i>Protoperidinium conicum</i>	0	6	18	0	0
	<i>Protoperidinium crassipes</i>	116	19	0	0	0
	<i>Protoperidinium depressum</i>	12	4	6	0	0
	<i>Protoperidinium divergens</i>	0	6	24	0	0
	<i>Protoperidinium oblongum</i>		2			
	<i>Protoperidinium steinii</i>	0	1	6	0	0
	<i>Scrippsiella</i> spp.			6		
	Peridineae			18		
TINTINNIDA	<i>Stenosemella ventricosa</i>		16			
	<i>Eutintinnus fraknoi</i>		2			
	<i>Tintinnopsis radix</i>		1124			
MOLLUSCA	<i>Creseis acicula</i>					1
	Gastropoda pediveliger	4	1	0	15	3
	Bivalvia veliger	4	1	2	183	6
POLYCHAETA	Polychaeta larva		1			
CLADOCERA	<i>Evadne nordmanni</i>	8	19	1	0	0
	<i>Evadne spinifera</i>	4	2	0	0	0
	<i>Penilia avirostris</i>		5	10	5	
	<i>Podon polyphemoides</i>	0	3	13	1	0
	<i>Podon intermedius</i>	0	0	6	0	0
OSTRACODA	Ostracoda juv.	4	5	7	0	0
Calanoida	<i>Acartia clausi</i>	0	4	2	13	1
	<i>Calanus helgolandicus</i>	24	0	0	0	1
	<i>Centropages kroyeri</i>	0	3	0	2	0
	<i>Centropages typicus</i>	568	0	0	2	0
	<i>Temora longicornis</i>	24	0	0	4	0
	<i>Temora stylifera</i>	56	1	6	130	19
	<i>Temora</i> spp.	0	0	0	0	2
	<i>Clausocalanus furcatus</i>	0	0	0	0	3
	<i>Paracalanus parvus</i>	0	0	0	0	4
	Clauso-Paracalanidae	1128	134	91	139	31
Cyclopoida	<i>Oithona nana</i>	0	41	12	12	39
	<i>Oithona plumifera</i>	4	2	0	2	14
	<i>Oithona setigera</i>					3
	<i>Oithona</i> spp.					2
	<i>Corycaeus</i> spp.	52	7	43	367	63
	<i>Oncaea</i> spp.	16	45	207	150	776
Harpacticoida	<i>Clytemnestra rostrata</i>			2		
	<i>Euterpina acutifrons</i>	16	3	19	197	44

	<i>Microsetella rosea</i>	12	2	1		0	4
	Harpacticoida	4	2	0		5	0
	Copepoda sacca ovigera	0	23	54		34	45
	Copepoda eggs ?	208	15	0		34	0
	Copepoda nauplius	4	10	0		5	5
CIRRIPEDIA	Cirripedia nauplius	12	1	49		1	0
	Cirripedia cypris			8			
Stomatopoda	<i>Squilla mantis</i> alima			1			1
	<i>Jaxea nocturna</i> trachelifer						1
	Brachiura larva chela						1
DECAPODA	Decapoda nauplius	4	9	0		0	0
	Decapoda zoea	4	42	12		8	2
	Decapoda mysis	4	5	28		3	1
	Decapoda phyllosoma			1			
	Decapoda (2 occhi)		62				3
APPENDICULARIA	<i>Oikopleura</i> spp.	0	0	0		0	70
CHAETOGNATA	<i>Sagitta</i> spp.	1	1	17		0	1
TELEOSTEA	<i>Engraulis encrasicolus</i> eggs	4	24	6		1	0
	Teleostea eggs	0	153	1		2	0
others	invertebrata eggs	28	0	13		0	0
	<i>Pinus</i> pollen grain			102			
	pollen grain		4			6	
			9	1			
		1164					
		200	5				
		488					
		1140					
			2				
		1040					
	<i>Corylus avellana</i> pollen grain			252			

MESOZOOPLANCTON							
	maggio cala 5	giugno cala 6 (7)	luglio cala 5	settembre cala 5	ottobre cala 4	dicembre cala 4	febbraio cala 5
Lista faunistica							
PROTOZOA							
Dinoflagellida							
<i>Noctiluca scintillans</i>	0	20	286	66	0	19	88
	0	0	0	0	0	0	0
CNIDARIA							
efire indet.	0	0	0	0	0	1	0
Hydrozoa							
specie indet.	0	0	0	0	0	1	0
Anthomedusae							
specie indet.	27	27	20	76	0	0	0
Leptomedusae							
specie indet.	0	4	0	0	0	0	0
<i>Obelia</i> sp.p.	0	12	4	0	6	0	4
Trachimedusae							
specie indet.	0	0	0	0	0	0	0
Narcomedusae							
specie indet.	0	0	0	0	0	0	0
Siphonophora							
specie indet.	14	2141	192	36	527	23	16
Diphyidae							
<i>Muggiaea kochi</i>	0	220	0	0	0	0	0
ANTOZOI							
<i>Ceriantus</i> larve	0	0	0	0	0	0	1
CTENOPHORA							
specie indet.	0	0	0	0	0	2	1
larve	10	31	0	0	0	0	0
NEMERTEA							
larva pilidium	0	20	0	0	0	0	0
PHORONIDA							
larva actinotrocha	2	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA							
Gastropoda							
larve indet.	239	408	455	0	13	38	17
Pteropoda							
<i>Creseis acicula</i>	0	0	0	0	3	2	0
Bivalvia							
larve indet.	6	67	357	33	110	62	34
ANNELIDA							
Polychaeta							
larve indet.	0	12	16	17	56	16	4
specie sp.p.	24	106	0	0	0	0	0
<i>Polygordius</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0
Tomopteridae							
<i>Tomopteris</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0
ARTHROPODA							
Crustacea							
Cladocera							
<i>Podon polyphemoides</i>	2	24	35	3	0	0	37
<i>Podon intermedius</i>	2	16	20	0	6	0	10
<i>Podon</i> sp.p.	0	0	0	0	3	0	0
<i>Evadne nordmanni</i>	78	8	251	116	0	0	0
<i>Evadne spinifera</i>	73	192	43	109	9	0	0
<i>Evadne tergestina</i>	0	12	78	0	0	0	0
<i>Penilia avirostris</i>	0	20	6533	5456	198	10	1
	0	0	0	0	0	0	0
OSTRACODA							
specie indet.	0	8	0	3	0	0	1
	0	0	0	0	0	0	0
COPEPODA							
<i>Calanus helgolandicus</i>	10	0	0	0	0	2	10
<i>Calanus helgolandicus</i> juv.	190	0	0	0	0	0	0
<i>Calanus</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calanus</i> juv.	0	4	0	3	0	0	6
<i>Nannocalanus minor</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nannocalanus</i> juv.	0	0	0	0	0	0	0
<i>Paracalanus parvus</i>	933	659	259	515	414	25	158
<i>Paracalanus parvus</i> juv.	1176	514	443	700	825	70	158
<i>Paracalanus denudatus</i>	649	8	0	50	0	0	0

<i>Paracalanus nanus</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calocalanus contractus</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calocalanus styliremis</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calocalanus spp.</i>	2	0	0	3	0	0	0
<i>Calocalanus juv.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mecynocera clausi</i>	0	0	0	3	0	0	0
<i>Clausocalanus arcuicornis</i>	6	0	0	7	0	2	30
<i>Clausocalanus jobei</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Clausocalanus furcatus</i>	2	0	0	53	72	0	13
<i>Clausocalanus juv.</i>	51	8	8	76	144	2	54
<i>Clausocalanus pergens</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Clausocalanus sp.p.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ctenocalanus vanus</i>	12	0	0	0	0	2	141
<i>Ctenocalanus juv.</i>	102	0	0	0	0	1	307
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	59	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudocalanus elongatus juv.</i>	61	0	0	0	0	0	0
<i>Euchaeta sp.p.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Euchaeta hebes</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Diaixis pygmoea</i>	0	0	0	0	0	4	47
<i>Diaixis pygmoea juv.</i>	0	0	0	0	0	1	63
<i>Temora stylifera</i>	0	0	8	535	63	0	11
<i>Temora stylifera juv.</i>	2	0	16	822	307	26	6
<i>Temora longicornis</i>	2	0	0	0	0	0	1
<i>Temora longicornis juv.</i>	169	4	12	0	0	0	1
<i>Temora juv.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Candacia armata</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Candacia juv.</i>	0	0	0	0	0	0	1
<i>Centropages typicus</i>	86	0	0	0	0	0	0
<i>Centropages kroeyeri</i>	39	4	0	7	0	0	0
<i>Centropages sp.p.</i>	0	0	0	73	0	0	0
<i>Centropages juv.</i>	839	525	24	0	0	0	0
<i>Anomalocera sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0
<i>Acartia clausi</i>	345	298	145	79	41	14	11
<i>Acartia juv.</i>	388	200	184	23	116	59	17
<i>Acartia sp. (contr margh.)</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acartia spp.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Acartia tonsa</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calanoida indet.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Copepoditi Calanoida</i>	739	541	553	621	618	107	141
<i>Oithona juv.</i>	200	118	71	102	72	91	27
<i>Oithona nana</i>	51	459	75	125	85	21	6
<i>Oithona nana juv.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oithona plumifera</i>	0	0	4	76	72	21	19
<i>Oithona plumifera juv.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oithona setigera</i>	0	4	4	0	0	0	0
<i>Oithona similis</i>	153	0	4	13	13	2	3
<i>Oithona sp.p.</i>	0	0	0	0	0	70	6
<i>Harpacticoida indet.</i>	2	35	8	3	0	1	0
<i>Euterpina acutifrons</i>	4	4	125	201	191	49	36
<i>Clytemnestra scutellata</i>	0	0	0	0	0	1	0
<i>Microsetella rosea</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oncaea sp.p.</i>	6	102	267	512	3250	335	257
<i>Corycaeus sp.p.</i>	27	4	35	92	348	107	77
<i>Farranula sp.p.</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sapphirina sp.p.</i>	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0
Copepoda nauplius	122	78	59	69	63	38	26
	0	0	0	0	0	0	0
CIRRIPEDIA	0	0	0	0	0	0	0
nauplius	39	8	75	0	13	1	1
ISOPODA	0	0	0	0	0	0	0
Epicaridea	0	0	0	0	0	0	0
larve indet.	0	0	0	0	3	0	3
AMPHIPODA	0	0	0	0	0	0	0
Gammaridae	0	0	0	0	0	0	0
specie indet.	0	0	0	0	0	0	0
DECAPODA	0	0	0	0	0	0	0
<i>Porcellana longicornis (larva)</i>	0	12	0	0	0	0	0
<i>Brachiura zoea</i>	0	0	0	3	0	0	1
zoea	14	12	4	17	3	0	4
nauplius	0	0	4	0	0	0	0
larve indet.	2	98	43	40	25	2	1
Thalassinidea	0	0	0	0	0	0	0
trachelifer <i>Jaxea nocturna</i>	0	0	0	0	0	0	0

larve indet.Stomatopoda	0	0	0	0	0	0	0
MYSIDACEA	0	0	0	0	0	0	0
specie indet.	2	0	8	0	3	0	1
CUMACEA	0	0	0	0	0	0	0
specie indet.	0	0	0	0	0	0	1
CHAETOGNATHA	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sagitta</i> sp.p.	4	39	35	43	13	50	44
ECHINODERMATA	0	0	0	0	0	0	0
larva auricularia	108	47	16	0	0	0	0
Echinoidea	0	0	0	0	0	0	0
plutei	135	1733	1012	3	6	3	41
<i>Echinus miliaris</i>	14	4	8	0	0	0	0
Asterozoa	0	0	0	0	0	0	0
larve indet.	0	0	27	0	0	0	0
larva bipinnaria	0	0	0	0	0	0	0
Ophiuroidea	0	0	0	0	0	0	0
plutei	31	4	0	0	0	0	0
specie indet.	8	0	0	0	0	0	0
HEMICHORDATA	0	0	0	0	0	0	0
larve (tornaria)	0	0	0	0	0	0	1
CHORDATA	0	0	0	0	0	0	0
Urochordata	0	0	0	0	0	0	0
Larvacea	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oikopleura dioica</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oikopleura</i> sp.p.	39	557	1259	56	314	10	117
<i>Fritillaria</i> sp.p.	0	0	0	0	0	0	0
Ascidacea	0	0	0	0	0	0	0
larve indet.	0	0	0	0	0	0	0
Doliolida	0	0	0	0	0	0	0
<i>Doliolum denticulatum</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Doliolida</i> larve	0	0	0	0	0	0	0
<i>Doliolum</i> sp.p.	0	47	35	0	19	2	4
Thaliacea	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalia</i> sp.p.	0	0	0	0	0	0	0
CEPHALOCHORDATA	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachiostoma lanceolatum</i>	0	43	0	0	0	0	0
VERTEBRATA	0	0	0	0	0	0	0
Teleostea	0	0	0	0	0	0	0
uova indet.	14	27	35	3	6	0	0
larve indet.	4	31	59	3	3	0	1