



Università degli Studi di Cagliari

DOTTORATO DI RICERCA in

Biologia e Biochimica dell'Uomo e dell'Ambiente

Ciclo XXVII

**Studio sui calamari *Loligo vulgaris* (Lamarck, 1798)**

**e**

***Loligo forbesii* (Steenstrup, 1856) delle acque della Sardegna**

**BIO/07- ECOLOGIA**

Presentata da:	Blondine Agus
Coordinatore Dottorato	Prof. Emanuele Sanna
Tutor/relatore	Prof. Angelo Cau
Correlatore	Dott.ssa Danila Cuccu

Esame finale anno accademico 2013 – 2014

*Alla mia famiglia, per avermi  
sempre sostenuta  
e alla mia forza, per non essermi  
mai arresa*

# INDICE

<b>RIASSUNTO</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>1     <i>Loligo vulgaris e Loligo forbesii</i></b>	<b>3</b>
INTRODUZIONE	3
PRESENTAZIONE DELLA SPECIE	5
<b>2     <b>LA PESCA DEI CALAMARI IN SARDEGNA</b></b>	<b>9</b>
INTRODUZIONE	12
MATERIALI E METODI	16
RISULTATI	18
OCCURRENCE PER STRATO BATIMETRICO	18
OCCURRENCE PER ZONA	23
STRUTTURA DI TAGLIA DEL CAMPIONE ANALIZZATO	29
INDICI DI ABBONDANZA E DENSITÀ	34
DISCUSSIONI	45
<b>3     <b>ANALISI MORFOMETRICA</b></b>	<b>51</b>
INTRODUZIONE	51
MATERIALI E METODI	52
RISULTATI	54
RELAZIONI TAGLIA–PESO IN <i>LOLIGO VULGARIS</i>	54
RELAZIONI TAGLIA–PESO IN <i>LOLIGO FORESII</i>	58
ANALISI MORFOMETRICA DELLE MANDIBOLE	62
DISCUSSIONI	80
<b>4     <b>IL PROCESSO RIPRODUTTIVO IN LOLIGO VULGARIS E LOLIGO FORBESII</b></b>	<b>82</b>
INTRODUZIONE	82
MATERIALI E METODI	87
RISULTATI	92
SCALA DI MATURITÀ SESSUALE	94
INDICI RIPRODUTTIVI	114
PERIODO MATURATIVO	125

TAGLIE DI MATURITÀ	127
ANALISI DEI PRODOTTI SESSUALI	130
FECONDITÀ POTENZIALE NEI MASCHI DI <i>L. VULGARIS</i>	130
FECONDITÀ POTENZIALE NELLE FEMMINE DI <i>L. VULGARIS</i>	132
ANALISI UOVA DEPOSTE	135
ANALISI DEI RICETTACOLI SEMINALI NELLE FEMMINE DI <i>L. VULGARIS</i>	137
DISCUSSIONI	139
<b>5    DETERMINAZIONE DELL'ETÀ</b>	<b>144</b>
INTRODUZIONE	144
LA LENTE DEL CRISTALLINO NEI CALAMARI	146
MATERIALI E METODI	147
RISULTATI	150
CONSIDERAZIONI TECNICHE	150
CONTEGGIO DEGLI ANELLI NEI CRISTALLINI DI <i>L. VULGARIS</i>	155
CONTEGGIO DEGLI ANELLI NEI CRISTALLINI DI <i>L. FORBESII</i>	164
COMPARAZIONE TRA LE DUE SPECIE	173
DISCUSSIONI	175
<b>6    CONCLUSIONI GENERALI</b>	<b>178</b>
<b>ALLEGATI I - V</b>	<b>180</b>
<b>BIBLIOGRAFIA -V</b>	<b>185</b>



## **Abstract**

This thesis aims to deepening knowledge on the biology and ecology of the two squids *Loligo vulgaris* (Lamarck, 1798) and *Loligo forbesii* (Steenstrup, 1856) from Sardinian waters.

Considering their socio- economic importance in the Sardinian fisheries, the annual fluctuations in abundance highlighted the possibility of set management measures for their rational exploitation on the base of the knowledge of their life cycle

Even if their different preferential bathymetric range, the study of the reproductive process through macroscopic histological and gravimetric analysis of the reproductive systems showed similarities between the two squids both in morphology of the gonads and in the pattern of reproduction. They are similar because they show an extended period of sexual maturity; they have an intermittent spawning with intermediate characteristics between coastal and deep spawning. In particular specific results on the reproductive output of *L.vulgaris*, showed a potential fecundity of about 4000 eggs (size 0.30-3 mm) and 436 spermatophores (size 7.25-17.37 mm) according to the few studies so far carried out on the species. The reading of the age from the eye lens, tested here for the first time on cephalopods decapods, has allowed to estimate for both species a life cycle of about 18-20 months. For both squids were also performed morphometric analysis of the beaks and calculated specific correlations with the animal size. Considering the taxonomic value of the beak such information may be helpful in studies on diets of predators of these species.

## Riassunto

Lo studio di questa tesi è stato volto all'approfondimento di alcuni aspetti della biologia ed ecologia dei calamari Mediterranei *Loligo vulgaris* (Lamarck, 1798) e *Loligo forbesii* (Steenstrup, 1856). In considerazione dell'importanza socio-economica che esse rivestono nel mondo della pesca sarda, l'analisi delle fluttuazioni annuali nelle abbondanze evidenziano la possibilità di dover programmare in futuro delle misure gestionali per il loro sfruttamento razionale che partano da conoscenze specifiche del loro ciclo vitale.

Nonostante il differente range batimetrico preferenziale delle due specie, lo studio del processo di maturità sessuale attraverso analisi macroscopiche, istologiche e gravimetriche degli apparati riproduttori ha mostrato analogie tra i due calamari sia nelle morfologia delle gonadi che nei pattern di riproduzione. Sono infatti accomunate da un esteso periodo di maturità sessuale e da una strategia di deposizione dei prodotti sessuali di tipo intermittente con caratteristiche intermedie tra conosciute per le deposizioni delle specie costiere e profonde. In particolare i risultati sulle specifiche analisi condotte sull'output riproduttivo di *L.vulgaris*, evidenziano una fecondità potenziale di circa 4000 uova (dimensioni 0.30-3 mm) e di 436 spermatofores (dimensioni 7.25 -17.37 mm), dati che si allineano con quanto riportato nei pochi studi sino ad ora effettuati sulla specie. La lettura dell'età sulla lente del cristallino, sperimentata per la prima volta sui decapodiformi in questo studio, ha consentito di stimare per entrambe le specie un ciclo vitale di circa 18-20 mesi.

Per entrambi i calamari sono state inoltre effettuate analisi morfometriche delle mandibole e calcolate le specifiche correlazioni tra le loro parti e le dimensioni degli animali. Considerando il valore tassonomico delle mandibole tali informazioni potranno essere d'ausilio negli studi sulle diete dei predatori di queste specie.

# Capitolo 1

---

## INTRODUZIONE

L'importanza dei cefalopodi come risorsa della pesca è aumentata drasticamente negli anni, infatti a partire dal 1950 si assiste a livello mondiale ad un decremento delle catture (FAO, 2011)

Tra i cefalopodi di maggior interesse commerciale spiccano i calamari, presenti in Mediterraneo con le due specie *Loligo vulgaris* (Lamarck, 1798) e *Loligo forbesii* (Steenstrup, 1856). Per le loro qualità organolettiche risultano entrambi oggetto sia della pesca commerciale che dilettantistica. In Italia e nello specifico nei mari sardi entrambe le specie vengono pescate con la rete a strascico e *L. vulgaris* anche con attrezzi artigianali. L'intensificarsi delle catture grazie ad una domanda di mercato sempre più in aumento, rende necessaria la formulazione di precisi programmi di monitoraggio degli stocks, utili a fornire importanti basi per una corretta gestione della risorsa, garantendone un uso sostenibile e razionale. A tal proposito la scarsità di informazioni sugli stocks di *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii* relativamente ai mari circostanti la Sardegna e più in generale nel Mar Mediterraneo stimola ad approfondire le conoscenze biologiche e l'interesse economico che ruota intorno a queste risorse nell'ottica di futuri interventi gestionali.

Spinti da questo obiettivo generale, nei tre anni di dottorato, si è intrapreso una indagine ad ampio spettro dove la pesca ha rappresentato lo strumento base per individuare e in qualche modo quantificare, attraverso l'analisi dei trend temporali delle catture, la presenza delle specie in Sardegna. Nello stesso tempo la pesca è stata anche lo strumento che ha consentito di raccogliere i campioni da analizzare per condurre uno studio biologico mirato alla comprensione della durata del loro ciclo vitale e alla caratterizzazione dei patterns di maturazione sessuale e della strategia di deposizione adottata dalle specie a garanzia del successo riproduttivo.

Nell'ambito di queste fasi di studio è stato possibile inoltre acquisire informazioni sulle specie che arricchiscono la biologia di base da un punto di vista morfologico e meristico. Con un approccio decisamente pionieristico è stato valutato l'argomento dell'età e dell'accrescimento attraverso la sperimentazione e affinamento della tecnica di lettura delle lenti dei cristallini finora mai applicata nei cefalopodi teuthoidei. Da un punto di vista prettamente tecnico alcuni elaborati scaturiti dalle analisi come le scale di maturità sessuale e le relazioni tra le componenti delle mandibole possono rappresentare validi strumenti d'indagine in studi futuri su altre specie di cefalopodi.

## PRESENTAZIONE DELLE SPECIE

*Loligo vulgaris* Lamarck,1798



Denominazioni: Calamaro comune (Italia); Calamar europeo (Spagna); European squid (Inghilterra, USA); Encornet européenne (Francia); Mettik (Tunisia); Kalmar (Algeria, Bulgaria, Turchia; Russia); Kalamari (Grecia); Lignja (Yugoslavia); Habbar (Libya); Sobbeit Totanu (Egitto).

*Loligo vulgaris* Lamarck,1798 conosciuto anche come calamaro comune o calamaro costiero è una specie nectobentonica, distribuita in tutto il Mediterraneo e nell'Oceano Atlantico orientale dal mare del Nord fino al Golfo di Guinea (Jereb & Roper, 2010). Da un punto di vista batimetrico questa specie è presente dalla superficie sino ai 500m anche se risulta più abbondante entro i primi 100m, range batimetrico preferenziale in cui si sovrappone l'areale del congenere *L. forbesii*.

Nei mari italiani si ritrova sino ai 425m (D'Onghia *et al.*,1995) e nello specifico delle acque sarde è presente fino ai 270 m (Cuccu *et al.*, 2003).

Generalmente presenta un comportamento gregario, con formazione di veri e propri "banchi" e abitudini pelagiche, effettuando migrazioni diurne verso gli strati più profondi e risalite notturne per cibarsi preferenzialmente di pesci, crostacei e talvolta di altri cefalopodi (Roper & Voss 1983; Rocha, 1994; Pierce, 1994). *L. vulgaris* riveste un importante ruolo a livello trofico essendo a sua volta predato da vari cetacei e grandi pesci pelagici (es. Orsi-Relini,1994; Salman, 2004; Gonzàles *et al.*,1994).

Tenendo conto degli aspetti morfologici, il principale carattere che consente di distinguere *L. vulgaris* da *L. forbesii* è rappresentato dalla massa tentacolare o club, composta da ventose differenti in numero e dimensione, infatti nel primo sono evidenti 4 file di ventose di cui le due mediali sono di grandi dimensioni e presentano 30 dentelli per anello, mentre in *L. forbesii* sono sub eguali, di piccole dimensioni e presentano 13-18 dentelli per anello (Capua, 2004). (Fig. 1)



Fig. 1– Massa tentacolare; A: *L. vulgaris* , B: *L. forbesii*

## *Loligo forbesii* Steenstrup,1856



Denominazioni: Calamaro venato (Italia); Calmar veteado (Spagna); Lula (Portogallo e Azzorre); Veneid squid (Inghilterra, USA); Encornet veinè (Francia); Dlinnoperiy Kalmar (Russia).

*Loligo forbesii* Steenstrup,1856 come la specie affine, si distribuisce in tutto il Mediterraneo e nell'Oceano Atlantico, inoltre è presente dalle isole Canarie alle isole Azzorre (Jereb & Roper, 2010).

Mentre il congenere *vulgaris* è una specie più costiera, *Loligo forbesii* viene pescato a profondità comprese tra i 50 e i 700 m e nei mari sardi tra i 40 e i 620 m di profondità (Cuccu *et al.*, 2003).

Dal punto di vista morfologico, oltre alle differenze con *Loligo vulgaris* sopra descritte, in questa specie il mantello presenta nella superficie laterale un pattern cromatico definito a “flammule”, motivo per cui viene anche chiamato “calamaro venato” (Jereb *et al.*, 2010), in *L. vulgaris* tali “flammule” sono assai ridotte e presenti solo nel maschio adulto (Mangold & Boletzky, 1987).(Fig.2)

Anche per *L. forbesii* la deposizione di uova avvolte in numerose capsule gelatinose è continua lungo l'arco dell'anno in questo caso con due picchi riproduttivi in estate e in inverno. L'alimentazione di *Loligo forbesii* è molto simile a quella del congenere *vulgaris* : pesci crostacei e cefalopodi, sono stati osservati inoltre fenomeni di cannibalismo (Pierce *et al.*, 2004 Rocha *et al.*, 1994).

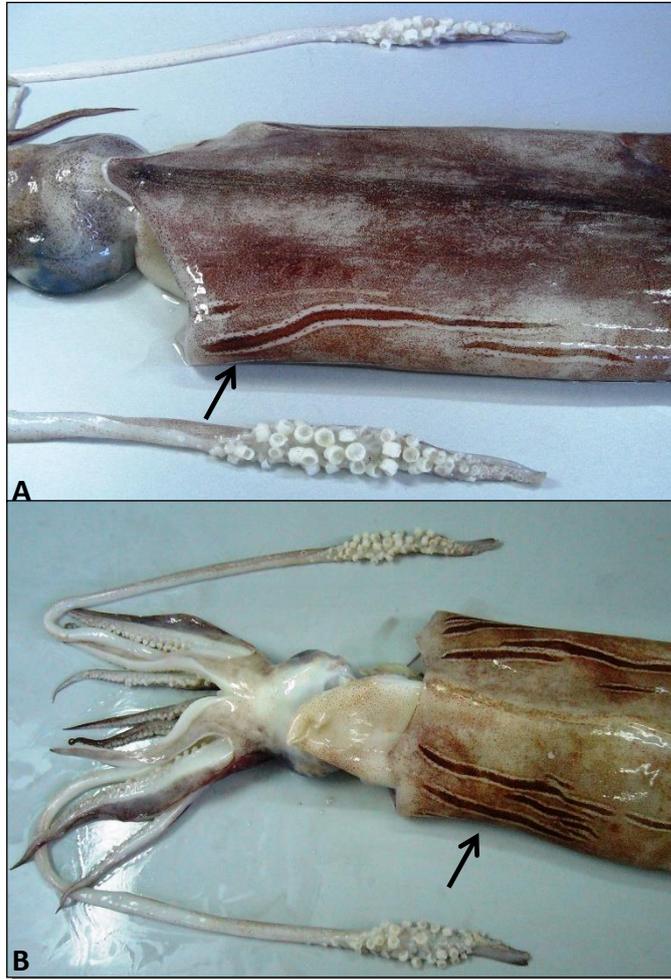


Fig. 2– *Loligo forbesii flammule*; A: visione dorsale, B: visione ventrale

## Capitolo 2

### La pesca di *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii*

#### INTRODUZIONE

I calamari *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii* sono specie di elevato interesse commerciale in tutto il loro areale di distribuzione per questo soggette ad attività di prelievo, principalmente con la pesca a strascico e in misura minore con la pesca artigianale. Per quanto riguarda la produzione mondiale di calamari, statistiche Fao aggiornate al 2013 evidenziano che la Cina e la Thailandia emergono tra i principali fornitori esportando il prodotto principalmente in Giappone (FAO, 2014). Per quanto concerne le catture a livello europeo, dati FAO (2013) evidenziano un considerevole incremento della produzione, infatti per *L. forbesii* si osserva un aumento a partire dal 2003 con 536 tonnellate ed un picco massimo di 721 tonnellate nel 2007. Per *L. vulgaris* invece l'aumento si osserva a partire dal 2010 in cui si passa da 6 tonnellate (2009) a 22 tonnellate con un picco massimo nel 2011 di 162 tonnellate (Fig.3)

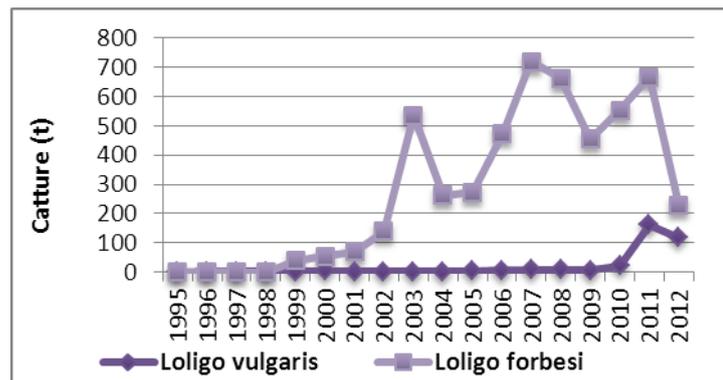


Fig.3– Andamento europeo delle catture (t) di *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii* dal 1995 al 2012

In Mediterraneo *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii* pur non essendo reali specie target rientrano nello sbarcato della pesca a strascico e *Loligo vulgaris* è anche oggetto di pesca di alcuni attrezzi artigianali come le reti da posta e da circuizione (Guerra *et al.*, 1994; Gonzalez and Sanchez, 2002; Cabanellas-Reboredo *et al.*, 2011). La pesca è particolarmente intensa in Spagna e in Italia, dove alle catture commerciali si sommano quelle di una cospicua pesca sportiva (Worms, 1983b; Morales-Nin *et al.*, 2005; Cabanellas-Reboredo *et al.*, 2011). Pur non esistendo dati ufficiali sull'incidenza della pesca ricreativa sulla risorsa è noto tuttavia come in alcune aree possa assumere particolare rilevanza in concomitanza della migrazione della specie sotto costa per la riproduzione (Cabanellas-Reboredo *et al.*, 2012).

In Italia risulta difficile anche una stima della produzione annuale della pesca commerciale per ciascuna delle due specie considerate singolarmente, in quanto i dati di sbarcato si riferiscono più in generale ai calamari comprendendo talvolta oltre che *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii* anche i calamaretti del genere *Alloteuthis*. A livello nazionale considerando le statistiche per gli anni 2004-2011 l'incidenza dei calamari è stata mediamente pari a 2166,6 tonnellate/ anno rappresentando circa l'1.7% dello sbarcato totale (Fig. 4) (IREPA, 2012).

Come si può notare in figura 3 il valore più elevato è stato pari a 2629 tonnellate nel 2005 dopo il quale c'è stata una decisa diminuzione, tale andamento ha portato al raggiungimento dei valori minimi nel 2009 (1837 t) e nel 2011(1857 t).

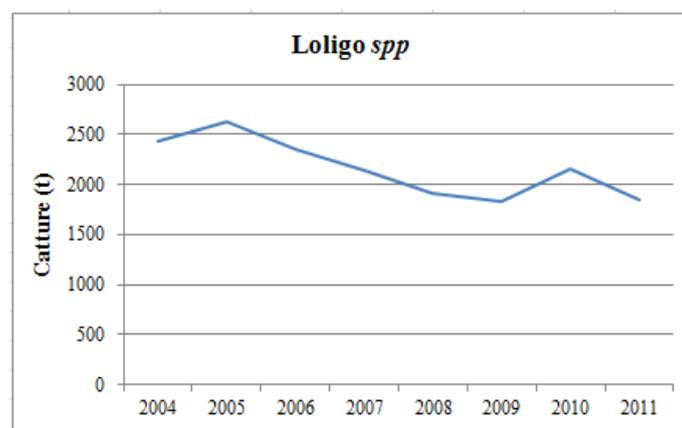


Fig.4– Andamento delle catture (t) di *Loligo spp.* dal 2004 al 2011 nei mari italiani.

Tuttavia la crescente richiesta di queste risorse ha portato a delineare una forte importazione di calamari; dal 2000 al 2006 la Spagna, la Thailandia e il Perù sono risultati i primi fornitori dell'Italia rispettivamente con 25.400, 13.530 e 4,600 tonnellate (FAO, 2006). Più specificatamente nelle diverse aree italiane (GSA) le catture di calamari dal 2003 al 2010 hanno subito delle fluttuazioni annuali con un evidente calo nel mar Ionio occidentale (GSA 19), a partire dal 2006 (IREPA, 2003-2010) (Tab. 1).

Tab. 1 – Dati di sbarcato IREPA: produzione annuale in tonnellate di *Loligo spp* nelle diverse aree geografiche (GSA).

	<b>GSA9</b>	<b>GSA10</b>	<b>GSA11</b>	<b>GSA16</b>	<b>GSA17</b>	<b>GSA18</b>	<b>GSA19</b>
<b>2003</b>	601,50	274,53	203,45	268,09	435,30	182,25	104,03
<b>2004</b>	233,58	417,60	255,17	425,38	732,05	211,17	166,32
<b>2005</b>	244,40	297,96	351,28	446,41	816,47	332,28	139,98
<b>2006</b>	379,47	223,71	295,66	441,19	545,55	436,88	37,59
<b>2007</b>	263,74	168,47	157,57	578,80	647,40	312,44	18,90
<b>2008</b>	318,07	162,44	145,62	482,38	376,75	351,01	70,89
<b>2009</b>	261,64	140,76	143,19	381,76	437,49	382,01	89,88
<b>2010</b>	305,71	133,44	171,85	444,88	643,16	423,18	32,65

GSA9: Mar Ligure e Tirreno settentrionale; GSA10: Mar Tirreno centro meridionale; GSA11: Mari di Sardegna; GSA12: Coste meridionali della Sicilia; GSA17: Mar Adriatico settentrionale; GSA18: Mar Adriatico meridionale; GSA19: Mar Ionio occidentale.

Per lo stesso arco temporale un leggero trend in diminuzione sembra esserci stato anche nelle acque della Sardegna (GSA11) in quanto si è passato da 203.45 t nel 2003 a 171.85 t nel 2010 (IREPA, 2011). Nel 2011 questi valori se pur in leggera risalita non si discostano di molto ammontando 185 tonnellate (1.9%; IREPA, 2012).

## LA PESCA DEI CALAMARI IN SARDEGNA

La realtà sarda relativamente alla pesca dei calamari rientra in quella generalmente descritta per il resto del Mediterraneo. Va tuttavia sottolineato che lo sbarcato sardo di calamari è principalmente dovuto alle catture dello strascico effettuato nell'isola, dal 63.3% delle imbarcazioni totali, secondariamente dalla piccola pesca (il 21.7% pari a 2140 GT) e infine una piccola porzione è rappresentata dalla pesca "polivalente", impiegata dal 9% circa della flotta sarda, pari a un tonnellaggio complessivo di 1473 GT. È fondamentale inoltre, tenere conto del fatto che gli sbarcati di calamari della pesca a strascico sono maggiormente rappresentati dalla specie *L. forbesii* dal momento che la regolamentazione a cui è soggetta questo tipo di pesca vieta le catture, all'interno della fascia delle 3 miglia dalla costa, o al di sotto dei 50 metri di profondità, dove quindi sarebbe più probabile pescare la specie *Loligo vulgaris* e dove insiste invece la piccola pesca.

Relativamente alla cattura del *Loligo vulgaris* tramite la pesca artigianale, in Sardegna vengono generalmente utilizzate sia le reti da posta sia le totanare trainate con le lenze a mano. In alcune zone soprattutto nella costa nord occidentale (da Bosa a Stintino) negli ultimi anni si è assistito ad un incremento nel numero di unità che si dedicano alla pesca con le totanare, in passato impiegata quasi ad esclusivo uso dilettantistico.

Questa particolare tecnica di pesca prevede l'utilizzo di un'esca artificiale che esteticamente riproduce le sembianze di un gambero o di un pesce. Tale esca viene fissata ad una lenza, tramite una canna da pesca o tenuta direttamente a mano. Alla sua estremità presenta una o più corone di aghi che al momento dell'attacco del calamaro, penetrano nel tessuto molle dei tentacoli, garantendone la cattura (Fig.5)



Fig. 5 – Particolare di una totanara a cui è attaccato un esemplare di *L. vulgaris*

E' possibile trovare in commercio un'ampia varietà di totanara, che si differenziano in base alle dimensioni, al peso, alla galleggiabilità, nonché alla capacità di emettere luce (Fig.6). All'atto della pesca la totanara viene calata fino a raggiungere il fondo e poi fatta oscillare più volte attraverso movimenti verticali al fine di attirare il predatore.



Fig.6– Differenti tipologie di totanara.

Focalizzandoci sulla realtà di Bosa, tale tipologia di pesca interessa un numero ancora limitato di unità professionali, infatti di 21 motopescherecci solo 6 effettuano regolarmente la pesca del calamaro a differenza del settore dilettantistico (sportivo e ricreativo) che conta invece di 30 unità. E' da sottolineare che mentre i professionisti preferiscono pescare durante l'autunno, periodo in cui la risorsa abbonda sottocosta, i pescatori dilettanti effettuano la pesca tutto l'anno ad eccezione dei mesi più freddi. In generale le aree di pesca maggiormente frequentate sono localizzate lungo il litorale a poca distanza dalla costa e a profondità che oscillano tra i 30 e i 40 metri. La pesca viene effettuata durante tutto l'arco del giorno anche se le catture migliori si verificano solitamente durante le ore di alba e tramonto (Fig. 7)



Fig. 7 -*L. vulgaris* : individuo di sesso maschile (LM= 35 cm, PT= 637g ), catturato con la totanara nel mese di dicembre nella costa sud- occidentale della sardegna

Per una buona riuscita della battuta di pesca è fondamentale il corretto utilizzo di un ecoscandaglio che consenta l'individuazione dei banchi di pesce ai quali sono generalmente connessi i calamari. Una variante è con una fonte luminosa, la quale può essere fatta esclusivamente nelle notti di novilunio e non necessita dell'ausilio dell'ecoscandaglio. Nello specifico, dopo aver ancorato la barca, si immerge a pochi metri dalla superficie una lampada elettrica ad ampio fascio. L'illuminazione continua così generata funge da ottimo richiamo per la cosiddetta "mangianza", insieme di piccoli pesci e altri organismi pelagici di cui i calamari si nutrono. Gli sbarcati giornalieri di *L. vulgaris* si aggirano in media tra i 6-7 kg al giorno, il peso medio per esemplare è di circa 350 gr durante il periodo estivo e di 500 gr nel periodo autunnale (novembre-dicembre), sono anche note catture eccezionali del peso di circa un chilogrammo. Da un punto di vista economico secondo le statistiche IREPA (2011) la risorsa calamaro ha prodotto in Sardegna un introito pari a 2.323.000 milioni di euro nell'anno 2011 sulla base di un prezzo medio di mercato pari a 13 euro al Kg, valore in linea con la media nazionale (Fig. 8).

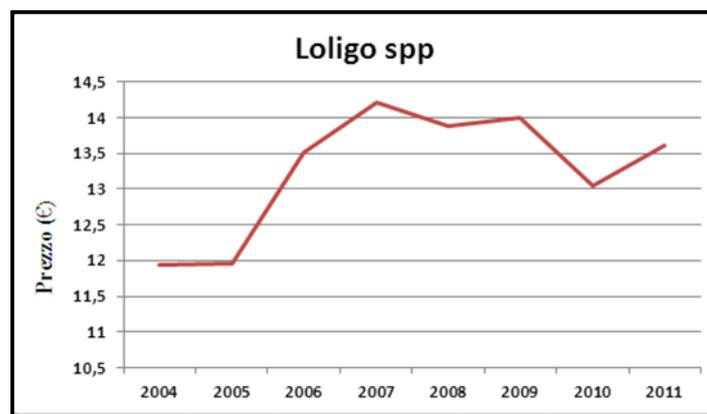


Fig. 8 – Andamento dei prezzi (€/kg) di *Loligo spp* negli anni 2004-2011 in Italia.

## Materiali e metodi

I dati utilizzati, per entrambe le specie sono stati raccolti durante le campagne sperimentali di pesca a strascico condotte dal 1994 al 2013 nei mari circostanti la Sardegna dal Dipartimento di scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari nell'ambito del progetto MEDITS (Mediterranean International Trawl Survey) (Bertrand *et al.*, 2002). Questo progetto volto a valutare e lo stato delle risorse alieutiche in Mediterraneo, prevede l'allocazione delle cale secondo un campionamento random stratificato, che suddivide l'area strascicabile in 7 zone, ciascuna con 5 strati batimetrici(Fig.9)

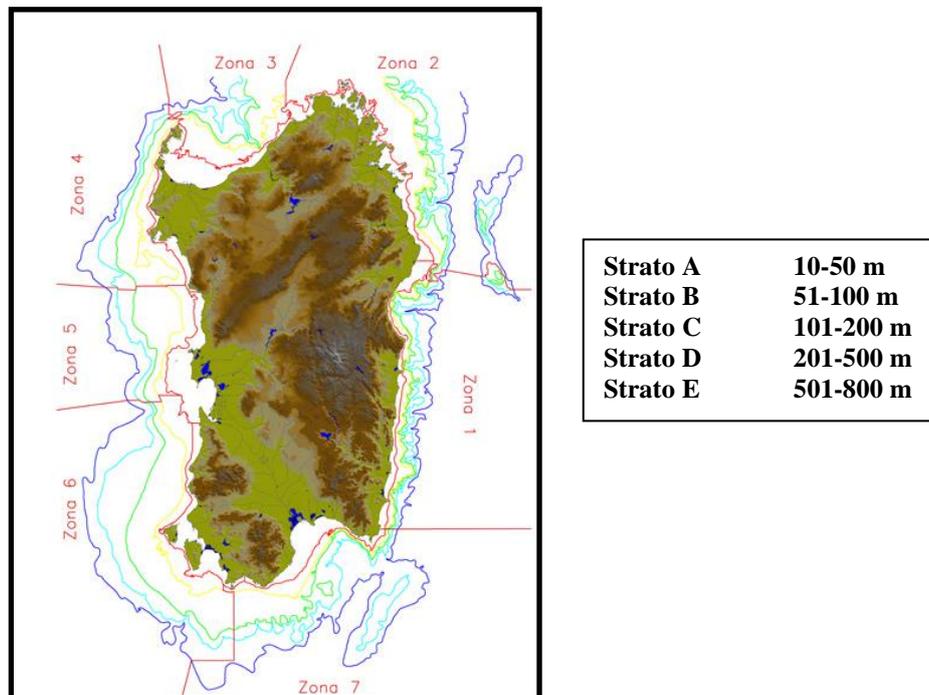


Fig. 9– Distribuzione batimetrica dell'area d'indagine.

I campionamenti sono stati effettuati a bordo di motopescherecci appartenenti alla marineria isolana. Per ciascun individuo, in laboratorio, sono stati rilevati i principali parametri biometrici, ossia la lunghezza del mantello (LM, in mm) ed il peso totale (PT, in grammi) secondo la metodologia standard per i decapodiformi indicata da Roper & Voss (1983). Inoltre, è stato identificato il sesso ed attribuito lo stadio di maturità sessuale, utilizzando la scala di maturità a tre stadi (stadio 1: immaturi; stadio 2: in via di maturazione; stadio 3: maturi) proposta da Lipinski (1995).

Al fine di identificare la distribuzione batimetrica delle due specie per ciascuna campagna è stata calcolata la frequenza percentuale delle catture (*occurrence*) per i seguenti strati batimetrici 10-50, 51-100, 101-200, 201-500, 501-800 m e per le diverse zone geografiche. Successivamente per ciascuna campagna è stata analizzata la struttura di taglia dei campioni, calcolando la percentuale di individui giovanili ( $LM \leq 100$  mm), rispetto ai subadulti e adulti ( $LM > 100$  mm) nei differenti strati batimetrici. Infine, al fine di valutare quale fosse l'abbondanza delle due specie sono stati calcolati gli Indici di Abbondanza (IA) in termini di peso (IB, Indice di Biomassa espresso in  $kg/km^2$ ) e di numero di individui (ID, Indice di Densità espresso in  $N^{\circ}/km^2$ ) all'interno del range batimetrico di ciascuna specie.

L'attendibilità statistica dei trend degli indici di abbondanza è stata verificata tramite l'applicazione dei test  $\tau$  di Kendall (Kendall, 1948).

## RISULTATI

### *Occurrence per strato batimetrico*

#### *Loligo vulgaris*

*Loligo vulgaris* è risultato presente nel 41.1% (140/ 340) delle cale effettuate tra i 10-50 m e nel 47.7% (183/ 383) di quelle effettuate tra 50-100 m.

Si è potuta osservare una progressiva diminuzione dei valori di occorrenza a partire dallo strato batimetrico 100-200 m in cui la specie è presente nel 14.6% (68/ 465) delle cale. Come è possibile notare dalla figura 10 la frequenza delle catture di *L. vulgaris* nel range batimetrico dei 10-50 m variano dal 6.6% (anno: 2003) fino al 72.2% (anno: 2009). Le catture maggiori si osservano negli anni 1999, 2006, 2008, 2009; mentre i valori più bassi nel 1994 e nel 2003 (Fig. 10).

Nella fascia batimetrica dei 51-100 m la frequenza di cattura della specie varia dal 15.7% (anno: 2004) fino al 78.9% (anno: 2008) (Fig. 10). I valori più elevati sono stati riscontrati negli anni 2006, 2008, 2009 e 2011 mentre quelli più bassi negli anni 1996, 1999 e 2004 (Fig. 10). Tra i 101-200 m la frequenza di cattura varia dal 3.2% (anno: 1998) al 59% (anno: 2008), con valori massimi negli anni 2008 e 2011 e valori minimi negli anni 1996, 2006 e 2009, nei quali, non è stato catturato neanche un singolo individuo (Fig. 10). Dall'analisi dei dati relativi allo strato D (200-500 m) si può notare che la frequenza varia dal 3.8% (anno: 1999) al 30% (anno: 2004). Come emerge dalla figura 11, in diversi anni non è stato pescato neanche un singolo individuo, ed i fatta eccezione per il 2004 risultano nettamente inferiori ai precedenti strati.

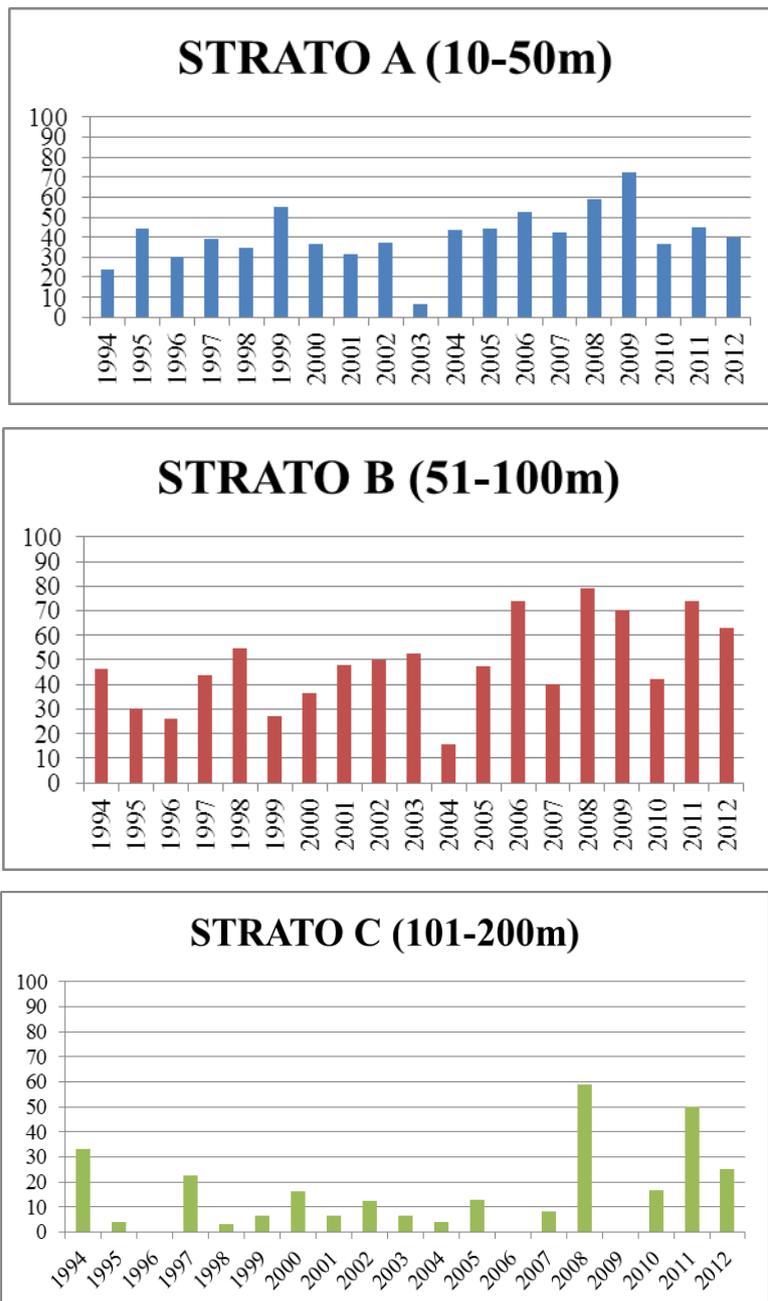


Fig. 10. – Occurrence di *Loligo vulgaris* dal 1994 al 2012 alla profondità nei differenti strati batimetrici analizzati, nei mari circostanti la Sardegna.

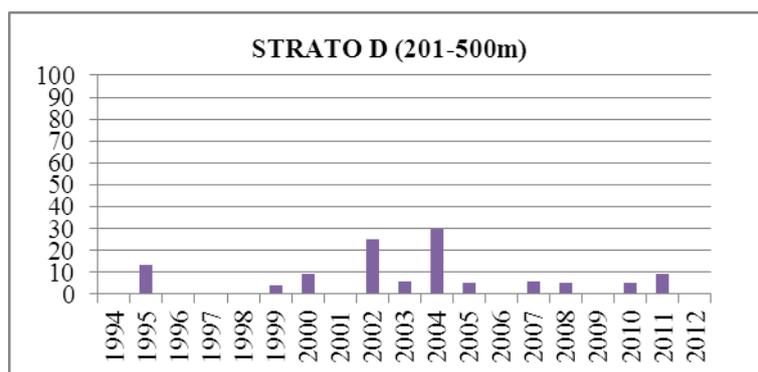


Fig. 11. – Occurrence di *Loligo vulgaris* dal 1994 al 2012 alla profondità compresa tra 201-500 metri nei mari circostanti la Sardegna.

### *Loligo forbesii*

*Loligo forbesii* invece è stato pescato nel 5.8% (20/ 340) delle cale effettuate tra i 10-50 m (strato meno profondo) e nel 10.4% (40/ 383) di quelle effettuate tra 51-100 m. Un netto aumento è emerso nella fascia batimetrica compresa tra i 101-200 m dove la percentuale di presenza è risultata pari al 47.5% (221/ 465). Nello strato 201-500 m è presente nel 59.6% (238/ 399) delle cale, mentre, è stato riscontrato un netto calo tra i 501-800 m con un valore percentuale del 8% (32/ 400).

Come è possibile notare dalla figura 12 riguardante la fascia batimetrica dei 10-50 m, non è stato catturato alcun esemplare di *L. forbesii* negli anni 1995, 1997, 1998, 2001, 2002, 2007 e dal 2009 al 2012 e i valori massimi sono stati registrati negli anni 2000, 2004 e 2006. Un leggero incremento dell'occurrence caratterizza lo strato batimetrico 51-100 m dove il valore massimo pari di 39.2% è stato registrato nel 1994 e l'assenza di catture si è verificata negli anni 2002, 2007, 2008 e 2009 (Fig. 12). Nello strato C (101-200 m) sono stati registrati valori più elevati rispetto ai precedenti strati, fatta eccezione per il 2002 dove non sono state registrate catture. I valori maggiori sono stati registrati nel 1994 (71.4%) e negli anni 1998 e 2000 (67.7%). Nello strato batimetrico compreso tra 201 e 500 metri la specie risulta sempre presente ed i valori dell'occurrence sono in assoluto i più elevati e variano dal 5.5% (anno: 2004) fino a 90.9% (anno: 1995) (Fig. 12).

Tra 500-800 m si assiste ad un netto calo dei valori percentuali di frequenza, in particolare, la specie risulta totalmente assente negli anni 1999, 2005, 2006 e 2008 (Fig. 13).

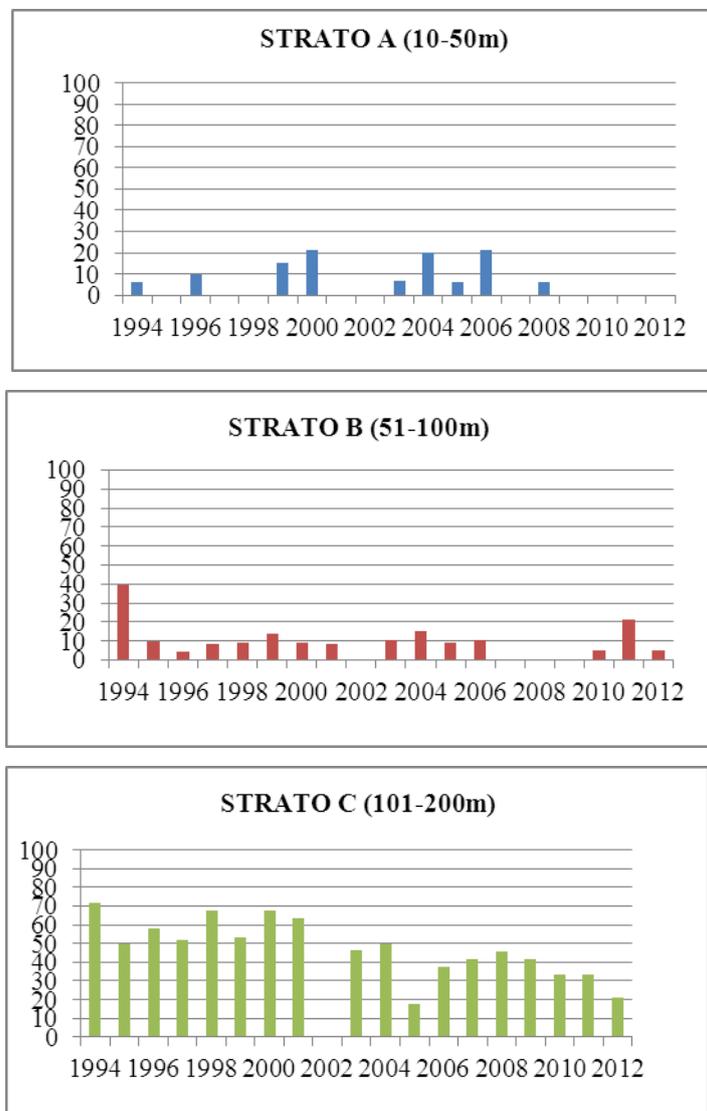


Fig. 12. – Occurrence di *Loligo forbesii* dal 1994 al 2012 nei differenti strati batimetrici analizzati, nei mari circostanti la Sardegna

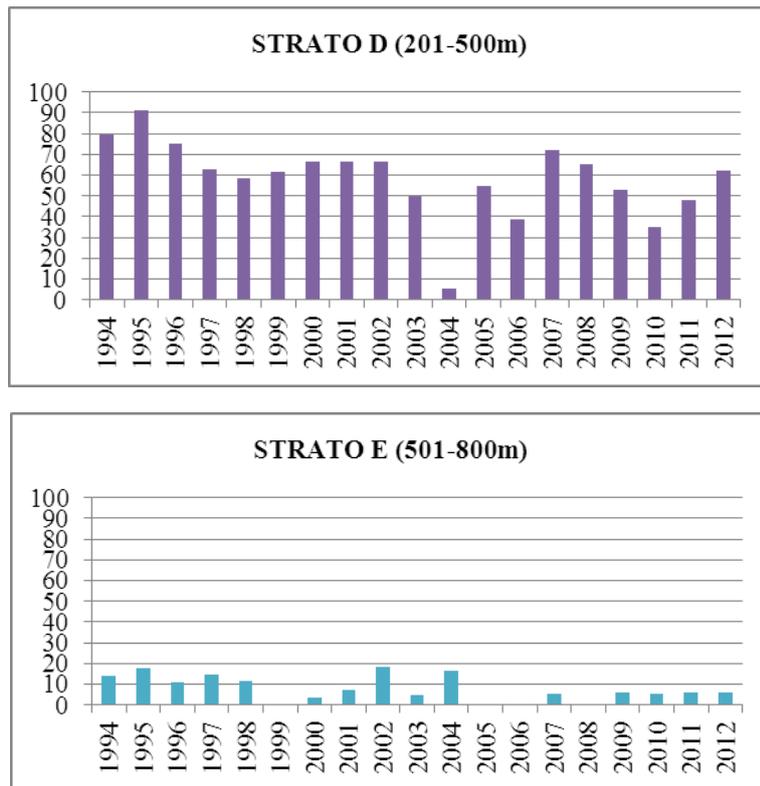


Fig. 13. – Occurrence di *Loligo forbesii* dal 1994 al 2012 negli strati D (200-500m) ed E (501-800) metri nei mari circostanti la Sardegna.

## ***Occurrence per zona geografica***

### ***Loligo vulgaris***

Le catture di *L. vulgaris* nella zona 1 (sud-orientale) hanno una frequenza media pari al 16.9%. Come si può notare dalla figura 15 sono evidenti dei picchi registrati nel 2006 e nel 2011 pari rispettivamente al 40% ed al 44,4% e l'assenza di catture negli anni 2002 e 2007. L'analisi della zona 2 (nord-orientale) ha mostrato una frequenza percentuale media pari al 22.5%; gli anni 1998 e 2011 si sono dimostrati i più pescosi con valori pari rispettivamente al 38.8% ed al 50% (Fig. 14).

Nella zona settentrionale (zona 3) il valore medio è risultato più elevato, pari a 29.3% (Fig. 17). Osservando la figura 17 è possibile notare i picchi che hanno caratterizzato gli anni 2006 e 2009 (con percentuali del 50%) e l'assenza di catture nell'anno 2003. Dall'analisi del grafico riportato in figura 18 riguardante la zona 4 (nord-occidentale) area caratterizzata da un valore medio di 21.2%, notiamo che nell'anno 2008 si è raggiunto un picco dell'*occurrence* pari all'80%, per contro nel triennio 2001-2003 non sono state effettuate catture. Nella zona centro-occidentale (zona 5) il valore medio percentuale è risultato pari al 25.9%. Osservando la figura 19 è evidente il picco registrato nel 2005 (71.4%) e l'assenza di catture negli anni 1996 e 2004. Le catture nella zona 6 (sud-occidentale), hanno mostrato la costante presenza di *Loligo vulgaris*, con un valore medio di *occurrence* paria a 21.4% (Fig. 15); si possono notare dei picchi negli anni 2008 e 2011 con valori rispettivi del 43.4% e 48.1%. La zona meridionale (zona 7) è caratterizzata da un valore medio di 16.9%, dai picchi degli anni 2002 e 2008 con valori rispettivamente di 38.4% e 40% e dall'assenza di catture negli anni 1994 e 2007 (Fig. 16).

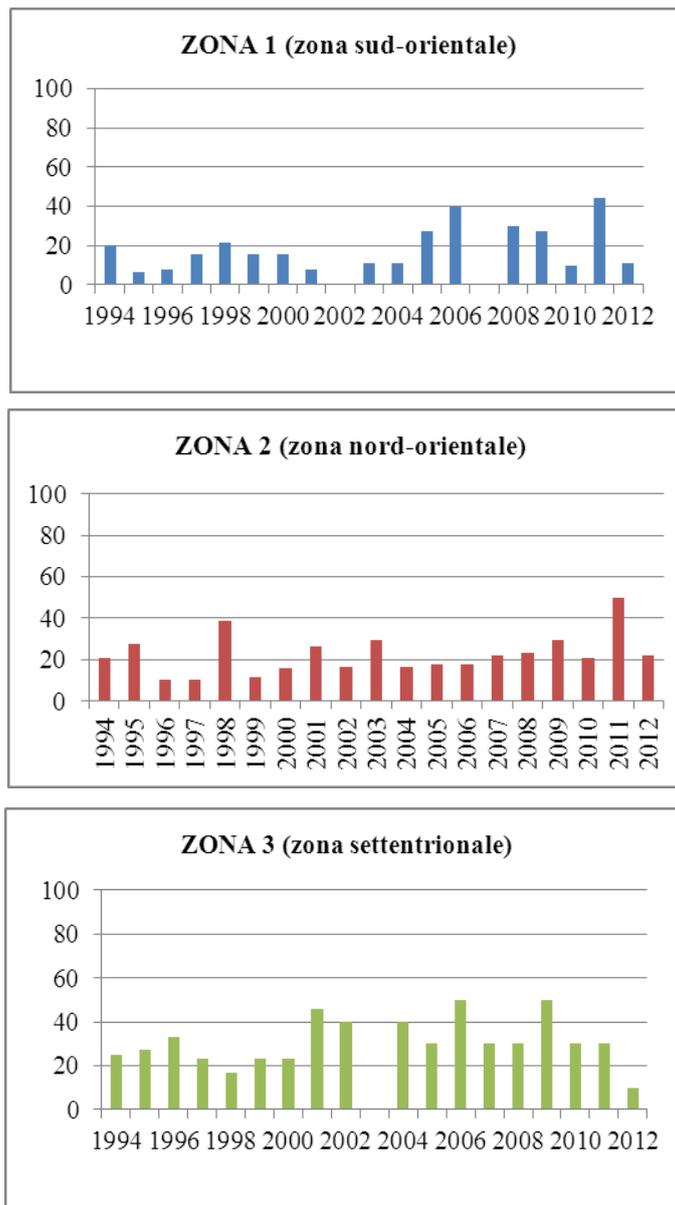


Fig. 14. – Occurrence di *Loligo vulgaris* dal 1994 al 2012 nelle zone 1-2-3

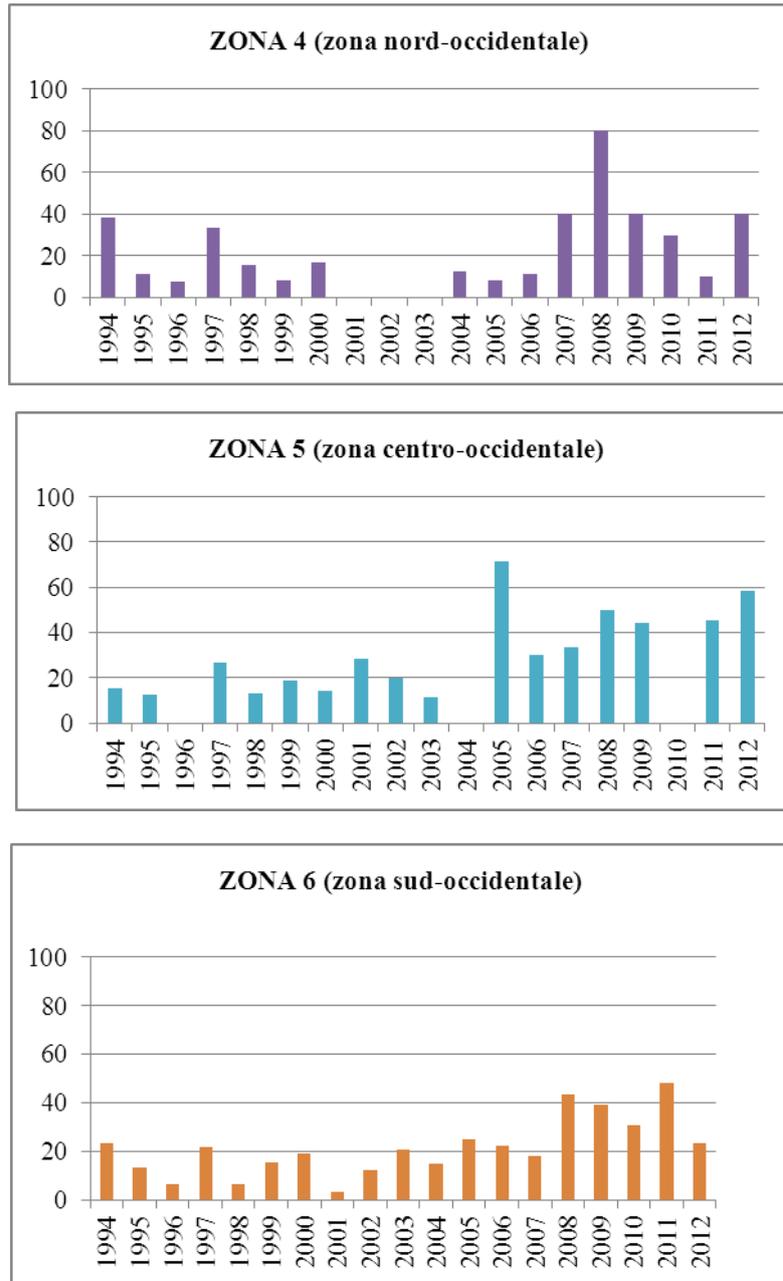


Fig. 15. – Occurrence di *Loligo vulgaris* dal 1994 al 2012 nelle zone 4-5-6.

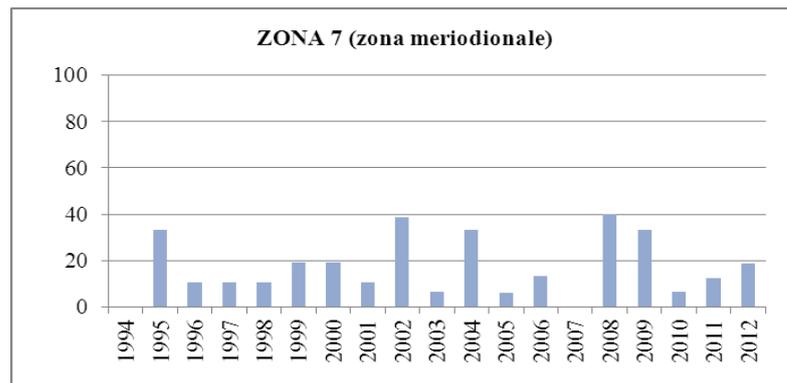


Fig 16. – Occurrence di *Loligo vulgaris* dal 1994 al 2012 nella zona 7.

### *Loligo forbesii*

Le frequenza media delle catture di *L. forbesii* nella zona sud-orientale (zona 1) è risultata di 24.4%; come si può notare dalla figura 22 sono evidenti i picchi del 1994 (46.6%) e del 1995 (40%) e l'esiguità delle catture degli anni 1997 e 2007 in cui le frequenze rilevate sono state rispettivamente del 7.6% e 10%. L'occurrence, nella zona 2 (nord-orientale) è risultata pari mediamente al 16.1% (Fig. 17). Gli anni 1999 e 2000 si sono dimostrati i più pescosi con valori rispettivi di 41.1% e 36.8%, mentre nel 2004 e nel 2012 non sono stati catturati individui. Nella zona settentrionale (zona 3) è stata registrata la frequenza media più bassa con un valore di 13.8% (Fig. 17).

Nel 1994 il valore percentuale è risultato di 41.6% mentre non è stata effettuata alcuna cattura negli anni 1996, 2003, 2004, 2006, 2009, 2010. Il valore medio della zona 4 (nord-occidentale) è risultato pari a 20.6%. Nel 1997 si è raggiunto il valore massimo (50%) e nel 2002 quello più basso (3.3%) (Fig. 18). Nella zona centro-occidentale (zona 5) il valore medio è risultato pari al 25.6%. In quest'area è possibile evidenziare il picco del 1994 (53.8%) e l'assenza di catture verificatasi nell'anno 2010 (Fig. 18). Come osservato per *L. vulgaris* anche per *L. forbesii* la zona 6 (sud-occidentale) è risultata una delle più pescose, caratterizzata da un valore medio pari a 35.2% (Fig. 18).

*L. forbesii* risulta presente sempre, inoltre, spiccano i picchi degli anni 1994, 1996, 1998 e 2001 con valori pari rispettivamente a 51.6%, 59.3%, 53.1%, 53.1% (Fig. 18). Anche la zona meridionale (zona 7) è risultata una delle più pescose, con un valore medio di 36.9%. Per quest'area sono evidenti i picchi degli anni 1994, 1995, 2003 e 2010 con valori rispettivamente di 52.3%, 53.3%, 53.2% e 53.1% (Fig. 18).

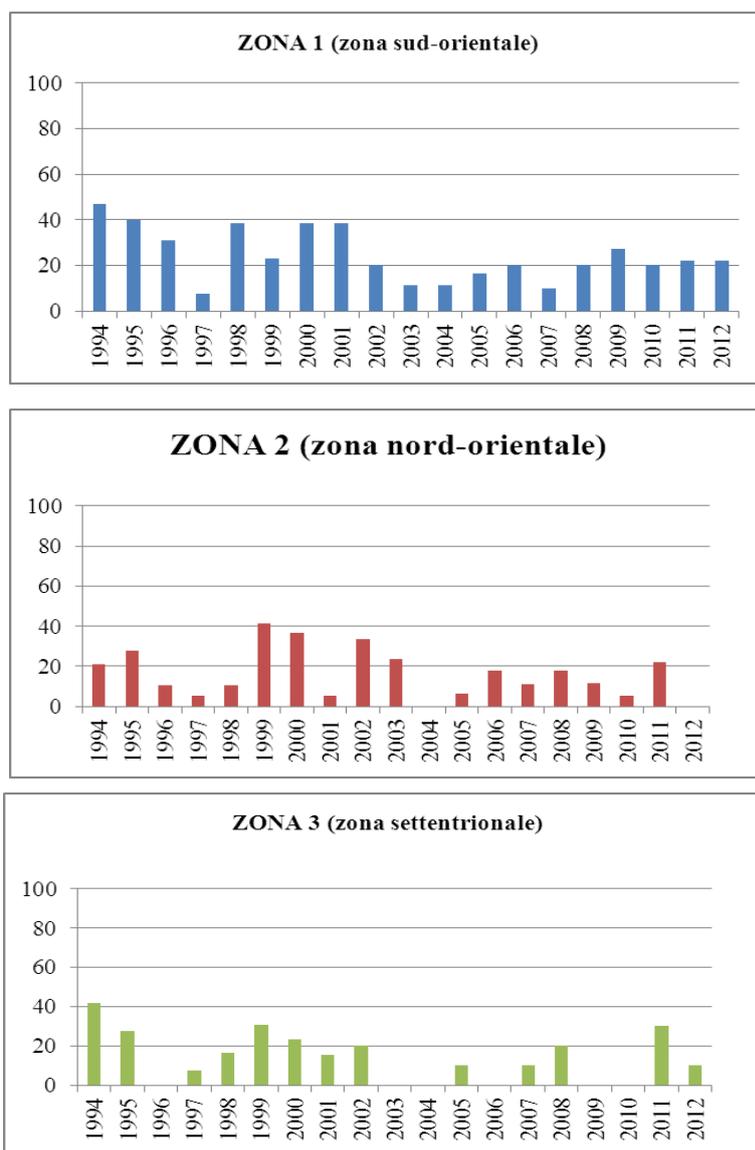


Fig. 17. – Occurrence di *Loligo forbesii* dal 1994 al 2012 nelle zone 1 e 2

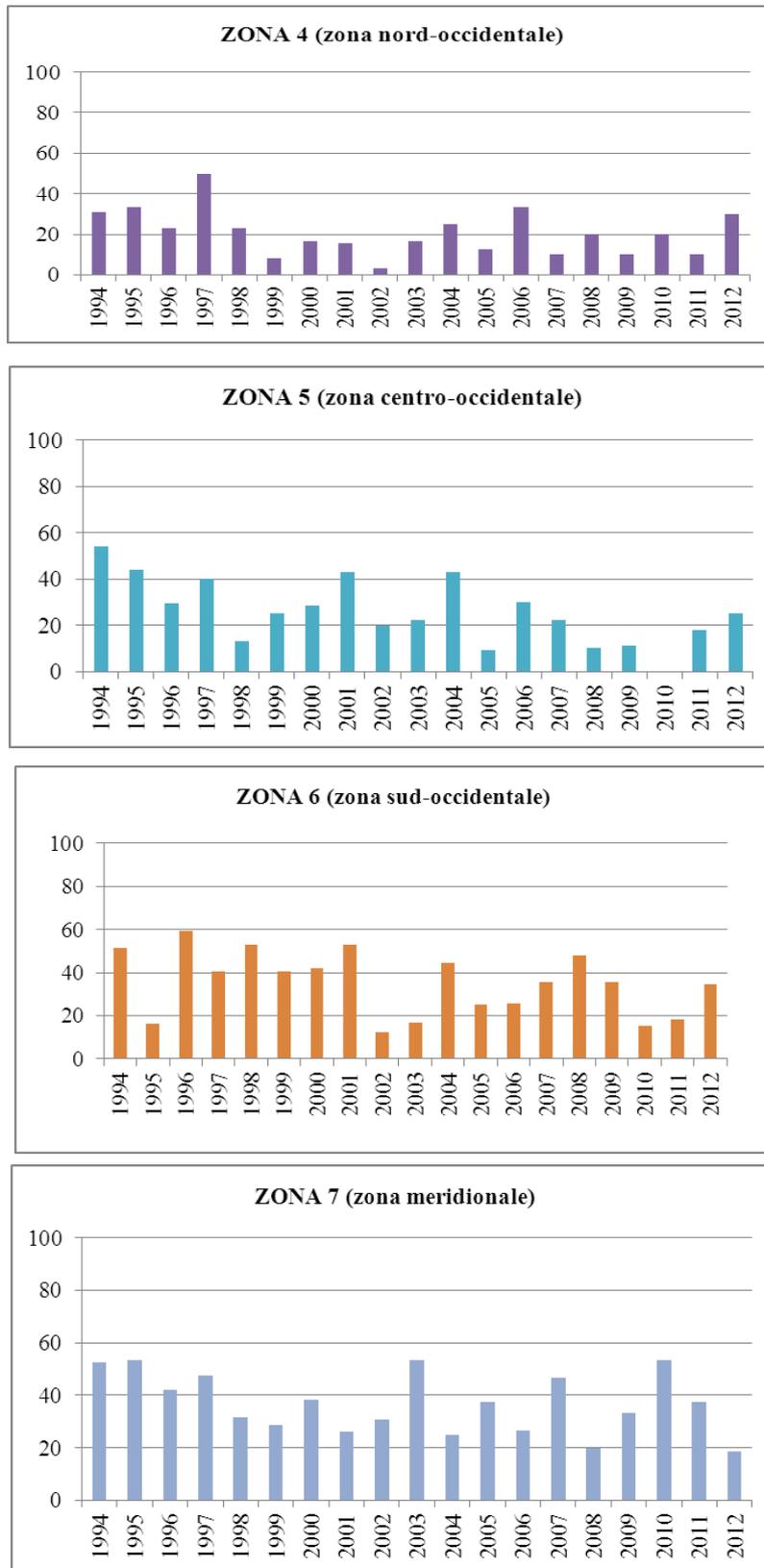


Fig. 18. – Occurrence di *Loligo forbesii* dal 1994 al 2012 nelle zone 6 e 7

## *Struttura di taglia del campione analizzato*

### *Loligo vulgaris*

Le dimensioni degli individui di *Loligo vulgaris* pescati durante gli anni di campionamento oscillano da 10 a 435 mm di lunghezza mantello dorsale (LM) (Fig. 19). Negli anni analizzati, le catture sono risultate essere composte sia da giovanili che da sub-adulti e adulti ed hanno rappresentato complessivamente il 71.5% e il 28.5% rispettivamente (Tab. 2).

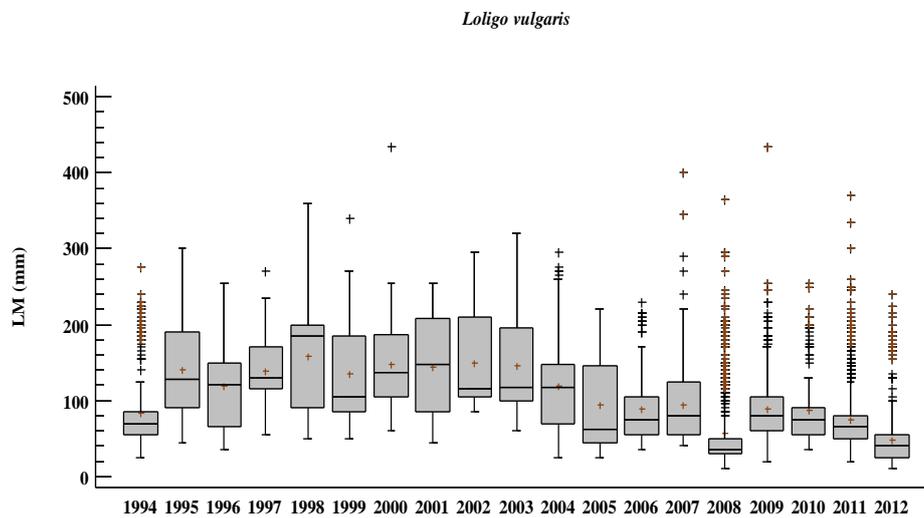


Fig.19 – Box plot delle lunghezze mantello di *Loligo vulgaris* rilevate dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Tab. 2. – Range di lunghezza mantello e frequenza % dei giovanili, adulti e subadulti di *Loligo vulgaris* catturati dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Campagna	Lunghezza mantello (mm)		Frequenza	
	Numero	Range [Media $\pm$ dev st.]	% Giovanili	% Adulti e subadulti
Medits 1994	251	25-275 [83 $\pm$ 49]	85,3	14,7
Medits 1995	48	45-300 [140 $\pm$ 67]	31,3	68,8
Medits 1996	39	35-255 [119 $\pm$ 61]	43,6	56,4
Medits 1997	97	55-270 [138 $\pm$ 45]	17,5	82,5
Medits 1998	81	50-360 [152 $\pm$ 70]	33,3	66,7
Medits 1999	63	50-270 [135 $\pm$ 65]	44,4	55,6
Medits 2000	56	60- <b>435</b> [148 $\pm$ 64]	23,2	76,8
Medits 2001	40	45-255 [144 $\pm$ 62]	30	70
Medits 2002	49	85-295 [149 $\pm$ 60]	24	76
Medits 2003	54	60-320 [145 $\pm$ 56]	26	74
Medits 2004	144	25-275 [119 $\pm$ 60]	37,5	62,5
Medits 2005	94	25-220 [93 $\pm$ 62]	64,9	35,1
Medits 2006	157	35-230 [88 $\pm$ 45]	73,9	26,1
Medits 2007	251	40-400 [94 $\pm$ 52]	66	34
Medits 2008	618	<b>10</b> -365 [55 $\pm$ 50]	84	16
Medits 2009	368	20- <b>435</b> [88 $\pm$ 48]	74	26
Medits 2010	169	35-255 [86 $\pm$ 46]	80	20
Medits 2011	618	20-370 [75 $\pm$ 44]	83,8	16,2
Medits 2012	339	<b>10</b> -240 [47 $\pm$ 38]	93,2	6,8
Totale	3536	10-435 [110,4 $\pm$ 54,9]	71,5	28,5

Analizzando le catture alle differenti batimetrie, si è potuto osservare come gli individui giovanili siano più abbondanti entro i 100 m di profondità nel 72,2% degli anni monitorati. Inoltre, in alcuni anni (1996, 1997, 1999 e 2002) sono stati catturati esclusivamente entro i 50 m di profondità. In linea generale, è possibile osservare come la presenza dei giovanili diminuisca all'aumentare della profondità, fatta eccezione per gli anni 1994, 2001, 2008, 2010 e 2011 dove risultano più abbondanti tra 101 e 200 m. Le catture abbondanti di giovani individui mettono in evidenza come i mesi di giugno e luglio siano di reclutamento per la specie (Tab. 3).

Tab. 3. – Periodo di campionamento e di cattura dei giovanili di *Loligo vulgaris* e relative percentuali di cattura dei giovanili nei differenti strati batimetrici (10-50, 51-100 e 101-200 metri) durante le campagne di pesca Medits condotte dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Campagna	Periodo di campionamento	di	Periodo di cattura dei giovanili	Frequenza dei giovanili per strato batimetrico (%)		
				10-50 m	51-100 m	101-200 m
Meditis 1994	Giugno-Agosto		Giugno - Luglio	0,9	23,8	<b>75,2</b>
Meditis 1995	Maggio-Luglio		Luglio	86,7	13,3	0
Meditis 1996	Giugno-Agosto		Luglio	<b>100,0</b>	0	0
Meditis 1997	Giugno-Agosto		Agosto	<b>100,0</b>	0	0
Meditis 1998	Maggio-Luglio		Maggio - Giugno	85,2	14,8	0
Meditis 1999	Maggio-Luglio		Maggio - Giugno	<b>100,0</b>	0	0
Meditis 2000	Maggio-Luglio		Giugno	53,8	0	<b>30,8</b>
Meditis 2001	Giugno-Luglio		Giugno	16,7	33,3	<b>50,0</b>
Meditis 2002	Luglio		Luglio	<b>100,0</b>	0	0
Meditis 2003	Giugno-Luglio		Giugno	85,7	7,1	0
Meditis 2004	Giugno-Luglio		Luglio	88,9	11,1	0
Meditis 2005	Giugno-Luglio		Giugno	52,5	47,5	0
Meditis 2006	Giugno-Luglio		Giugno	95,7	4,3	0
Meditis 2007	Agosto		Agosto	64,5	34,3	0
Meditis 2008	Giugno-Luglio		Luglio	14,4	24,7	<b>60,9</b>
Meditis 2009	Maggio-Luglio		Giugno - Luglio	35,4	43,5	<b>20,3</b>
Meditis 2010	Maggio-Giugno		Maggio - Giugno	17,6	6,6	<b>75,7</b>
Meditis 2011	Giugno-Luglio		Giugno	8,9	34,0	<b>57,1</b>
Meditis 2012	Giugno-Luglio		Giugno - Luglio	3,8	50,9	<b>45,3</b>
Totale	Maggio-Agosto		Maggio-Agosto	58,5	18,4	21,9

## *Loligo forbesii*

Le dimensioni degli individui di *Loligo forbesii* campionati, sono risultate variabili tra 13 e 376 mm di lunghezza mantello dorsale (Fig. 20).

Complessivamente è possibile notare come il campione sia equamente suddiviso tra individui sub-adulti e adulti (47.5%) e giovanili (52.4%) (Tab. 4).

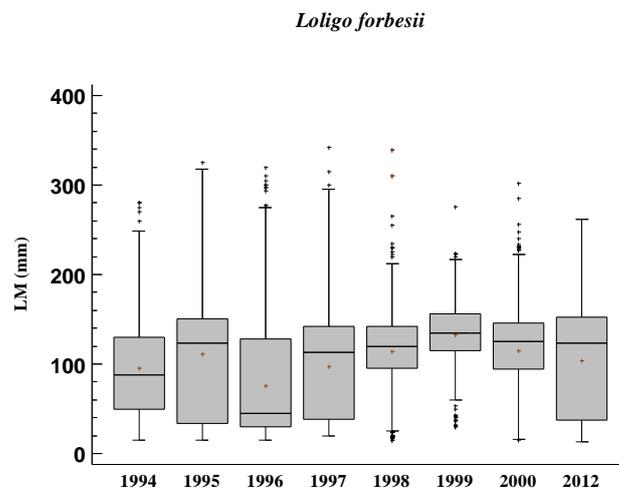


Fig. 20 – Box plot delle lunghezze mantello dorsale di *Loligo forbesii* rilevate dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Tab. 4. – Range di lunghezza mantello e frequenza % dei giovanili, adulti e subadulti di *Loligo forbesii* catturati dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Campagna	Lunghezza mantello (mm)		Frequenza	
	Numero	Range [Media ± dev st.]	% Giovanili	% Adulti e subadulti
Meditis 1994	1010	15-280 [95 ± 51]	57,5	42,5
Meditis 1995	582	15-325 [111 ± 67]	35,2	64,8
Meditis 1996	670	15-320 [75 ± 63]	69,1	30,9
Meditis 1997	408	20-342 [97 ± 62]	48,5	51,5
Meditis 1998	465	15-339 [113 ± 52]	30,3	69,7
Meditis 1999	170	30- <b>376</b> [132 ± 47]	20,6	79,4
Meditis 2000	256	15-302 [114 ± 59]	28,1	71,9
Meditis 2012	236	<b>13</b> -262 [103 ± 63]	46,6	53,4
Totale	3797	13-376 [105 ± 58]	52,4	47,5

Gli individui giovanili sono stati catturati principalmente tra 101 e 200 metri di profondità, ad eccezione dell'anno 1995 in cui risultano più abbondanti tra 201 e 500 m (Tab. 5).

Tab. 5. – Periodo di campionamento e di cattura dei giovanili di *Loligo forbesii* e relative percentuali di cattura dei giovanili nei differenti strati batimetrici (51-100, 101-200 e 201-500 metri) durante le campagne di pesca Medits condotte dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Campagna	Periodo di campionamento	di	Periodo di cattura dei giovanili	Frequenza dei giovanili per profondità (%)		
				51-100 m	101-200 m	201-500 m
Meditis 1994	Giugno - Agosto		Luglio	<b>27,9</b>	55,6	16,5
Meditis 1995	Maggio - Luglio		Maggio - Giugno	0	34,6	63,4
Meditis 1996	Giugno - Agosto		Luglio	0	<b>95,7</b>	4,3
Meditis 1997	Giugno - Agosto		Luglio	0	<b>99,0</b>	1,0
Meditis 1998	Maggio - Luglio		Giugno	<b>0,7</b>	<b>92,2</b>	7,1
Meditis 1999	Maggio - Luglio		Maggio - Giugno	<b>8,6</b>	71,4	20,0
Meditis 2000	Maggio - Luglio		Luglio	<b>4,2</b>	<b>94,4</b>	1,4
Meditis 2012	Giugno - Luglio		Giugno - Luglio	<b>10,6</b>	71,3	5,3
Totale	Maggio - Agosto		Maggio - Luglio	6,5	49,5	43,3

## Indici di biomassa e di densità

### *Loligo vulgaris*

Dall'analisi degli indici di biomassa espressi in  $\text{kg/ km}^2$ , relativi alla fascia batimetrica preferenziale di *Loligo vulgaris* individuata tra 10 e 200 metri, è emerso che i valori più elevati riguardano gli anni 2008 e 2009 con valori rispettivi di 6.9 e 6.6  $\text{kg/ km}^2$  mentre, i valori più bassi riguardano gli anni 2003 e 1996 in cui si risultano pari a 0.8 e 1.3  $\text{kg/ km}^2$  (Fig. 21a; Tab. 6).

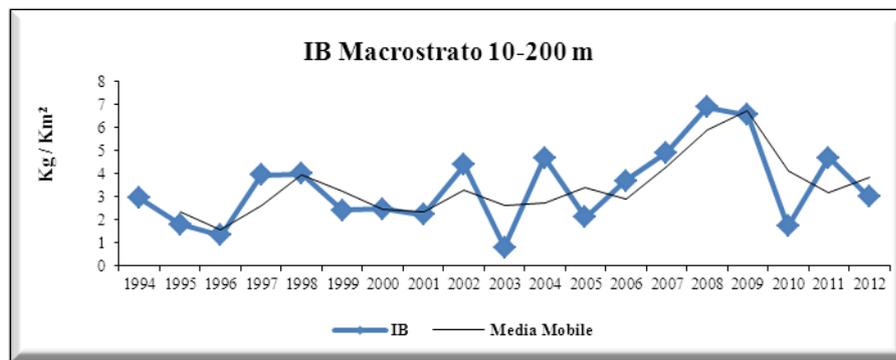


Fig. 21a. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo vulgaris* registrati tra 10-200 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Per quanto riguarda gli indici di densità espressi in  $\text{N}^\circ/\text{km}^2$  e relativi alla fascia batimetrica da 10 a 200 metri, i valori più elevati sono stati registrati negli anni 2008, 2011 e 2012 con valori rispettivi di 357.5, 234.8 e 505  $\text{N}^\circ/\text{km}^2$  (Fig. 21b; Tab. 6). Per contro durante le campagne del 1996, 2001 e 2003 sono stati rilevati i valori più bassi, pari rispettivamente a 15.9, 15.8 e 4.23  $\text{N}^\circ/\text{km}^2$  (Fig. 21b; Tab. 6).

La media mobile pur attenuando le fluttuazioni evidenziate per entrambi gli indici di abbondanza conferma gli andamenti descritti precedentemente e l'analisi statistica del test  $\tau$  di Kendall non ha evidenziato corrispondenze statisticamente negative o positive.

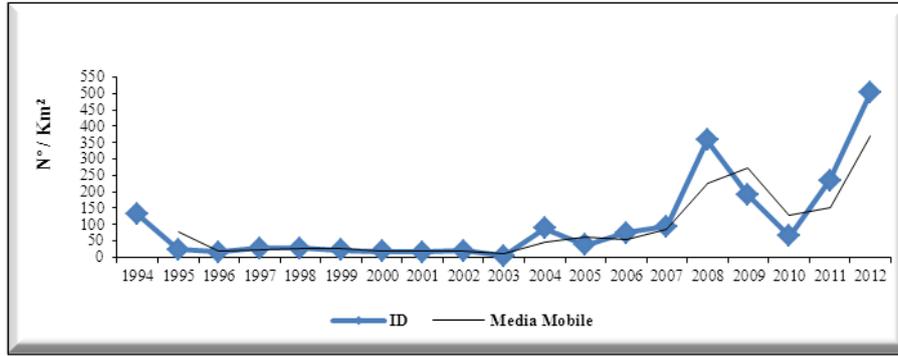


Fig. 21b. – Indici densità (ID) di *Loligo vulgaris* registrati tra 10-200 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Tab. 6. – Valori degli indici di biomassa (IB) e di densità (ID) di *Loligo vulgaris* per la fascia batimetrica 101-200 metri nei mari circostanti la Sardegna.

	<b>IB (Kg/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>ID (N°/Km<sup>2</sup>)</b>
<b>Meditis 1994</b>	2.9	131.9
<b>Meditis 1995</b>	1.8	23.4
<b>Meditis 1996</b>	1.3	15.9
<b>Meditis 1997</b>	4	27.5
<b>Meditis 1998</b>	4	27.5
<b>Meditis 1999</b>	2.4	22.7
<b>Meditis 2000</b>	2.5	18.9
<b>Meditis 2001</b>	2.2	15.8
<b>Meditis 2002</b>	4.4	20.7
<b>Meditis 2003</b>	0.8	4.2
<b>Meditis 2004</b>	4.7	88.5
<b>Meditis 2005</b>	2.1	37.0
<b>Meditis 2006</b>	3.7	75.2
<b>Meditis 2007</b>	4.9	95.1
<b>Meditis 2008</b>	6.9	357.5
<b>Meditis 2009</b>	6.6	189.0
<b>Meditis 2010</b>	1.7	65.1
<b>Meditis 2011</b>	4.7	234.9
<b>Meditis 2012</b>	3.0	505.0

Passando agli indici di biomassa per fascia batimetrica è più in particolare a quella compresa tra 10 e 50 metri sono evidenti i picchi di abbondanza registrati negli anni 2004, 2007 e 2009 pari rispettivamente a 13.3 kg/km<sup>2</sup>, 11.2 kg/km<sup>2</sup>, 10.4 kg/km<sup>2</sup>. Inoltre, sono evidenti i valori minori che hanno caratterizzato gli anni 2000, 2003, 2010 e 2011 con valori corrispettivi pari a 1.9 kg/km<sup>2</sup>, 1.2 kg/km<sup>2</sup>, 1,3 kg/km<sup>2</sup> e 1.7 kg/km<sup>2</sup> (Fig. 22).

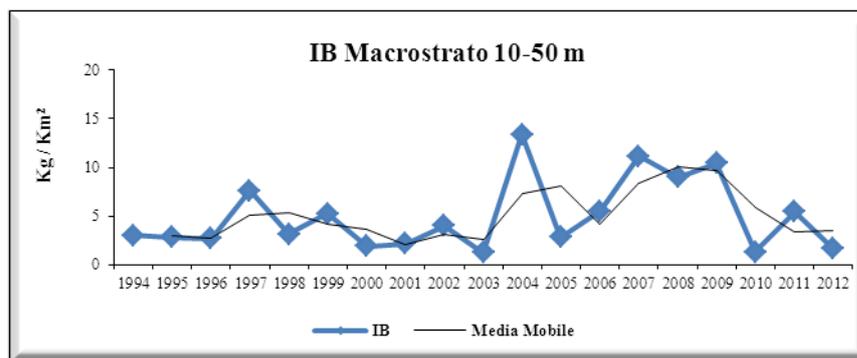


Fig. 22. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo vulgaris* registrati tra 10-50 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Passando dello strato batimetrico tra 51-100 metri spiccano gli elevati valori che hanno caratterizzato le campagne del 1998, 2002, 2008 e 2009, pari rispettivamente a 10, 9.9, 8.9 e 9.6 kg/km<sup>2</sup> ed il valore minimo (0.1 kg/km<sup>2</sup>) registrato anche in questa fascia sempre nell'anno 2003.

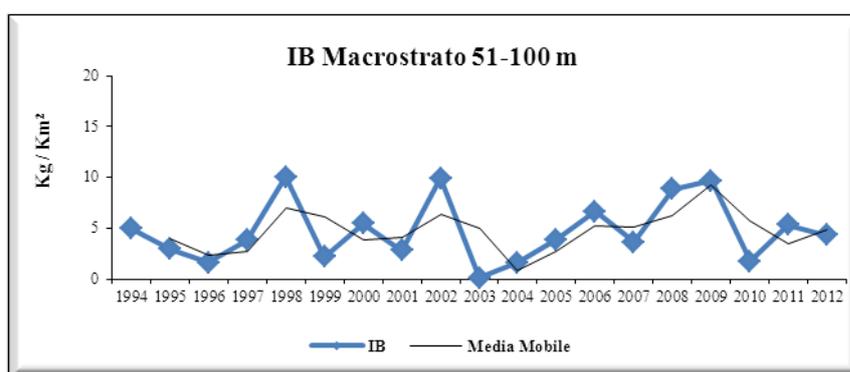


Fig. 23. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo vulgaris* registrati tra 51-100 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Infine, passando alla batimetria compresa tra 101 e 200 metri è possibile osservare un andamento più o meno stabile negli anni con valori variabili tra  $0.07 \text{ kg/km}^2$  (anno: 1998) e  $3.67 \text{ kg/km}^2$  (anno: 2008) (Fig. 24).

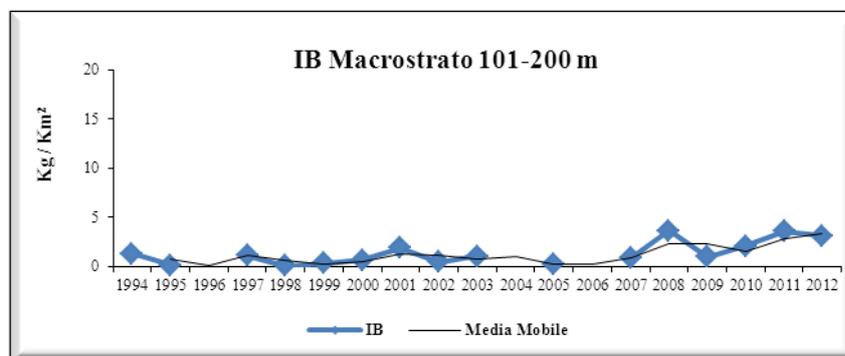


Fig. 24. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo vulgaris* registrati tra 101-200 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

L'analisi statistica del test  $\tau$  di Kendall non ha evidenziato corrispondenze statisticamente negative o positive per nessuno strato batimetrico. Passando agli indici di densità, calcolati sempre per gli stessi strati batimetrici, tra 10 e 50 m sono evidenti i picchi di abbondanza che hanno caratterizzato gli anni 2004 ( $263.7 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ), 2006 ( $205.5 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ), 2007 ( $194.8 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ), 2009 ( $219.4 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ), 2010 ( $124.2 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ) e 2011 ( $113.6 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ) (Fig. 35). In contrapposizione a questi valori appare quello registrato nel 2003, pari a  $5.4 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ .

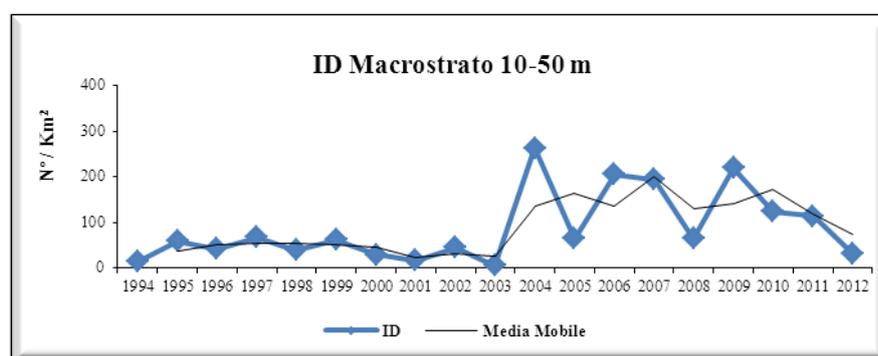


Fig. 25. – Indici di densità (ID) di *Loligo vulgaris* registrati tra 10-50 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

All'interno della fascia batimetrica 51-100 metri oltre ad evidenziare il valore minimo che ha caratterizzato l'anno 2003 ( $1.10 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ ) è possibile osservare gli elevati valori che hanno caratterizzato l'intero periodo 2007-2012 (Fig. 26).

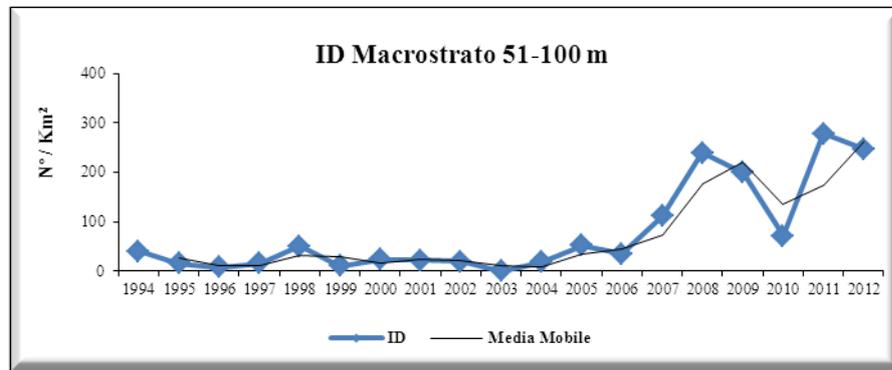


Fig. 26. – Indici di densità (ID) di *Loligo vulgaris* registrati tra 51-100 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Infine, all'interno dello strato batimetrico compreso tra 101 e 200 metri, come si evince dal grafico riportato in figura 27 sono evidenti i due picchi che hanno caratterizzato gli anni 2008 e 2012 con valori rispettivi di  $1217.4$  e  $1086.7 \text{ N}^\circ/\text{km}^2$ .

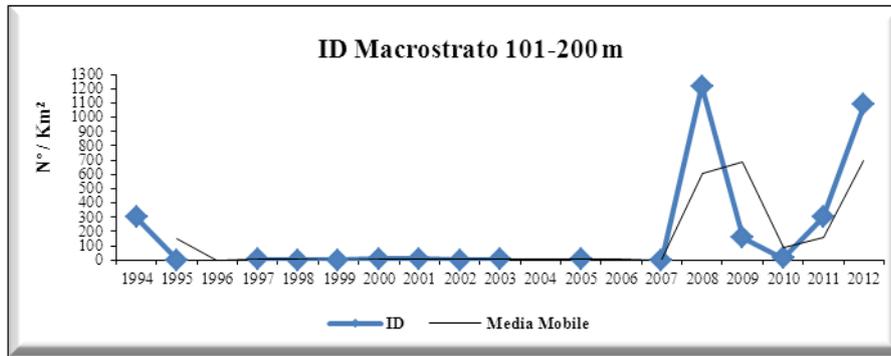


Fig. 27. – Indici di densità (ID) di *Loligo vulgaris* registrati tra 101-200 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

### *Loligo forbesii*

Al fine di identificare i valori degli indici di abbondanza di *L. forbesii*, data la differente distribuzione batimetrica di questa specie rispetto ad *L. vulgaris* è stato utilizzato il macrostrato d'indagine compreso tra 201 e 800 m. All'interno di questo, il valore più elevato dell'indice di biomassa è stato registrato nel 1995 (21.5 kg/km<sup>2</sup>), inoltre, elevati valori hanno caratterizzato il periodo 1998-2000 e l'anno 2002 (Fig. 28a; Tab. 7). In contrapposizione a questi anni, nel 2001 e nel 2004 sono stati registrati i valori più bassi, pari rispettivamente a 0.0 e 0.5 kg/km<sup>2</sup> (Fig. 28a; Tab. 7)

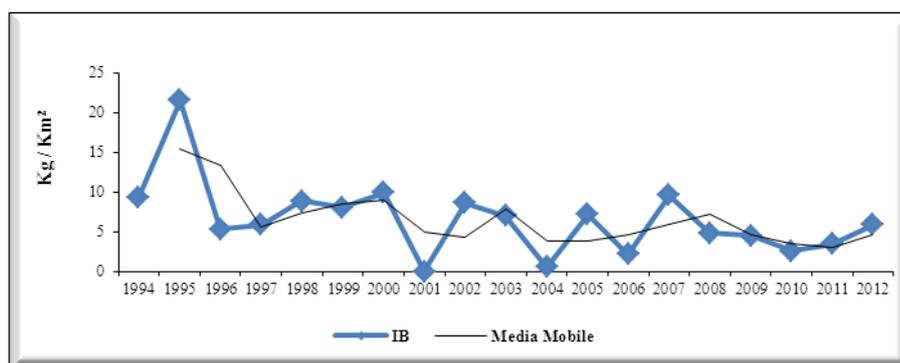


Fig. 28a. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo forbesii* registrati tra 201-800 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Passando agli indici di densità calcolati sempre per la fascia batimetrica 201-800 metri, come è possibile osservare in figura 38 b, è evidente il picco di catture che ha caratterizzato il 1998 (357.1 N°/km<sup>2</sup>) e l'esiguità di catture verificatesi negli anni 2004, 2006 e nel 2010 con valori pari rispettivamente a 1.8, 14.2 e 12 N°/km<sup>2</sup>. Come già evidenziato per *L. vulgaris*, anche in questa specie il test  $\tau$  di Kendall non ha evidenziato corrispondenze statisticamente negative o positive.

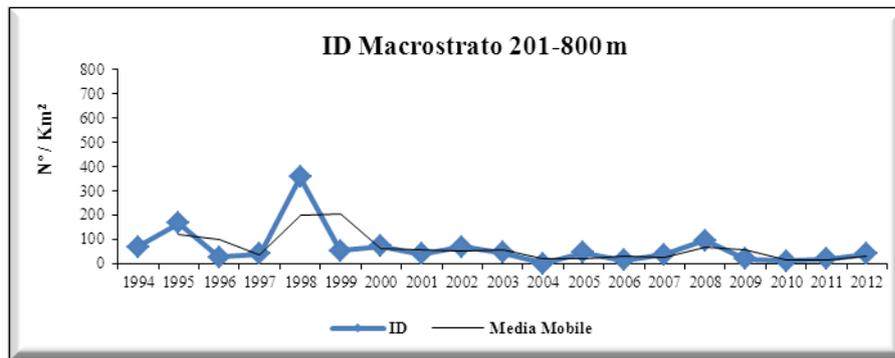


Fig. 28b. – Indici di densità (ID) di *Loligo forbesii* registrati tra 201-800 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Tab. 7. – Valori degli indici di biomassa (IB) e di densità (ID) di *Loligo forbesii* per la fascia batimetrica 201-800 metri nei mari circostanti la Sardegna.

	<b>IB (Kg/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>ID (N/Km<sup>2</sup>)</b>
<b>MeditS 1994</b>	<b>9.3</b>	71.7
<b>MeditS 1995</b>	<b>21.5</b>	168.1
<b>MeditS 1996</b>	5.3	29.7
<b>MeditS 1997</b>	5.9	41.7
<b>MeditS 1998</b>	8.9	<b>357.1</b>
<b>MeditS 1999</b>	8.1	54.3
<b>MeditS 2000</b>	<b>9.9</b>	74.3
<b>MeditS 2001</b>	<b>0.0</b>	41.3
<b>MeditS 2002</b>	8.6	69.8
<b>MeditS 2003</b>	7.0	46.1
<b>MeditS 2004</b>	<b>0.5</b>	<b>1.8</b>
<b>MeditS 2005</b>	7.2	46.7
<b>MeditS 2006</b>	2.1	14.2
<b>MeditS 2007</b>	<b>9.6</b>	39.4
<b>MeditS 2008</b>	4.8	96.7
<b>MeditS 2009</b>	4.5	21.0
<b>MeditS 2010</b>	2.5	<b>12.0</b>
<b>MeditS 2011</b>	3.5	20.1
<b>MeditS 2012</b>	5.8	41.4

Passando all'analisi delle tre differenti fasce batimetriche d'interesse (101-200 m, 201-500 m e 501-800m), nella fascia compresa tra 101 e 200 metri gli indici di biomassa sono risultati variabili tra 0.0 kg/km<sup>2</sup> (anni: 2001 e 2002) e 18.9 kg/km<sup>2</sup> (anno: 1994); inoltre, risulta di particolar interesse anche l'elevato valore registrato nel 2003 (17.3 kg/km<sup>2</sup>) (Fig. 29).

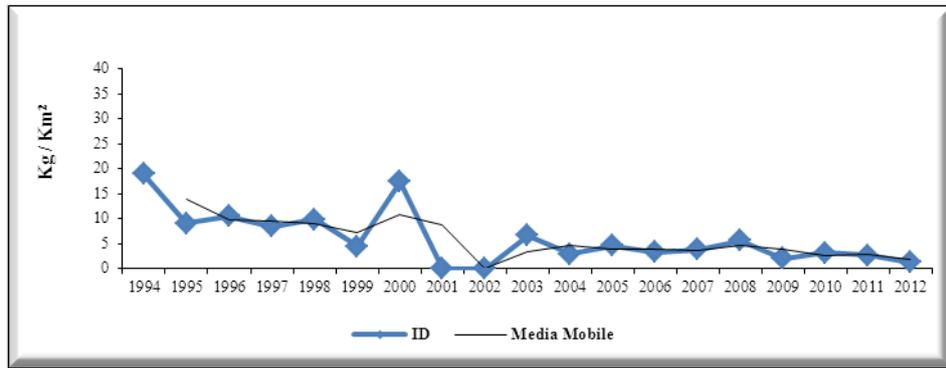


Fig. 29. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo forbesii* registrati tra 101-200 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Tra 201-500 metri gli indici di abbondanza sono risultati variabili tra 0 kg/km<sup>2</sup> (anno: 2001) e 38.3 kg/km<sup>2</sup> (anno: 1995) (Fig. 30); inoltre, sempre in questa batimetria sono stati registrati valori degli indici di biomassa inferiori a 1 kg/km<sup>2</sup> anche negli anni 2004 e 2010 (Fig. 40).

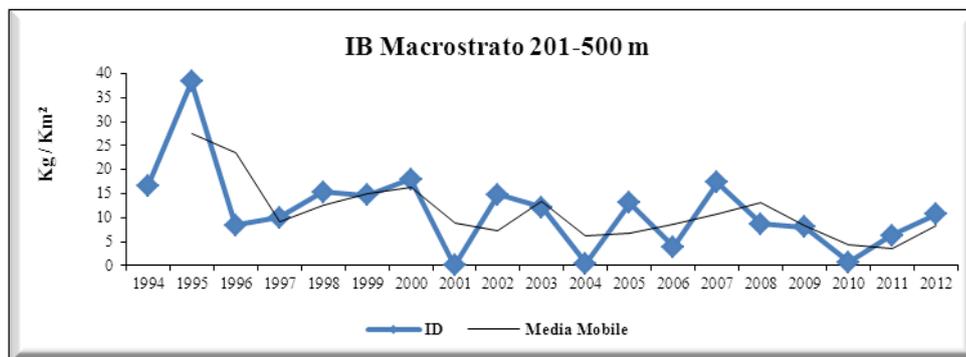


Fig. 30. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo forbesii* registrati tra 201-500 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Infine, nel macrostrato compreso tra 501 e 800 metri l'indice di biomassa assume valori molto bassi in tutti gli anni d'indagine, ed oscilla tra 0.0 kg/km<sup>2</sup> e 4.7 kg/km<sup>2</sup> (Fig. 31).

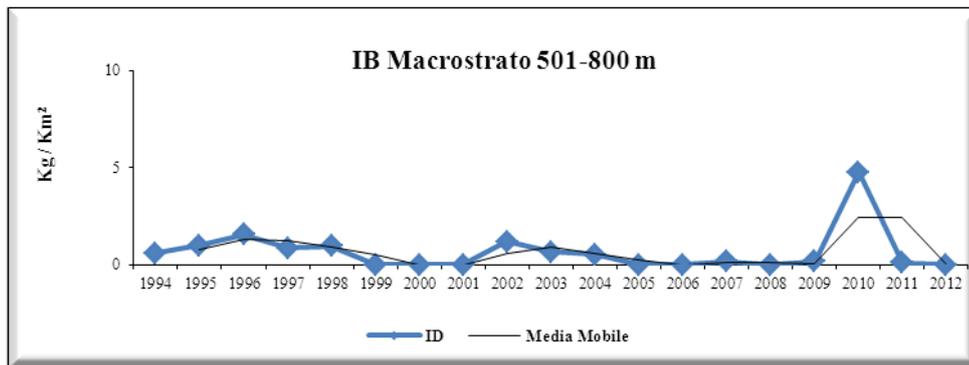


Fig. 31. – Indici di biomassa (IB) di *Loligo forbesii* registrati tra 501-800 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Il test  $\tau$  di Kendall non ha evidenziato corrispondenze statisticamente negative o positive in nessun strato batimetrico. Passando agli indici di densità, tra 101-200 m si possono osservare elevate fluttuazioni, con valori che variano tra 0.0 N°/km<sup>2</sup> (anno: 2002) e 1774.2 N°/km<sup>2</sup> (anno: 2008); elevati valori hanno caratterizzato anche gli anni 2000 e 2011 (Fig. 32).

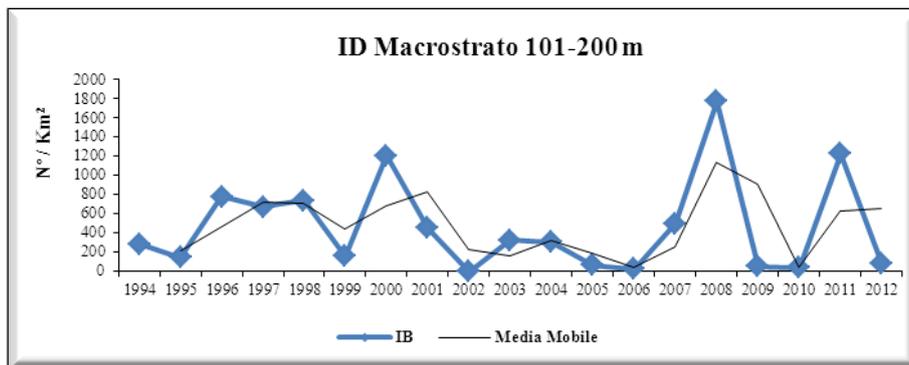


Fig. 32. – Indici di densità (ID) di *Loligo forbesii* registrati tra 101-200 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

All'interno della fascia batimetrica 201-500 metri l'indice di densità oscilla tra 2.15 N°/km<sup>2</sup> (anno: 2004) e 647.4 N°/km<sup>2</sup> (anno: 1998) (Fig. 33).

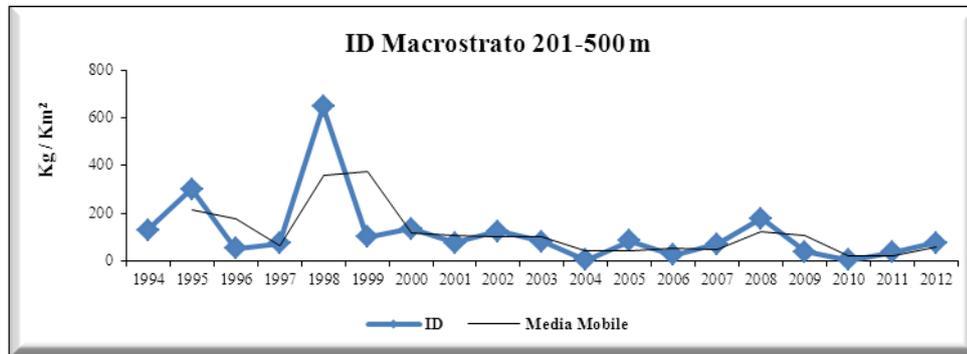


Fig. 43. – Indici di densità (ID) di *Loligo forbesii* registrati tra 201-500 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

Infine, tra 501 e 800 metri, l'indice assume valori piuttosto bassi, con valori variabili tra 0.0 N°/km<sup>2</sup> (anni: 1999, 2000, 2005, 2006, 2008, 2012) e 20.9 N°/km<sup>2</sup> (anno: 2010) (Fig. 34).

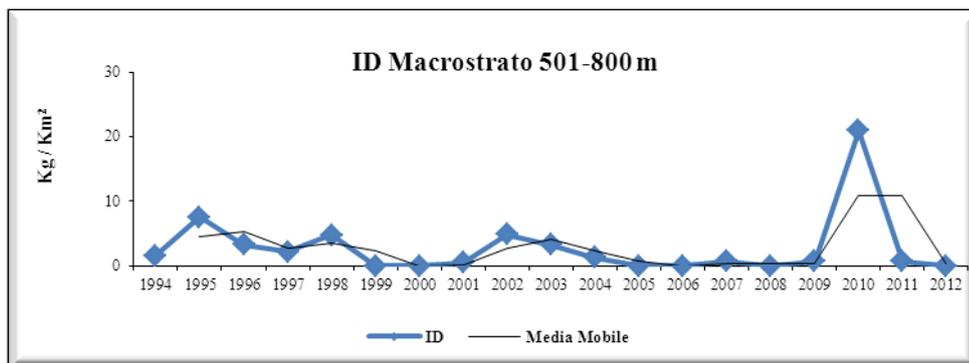


Fig. 34. – Indici di densità (ID) di *Loligo forbesii* registrati tra 501-800 metri durante il periodo di campionamento dal 1994 al 2012 nei mari circostanti la Sardegna.

## Considerazioni

E' ormai risaputo come i cefalopodi siano stati per molti anni una risorsa poco apprezzata con scarso valore di mercato e di come a partire dagli anni 70 la richiesta delle specie commerciali sia decisamente aumentata sia in relazione alla riduzione della produzione ittica che e alla volontà di voler diversificare il prodotto da proporre sul mercato. In particolare i calamari, internazionalmente denominati "squids" per le proprietà organolettiche e nutrizionali ormai universalmente riconosciute, rappresentano un'importante risorsa alimentare commercializzata come prodotto fresco, congelato o affumicato ed in alcuni paesi, soprattutto asiatici anche come prodotto crudo. Come si evince dalla letteratura di riferimento in alcune aree della sua distribuzione, la risorsa risulta in netto calo, pertanto ci si è resi conto che anche per queste specie vadano fatte delle indagini e dei monitoraggi per riuscire a capire lo stato effettivo degli stocks.

Ad esempio nelle acque portoghesi un preliminare stock assessment ha evidenziato una diminuzione degli sbarcati di *Loligo vulgaris* a partire dal 1995 (ICES del 2011) così come si è osservata una drammatica riduzione di *Loligo forbesii* nelle regioni a sud dell'areale di distribuzione (Chen *et al.*, 2006) e nelle acque scozzesi (Pierce *et al.*, 2005). In particolare in Spagna gli sbarcati di *Loligo vulgaris* sono diminuiti tra il 2000-2010 (ICES, 2011). Inoltre la FAO (2007) ha denunciato un sovrasfruttamento per la popolazione di *Loligo vulgaris* in Marocco, Mauritania, Senegal e Gambia per l'anno 2006. In Europa al momento non è stata ancora fatta una valutazione formale degli stocks tuttavia alcuni recenti studi sono orientati in quella direzione. In particolare per le acque italiane questo aspetto risulta ancor molto carente; le indagini di monitoraggio che annualmente si fanno nell'ambito del progetto comunitario MEDITS (Bertrand *et al.*, 2002) di cui i due loliginidi sono oggetto di cattura, unitamente alle statistiche IREPA sono gli unici dati a disposizione per avere se pur in maniera incompleta un quadro sulla situazione delle specie. Gli aspetti che sono stati affrontati in questo studio relativamente alle acque della Sardegna derivano proprio da queste fonti e per quanto, nel caso dei dati MEDITS, il limite possa esser rappresentato dalla stagionalità dei campionamenti (periodo estivo), dall'altra

forniscono la possibilità di una comparazione temporale sostenuta da un disegno standard di campionamento eseguito in ogni campagna sperimentale.

Il primo dato che l'analisi di questa serie storica di dati fornisce consente di affermare come la distribuzione batimetrica delle due specie nelle acque della Sardegna, sia pressoché conforme a quella riportata in letteratura per le acque del Mediterraneo (Sanchez & Guerra, 1994) e più specificatamente per altre aree italiane (Ragonese & Jereb, 1986; Soro & Piccinetti Manfrin, 1989; Belcari & Sartor, 1993; Belcari, 1999 ; Ria *et al.*, 2005).

In particolare la specie *L. vulgaris*, risultata presente da 10 m di profondità è ben rappresentata entro i 100 in accordo con le sue abitudini costiere anche se in questa indagine la si è ritrovata anche intorno ai 300-400 metri ed eccezionalmente alla profondità massima di 456 metri (1995). Tale elevata profondità non rappresentando un caso isolato in quanto in letteratura esiste un dato analogo relativamente ad una cattura effettuata nel mar Ionio alla profondità di 425 metri (D'Onghia *et al.*, 1995), mette in luce la possibilità per una specie considerata costiera di spingersi all'occorrenza a profondità più elevate.

Una più ampia distribuzione verticale è stata registrata invece per il congenere *L. forbesii*, tra 41 e 635 metri, specie che mostra un range preferenziale dilatato tra 100-500 metri e più concentrato entro i 400 . La frequenza al di sotto dei 200 metri di *L. forbesii* in sovrapposizione a *L. vulgaris*, per quanto considerata rara nelle acque del Mediterraneo, nei mari circostanti la Sardegna è stata riscontrata in quasi tutti gli anni di indagine ad evidenziare l'ampia escursione verticale che il calamaro venato può compiere probabilmente in relazione a esigenze trofiche e/o riproduttive. Proprio in relazione alla riproduzione nell'arco di questa indagine è stato possibile analizzare un cluch di uova deposte presumibilmente appartenente alla specie rinvenuto a 170 m (Capitolo riproduzione; Mereu *et al.*, 2013). Considerando che la scelta dell'habitat di deposizione è dettata dalla necessità di substrati rocciosi dove la pesca a strascico non è generalmente accessibile, è probabile che la loro presenza a profondità minori in associazione a tali substrati venga sottostimata da questo sistema di cattura e in definitiva dal tipo di analisi effettuato, pertanto non si esclude che la specie possa spingersi a profondità ancora inferiori.

Dall'analisi dell'occurrence nelle diverse zone, è risultato che *L. vulgaris* venga catturato maggiormente nella costa settentrionale ed occidentale (zone 3-4-5-6). Anche per *L. forbesii* la stessa analisi individua la costa occidentale come quella in cui avvengono le maggiori catture dello strascico tuttavia l'area si concentra a partire dalla costa centro occidentale (zona 5) estendendosi sino a quella meridionale (zona 7). L'analisi della struttura di taglia dei campioni delle due specie ha messo in evidenza un range di lunghezza mantello compreso fra 10 a 435 mm e 13 e 376 mm rispettivamente per *L. vulgaris* e *L. forbesii*. Questo dato apparentemente sembra differire dalla letteratura che riporta taglie maggiori per *L. forbesii* rispetto a *L. vulgaris*. In realtà il dato riportato potrebbe essere sottostimato per entrambe le specie in relazione al fatto che la pesca a strascico non effettua una cattura mirata della specie e di solito elude tutti quegli individui che in fase riproduttiva si spostano preferenzialmente verso substrati rocciosi non consoni a questo tipo di pesca. Nel caso dei loliginidi gli individui in riproduzione ormai sessualmente maturi presentano o si avvicinano molto alla taglia massima raggiungibile dalla specie in relazione al fatto che si trovano nella fase finale del loro ciclo vitale a cui fa seguito la morte. Rinvenimenti di *Loligo forbesii* esterni alla presente analisi, forniti dalla pesca commerciale condotta a dicembre e a marzo del 2005 hanno consentito di analizzare due maschi rispettivamente di 576 mm LM (2344 g PT) e di 708 mm LM (2900 g PT) confermando taglie maggiori per la specie e mostrando come le dimensioni maggiori all'interno di questa specie siano a carico dei maschi, in accordo con la letteratura (Jereb & Roper, 2010). Anche nell'ambito del recente monitoraggio della pesca professionale con le totanare effettuata nel periodo invernale a Bosa (Sardegna centro occidentale) e mirata alla cattura di *Loligo vulgaris* è stato possibile appurare taglie maggiori rispetto a quella massima registrata dallo strascico in tutti gli anni di indagine, dato confermato ulteriormente da esemplari di grossa taglia catturati nell'ambito della pesca sportiva. Relativamente a *L. vulgaris*, la composizione dei campioni è risultata costituita per il 71.5% da giovanili con lunghezza mantello inferiore ai 100 mm e da adulti e sub-adulti, per il 28.5%. Ciò evidenzia per questa specie come il reclutamento possa avvenire massivamente in estate (giugno luglio). Inoltre in alcuni anni (1994, 2008, 2010, 2011 e 2012) la frequenza delle catture degli individui giovanili è stata superiore alla

media con valori rispettivamente di 85.3%, 84%, 80%, 83.8% e 93.2%. Per quanto concerne i giovanili, pur essendo rappresentati in tutto il range della specie, buona parte di essi è stata catturata entro i 100 metri e in alcuni anni esclusivamente entro i 50 metri (1996, 1997, 1999, 2002). I giovanili quindi tendono a stare nelle batimetrie dove avviene la deposizione probabilmente in relazione alle esigenze trofiche di quella particolare fase del loro sviluppo ontogenetico. Per quanto riguarda *L. forbesii*, individui giovanili, sub-adulti e adulti sono risultati equamente rappresentati tra 100 e 400 m, range batimetrico preferenziale della specie. Tuttavia i giovani sono stati catturati principalmente tra 101 e 200 metri di profondità e anche in questo caso come detto per il congenere la loro presenza in acque meno profonde si relaziona alle batimetrie di deposizione in accordo al rinvenimento di clutches (Mereu *et al.*, 2013) in questi strati nonché all'esigenze trofiche. Per quanto riguarda l'abbondanza di *L. vulgaris* nelle acque sarde, il calcolo degli indici di biomassa e densità ha evidenziato valori maggiori entro i 200 metri di profondità, in accordo con i dati di occorrenza. I valori in assoluto più alti sono risultati 6.9 kg/km<sup>2</sup> (2008) e 505 N/km<sup>2</sup> (2012) e quelli più bassi 0.8 kg/km<sup>2</sup> e 4.2 N/km<sup>2</sup> per l'anno 2003. In linea generale l'analisi temporale di questi parametri mostra fluttuazioni annuali. In particolare la correlazione tra gli alti valori di densità riscontrati in alcuni anni (1994, 2008, 2009, 2011 e 2012) con i relativi indici di biomassa, evidenziano catture a carico di giovani con peso medio di circa 20 g, confermando dei picchi di reclutamento. Anche per *L. forbesii* la maggiore biomassa registrata tra 201 e 500 m conferma i risultati dell'analisi dell'occorrenza. Fluttuazioni annuali nella biomassa e densità sono state riscontrate anche per questa specie con i valori più alti rappresentati da 21.5 kg/km<sup>2</sup> (1995) e 357.1 N/km<sup>2</sup> (1998) e quelli più bassi di 0.5 kg/km<sup>2</sup> e 1.8 N/km<sup>2</sup> per l'anno 2004. Valori di densità più elevati osservati negli anni 1998 e 2008 evidenziano picchi di giovanili rispettivamente di peso totale di 24.8 e 49.4 g mentre quello per l'anno 1995 è correlabile a catture a carico di subadulti, caratterizzati da un peso medio di 127,7 g. Complessivamente per entrambe le specie le fluttuazioni annuali osservate nelle acque sarde in abbondanza, densità nonché in relazione alla comparsa dei picchi di reclutamento rispecchia quanto osservato anche in altre aree italiane (IREPA) ed anche a livello europeo. Variazioni in tal senso e in generale fluttuazioni nelle catture

di anno in anno che non permettono di identificare un particolare trend sono molto frequenti nei cefalopodi e difficilmente si riesce a ricondurli a un eccessivo sforzo di pesca anche in relazione al fatto che il loro ciclo vitale se è comune alla maggior parte dei cefalopodi è molto breve (circa 1-2 anni) per cui ogni anno si insiste su una nuova popolazione. Sono invece sempre più numerose le evidenze a favore dell'influenza che i fattori ambientali (temperatura dell'acqua, fenomeni di upwelling e correnti) possano avere sui cicli vitali dei cefalopodi, in particolare su alcune specie. Proprio nelle acque sarde è stata fatta una preliminare investigazione tra la connessione di alcuni parametri ambientali e le variazioni in abbondanza e distribuzione del totanetto *Illex coindetii*, mettendo in luce come il verificarsi di particolari situazioni idrologiche (slittamento corrente Algerina nel versante occidentale dell'isola) possono avere creato condizioni ottimali di temperatura, salinità e nutrienti favorevoli per lo sviluppo delle uova e delle prime fasi di vita dei giovani. Allo stesso modo le abbondanze dei due loliginidi oggetto di studio possono dipendere dal variare di alcuni parametri ambientali, tra cui la temperatura sembra giocare un ruolo chiave (Cabanellas-Reboredo *et al*, 2012). Sicuramente per poter seguire i loro andamenti è importante continuare a monitorarli annualmente attraverso lo strascico sperimentale non solo nel periodo estivo (MEDITS) ma durante tutto l'anno in modo da aver un quadro più completo. Per ovviare ai limiti del sistema di cattura più volte riportati, sarebbe inoltre opportuno integrare un monitoraggio delle altre tipologie di pesca che insistono su strati meno profondi.

## Capitolo 3

---

### Analisi morfometrica

#### INTRODUZIONE

Lo studio delle dimensioni di un organismo attraverso la misurazione delle varie parti del corpo e la correlazione delle stesse consente di stabilire come esse si accrescano (accrescimento relativo).

Specie come *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii* apparentemente molto simili tra loro presentano in realtà differenze non soltanto a livello dei pattern cromatici del mantello (es. flammule nei maschi di *L. forbesii*) e nelle dimensioni delle ventose centrali delle masse tentacolari (più grandi in *L. vulgaris*) ma anche nelle dimensioni massime raggiungibili dalle specie sia lineari che ponderali. Pertanto la conoscenza di aspetti morfologici come la relazione taglia peso può aiutare a capire meglio le proporzioni tra le parti e a valutare possibili differenze intraspecifiche e interspecifiche. Nel caso dei cefalopodi è ricorrente effettuare analisi morfometriche anche sulla mandibola (o becco). Questa struttura è costituita da due porzioni: una superiore o dorsale e una inferiore o ventrale che si sovrappongono all'interno di un ammasso muscolare sferico (massa boccale) posto alla base di braccia e tentacoli, più o meno sviluppato a seconda della specie.

In generale le due mandibole, presentano delle conformazioni differenti principalmente tra Ottopodi e Decapodi (Clarke, 1963).

Grazie alle mandibole i cefalopodi sono in grado di mordere e strappare i tessuti e mediante la radula (una sorta di lingua) di spingere la preda nella cavità boccale per l'ingestione. Inoltre per la loro composizione specifica in chitina e proteine, resistono all'attacco enzimatico nello stomaco dei predatori rendendo queste strutture uno dei principali strumenti per l'identificazione delle specie di appartenenza (Clark, 1962,

1986). Pertanto in questo studio si è effettuato un'analisi morfometrica delle mandibole dei due calamari individuando le correlazioni tra le varie parti e le dimensioni dell'animale di appartenenza nonché le eventuali differenze tra i sessi al fine di fornire un utile ausilio in ambito di studi sul trofismo dei predatori.

## MATERIALI E METODI

Le relazioni tra la taglia e il peso delle due specie sono state effettuate su campioni provenienti dalle campagne sperimentali di pesca a strascico condotte dal 2005 al 2013 nei mari circostanti la Sardegna dal Dipartimento di scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari nell'ambito del progetto MEDITS (Mediterranean International Trawl Survey) (Bertrand *et al.*, 2002). Su ciascun esemplare di *L. vulgaris* (N° = 400) e *L. forbesii* (N° = 470) è stata rilevata la lunghezza mantello dorsale (LM, con precisione al decimo di millimetro), la larghezza del mantello (MW, con precisione al decimo di millimetro) secondo la metodologia standard indicata per i decapodi (Roper & Voss, 1983). Successivamente è stato determinato il sesso, registrato il peso totale (PT, con precisione al decimo di grammo) e da 100 individui di *L. vulgaris* (45 femmine e 55 maschi) e 100 individui di *L. forbesii* (50 femmine e 50 maschi) è stato estratto il becco che una volta ripulito è stato conservato in alcool al 70% (fatta eccezione per i becchi danneggiati). Per entrambi i sessi sono state calcolate le relazioni che intercorrono tra il peso (PT) e le biometrie rilevate (LM, MW) utilizzando le seguenti equazioni:

$$PT = a LM^b, \quad PT = a MW^b$$

Le regressioni tra il peso totale e la lunghezza mantello dorsale, e la larghezza del mantello sono state linearizzate tramite trasformazioni logaritmiche dei dati (Ricker, 1973). Successivamente le rette, le intercette e le pendenze delle equazioni dei maschi sono state confrontate con quelle delle femmine attraverso l'analisi della varianza (Soliani, 2004). Le biometrie rilevate in entrambe le mandibole (Fig 35) sono state correlate con la lunghezza mantello dorsale (LM) separatamente per maschi e femmine attraverso una regressione lineare, previa trasformazione logaritmica (ln) dei dati. E' stata inoltre verificata l'esistenza di differenze morfometriche tra i due sessi statisticamente significative attraverso l'analisi della varianza (Soliani, 2004). E' stata verificata inoltre l'esistenza di differenze morfometriche significative dal

punto di vista statistico tra le mandibole nei due sessi, attraverso l'analisi della covarianza ( $\alpha= 0.05$ ; Martin, Andrès and Luna del Castillo, 1990) applicata alla varianza dei dati sperimentali

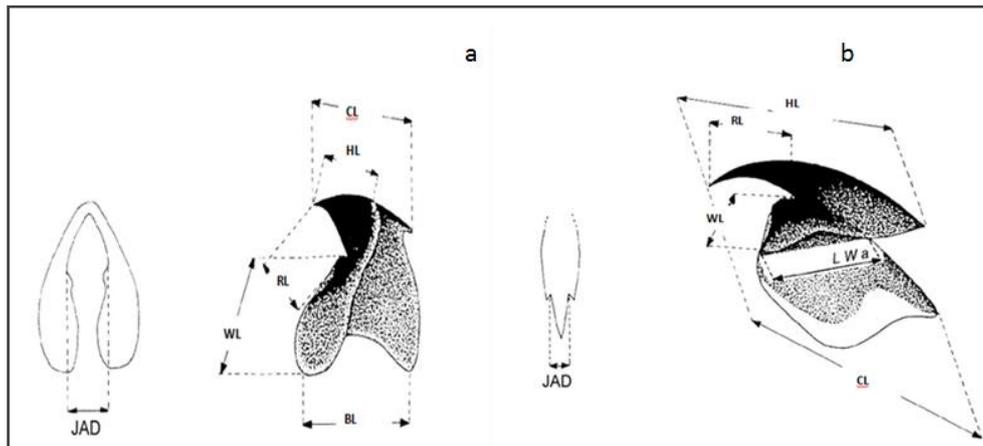


Fig. 35 – Biometrie rilevate nel becco dorsale (a) e ventrale (b).  
CL: lunghezza cresta, RL: lunghezza rostro, HL: lunghezza cappuccio, WL: lunghezza dell'ala,  
LWA: ampiezza della parete laterale del becco dorsale, BL: ampiezza alla base del becco ventrale,  
JAD: distanza tra gli angoli della mandibola.

## RISULTATI

### RELAZIONI TAGLIA–PESO IN *LOLIGO VULGARIS*

Per la specie *L. vulgaris* le relazioni tra il peso totale e la lunghezza del mantello dorsale e la larghezza del mantello sono state calcolate su un campione di 773 individui rispettivamente suddivisi in 403 femmine e 370 maschi, in tabella 8 sono riportati i dati relativi al campione.



Fig. 36 – *Loligo vulgaris* individuo di sesso maschile (lunghezza mantello: 38.7 cm).

Tab. 8 – *Loligo vulgaris*: struttura del campione analizzato per le relazioni taglia peso suddiviso nei due sessi.

		LM (cm)	MW (cm)	PT (g)
<b>Maschi</b>	<b>Range</b>	6.1– 38.7	2.9– 9	6.0– 940
<b>(n°= 403)</b>	<b>Media±D.S.</b>	12.7 ± 5	4.2 ± 1	83.5 ± 113
<b>Femmine</b>	<b>Range</b>	7– 28.6	3.2– 6.5	11.9– 442
<b>(n°=370)</b>	<b>Media±D.S.</b>	15.8 ± 5	4.7 ± 0.8	137 ± 93

Le relazioni tra il peso totale e la lunghezza mantello dorsale e la larghezza del mantello hanno messo in evidenza accrescimenti di tipo allometrico negativo per entrambi i sessi, con pendenze (b) inferiori a 3 (Tab. 9). Pertanto le dimensioni lineari in entrambi i sessi aumentano maggiormente rispetto al peso e condiderando i valori assoluti delle pendenze in maniera leggermente più accentuata nel sesso maschile.

Tab. 9– *Loligo vulgaris*: Regressioni non lineari per i due sessi, tra peso totale (PT) e Lunghezza mantello dorsale (ML) e la larghezza del mantello (MW). Equazione :  $PT = a LM^b$ ,  $PT = a MW^b$

Sesso	Equazione	R <sup>2</sup>
Maschi	$PT = 0,1543ML^{2,3674}$	0,9764
Femmine	$PT = 0,1333ML^{2,5539}$	0,965
Maschi	$PT = 1,1546MW^{2,786}$	0,7577
Femmine	$PT = 2,7183MW^{2,1012}$	0,6261

Tab10– *Loligo vulgaris*: regressioni lineari, nei due sessi, tra peso totale (PT) e lunghezza mantello dorsale (ML) e la larghezza del mantello (MW).

Sesso	Equazione di regressione	Errore standard	R <sup>2</sup>	F	p - value
Maschi	$\text{Log } PT_m = -0.8098 + 2.36582 \log(LM_m)$	0.062804	0.9771	17779.74	0.0000
Femmine	$\text{Log } PT_f = -0.8967 + 2.47145 \log(LM_f)$	0.07129	0.9724	13673.29	0.0000
Maschi	$\text{Log } PT_m = -0.03873 + 3.11827 \log(MW_m)$	0.171322	0.7994	649.75	0.0000
Femmine	$\text{Log } PT_f = -0.2585 + 2.85197 \log(MW_f)$	0.188415	0.7371	594.37	0.0000

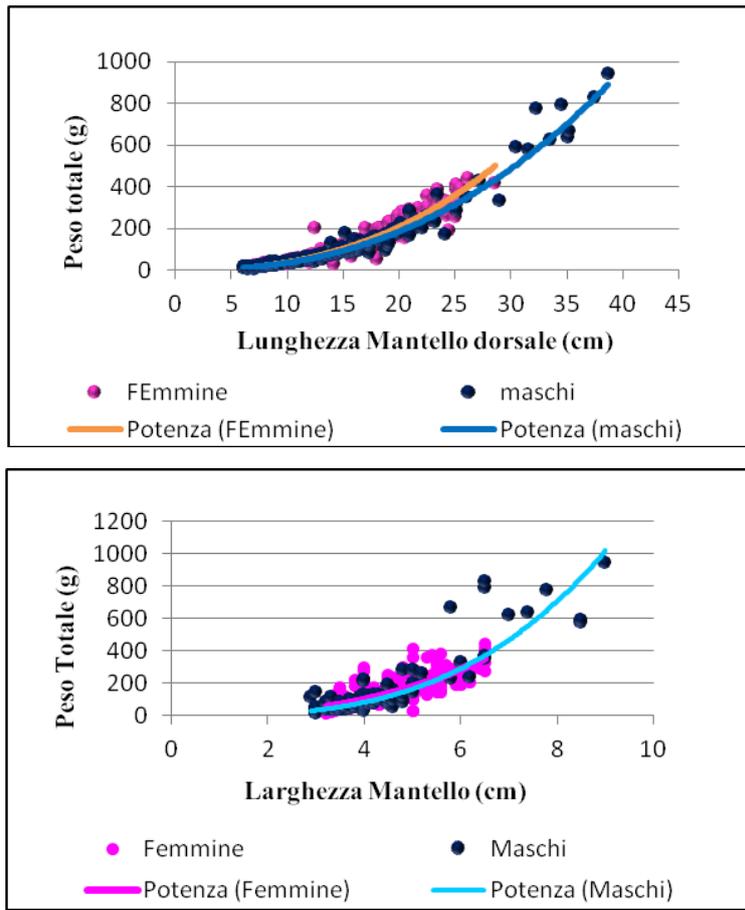


Fig37– *Loligo vulgaris*: regressioni non lineari, nei due sessi, tra peso totale (PT) e lunghezza mantello dorsale (ML) e la larghezza del mantello (MW).

Il confronto tra i valori ottenuti per le rette, le intercette e le pendenze dei due sessi ha evidenziato, come mostrato nella tabella 11, che esistono differenze significative tra i maschi e le femmine, sia per quanto riguarda la relazione tra il peso e la lunghezza del mantello sia tra il peso e la larghezza del mantello. Ciò significa che a parità di taglia le femmine presentano pesi superiori rispetto ai maschi.

Tab. 11– *Loligo vulgaris*: confronto delle rette, intercette e pendenze delle regressioni lineari tra il peso totale , la lunghezza del mantello e la larghezza nei due sessi.

Equazione di regressione		R <sup>2</sup>	Errore Standard	GL	F	p - value	Differenze
PT <sub>m</sub> -ML <sub>m</sub> vs PT <sub>f</sub> -ML <sub>f</sub>	Rette	0.9770	0.0670	3	11385.77	0.0000	<0.01
	Intercette			1	37.9	0.0000	<0.01
	Pendenze			1	14.8	0.0001	<0.01
PT <sub>m</sub> -MW <sub>m</sub> vs PT <sub>f</sub> -MW <sub>f</sub>	Rette	0.7807	0.1811	3	445.13	0.0000	<0.01
	Intercette			1	8.85	0.0031	<0.01
	Pendenze			1	2.41	0.1212	NS

NS: differenze non significative; <0.01 differenze significative con un intervallo di confidenza pari al 99%

## RELAZIONI TAGLIA PESO IN *LOLIGO FORBESII*

Le relazioni tra il peso totale e la lunghezza e larghezza del mantello dorsale in *L.forbesii* sono state calcolate su un campione di 897 individui rispettivamente suddivisi in 500 femmine e 391 maschi, come mostrato in tabella 12.



Fig. 38 – *Loligo forbesii* individuo di sesso maschile con LM=70.8 cm.

Tab. 12– *Loligo forbesii*: struttura del campione analizzato per le relazioni taglia peso.

		LM (cm)	MW (cm)	PT (g)
<b>Maschi</b>	<b>Range</b>	6.4– 70.8	3.0-15	9.24-2900
<b>(n°= 391)</b>	<b>Media±D.S.</b>	17.6 ± 8.2	5.5 ±1.8	423 ±320
<b>Femmine</b>	<b>Range</b>	6.5-28.2	2.5-8	7.17-590
<b>(n°=500)</b>	<b>Media±D.S.</b>	15.06 ±3.5	4.7 ±1	128.62 ±77.6

La specie *L. forbesii*, se paragonata al congenere *vulgaris*, presenta taglie maggiori sia in lunghezza mantello che peso, come mostrato nella tabella 12 in cui la taglia massima osservata riguarda un individuo di sesso maschile avente lunghezza mantello pari a 70.8 cm e 2900g di peso. Le equazioni ottenute evidenziano anche per questa specie accrescimenti di tipo allometrico negativo, fatta eccezione per la relazione tra il peso e la larghezza del mantello nei maschi, in cui il valore della pendenza, maggiore di 3 evidenzia un' allometria positiva determinata da un accrescimento isometrico delle variabili.

Tab. 13– *Loligo forbesii*: regressioni non lineari per i due sessi, tra peso totale (PT) e Lunghezza mantello dorsale (ML) e la larghezza del mantello (MW). Equazione :  $PT = a LM^b$ ,  $PT = a MW^b$ .

Sesso	Equazione	R <sup>2</sup>
Maschi	$PT_m = 0,1419 ML^{2,4618}$	0,9766
Femmine	$PT_f = 0,1412 ML^{2,4759}$	0,9369
Maschi	$PT_m = 1,0315 MW^{3,1362}$	0,8523
Femmine	$PT_f = 1,8538 MW^{2,7517}$	0,725

Tab. 14– *Loligo forbesii*: regressioni lineari per i due sessi, tra peso totale (PT) e Lunghezza mantello dorsale (ML) e la larghezza del mantello (MW).

Sesso	Equazione di regressione	Errore standard	R <sup>2</sup>	F	p - value
Maschi	$\text{Log } PT_m = -0.8678 + 2.4769 \log(LM_m)$	0.06494	0.9801	19566.07	0.0000
Femmine	$\text{Log } PT_f = -0.8503 + 2.4758 \log(LM_f)$	0.06892	0.9492	10374.91	0.0000
Maschi	$\text{Log } PT_m = 0.0618 + 3.0575 \log(MW_m)$	0.2012	0.85171	1102.76	0.0000
Femmine	$\text{Log } PT_f = 0.387 + 2.5795 \log(MW_f)$	0.1712	0.7115	478.46	0.0000

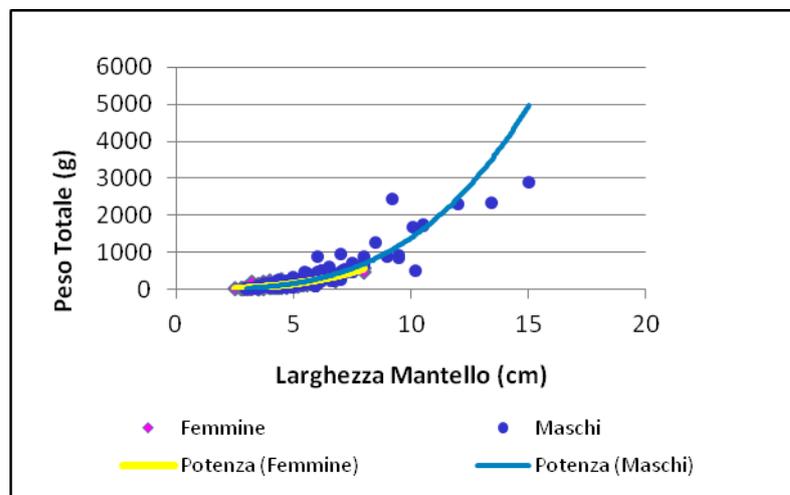
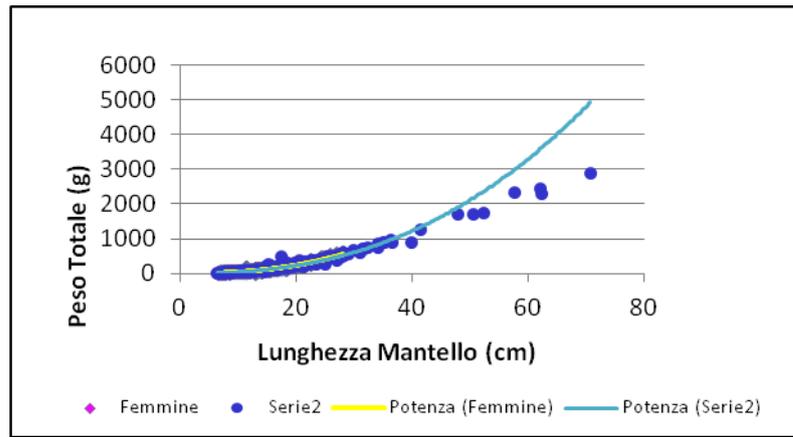


Fig.39– *Loligo forbesii*: regressioni non lineari, nei due sessi, tra peso totale (PT) e lunghezza mantello dorsale (ML) e la larghezza del mantello (MW).

Tab. 15– *Loligo forbesii*: confronto delle rette, intercette e pendenze delle regressioni lineari tra il peso totale , la lunghezza del mantello.

Equazione di regressione	R <sup>2</sup>	Errore Standard	GL	F	p - value	Differenze	
PT <sub>m</sub> -ML <sub>m</sub> vs PT <sub>f</sub> -ML <sub>f</sub>	Rette	0.9770	0.0670	3	11385.77	0.0000	<0.01
	Intercette			1	37.9	0.0000	<0.01
	Pendenze			1	14.8	0.0001	<0.01
PT <sub>m</sub> -MW <sub>m</sub> vs PT <sub>f</sub> -MW <sub>f</sub>	Rette	0.7807	0.1811	3	445.13	0.0000	<0.01
	Intercette			1	8.85	0.0031	<0.01
	Pendenze			1	2.41	0.1212	NS

NS: differenze non significative; <0.01 differenze significative con un intervallo di confidenza pari al 99%

Il confronto tra i valori ottenuti per le rette, le intercette e le pendenze dei due sessi ha evidenziato, come mostrato nella tabella 15, che esistono differenze significative tra i maschi e le femmine, sia per quanto riguarda la relazione tra il peso e la lunghezza del mantello sia tra il peso e la larghezza del mantello.

## ANALISI MORFOMETRICA DELLE MANDIBOLE

Le mandibole di *L. vulgaris* e *L. forbesii*, poste all'interno della massa boccale (Fig.40) hanno mostrato delle pareti laterali estese, un cappuccio non troppo ampio ed un rostro piccolo e appuntito pigmentato di scuro (Fig. 41)

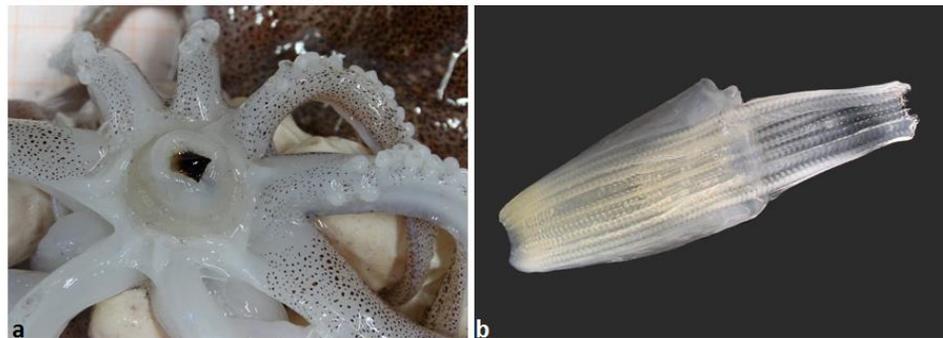


Fig. 40– *Loligo forbesii*: massa boccale (a) e particolare della radula (b).

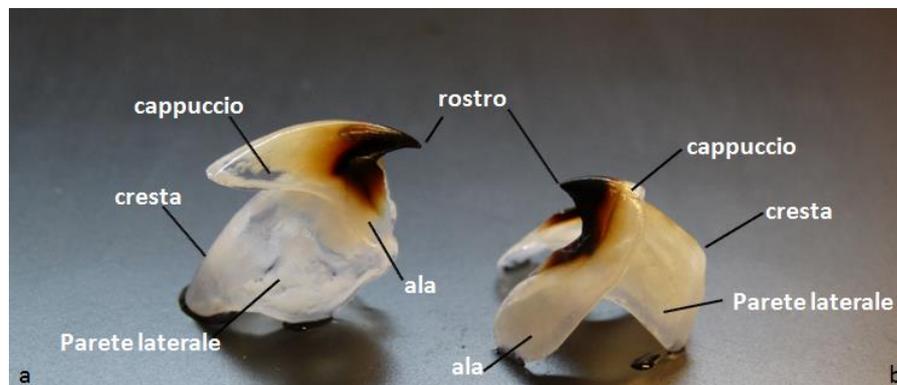


Fig. 41– *Loligo forbesii*: componenti della mandibola dorsale (a) e ventrale (b).

Mentre in *L. forbesii* le due mandibole sono apparse per lo più trasparenti mentre in *L. vulgaris* è stato possibile cogliere una debole pigmentazione color bianco crema (foto 42). Le mandibole delle due specie appaiono molto simili tra loro alla sola visione macroscopica (tuttavia un'attenta analisi morfologica ha messo in luce alcune differenze).

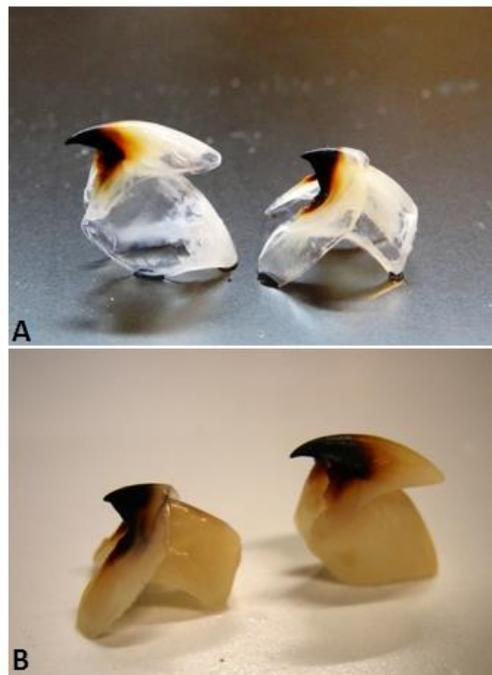


Fig 42 – Mandibole dorsale e ventrale. A: *Loligo forbesii*; B: *Loligo vulgaris*.

## **LOLIGO VULGARIS**

I becchi di *L. vulgaris* analizzati provengono da 45 femmine e da 55 maschi di lunghezza mantello variabile rispettivamente tra 6.0 e 22.7cm e tra 6.1 e 42 cm. Il range di peso di questi individui oscillava invece da 5g a 289.68g e da 13.2g a 774.52 g nelle femmine e nei maschi, rispettivamente. Di seguito vengono riportate le equazioni delle regressioni lineari effettuate tra le biometrie rilevate nel becco ventrale e dorsale nei maschi e nelle femmine di *L. vulgaris* con la lunghezza del mantello e il peso totale (Tab 16 e 17) e i grafici delle curve per i due sessi (Fig.43, 44, 45 e 46)

Tab.16- *Loligo vulgaris*: equazioni e parametri statistici delle regressioni lineari tra la lunghezza mantello e alcune biometrie del becco nei due sessi, Lunghezza mantello dorsale (LM); Lunghezza della cresta (LC); Lunghezza cappuccio (LH); Lunghezza del rostro (LR); Lunghezza dell'ala (LW); Ampiezza alla base del becco ventrale (LB); (LWA); Distanza tra gli angoli della mandibola (JAD).

Sesso	Equazione di regressione	R <sup>2</sup>	F	p - value
Maschi	Ln LM= 0.3155 + 1.14548 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.8649	237.79	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.3653 + 1.1154 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.8434	242.43	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.3409+1.0509 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0,8133	166.55	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.2357+1.1416 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.8499	250.05	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.8184 +0.9590 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.7528	116.71	0.0000
Femmine	Ln LM= 2.4525+0.3473 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.2139	12.97	0.0008
Maschi	Ln LM= 0.851913+1.03648 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.7435	111.16	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.1637+0.8831 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0,8004	185.51	0.0000
Maschi	Ln LM= 0.18892 +1.1667 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.8907	302.43	0.0000
Femmine	Ln LM= = 0.45901+1.03842 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.8483	258.13	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.4968+1.1038 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.5214	40.21	0.0000
Femmine	Ln LM= 2.3050+0.4541 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.2060	11.64	0.0015
Maschi	Ln LM= 0.3623 +0,8200 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.8568	216.42	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.1701+0,9949 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0,7804	150.30	0.0000
Maschi	Ln LM= 0.2278+1.07463 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.8339	186.77	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.38566+1.02649 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.8723	315.10	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.856 + 0.77661 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.5613	44.49	0.0000
Femmine	Ln LM= 2.23577+0.4763 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.1763	10.63	0.0022
Maschi	Ln LM= 1.0916+1.0243 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.77303	123.61	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.4200+0.8328 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.8145	202.97	0.0000
Maschi	Ln LM= 0.5044 + 1.1490 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.8313	178.39	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.7027 + 1.0589 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.7692	147.61	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.6764 + 1.0287 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.7614	115.89	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.7052 + 0.9827 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.6506	86.65	0.0000

Tab.17- *Loligo vulgaris*: equazioni e parametri statistici delle regressioni lineari tra il peso e alcune biometrie del becco nei due sessi, Peso totale (PT); Lunghezza della cresta (LC); Lunghezza cappuccio (LH); Lunghezza del rostro (LR); Lunghezza dell'ala (LW); Ampiezza alla base del becco ventrale (LB); Ampiezza della parete laterale del becco dorsale (LWA); Distanza tra gli angoli della mandibola (JAD).

Sesso	Equazione di regressione	R <sup>2</sup>	F	p - value
Maschi	Ln PT= -1.7576 + 2.9814 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.8459	209.58	0.0000
Femmine	Ln PT= -1.1334 + 2.82507 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.8425	246.98	0.0000
Maschi	Ln PT= 0.9513 + 2.7391 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.8735	263.30	0.0000
Femmine	Ln PT= 0.9046 + 2.8478 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.8185	203.97	0.0000
Maschi	Ln PT= 2.006 + 2.6077 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.7265	107.24	0.0000
Femmine	Ln PT= 2.1622+2.6137 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.7548	133.35	0.0000
Maschi	Ln PT= -1.0011 +3.0120 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.7169	99.70	0.0000
Femmine	Ln PT= 0.5038 + 2.3223 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.8334	226.06	0.0000
Maschi	Ln PT= -2.2834 +3.1046 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.7836	142.26	0.0000
Femmine	Ln PT= -1.0756+2.6204 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.8444	250.66	0.0000
Maschi	Ln PT= 0.5685+3.4803 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.6934	84.69	0.0000
Femmine	Ln PT= 1.9934+2.4583 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.7931	165.82	0.0000
Maschi	Ln PT = -2.2825+2.8291 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.7965	149.75	0.0000
Femmine	Ln PT -1.73782+2.50275 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.7955	164.34	0.0000
Maschi	Ln PT = -2.2667+2.9113 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.8023	155.21	0.0000
Femmine	Ln PT = -1.2438+2.5831 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.8635	291.62	0.0000
Maschi	Ln PT = 1.9794 + 2.2310 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.5610	47.00	0.0000
Femmine	Ln PT = 2.5936+1.8165 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.3206	22.24	0.0000
Maschi	Ln PT = 0.4358+2.5450 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.59163	54.62	0.0000
Femmine	Ln PT = 1.3799+2.0973 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.8252	213.44	0.0000
Maschi	Ln PT = -1.3469 + 3.0238 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.71809	92.70	0.0000
Femmine	Ln PT = -0.3063 + 2.5945 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.7334	122.02	0.0000
Maschi	Ln PT = 1.6948 + 2.6885 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.49079	36.66	0.0000
Femmine	Ln PT= 2.9284 + 1.7491 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.2612	16.55	0.0002

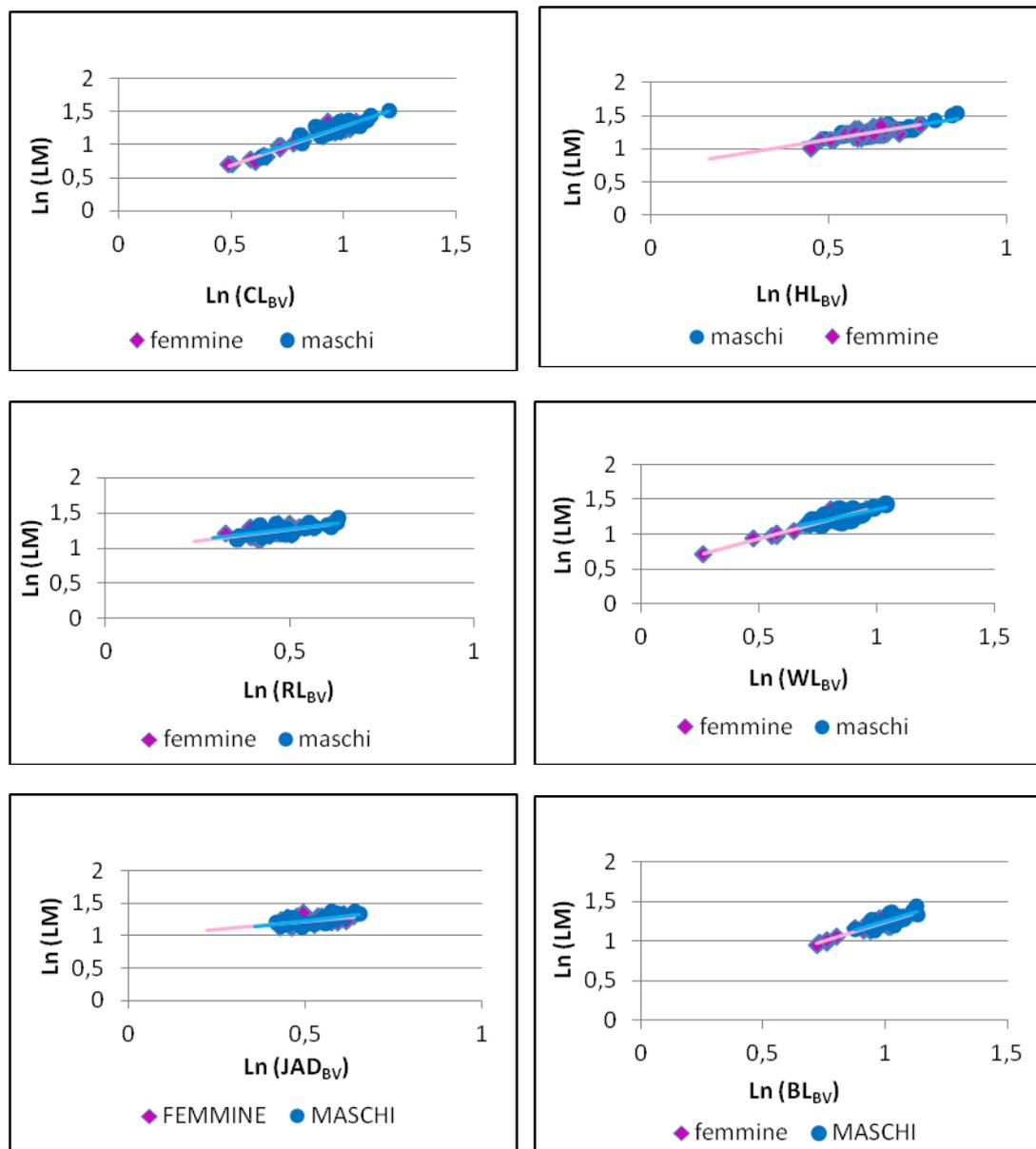


Fig. 43 – *Loligo vulgaris* : Regressioni tra la lunghezza mantello dorsale (LM) e le diverse componenti del becco ventrale nei due sessi

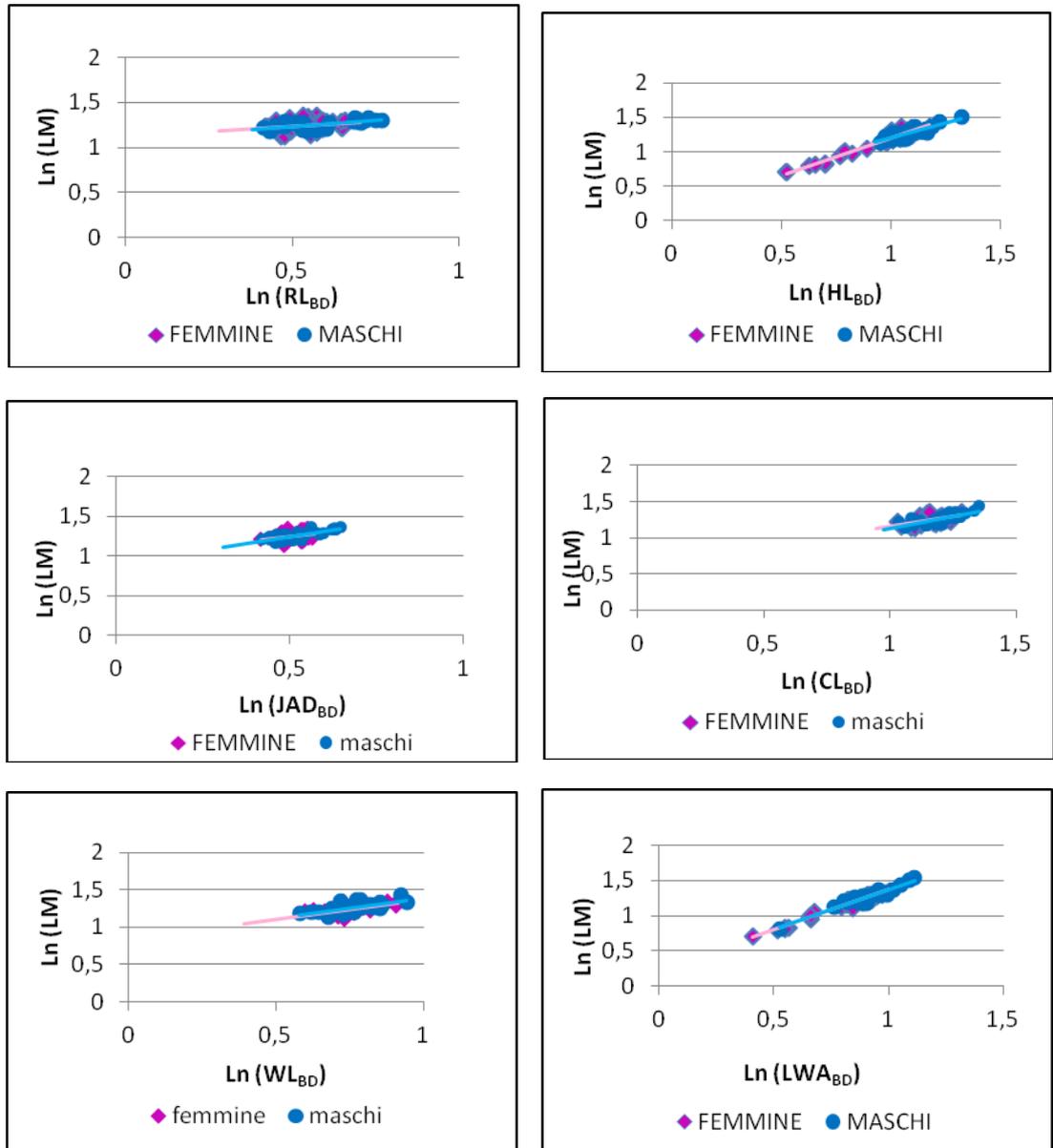


Fig. 44 – *Loligo vulgaris*: regressioni tra la lunghezza mantello dorsale (LM) e le diverse componenti del becco dorsale nei due sessi.

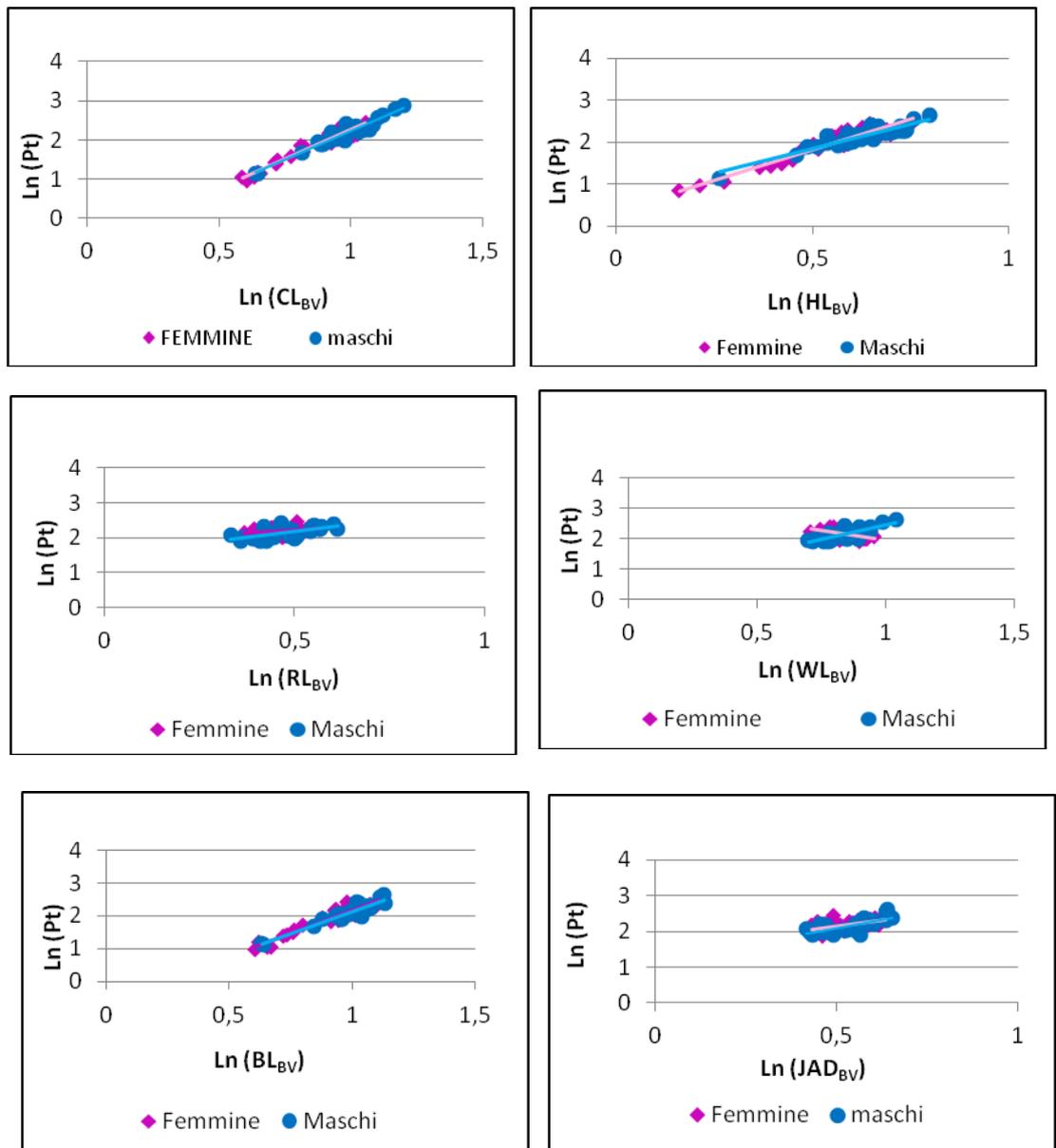


Fig. 45– *Loligo vulgaris*: regressioni tra il peso totale (Pt) e le diverse componenti del becco ventrale nei due sessi.

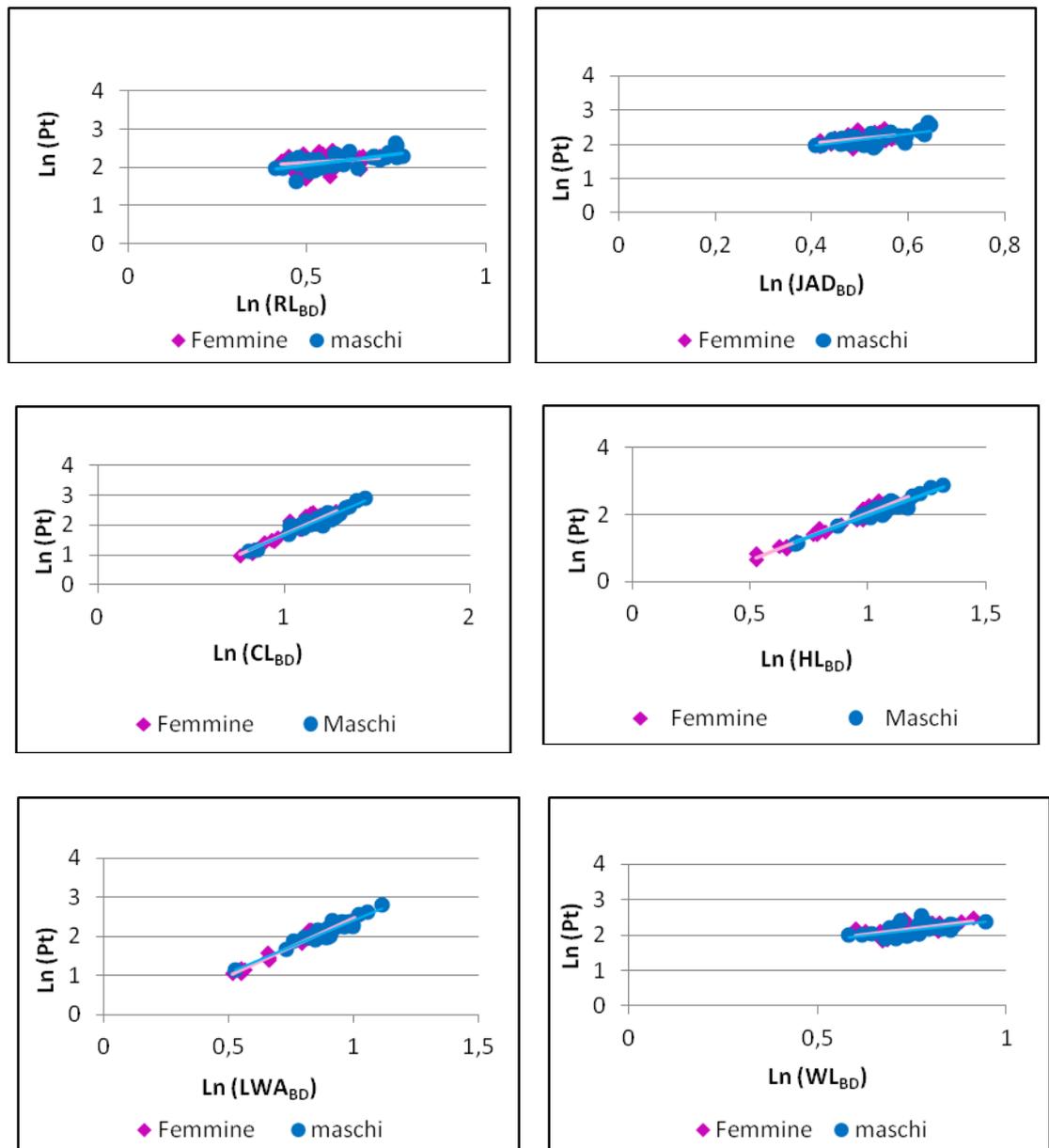


Fig. 46– *Loligo vulgaris* :Regressioni tra il peso totale (Pt) e le diverse componenti del becco dorsale nei due sessi.

I valori dei coefficienti di regressione ottenuti correlando la lunghezza del mantello dorsale, con le differenti biometrie del becco sono in linea generale, maggiori di 1, indicando un accrescimento allometrico positivo; fanno eccezione per entrambi i sessi il rostro dorsale e ventrale (**RL**), la lunghezza della cresta del becco dorsale (**CL**) e lunghezza dell'ala dorsale e ventrale (**WL**) solamente per le femmine Per quanto riguarda invece la correlazione fra le diverse parti delle mandibole e il peso dell'animale, in entrambi i sessi, sono emersi accrescimenti di tipo allometrico positivo (valori di  $b > 1$ ), per tutte le relazioni.

Il confronto fra le differenti componenti dei due becchi, non ha evidenziato differenze statisticamente significative tra i due sessi, sia per quanto riguarda il becco dorsale che per quello ventrale (Tab 18).

Tab 18- *Loligo vulgaris*: risultati dell'analisi della covarianza tra i becchi (ventrali e dorsali) dei maschi e delle femmine.

<b>Campioni</b>	<b>Variabile</b>	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>Chi-quadrato</b>	<b>DF</b>	<b>p</b>
Maschi e Femmine (N= 89)	Ventrale	0.935982	5.5573	6	0.4746
Maschi e Femmine (N= 89)	Dorsale	0.934818	5.4597	6	0.4863

## **LOLIGO FORBESII**

Il campione di becchi di *L. forbesii* utilizzato, proveniva da 50 femmine di lunghezza mantello compresa tra 8.4 e 21.5 cm (peso totale: 30.5-277,8 g) e da 50 maschi di lunghezza mantello variabile tra 9.6 e 36.4 cm (peso totale: 42.2-972 g).

I valori dei coefficienti di regressione ottenuti correlando la lunghezza del mantello dorsale, con le differenti biometrie del becco (Tab. 19) sono perlopiù inferiori ad 1, indicando un accrescimento allometrico negativo, fatta eccezione per entrambi i sessi la distanza tra gli angoli delle mandibole (JAD), la lunghezza della cresta del becco ventrale (CL) e lunghezza dell'ala dorsale (WL)

Per quanto riguarda invece le correlazioni fra le parti delle mandibole e il peso dell'animale, sono emersi accrescimenti di tipo allometrico positivo (valori di  $b$  maggiori di 1) per tutte le relazioni, in entrambe i sessi (Tab. 20)

Tab.19 *Loligo forbesii*: equazioni e parametri statistici delle regressioni lineari tra la lunghezza mantello e alcune biometrie del becco nei due sessi, Lunghezza mantello dorsale (LM); Lunghezza della cresta (LC); Lunghezza cappuccio (LH); Lunghezza del rostro (LR); Lunghezza dell'ala (LW); Ampiezza alla base del becco ventrale (LB); Ampiezza della parete laterale del becco dorsale (LWA); Distanza tra gli angoli della mandibola (JAD).

Sesso	Equazione di regressione	R <sup>2</sup>	F	p - value
Maschi	Ln LM= 0.5197+1.0437 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.9496	923.46	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.65264+1.0007 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.8221	208.93	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.44881+0.9875 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.9027	446.48	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.61558+0.8757 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.7175	100.03	0.0000
Maschi	Ln LM= 2.0048+0.8812 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.7967	185.22	0.0000
Femmine	Ln LM= 2.0723+0.8015 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.5988	57.72	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.1978+0.8807 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.9308	660.25	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.49019+0.7193 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.7286	124.49	0.0000
Maschi	Ln LM= 0.70244 +0.9519 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.9210	572.40	0.0000
Femmine	Ln LM= = 0.8285+0.8977 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.8222	218.31	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.5657+1.07343 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.5632	62.88	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.9076+0.7136 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.3016	19.57	0.0001
Maschi	Ln LM= 0.4245+0.9005 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.9232	577.64	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.1848+0.9901 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.8135	201.61	0.0000
Maschi	Ln LM= 0.4769+0.9810 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.9616	1201.36	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.7087+0.8842 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.8362	246.03	0.0000
Maschi	Ln LM= 2.0716+0.5793 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.7692	160.95	0.0000
Femmine	Ln LM= 2.1020+0.4489 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.3259	24.20	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.7674+0.6847 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.8641	312.52	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.7994+0.6025 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.7434	128.45	0.0000
Maschi	Ln LM= 0.7751+1.0089 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.8424	262.83	0.0000
Femmine	Ln LM= 0.7690+1.01181 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.6847	105.25	0.0000
Maschi	Ln LM= 1.5849+1.0172 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.7377	136.03	0.0000
Femmine	Ln LM= 1.4303+1.0996 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.6023	66.11	0.0000

Tab.20- *Loligo forbesii*: equazioni e parametri statistici delle regressioni lineari tra il peso e alcune biometrie del becco nei due sessi, Peso totale (PT); Lunghezza della cresta (LC); Lunghezza cappuccio (LH); Lunghezza del rostro (LR); Lunghezza dell'ala (LW); Ampiezza alla base del becco ventrale (LB); Ampiezza della parete laterale del becco dorsale (LWA); Distanza tra gli angoli della mandibola (JAD).

Sesso	Equazione di regressione	R <sup>2</sup>	F	p -value
Maschi	Ln PT= -0.8242+2.6391 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.9511	954.087	0.0000
Femmine	Ln PT= -0.5300+2.5574 Ln <b>CL<sub>BV</sub></b>	0.8248	217.48	0.0000
Maschi	Ln PT= 1.5358+2.4890 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.9001	433.36	0.0000
Femmine	Ln PT= 1.6849+2.3719 Ln <b>HL<sub>BV</sub></b>	0.7364	123.92	0.0000
Maschi	Ln PT= 3.0725+2.1023 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.7954	191.94	0.0000
Femmine	Ln PT= 3.1945+1.9294 Ln <b>RL<sub>BV</sub></b>	0.6233	67.19	0.0000
Maschi	Ln PT= 0.8226+2.2699 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.9479	874.27	0.0000
Femmine	Ln PT= 1.25294+2.0542 Ln <b>WL<sub>BV</sub></b>	0.7665	155.31	0.0000
Maschi	Ln PT= -0.3454+2.3997 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.9169	541.84	0.0000
Femmine	Ln PT= 0.0077+2.2574 Ln <b>BL<sub>BV</sub></b>	0.8091	200.15	0.0000
Maschi	Ln PT= 1.9039+2.6161 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.6159	74.75	0.0000
Femmine	Ln PT= 2.9024+1.5722 Ln <b>JAD<sub>BV</sub></b>	0.2184	13.01	0.0000
Maschi	Ln PT = -1.0385+2.2669 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.9181	539.32	0.0000
Femmine	Ln PT = -2.2281+2.7266 Ln <b>CL<sub>BD</sub></b>	0.8877	372.65	0.0000
Maschi	Ln PT = -0.8861+2.4616 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.9487	889.25	0.0000
Femmine	Ln PT = -0.4290+2.2882 Ln <b>HL<sub>BD</sub></b>	0.8697	321.41	0.0000
Maschi	Ln PT = 3.1198+1.4462 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.7633	159.03	0.0000
Femmine	Ln PT = 2.6679+1.5226 Ln <b>RL<sub>BD</sub></b>	0.5026	46.46	0.0000
Maschi	Ln PT = 2.4112+1.7903 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.8167	219.36	0.0000
Femmine	Ln PT = 2.4958+1.4734 Ln <b>WL<sub>BD</sub></b>	0.4219	33.11	0.0000
Maschi	Ln PT = -0.1678+2.5460 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.8405	259.03	0.0000
Femmine	Ln PT = 0.0407+2.4477 Ln <b>LWA<sub>BD</sub></b>	0.6517	90.83	0.0000
Maschi	Ln PT = 1.3940+2.9020 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.8331	230.53	0.0000
Femmine	Ln PT= 1.5105+2.7749 Ln <b>JAD<sub>BD</sub></b>	0.5996	66.89	0.0000

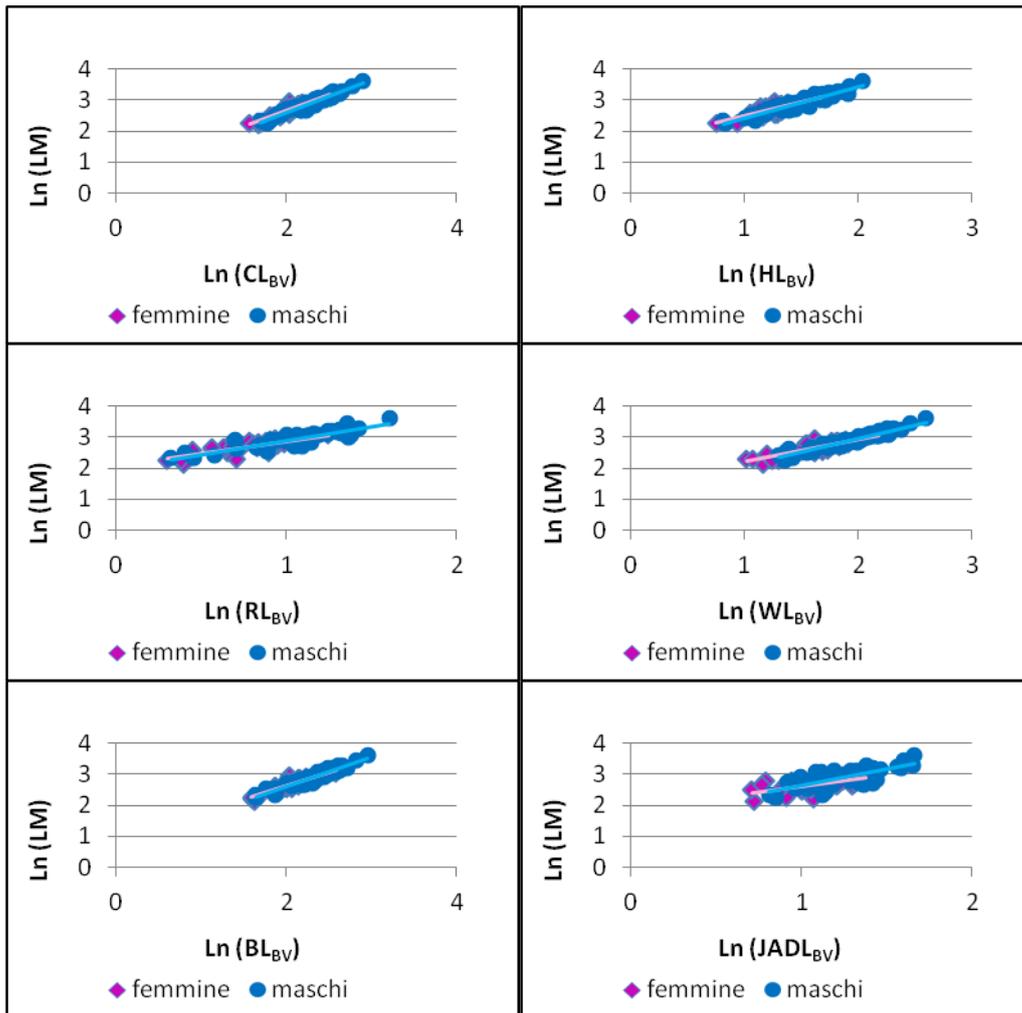


Fig. 47– *Loligo forbesii*: regressioni tra la lunghezza mantello dorsale (LM) e le diverse componenti del becco ventrale nei due sessi.

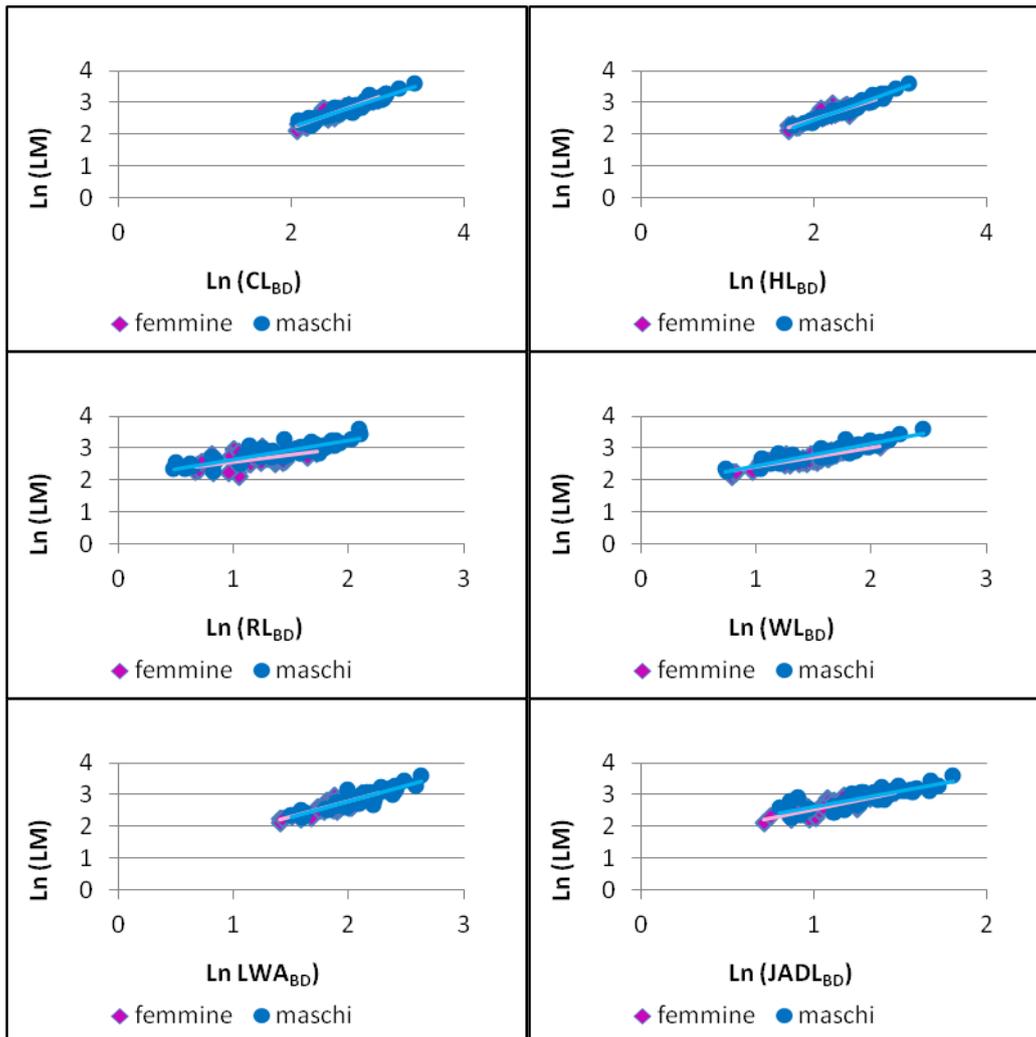


Fig. 48– *Loligo forbesii*: regressioni tra la lunghezza mantello dorsale (LM) e le diverse componenti del becco dorsale nei due sessi.

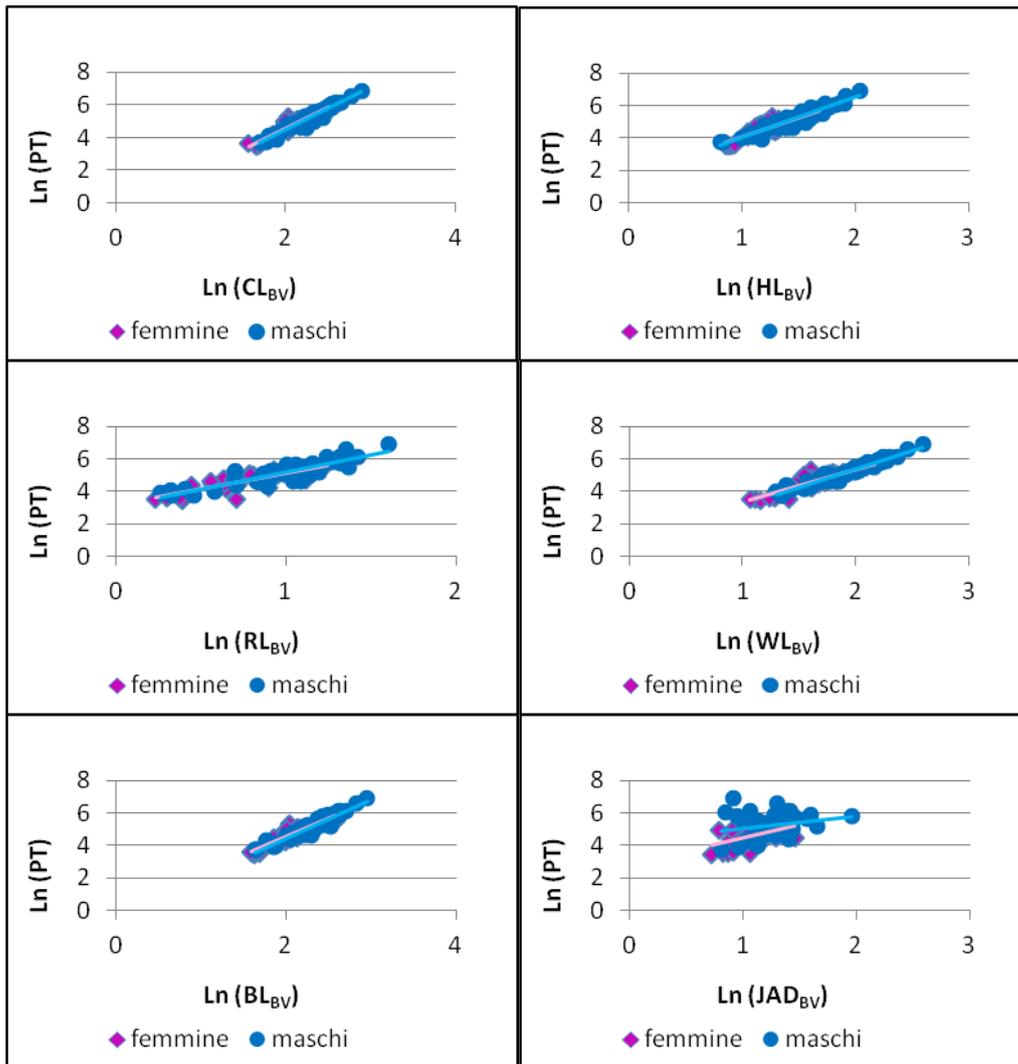


Fig. 49– *Loligo forbesii*: regressioni tra il peso totale (Pt) e le diverse componenti del becco ventrale nei due sessi.

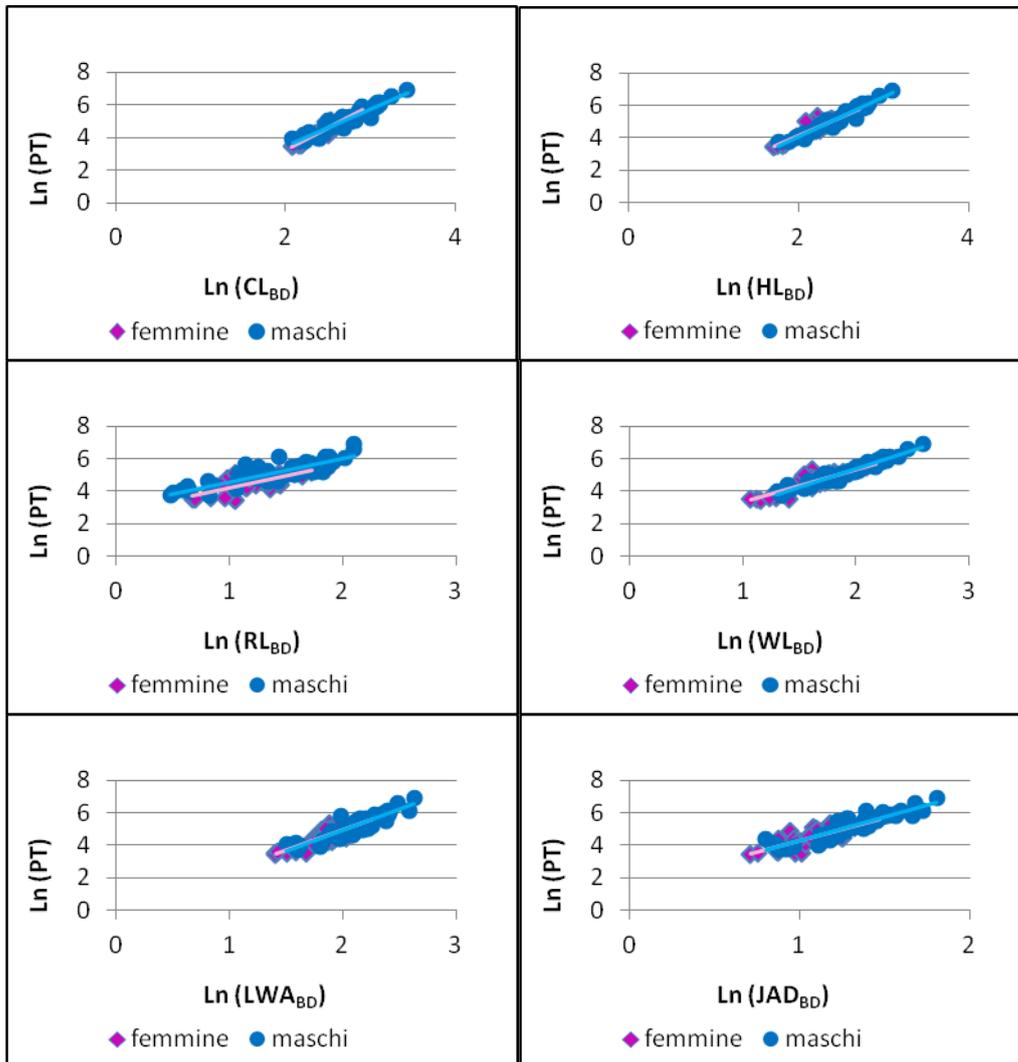


Fig. 50– *Loligo forbesii*: regressioni tra il peso totale (Pt) e le diverse componenti del becco dorsale nei due sessi.

Il confronto fra le differenti componenti dei due becchi, ha evidenziato differenze statisticamente significative tra i due sessi, sia per quanto riguarda il becco dorsale che per quello ventrale (Tab 21).

Tab.21 – *Loligo forbesi*: risultati dell'analisi della covarianza tra i becchi (ventrali e dorsali) dei maschi e delle femmine.

<b>Campioni</b>	<b>Variabile</b>	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>Chi-quadrato</b>	<b>DF</b>	<b><i>p</i></b>
Maschi e Femmine (N°= 99)	Ventrale	0.726901	29.9827	6	0.0000
Maschi e Femmine (N°= 99)	Dorsale	0.737448	28.6286	6	0.0001

## Discussioni

Dall'analisi delle principali biometrie effettuate sugli individui di *L. vulgaris* e *L. forbesii*, è emerso che quest'ultima specie presenta taglie maggiori, soprattutto a carico degli individui di sesso maschile. Infatti, se per *L. vulgaris* la taglia massima riscontrata è di 38.7 cm di lunghezza mantello e 940 g di peso in un maschio maturo, per *L. forbesii* la taglia massima è di 70.8 cm di lunghezza mantello e 2900 g di peso totale in un maschio maturo. Quest'ultimo dato risulta in assoluto il più grande registrato per *L. forbesii*, se confrontato con le altre taglie riportate in letteratura per le acque del Mediterraneo (56 cm LM in Jereb&Ragonese, 1986) e dell'Atlantico (68,5 cm LM in Rocha & Guerra,1996).

Le specifiche relazioni taglia–peso ottenute in questa ricerca, per entrambe le specie, ha messo in luce in tutti i casi un accrescimento allometrico negativo maggiore nella dimensione lineare rispetto a quella ponderale (Moreno *et al.*, 2002, Guerra & Rocha, 1994; Coelho *et al.*,1994 ; Sifner & Vroc; 2004) (Allegato I). Inoltre a parità di lunghezza mantello le femmine risultano più pesanti rispetto ai maschi e ciò è stato confermato statisticamente per entrambe le specie.

Nelle relazioni taglia peso di *L. vulgaris* nei valori pendenze è stato osservato un trend crescente da nord al sud dell'Atlantico e dall'Atlantico all'est del Mediterraneo (Moreno *et al.*, 2002) che trova conferma anche nei valori riscontrati nel presente studio. Come anticipato l'identificazione di un cefalopode può essere fatta a partire dall'analisi della sua mandibola che oltre a fornire informazioni sulla dieta dei suoi predatori da allo stesso tempo anche informazioni sulla distribuzione geografica e batimetrica della specie di appartenenza.

Sebbene alla sola visione le mandibole di entrambe le specie appaiano uguali con un rostro ed un cappuccio pigmentati di scuro, un'osservazione più dettagliata mette in luce che le restanti componenti appaiano trasparenti in *L. forbesii* e invece leggermente pigmentate, di un color bianco crema, in *L. vulgaris*. La discriminante principale è però data dalle correlazioni biometriche registrate per le differenti componenti del becco superiore che di quello inferiore. Differenze inoltre sono valutabili anche nell'ambito della stessa specie a carico dei due sessi.

Complessivamente in entrambe le specie, le analisi delle due mandibole hanno messo in luce un accrescimento allometrico negativo in relazione alla lunghezza mantello ed un accrescimento allometrico positivo in relazione al peso totale dell'animale. Ciò si è osservato a carico di quasi tutte le componenti ad eccezione del rostro (RL), della lunghezza dell'ala (LWA) e della distanza tra le mandibole (JAD).

L'accrescimento più veloce del rostro e dell'ala potrebbero dipendere dalla necessità di avere una mandibola adatta alla predazione di animali di grandi dimensioni in relazione al cambiamento della dieta durante lo sviluppo ontogenetico. Va considerato inoltre che nello specifico il rostro per il suo ruolo di 'affettare' la preda, è soggetto ad erosione (Hernández-García et al., 1998) pertanto i valori osservati potrebbero risultare anche sottostimati.

L'analisi statistica ha evidenziato differenze statisticamente significative tra i becchi dei maschi e delle femmine di *L.forbesii* a differenza di quanto emerso per *L.vulgaris*.

## Capitolo 4

### Il processo riproduttivo di *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii*

#### INTRODUZIONE

I calamari sono specie dioiche e come tutti i cefalopodi coleoidei sono considerate semelpare in quanto capaci di unico evento riproduttivo a cui fa seguito la morte (Mangold, 1963, 1987). Schematicamente l'apparato riproduttivo delle femmine dei calamari presenta un ovario, sede dell'oogenesi, un singolo ovidotto associato ad una ghiandola oviducale e un paio di ghiandole nidamentali, fondamentali nel secernere il rivestimento esterno delle uova al momento della deposizione (Fig. 51).

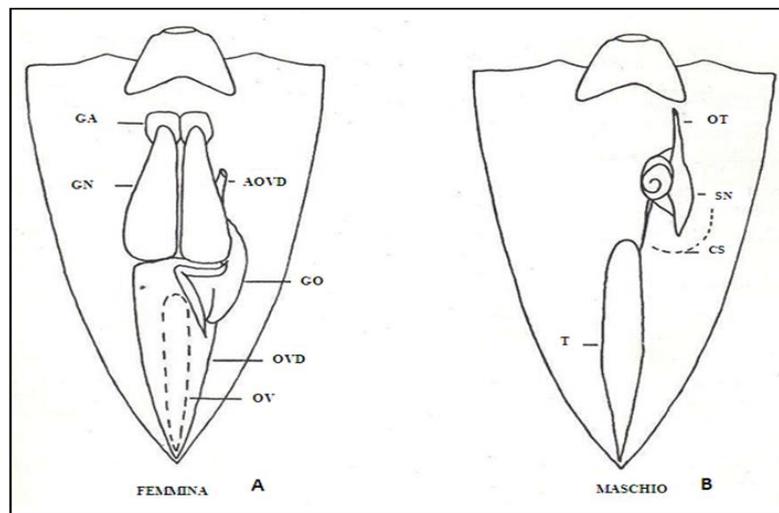


Fig. 51– Apparato riproduttore femminile (A) e maschile (B) nei calamari. OV: ovario; OVD: ovidotto; GO: ghiandola dell'ovidotto; GN: ghiandole nidamentali; GA: ghiandole accessorie; AOVD: apertura dell'ovidotto; T: testicolo; CS: complesso spermatoforico; SN: sacca del Needham; OT: organo terminale (disegno tratto da Juanico, 1983).

Una peculiare caratteristica (comune anche all'ordine Sepioidea) è la presenza di due ghiandole accessorie, facilmente distinguibili durante la fase di maturità sessuale per la loro intensa colorazione rosso-arancio dovuta alla presenza di batteri simbiotici (Richard *et al.*, 1979). La funzione di queste ghiandole anche se non ancora del tutto chiara sembra correlata alla formazione della membrana esterna delle uova e al completamento dell'azione svolta dalle ghiandole oviducali e nidamentali, ma anche alla produzione di feromoni fondamentali nel richiamo del maschio (Richard *et al.*, 1979). La gonade maschile è composta dal testicolo, sede della spermiogenesi da cui si diparte il complesso spermatoforico formato da ghiandole e dotti (vasi deferenti) e dalla tasca del Needham in cui si accumulano prodotti sessuali (spermatofore) (Fig. 52)

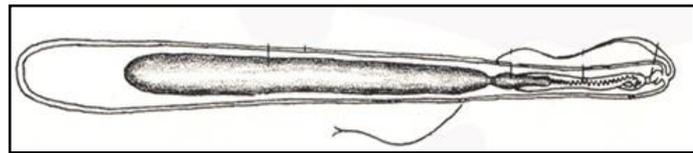


Fig.52 -: spermatofora.

Durante l'accoppiamento (Fig. 53) il maschio afferra la femmina per il capo trasferendo le spermatofore che possono venir inserite all'interno di un ricettacolo seminale posto nella massa buccale o nella cavità ventrale in prossimità dell'ovidotto (Fig. 54). In alcune specie è stata appurata la possibilità di entrambi i tipi di trasferimento (Juanico, 1983). In ogni caso il trasferimento delle spermatofore avviene mediante ausilio del IV braccio sinistro che risulta modificato nella sua porzione terminale (ectocotile) per la presenza di papille che sostituiscono le ventose presenti invece nelle altre braccia (Fig. 55).

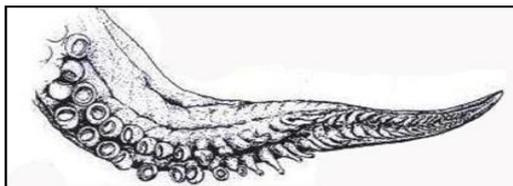


Fig. 55 – Ectocotile: IV braccio sinistro modificato nella porzione terminale.

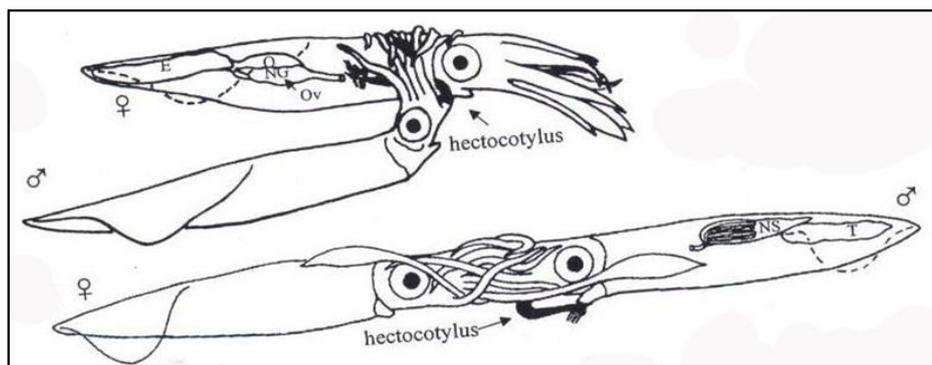


Fig. 53 – Differenti modalità di accoppiamento nei calamari.

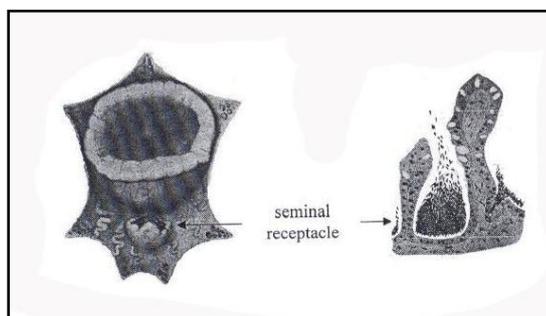


Fig. 54– Schema di un ricettacolo seminale presente nella massa buccale di una femmina di calamaro.

Dopo l'accoppiamento nella cavità palleale e/o nei ricettacoli seminali della femmina si ritrovano gli spermatangi (spermatofore evaginate) come prodotto finale destinato alla fertilizzazione delle uova. Così come in tutte le specie anche nei cefalopodi la descrizione e comprensione delle differenti fasi che caratterizzano lo sviluppo sessuale di una specie rappresenta la base per comprendere a pieno il ciclo riproduttivo, poterlo collocare temporalmente, individuare alcuni parametri (es. taglia di prima maturità sessuale) fondamentali ad evidenziare potenziali fattori che possano influenzare le dimensioni della popolazione nel tempo e che quindi sono in stretta connessione con eventuali aspetti gestionali. Questa importante valutazione all'identificazione delle differenti tappe che caratterizzano lo sviluppo ontogenetico, dovrebbe avvenire attraverso l'osservazione dei caratteri sessuali primari e secondari e delle variazioni che si susseguono temporalmente sia a livello macroscopico che microscopico nella gonade e nelle ghiandole annesse (Juanico, 1983).

E' fondamentale che si definiscano criteri di base di osservazione che non siano arbitrari ma condivisi nell'ambito della comunità scientifica internazionale che si confronta su tale tema. Poiché la maturazione sessuale è un processo continuo non è facile creare una scala di maturità e soprattutto risulta complicato decidere quanti stadi si debba includere e quest'ultimo aspetto è senza dubbio legato al tipo di indagine che si intende svolgere (Cuccu *et al.*, 2013). Nel tempo, proprio in relazione alle diverse esigenze di studio, per i cefalopodi sono state stilate scale di maturità sia semplici, basate solo sulla presenza o assenza dei prodotti sessuali, che dettagliate improntate su diversi parametri come la morfologia degli organi sessuali e le dimensioni e numero delle uova (in Juanico, 1983). Alcune sono state pensate per essere estese e applicate alla maggior parte dei cefalopodi (Mangold, 1963) e altre invece sono state stilate *ad hoc* per alcuni gruppi come teutidi, ottopodi e sepiidi, dettagliandole per i due sessi. In altri casi sono state dedicate ad alcune specie, tuttavia quasi sempre in riferimento a specie non mediterranee (per citarne alcune Whitaker, 1978, Juanico, 1979, Burukovsky *et al.*, 1977).

Recentemente si è posta l'attenzione sulla necessità di utilizzare scale di maturità standard che abbiano un potenziale utilizzo nei differenti laboratori di ricerca o all'occorrenza direttamente a bordo delle imbarcazioni che svolgono i programmi di ricerca. A tal proposito sono stati organizzati dei workshops internazionali (ICES) e sono in atto dei gruppi di lavoro sulla maturità al fine di stilare scale concertate dopo analisi macroscopiche, istologiche e con l'ausilio di alcuni indici gravimetrici (ICES, 2010). Nello specifico dei calamari una valida scala risulta essere quella stilata da Lipinski (1979) e definita universale per gli "squid". In realtà con il termine squid oltre i calamari si includono anche tutti i totani pertanto essa tiene conto di aspetti generali ed è adattabile a tutti i teutoidei ed inoltre si basa su osservazioni prettamente macroscopiche. Nello studio di questa tesi uno degli obiettivi è di affrontare la riproduzione delle due specie *L. vulgaris* e *forbesii* cercando il più possibile di definire le specificità di questo processo descrivendo le sue principali fasi attraverso la stesura di una scala *ad hoc* differenziata per i due sessi. Nell'ottica finale inoltre di ricostruire il pattern riproduttivo di queste due specie in Mediterraneo e di tentare di definire la strategia adottata per la deposizione dei gameti, aspetti macroscopici, istologici, gravimetrici dei sistemi riproduttivi vengono correlati tra loro ed uniti a tutte le informazioni disponibili inerenti la tematica riproduttiva come la descrizione di masse d'uova deposte.

## MATERIALI E METODI

Lo studio del processo riproduttivo nelle due specie oggetto di studio è stato effettuato su campioni provenienti dalle campagne sperimentali di pesca a strascico condotte dal 2012 al 2014 nei mari circostanti la Sardegna dal Dipartimento di scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari nell'ambito del progetto MEDITS (Mediterranean International Trawl Survey) (Bertrand *et al.*, 2002), nonché su campioni provenienti da pesche commerciali effettuate sempre con la rete a strascico durante i mesi invernali e primaverili.

Il materiale biologico collezionato è risultato composto da 487 individui di *L. vulgaris* (222 maschi e 265 femmine) e 455 di *L. forbesii* (195 maschi e 329 femmine). Inoltre sono stati analizzati 42 individui di *Loligo vulgaris* (22 maschi e 20 femmine) catturati con l'attrezzo della totanara, tra settembre e novembre 2013, nell'ambito della pesca artigianale effettuata, tra i 30 e i 40 metri di profondità, nelle acque prospicienti la località di Bosa (Sardegna centro-occidentale). Su ciascun esemplare sono state rilevate, la lunghezza del mantello dorsale (LM) e ventrale (LMV) (con precisione al decimo di millimetro) e registrato il peso (PT; con precisione al decimo di grammo) secondo la metodologia standard indicata per i decapodi (Roper & Voss, 1983) (Fig.55).

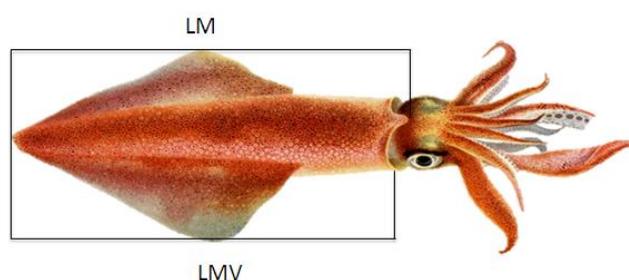


Fig. 55 – Rilevamento della lunghezza mantello dorsale e ventrale nei calamari.

Previa determinazione del sesso su ciascun esemplare è stata effettuata una attenta analisi dell'anatomia degli apparati riproduttori, dello sviluppo gonadico (morfologico e istologico), l'annotazione dei segni di fertilizzazione.

Per la valutazione morfologica dello sviluppo gonadico partendo dalla scala di maturità proposta da Lipinsky (1979), distintamente per le femmine e per maschi sono state stilate due scale scaturite dalla analisi macroscopica delle gonadi (dimensioni, colorazione, presenza/assenza dei prodotti sessuali) e dalla successiva convalida effettuata dal punto di vista istologico delle stesse. Ogni stadio macroscopico individuato è stato fotografato. Per l'analisi istologica le gonadi intere sono state fissate in formalina tamponata al 4% con acqua di mare, in seguito disidratate in alcool (2 passaggi da 30' in alcool al 70°, 2 passaggi da 30' in alcool al 95° ed 1 ora in alcool assoluto) e successivamente incluse in una resina (TECHNOVIT 7100, Bioptica) a base di Glicol-Metacrilati (2-idrossietilmetacrilato). Con l'utilizzo del microtomo rotativo (LKB Historage Microtome) sono state effettuate le sezioni dei campioni inclusi. Le fette aventi uno spessore 3.5 µm (in modo da poter colorare singoli strati cellulari e non avere piani sovrapposti), sono state montate su un vetrino porta oggetto e colorate secondo tre differenti metodiche: Ematossilina-eosina, Tricromica di Masson (colorazioni istologiche che ci danno informazioni sull'aspetto morfologico del preparato) e PAS (colorazione istochimica, che ci informa sul contenuto e la natura delle sostanze chimiche contenute nei tessuti biologici esaminati). L'ematossilina-eosina è una colorazione bicromica basata sul differente valore di pH dei vari tessuti e organelli presenti in una cellula, pertanto il nucleo e i vari componenti acidi del citoplasma vengono colorati in viola dall'ematossilina (basica) mentre i vari tessuti basici vengono colorati in rosa più o meno intenso dall'eosina (acida).

La Tricromica di Masson come indicato dal nome è basata su 3 differenti coloranti, questo tipo di colorazione colora i nuclei in viola dall'ematossilina, il citoplasma in rosso più o meno vivo dalla fucsina acida e le strutture fortemente basiche in blu, con il blu di anilina. La colorazione istochimica PAS, con l'ausilio dell'acido periodico, rileva le mucine neutre (o glicoproteine) in tessuti come le ghiandole endocrine e gli epitelii secernenti. È stata applicata quindi per l'analisi istologica delle ghiandole dell'ovidotto. Gli stadi di sviluppo microscopico sono stati fotografati attraverso l'utilizzo di un microscopio ottico provvisto di camera Canon Eos 1100D e collegato a un computer dotato del software PixeLINK Capture SE, con lo scopo di costruire una scala microscopica *ad hoc*.

Per poter calcolare i differenti indici, sono stati rilevati a fresco il peso totale della gonade (PG) e delle sue componenti nei differenti stadi maturativi, con precisione al centesimo di grammo, su un campione di 260 femmine e 223 maschi di *L. vulgaris* e 260 femmine e 195 maschi di *L. forbesii* rispettivamente. Nello specifico, per i maschi di entrambe le specie è stato registrato il peso del testicolo (PTE) e del complesso spermatoforico (PCS), mentre per le femmine oltre al peso dell'ovario (POV), del complesso "ovidotto e ghiandola dell'ovidotto" (POG), delle ghiandole nidamentali (PNG) e delle ghiandole accessorie (PAG), è stata rilevata anche la lunghezza delle ghiandole nidamentali (LGN). Separatamente per i due sessi sono stati calcolati l'indice gonado-somatico (IGS) e di Hayashi (HI) (Guerra, 1975) e per le sole femmine anche l'indice di maturità (MI) (Durward *et al.*;1978) secondo le seguenti formule:

$$\mathbf{IGS: PG * 100 / PT}$$

$$\mathbf{HI (maschi): PCS / (PCS + PTE)}$$

$$\mathbf{HI (femmine): POG / (POG + POV)}$$

$$\mathbf{MI (femmine): LGN / LM}$$

Nella specie *L. vulgaris* al fine di calcolare la fecondità potenziale, ossia il numero totale delle spermatofore presenti all'interno della tasca del Needham, sono stati analizzati i complessi spermatoforici di 41 individui maturi, conservati in formalina tamponata al 4% con acqua di mare. Inoltre per ciascuna spermatofora sono state rilevate le principali biometrie: lunghezza totale (LTS), lunghezza apparato eiaculatore (LEA) lunghezza corpo cementificante (LCC) e lunghezza massa spermatica (LMS) tramite l'ausilio di un binoculare provvisto di telecamera e collegato a un computer dotato del software PixeLINK Capture SE con una precisione al centesimo di mm; e calcolati:

L'indice della lunghezza (SpLI) (Roper & Voss, 1983) secondo la formula:

$$\mathbf{SpLI: LTS * 100 / LM}$$

L'indice della lunghezza dell'apparato eiaculatore (EjApLI), del corpo cementificante (CBLI) e della massa spermatica (SpML) (Hess, 1987 modificati da Voss *et al.*, 1998) secondo le formule:

$$\mathbf{EjApLI: LAE * 100 / LTS}$$

$$\mathbf{CBLI: LCC * 100 / LTS}$$

$$\mathbf{SpML: LMS * 100 / LTS}$$

Nelle femmine l'analisi di 25 ovari è servita per il calcolo della fecondità mediante la formula:

$$PF = N \sum_{j=1}^N \frac{POV}{PSOV} n_j$$

dove n rappresenta il numero di sub campioni, POV il peso dell'intero ovario, PSOV il peso del sub campione, nj il numero degli oociti del sub campione; in accordo con Silva *et al.* (2002) sono stati conteggiati gli oociti presenti in 5 sub campioni dell'ovario. Sullo stesso numero di ovari (25) sono inoltre state rilevate le misure di un campione di 30 oociti per ovario. In tre femmine mature che mostravano segni di avvenuto accoppiamento sono stati analizzati i siti di impianto e conteggiati e misurati, previa fissazione in formalina gli stessi prodotti sessuali presenti (spermatangi). Attraverso il modello logistico proposto da Gonzales & Lozano (1992) per entrambi i sessi nelle due specie è stata calcolata la taglia di prima maturità in lunghezza (LM<sub>50</sub>) ossia la taglia alla quale il 50% degli individui risulta matura.

La rappresentazione grafica è stata effettuata mediante una curva di tipo sigmoide simmetrica (Gonzales & Lozano, 1992) considerando la proporzione di individui maturi per ciascuna classe di taglia ed escludendo i valori massimi (P= 100) e minimi (P= 0):

$$P = \frac{100}{(1 + \exp - (a + b * LM))}$$

Sono state inoltre analizzate due masse d'uova deposte (I e II), verosimilmente appartenenti alla famiglia *loliginidae*, rinvenute a Maggio del 2009 nelle acque sarde durante la pesca commerciale, rispettivamente con reti da traino ad una profondità di 170m (massa I) e con le nasse per *Octopus*, ad una profondità di 28m (massa II). L'analisi a fresco, previa conservazione in acqua di mare, ha compreso il rilevamento del numero di capsule, la loro lunghezza e il conteggio delle uova in esse contenute. Per ogni capsula su un campione di 12 uova sono state rilevate la lunghezza e la larghezza (con approssimazione di 0,01 millimetri) e determinata la fase di sviluppo embrionale in accordo con la scala proposta da Naef (1923).

## RISULTATI

L'analisi degli apparati riproduttori ha evidenziato una morfologia degli organi deputati al processo riproduttivo combaciante con le descrizioni presenti in letteratura per entrambi i sessi di tutte e due le specie oggetto di studio. L'ectocotile presente nei maschi come carattere sessuale secondario è risultato caratterizzato dalla presenza di papille in una porzione del IV braccio sinistro di dimensione compresa tra 1 e 3.4 cm ( $1.75 \pm 0.6$ ) in *Loligo vulgaris* e tra 1 e 4.7 cm ( $2.1 \pm 0.1$ ) in *Loligo forbesii* (Fig. 56).

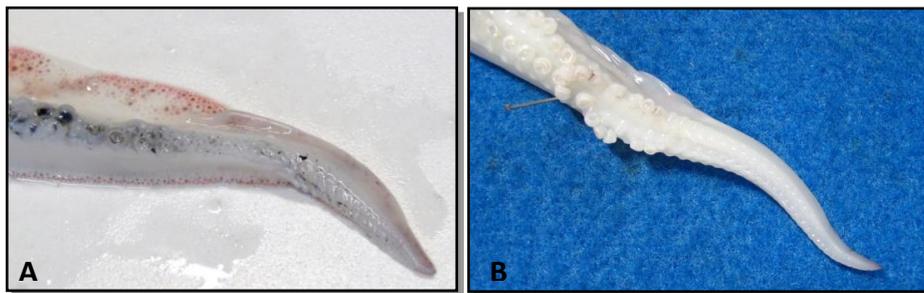


Fig. 56 – Ectocotile in un maschio maturo; A: *Loligo vulgaris*; B: *Loligo forbesii*.

Lo studio dettagliato del processo maturativo dei maschi e delle femmine dei due loliginidi in oggetto ha portato ad elaborare una scala a 5 stadi corrispondente a 5 fasi di sviluppo sessuale: immaturità (stadio 1), inizio maturazione (stadio 2a), avanzamento maturazione (stadio 2b), piena maturità/spawning (stadio 3a) e spawning avanzato (stadio 3b). La valutazione macroscopica ha permesso di evidenziare cambiamenti netti durante la maturazione sia nella colorazione che nella struttura d'insieme dell'ovario, dell'ovidotto e delle ghiandole nidamentali e accessorie nelle femmine, e nel del testicolo e complesso spermatoforico nei maschi a cui hanno corrisposto rispettivamente dal punto di vista istologico cambiamenti del processo di gametogenesi significativi nella differenziazione degli stadi individuati.

Specificatamente per lo stadio 2 la comparsa di una banda laterale aranciata nella ghiandola dell'ovidotto delle femmine e l'individuazione dei vasi deferenti del complesso spermatoforico nei maschi, consentono di individuare in entrambi i sessi due tappe distinte e di suddividerlo in 2a e 2b. Anche per lo stadio 3 è stato possibile fare un distinguo nelle due fasi 3a e 3b. La piena maturità sessuale (3a) si contraddistingue oltre che per l'evoluzione ponderale della gonade, dalla cospicua presenza di uova all'interno degli ovidotti nelle femmine e dall'impacchettamento delle spermatofore all'interno della tasca del Needham e dell'organo terminale nei maschi. Tuttavia a processo di emissione dei prodotti sessuali avanzato è possibile distinguere uno stadio 3b che si caratterizza per la presenza di un più ridotto numero di prodotti sessuali che seppur formati sono spesso accompagnati da una più o meno marcata degenerazione dei tessuti. Sulla base dei risultati macroscopici (M) ed istologici (I) ottenuti in questo studio di seguito si riportano le rispettive descrizioni per i cinque stadi maturativi della scala stilata per ciascun sesso adottabile per entrambe le specie.

## Scala di maturità sessuale in *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii*

### FEMMINE

#### Stadio 1: Immaturità

**M:** l'apparato riproduttore delle femmine immature appare di ridotte dimensioni e dal colore traslucido pertanto difficilmente distinguibile ad occhio nudo.

L'ovario (OV) è semi trasparente privo di struttura granulare; sia la ghiandola dell'ovidotto (GO) che le ghiandole nidamentali (GN) appaiono traslucide e le ghiandole accessorie sono del tutto invisibili.

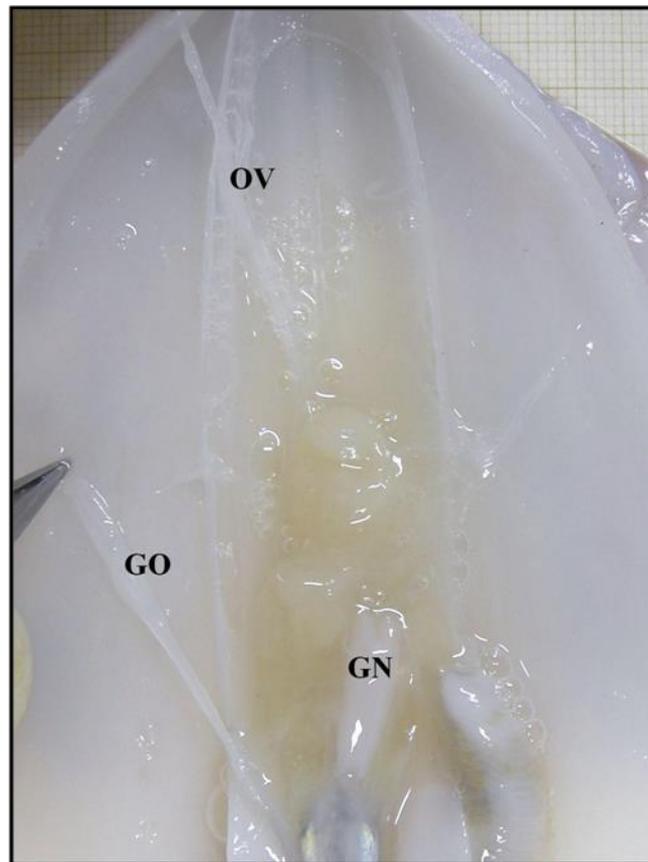


Fig. 57 – Gonade di una femmina immatura stadio 1.  
OV: ovario; GO: ghiandola dell'ovidotto; GN: ghiandole nidamentali.

**I:** nella fase iniziale dell'oogenesi, gli oociti presentano tutti piccolissime dimensioni e sono attaccati al tessuto connettivo dell'ovario da un piccolo stelo.

Il tessuto ovarico rivela la presenza di piccoli oociti primari di forma sferica caratterizzati da un citoplasma omogeneo e fortemente basofilo che circonda un grande nucleo (n) debolmente acidofilo e completamente sferico. Fanno la loro comparsa alcune cellule follicolari (cf) in prossimità degli oociti (Fig. 58).

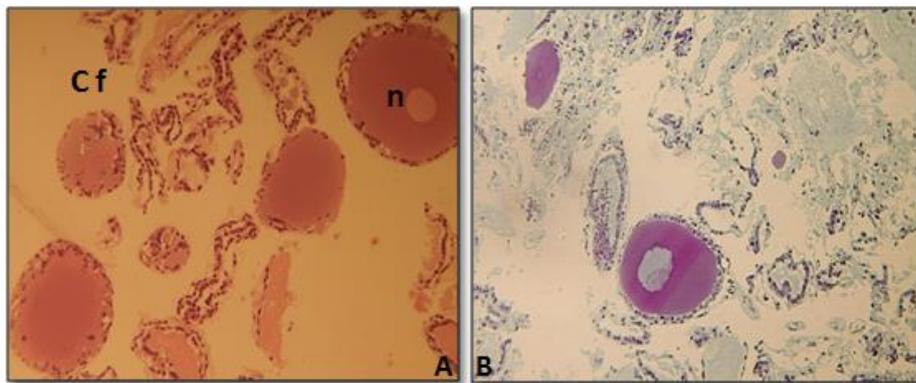


Fig. 58 – Preparato istologico del tessuto ovarico di una femmina immatura (stadio 1).  
A: colorazione con Ematossilina/eosina, B: colorazione con Tricomica di Masson; ingrandimento 100X.

### STADIO 2A: INIZIO DI MATURAZIONE

**M:** la gonade presenta dimensioni maggiori rispetto allo stadio 1, l'ovario, ha una colorazione biancastra di cui si apprezza una struttura granulare. La ghiandola dell'ovidotto e le ghiandole nidamentali appaiono più grandi. L'ovidotto è chiaramente visibile e le ghiandole accessorie sono pigmentate di rosso.

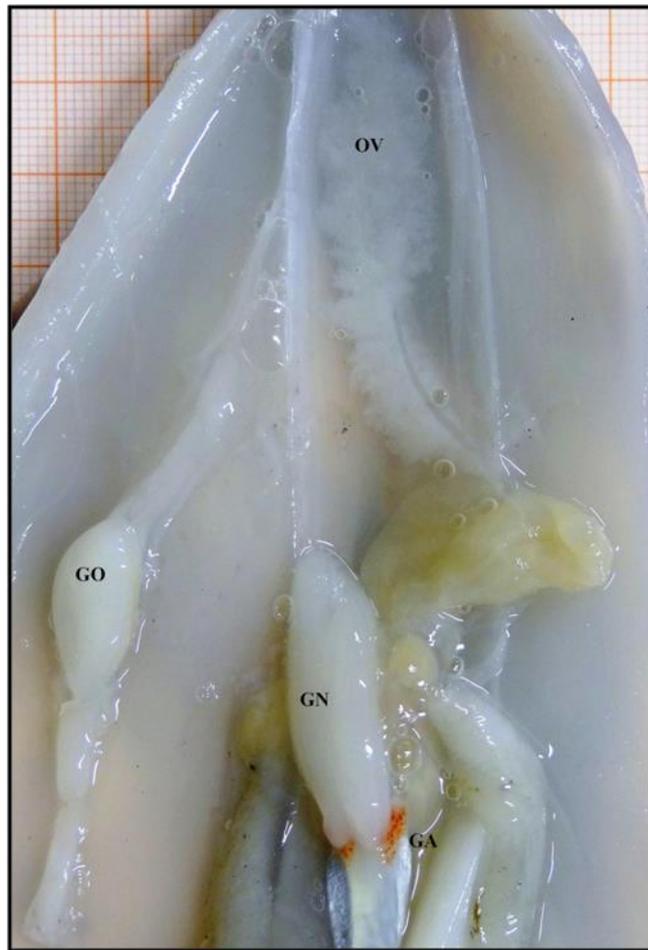


Fig. 59 – Gonade di una femmina all'inizio della maturazione, stadio 2A.  
OV: ovario; GO: ghiandola dell'ovidotto;  
GN: ghiandole nidamentali; GA: ghiandole accessorie.

**I:** in questa fase di maturazione chiamata pre-vitellogenesi o follicolare, gli oociti di dimensioni notevolmente maggiori vengono avvolti da uno strato di cellule follicolari sempre più ampio, dando origine alla formazione di un numero variabile di invaginazioni o *fold*s (FId) generate dalla proliferazione delle stesse cellule follicolari. Il nucleo ancora di elevate dimensioni (n) inizia la sua migrazione verso il polo animale dell'oocita (zona polare). Si osserva ancora la presenza di alcuni oociti caratteristici del precedente stadio maturativo.

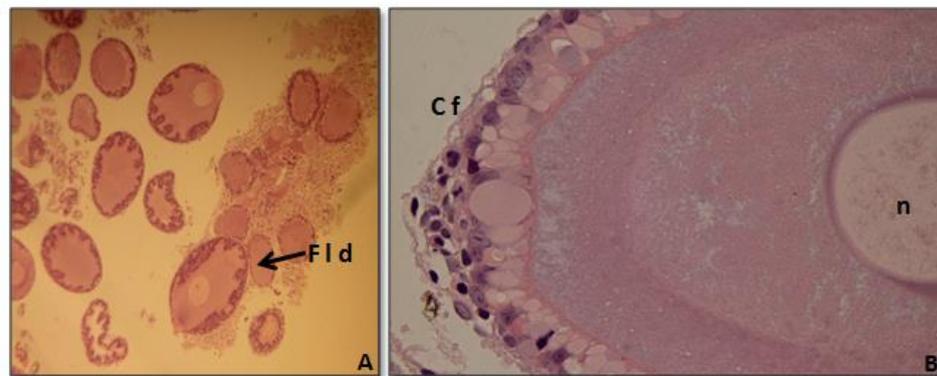


Fig. 60 – Preparato istologico del tessuto ovarico di una femmina all'inizio della maturazione, stadio 2A A: oociti con i primi *fold*s di cellule follicolari, ingrandimento 100X;  
B: particolare di un oocita avvolto da un doppio strato di cellule follicolari, ingrandimento 400X.

**STADIO 2B: FINE DELLA MATURAZIONE**

**M:** in questo stadio si osservano oociti di diverse dimensioni all'interno dell'ovario, il quale occupa metà della cavità del mantello. L'ovidotto è completamente sviluppato ma privo di uova al suo interno. La ghiandola dell'ovidotto lateralmente presenta una banda chiara di color arancio.

Le ghiandole nidamentali appaiono di grandi dimensioni e quelle accessorie, in questo stadio ben visibili, assumono una colorazione più accentuata, tendente al rosso.

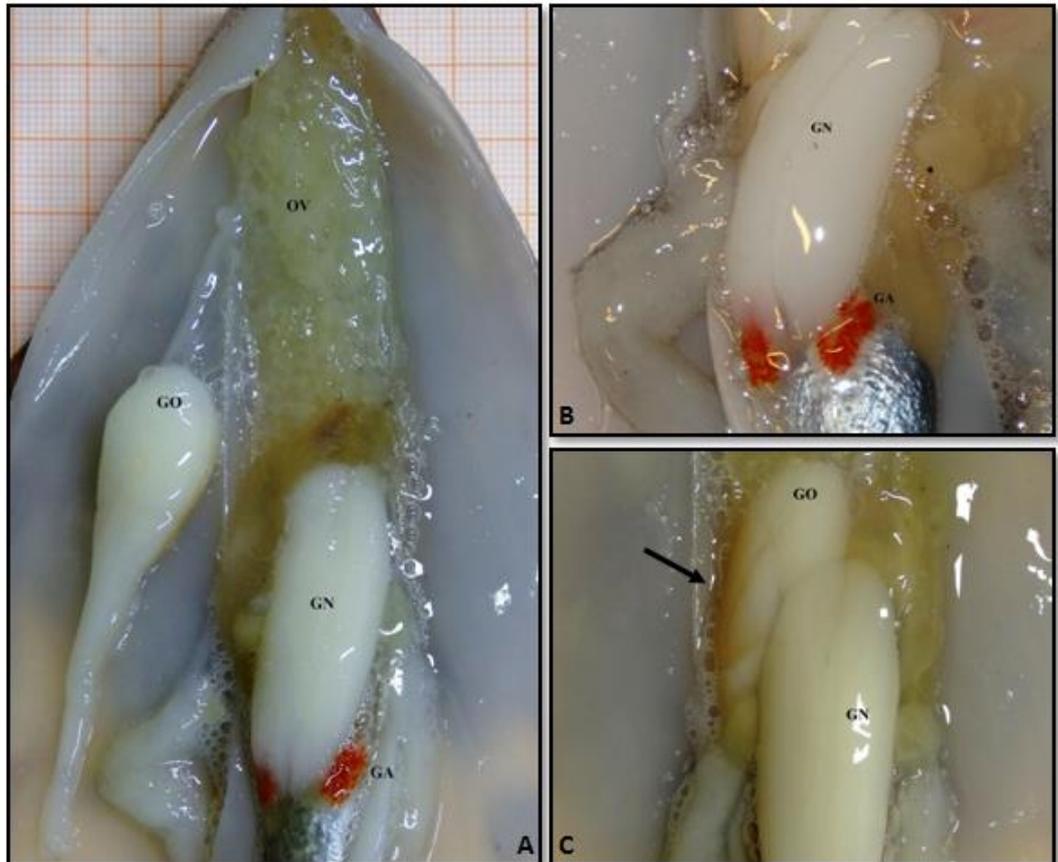


Fig. 61 – A : Gonade di una femmina alla fine della maturazione, stadio 2B.  
OV: ovario; GO: ghiandola dell'ovidotto; GN: ghiandole nidamentali; GA: ghiandole accessorie.  
B: particolare delle ghiandole nidamentali e accessorie. C: particolare della banda laterale nella ghiandola dell'ovidotto.

**I:** in questo stadio si assiste ad un forte incremento delle dimensioni degli oociti, con la presenza di numerosi ‘folds’, nonché di vescicole lipidiche (vl) e gocce di vitello proteico. Queste ultime divengono sempre più consistenti fino a ricoprire quasi l’intera totalità del volume citoplasmatico. In alcuni oociti il nucleo (n) sta completando la migrazione verso il polo animale mentre in altri non risulta più visibile. Frammisti agli oociti di grandi dimensioni, predominanti in questo stadio, sono presenti ancora oociti di minori dimensioni caratteristici dei precedenti stadi maturativi.

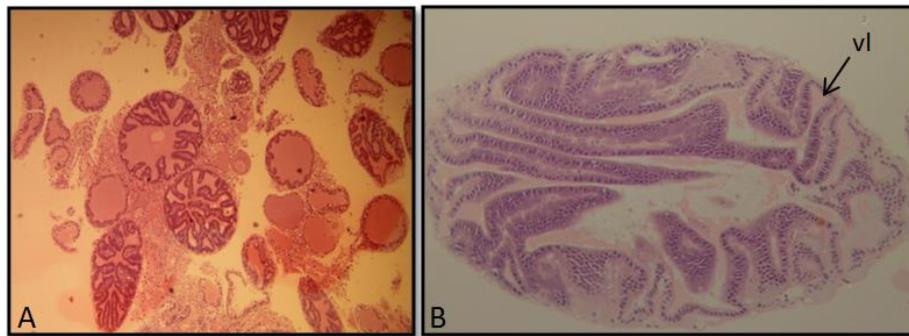


Fig. 62 – Preparato istologico del tessuto ovarico di una femmina alla fine della maturazione stadio2B.  
A: oociti a differenti stadi e presenza di *folds* sempre più marcati, ingrandimento 100X.  
B: particolare di un oocita con vescicole lipidiche, ingrandimento 400X.

### STADIO 3A: MATURITA'

**M:** L' ovario contiene un gran numero di uova reticolate di dimensioni variabili. L'ovidotto è colmo di uova. La banda laterale arancio, della ghiandola dell'ovidotto, presenta una colorazione più marcata. Le ghiandole accessorie assumono maggiori dimensioni e una colorazione rosso accesa.



Fig. 63 – A: Gonade di una femmina matura, stadio 3A.  
OV: ovario; GO: ghiandola dell'ovidotto; GN: ghiandole nidamentali; GA: ghiandole accessorie.  
B: particolare ghiandola dell'ovidotto con la banda laterale color arancio;  
C: particolare delle ghiandole accessorie con colorazione rosso acceso.

**I:** In questa fase definita di vitellogenesi, le cellule dello strato follicolare divengono colonnari, secernendo un tuorlo proteico nel lume degli oociti, i quali crescono rapidamente in volume e una volta completato l'accumulo del tuorlo si assiste alla degenerazione dello strato di cellule follicolari e alla formazione del corion. A livello microscopico, gli oociti raggiungono le dimensioni massime e si assiste alla regressione dei 'folds'. Il citoplasma è completamente avvolto dal corion (co) e al suo interno sono sempre ben rappresentate le vescicole lipidiche (vl).

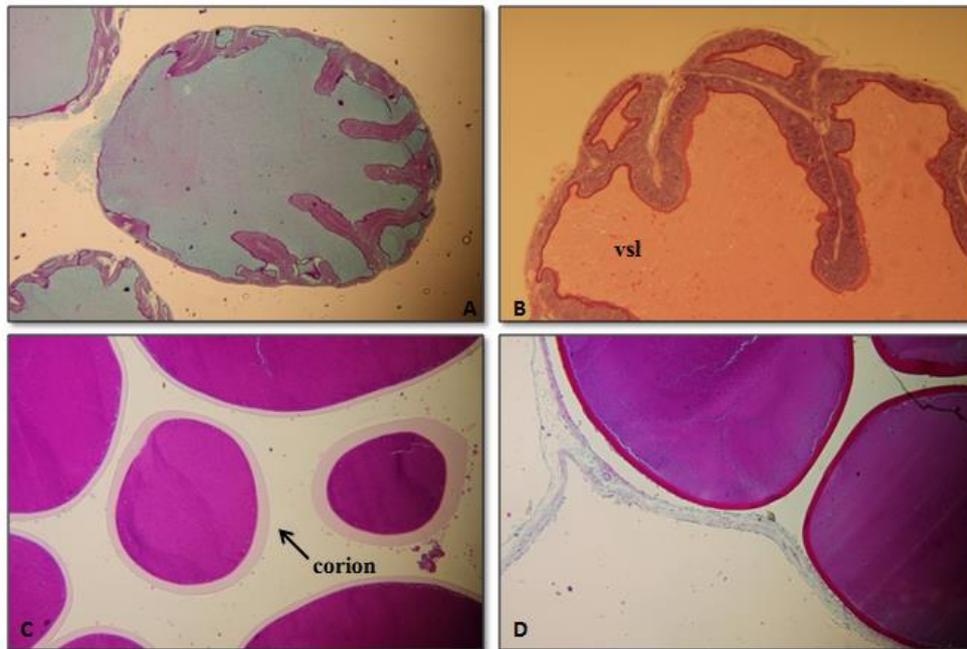


Fig. 64 – Preparato istologico del tessuto ovarico (A, B, C) e dell'ovidotto (D) di una femmina matura, stadio 3A.

A: oocita maturo con qualche residuo di *folds*, (colorazione Tricromica di Masson).

B: particolare dell'oocita con vescicole lipidiche (colorazione Ematossilina/eosina).

C: oociti maturi avvolti dal corion (colorazione PAS).

D: oociti maturi all'interno dell'ovidotto, pronti per essere depositi (colorazione PAS) ingrandimento 400X.

### STADIO 3B: SPAWNING AVANZATO

**M:** Nell'ovario si osserva la presenza di un ridotto numero di uova mature rispetto al precedente stadio e degli oociti immaturi attaccati al tessuto ovarico, anche nell'ovidotto il numero di uova mature presenti è notevolmente ridotto rispetto allo stadio precedente; tutte le componenti dell'apparato appaiono meno compatte rispetto alla stadio 3A. I tessuti e gli organi iniziano ad andare incontro ad una generale degenerazione, tuttavia tale aspetto può essere più o meno accentuato in relazione alla fase di deposizione, la fase conclusiva di questo stadio sarà caratterizzato da un apparato riproduttore flaccido, ovario con un ridottissimo numero di uova e ovidotti quasi o completamente vuoti, condizione della gonade che viene generalmente definita 'spenta'.

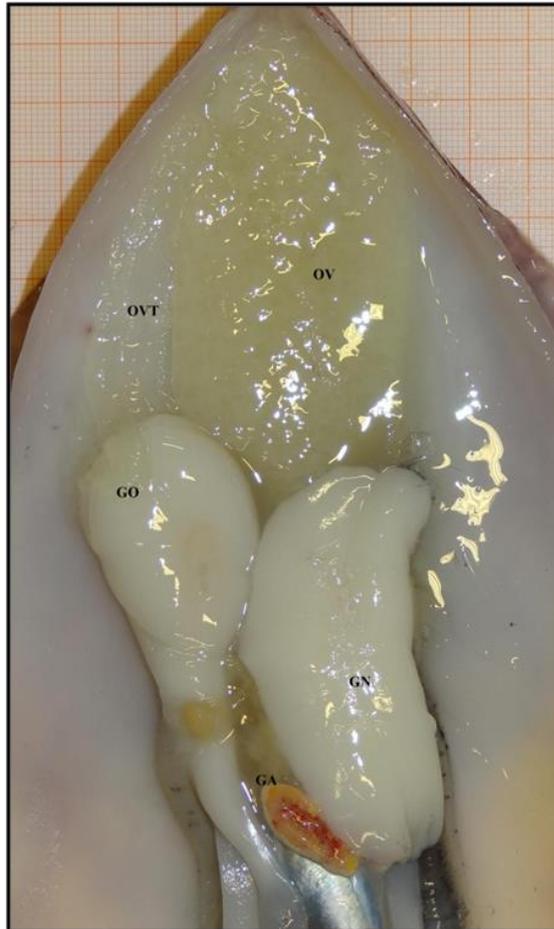


Fig. 65 – Gonade di una femmina in spawning avanzato; stadio 3B.  
OV: ovario; GO: ghiandola dell'ovidotto; GN: ghiandole nidamentali; GA: ghiandole accessorie.

**I:** il tessuto ovarico appare caratterizzato da un minor numero di oociti maturi rispetto al precedente stadio e da spazi vuoti che con il progredire dello stadio di maturità diventano sempre più ampi.

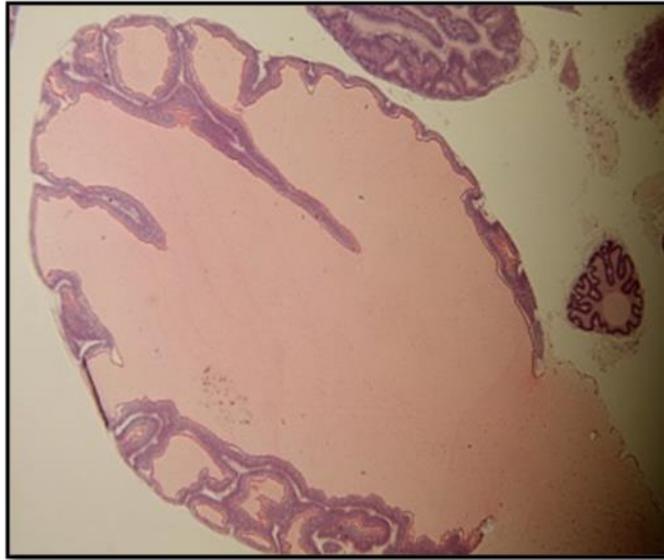


Fig. 66 – Preparato istologico del tessuto ovarico di una femmina in spawning avanzato, stadio 3B. Particolare di un oocita maturo, ingrandimento 400X.

## MASCHI

### STADIO 1: IMMATURITÀ

**M:** l'apparato riproduttore è piccolo e traslucido. Il testicolo e il complesso spermatoforico, appaiono appiattiti e quasi trasparenti; i vasi deferenti non sono ancora visibili e l'organo terminale non è ancora ben formato.

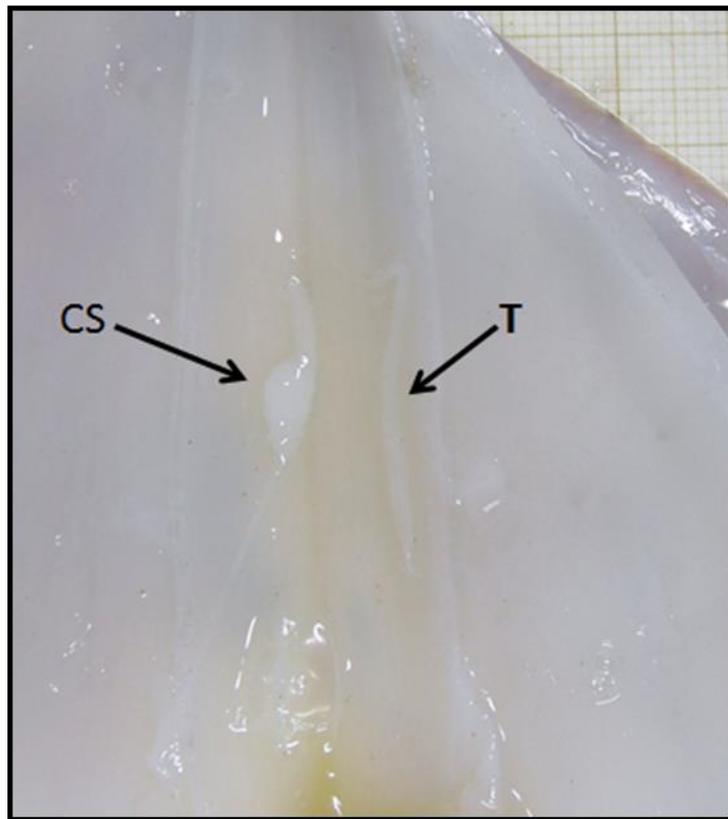


Fig. 67 – Gonade di un maschio immaturo : stadio 1.  
T: testicolo ; CS: complesso spermatoforico.

**I:** In questa prima fase di sviluppo degli spermatozoi, il testicolo è caratterizzato da tubuli seminiferi piccoli ma ben definiti. La porzione centrale dei tubuli è vuota mentre lungo le pareti laterali sono presenti alcuni spermatogoni (sg) caratterizzati da una forma sferica ed una colorazione scura.

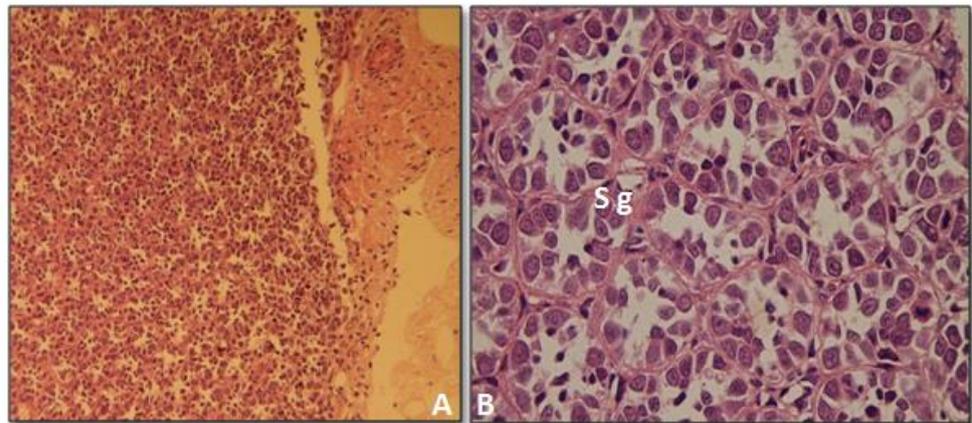


Fig. 68 – Preparato istologico del tessuto testicolare di una maschio immaturo, stadio 1.  
A: tubuli seminiferi, ingrandimento 100x. B: particolare dei tubuli seminiferi con il lume centrale vuoto e con spermatogoni di forma sferica, ingrandimento 400X.

**STADIO 2A: INIZIO DI MATURAZIONE**

**M**: in questa fase la gonade appare ingrandita rispetto allo stadio precedente, il testicolo e il complesso spermatoforico assumono una colorazione biancastra.  
L'organo terminale inizia a differenziarsi.

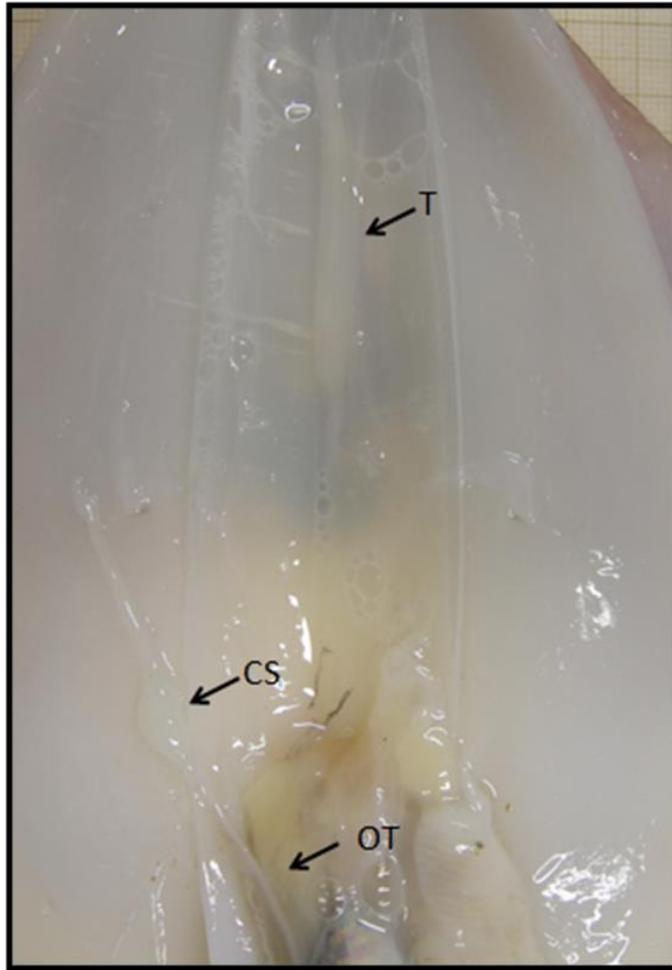


Fig. 69 – Gonade di un maschio all'inizio della maturazione: stadio 2A.  
T: testicolo ; CS: complesso spermatoforico; OT : organo terminale.

**I:** all'interno del lume dei tubuli oltre agli spermatogoni (Sg) sono presenti numerosi spermatociti (Sc), distinguibili dagli spermatogoni per le minori dimensioni l'aspetto reniforme e per la concentrazione della cromatina, che li fa apparire più scuri.

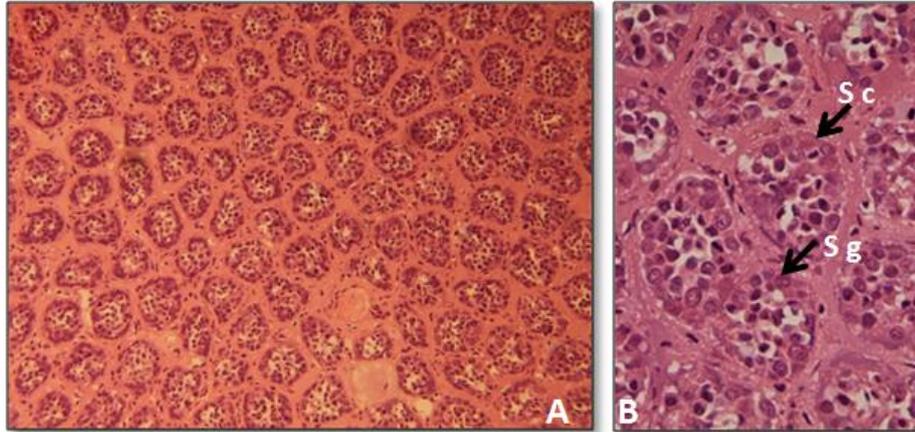


Fig. 70 – Preparato istologico del tessuto testicolare di una maschio all'inizio della maturazione, stadio 2A.  
A: tubuli seminiferi, ingrandimento 100x. B: particolare dei tubuli seminiferi con spermatogoni di forma sferica (sg) e spermatociti più piccoli di forma allungata (Sc), ingrandimento 400X.

**STADIO 2B: FINE DELLA MATURAZIONE**

**M:** Tutto l'apparato è ingrandito rispetto allo stadio precedente e sono visibili i vasi deferenti. il testicolo (t) è color avorio; la sacca del Needam presenta spermatofores in formazione (particelle biancastre) e/o qualche spermatofores ben formata.

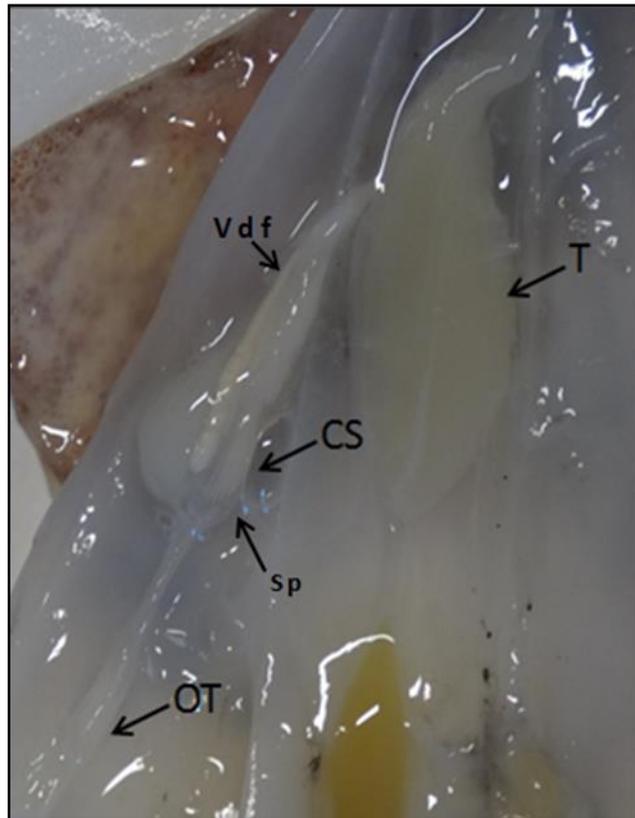


Fig. 71 – Gonade di un maschio alla fine della maturazione: stadio 2B.  
T: testicolo; CS: complesso spermatoforico; OT : organo terminale; Sp: spermatofores; Vdf: vaso deferente.

**I:** In questa fase si notano chiaramente le maggiori dimensioni dei tubuli seminiferi, con una caratteristica forma allungata, al cui interno sono ben visibili non soltanto gli spermatogoni (sg) e spermatociti (Sc), caratteristici del precedente stadio maturativo, ma anche gli spermatidi (Sd).

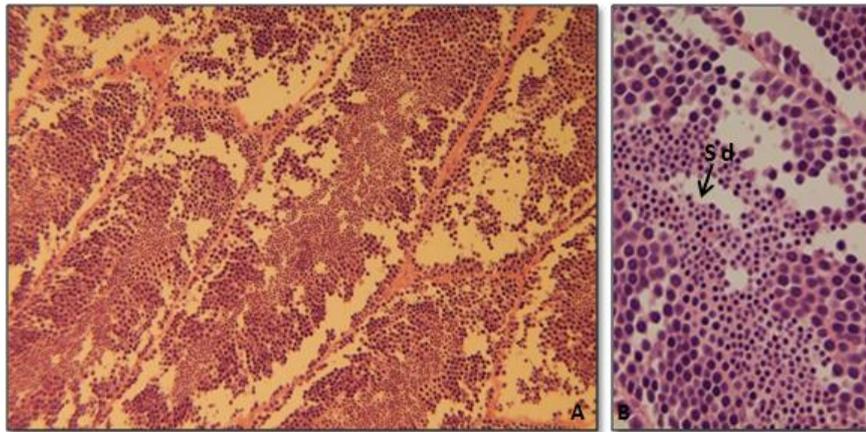


Fig. 72 – Preparato istologico del tessuto testicolare di una maschio alla fine della maturazione, stadio 2B.

A:tubuli seminiferi ingranditi e dalla forma allungata, ingrandimento 100x.

B: particolare dei tubuli seminiferi con spermatogoni spermatociti e spermatidi (Sd), ingrandimento 400X.

**STADIO 3A: MATURITA'**

**M:** apparato di dimensioni decisamente maggiori rispetto allo stadio precedente.

Il testicolo sempre di color avorio sacca del Needham con pacchi di spermatofore ben formate, presenti anche all'interno dell'organo terminale.

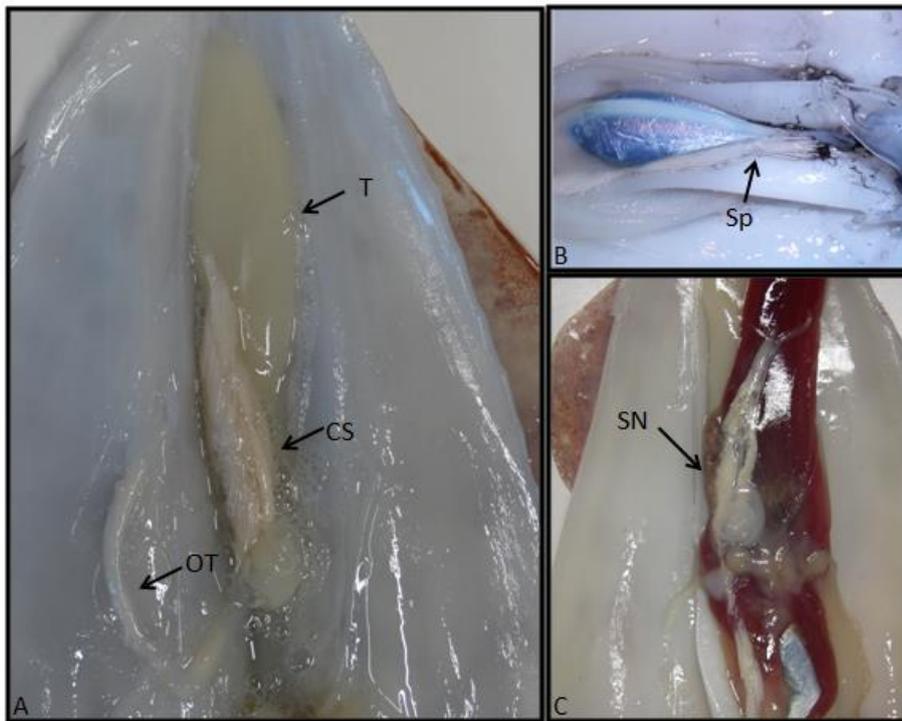


Fig. 73 –A: Gonade di un maschio maturo: stadio 3A.

T: testicolo ; CS: complesso spermatoforico; OT : organo terminale.

B: spermatofore all'interno dell'organo terminale; C : Spermatofore nella sacca del Needham.

**I**: in questa fase in cui l'animale è maturo sessualmente sono visibili nel lume dei tubuli seminiferi (ora alle massime dimensioni) gli spermatozoi (Sz), ossia le cellule sessuali maschili, chiaramente distinguibili per la tipica forma a fiammifero, in cui è presente una parte apicale (testa) di forma allungata connessa ad un flagello filiforme.

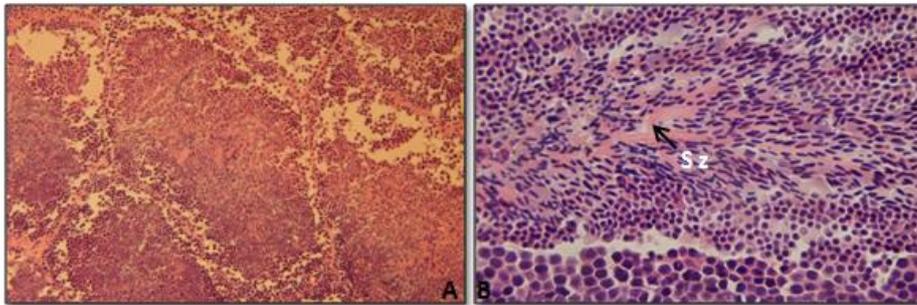


Fig. 74 – Preparato istologico del tessuto testicolare di una maschio maturo, stadio 3A.  
A:tubuli seminiferi ingrandimento 100x, B: particolare dei tubuli seminiferi con spermatozoi nel lume (Sz), ingrandimento 400x.

### STADIO 3B: SPAWNING AVANZATO

**M:** il testicolo e il complesso spermatoforico appaiono meno vigorosi rispetto al precedente stadio, fino ad presentarsi completamente flaccidi negli individui ‘spenti’. Nella tasca del Needham il numero di spermatofore è ridotto rispetto allo stadio 3A. E’ possibile osservare la presenza di spermatofore rotte che appaiono come ammassi biancastri nella sacca del Needham e/o dell’organo terminale.

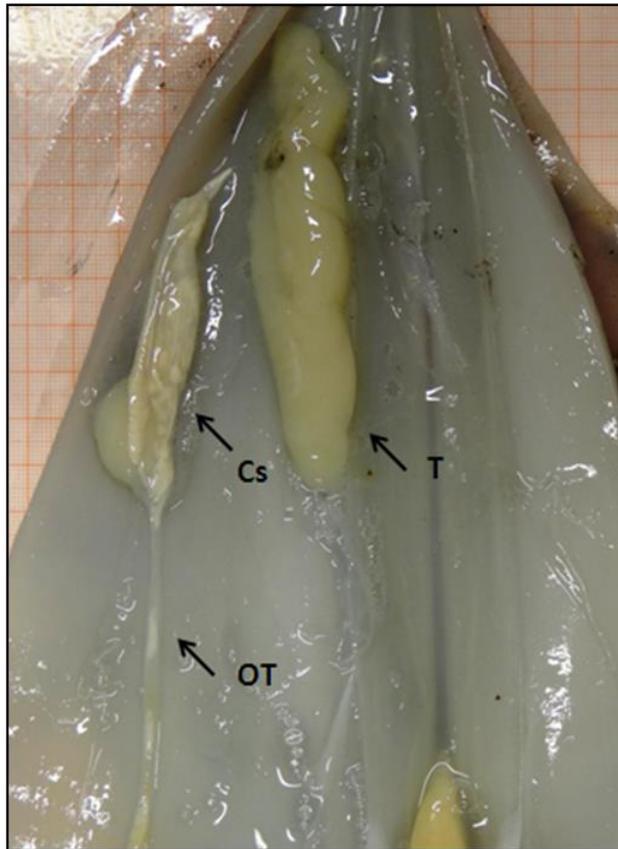


Fig. 75 – A: Gonade di un maschio in spawning avanzato; stadio 3B.

T: testicolo ; CS: complesso spermatoforico; OT : organo terminale.

B: spermatofore all’interno dell’organo terminale; C : Spermatofore nella sacca del Needham.

**I:** Il lume dei tubuli seminiferi non appare più colmo di spermatozoi come nel precedente stadio, con il progredire di questo stadio si svuotano sempre più. Sono inoltre presenti alcuni spermatidi e spermatociti degli stadi precedenti.

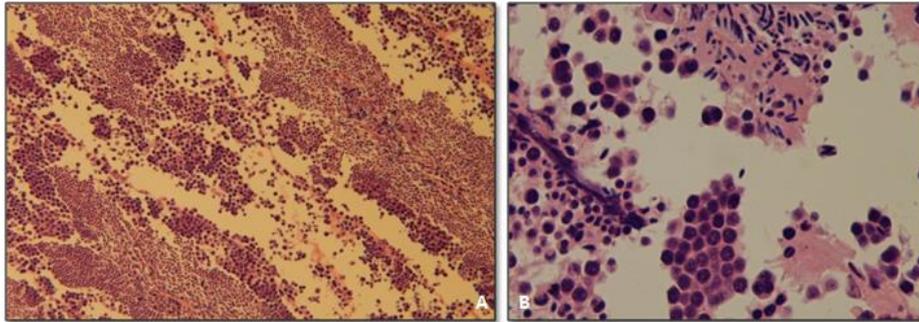


Fig. 76 – Preparato istologico del tessuto testicolare di una maschio in spawning avanzato, stadio 3B. A: tubuli seminiferi ridotti e svuotati nel lume, ingrandimento 100x. B: particolare del lume dei tubuli seminiferi con qualche spermatozoo, spermatidio e spermatocita, ingrandimento 400x.

## INDICI RIPRODUTTIVI

### FEMMINE *LOLIGO VULGARIS* E *LOLIGO FORBESII*

Su 260 femmine di *L. vulgaris* (6.2-26.2 cm LM e 12-441.7 g PT) e 260 di *L. forbesii* (8.2-24.7 cm LM e 22.9-590.3 g PT) è stata valutata l'evoluzione ponderale degli apparati riproduttori nei differenti stadi maturativi precedentemente descritti, sia attraverso l'acquisizione del peso di tutte le componenti (Tab 22, 23) che con il calcolo degli indici gonado-somatico, di Hayashi e di maturità (Tab. 24, 25; Fig. 77, 78).

Tab. 22 – *Loligo vulgaris*: valori ponderali minimi, massimi e medi con la relativa deviazione standard dell'intera gonade e delle sue componenti nelle femmine pe le differenti fasi di maturità sessuale.

Stadio	Lunghezza Mantello (cm)	Peso totale (g)	Peso gonade (g)	Peso ovario (g)	Peso ghiandole e ovidotto (g)	Peso ghiandole nidamentali (g)	Peso ghiandole accessorie (g)
<b>1</b>	6.2 – 21.0	12 – 229	0.01 – 2.7	0.01 – 1.61	0.01 – 1.25	0.01 – 1.12	
	(13.6 ± 3.3)	(90.2 ± 50.5)	(0.59 ± 0.61)	(0.17 ± 0.18)	(0.19 ± 0.21)	(0.21 ± 0.22)	
<b>2a</b>	12.5 – 22.7	54.7 – 290	0.12 – 5.77	0.1 – 2.47	0.14 – 1.83	0.18 – 1.89	0.05 – 0.26
	(16.7 ± 2.2)	(136.5 ± 53.1)	(2.29 ± 1.80)	(0.92 ± 0.76)	(0.92 ± 0.54)	(0.99 ± 0.52)	(0.12 ± 0.06)
<b>2b</b>	15 – 21.2	102.8 – 237	0.29 – 13.84	0.14 – 5.92	0.1 – 4.32	0.31 – 3.31	0.04 – 0.3
	(17.6 ± 1.8)	(153.2 ± 40.5)	(4.97 ± 4.15)	(1.93 ± 1.79)	(1.60 ± 1.25)	(1.73 ± 1.13)	(0.17 ± 0.10)
<b>3a</b>	13.5 – 25.5	100.7 – 410	4.44 – 52.94	1.58 – 26.16	1.19 – 25.96	1.45 – 15.63	0.12 – 1.14
	(20.7 ± 2.3)	(231 ± 66.7)	(25.97 ± 11.21)	(11.10 ± 11.21)	(7.83 ± 4.49)	(7.41 ± 3.02)	(0.48 ± 0.24)
<b>3b</b>	12.5 – 26.2	101.9 – 441.7	4.21 – 47.14	1.32 – 24.5	0.89 – 22.9	1.58 – 20.73	0.11 – 1.4
	(20.1 ± 3.1)	(228.5 ± 78.4)	(22.9 ± 12.7)	(10.7 ± 5.5)	(7.80 ± 5.96)	(7.4 ± 4.1)	(0.6 ± 0.3)

Tab. 23 – *Loligo forbesii*: valori ponderali minimi, massimi e medi con la relativa deviazione standard dell'intera gonade e delle sue componenti nelle femmine per le differenti fasi di maturità sessuale.

Stadio	Lunghezza Mantello (mm)	Peso totale (g)	Peso gonade (g)	Peso ovario (g)	Peso ghiandole e ovidotti (g)	Peso ghiandole nidamentali (g)	Peso ghiandole accessorie (g)
<b>1</b>	8.2 – 22.3	22.9 – 313	0.01 – 0.8	0.01 – 0.45	0.02 – 0.5	0.01 – 0.4	
	(14.8 ± 2.5)	(118.1 ± 48)	(0.25 ± 0.15)	(0.10 ± 0.09)	(0.07 ± 0.05)	(0.09 ± 0.06)	
<b>2a</b>	12.0 – 21.5	72.6 – 261.7	0.35 – 2.53	0.08 – 0.43	0.11 – 0.81	0.12 – 1.22	0.02 – 0.07
	(17.1 ± 1.1)	(157.4 ± 41.3)	(0.69 ± 0.36)	(0.27 ± 0.13)	(0.34 ± 0.27)	(0.40 ± 0.42)	(0.04 ± 0.03)
<b>2b</b>	12.6 – 21.6	69.3 – 253.1	0.59 – 4.93	0.13 – 1.46	0.21 – 1.36	0.21 – 2.04	0.02 – 0.07
	(18.2 ± 2.2)	(182.9 ± 46)	(1.11 ± 0.98)	(0.55 ± 0.40)	(0.45 ± 0.35)	(0.61 ± 0.50)	(0.05 ± 0.02)
<b>3a</b>	15.0 – 28.2	99 – 590	6.24 – 95.67	2.2 – 69.2	1.5 – 34.2	2.46 – 28.83	0.08 – 1.08
	(21.9 ± 4.1)	(322.7 ± 158.7)	(50.02 ± 26.52)	(29.32 ± 17.77)	(10.17 ± 7.73)	(14.81 ± 7.60)	(0.43 ± 0.22)
<b>3b</b>	16.8 – 24.7	123 – 463.3	17.07 – 63.2	7.75 – 24.75	3.05 – 12.81	4.91 – 12.5	0.14 – 0.37
	(20.4 ± 3.1)	(256.7 ± 125.1)	(31.47 ± 17.54)	(13.45 ± 5.45)	(6 ± 3.7)	(8.3 ± 2.8)	(0.3 ± 0.1)

Tab. 24 – *Loligo vulgaris*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard degli indici gonado-somatico (IGS) di Hayashi (HI) e di maturità (MI) nelle femmine per i diversi stadi di sviluppo maturativo.

Stadio maturativo	IGS	HI	MI
<b>1</b>	0.03 – 2.28	0.03 – 0.52	0.05 – 0.16
	(0.57 ± 0.48)	(0.27 ± 0.11)	(0.11 ± 0.04)
<b>2a</b>	0.17 – 4.58	0.16 – 0.48	0.12 – 0.29
	(1.66 ± 1.31)	(0.33 ± 0.08)	(0.21 ± 0.04)
<b>2b</b>	0.22 – 9.41	0.23 – 0.38	0.10 – 0.30
	(3.11 ± 2.64)	(0.31 ± 0.05)	(0.20 ± 0.07)
<b>3a</b>	2.56 – 23.34	0.18 – 0.41	0.21 – 0.56
	(11.12 ± 4.34)	(0.27 ± 0.06)	(0.32 ± 0.05)
<b>3b</b>	1.54 – 20.62	0.07 – 0.37	0.19 – 0.40
	(10.02 ± 4.88)	(0.28 ± 0.07)	(0.29 ± 0.04)

Tab. 25– *Loligo forbesii*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard degli indici gonado–somatico (IGS) di Hayashi (HI) e di maturità (MI) nelle femmine per i diversi stadi di sviluppo.

<b>Stadio</b>	<b>IGS</b>	<b>HI</b>	<b>MI</b>
<b>1</b>	0.06 – 1.94 (0.71 ± 0.44)	0.08 – 0.73 (0.28 ± 0.12)	0.05 – 0.16 (0.10 ± 0.02)
<b>2a</b>	0.13 – 2.95 (1.87 ± 1.35)	0.22 – 0.55 (0.38 ± 0.11)	0.10 – 0.22 (0.15 ± 0.08)
<b>2b</b>	0.32 – 5.06 (3.58 ± 1.27)	0.22 – 0.37 (0.28 ± 0.06)	0.11 – 0.37 (0.19 ± 0.12)
<b>3a</b>	10.04 – 19.58 (12.29 ± 3.16)	0.12 – 0.42 (0.19 ± 0.08)	0.31 – 0.42 (0.36 ± 0.03)
<b>3b</b>	9.74 – 19.76 (10.74 ± 2.92)	0.14 – 0.26 (0.19 ± 0.05)	0.27 – 0.41 (0.34 ± 0.04)

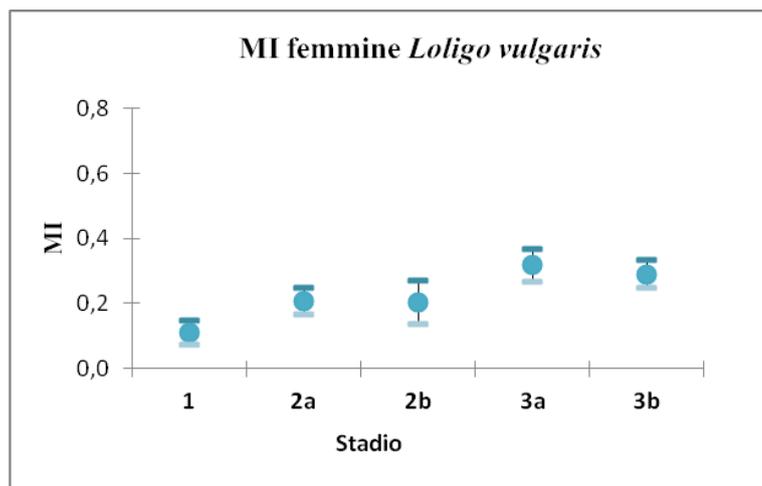
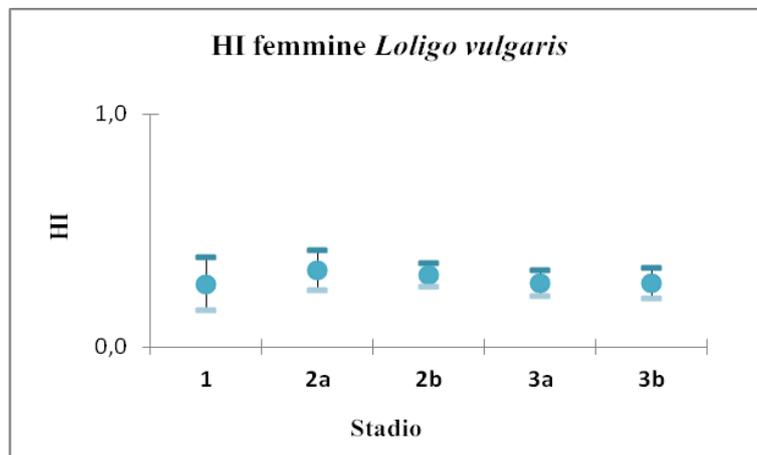
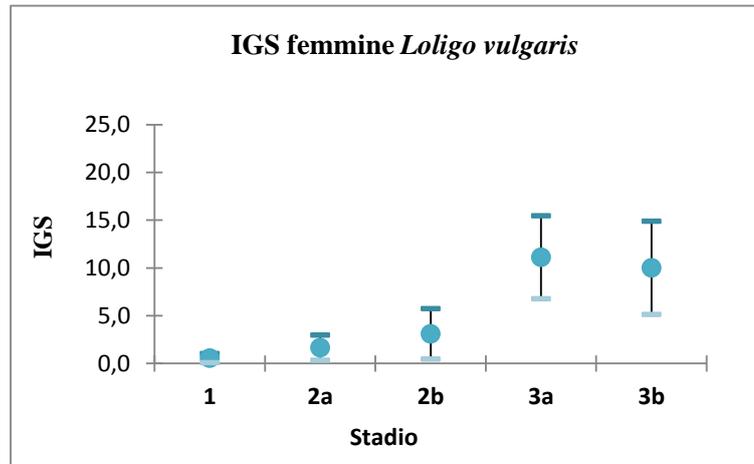


Fig.77 – *Loligo vulgaris*: andamento dell'indice gonado-somatico, di Hayashi e di maturità nelle femmine nei differenti stadi di maturazione sessuale.

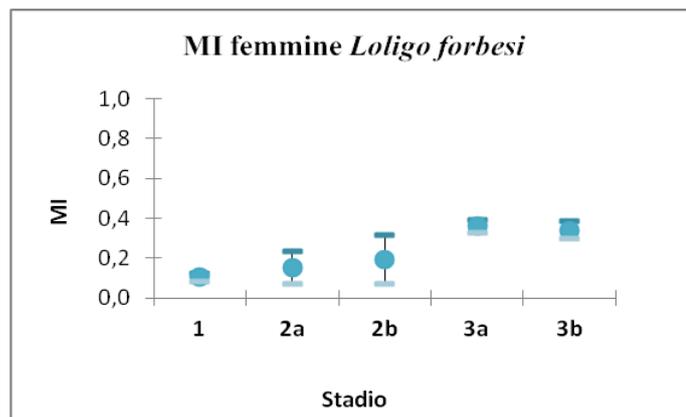
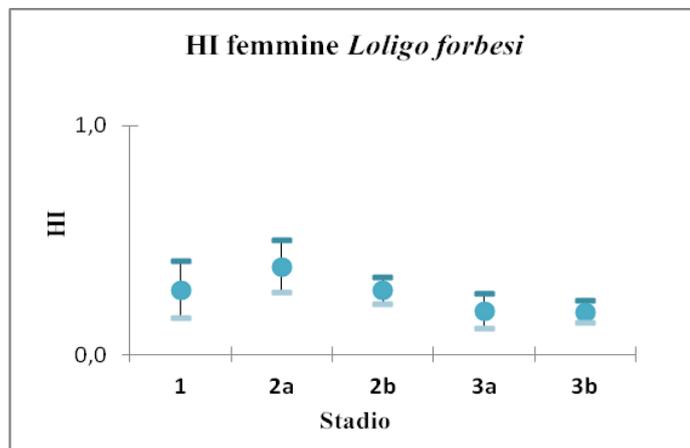
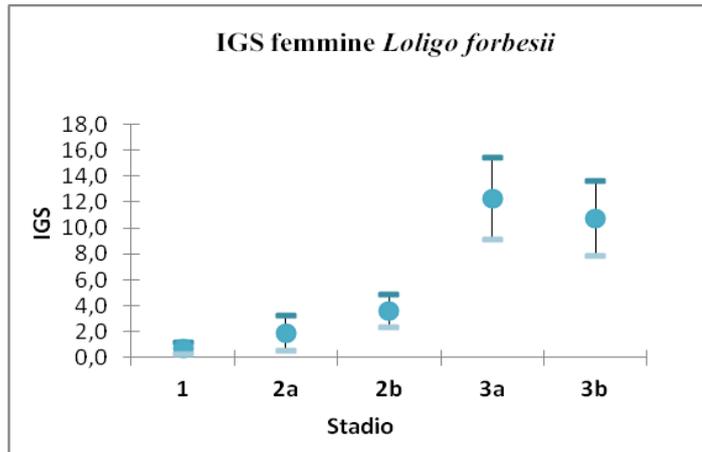


Fig. 78– *Loligo forbesii*: andamento dell'indice gonado-somatico, di Hayashi e di maturità nelle femmine di nei differenti stadi di maturazione sessuale.

In entrambe le specie analizzate le variazioni ponderali che coinvolgono l'apparato riproduttore femminile durante il processo della maturazione sessuale sono apprezzabili soprattutto nel passaggio dallo condizione di immaturità (stadio 1) a quello di inizio della maturazione (stadio 2a) risultando invece più gradualmente fino a maturazione avanzata (2b). Nello stadio successivo caratterizzato dalla piena maturità (3a) è possibile individuare una brusca impennata dei valori ponderali di tutta la gonade attribuibile al pieno sviluppo di tutte le sue parti. I valori ponderali osservabili nello spawning avanzato (stadio 3b) in cui la deposizione ha avuto inizio, seppur in decremento per la perdita dei prodotti sessuali, sono mediamente vicini a quelli dello stadio precedente. Questo senza dubbio va ricondotto al fatto che nel campione analizzato non sono stati osservati individui in cui il processo di emissione delle uova fosse giunto al termine e quindi in una fase finale della deposizione. Le variazioni ponderali della ghiandola accessoria risulta graduale con un aumento più evidente nello stadio 3a. In assoluto il peso medio di questa componente è sempre molto basso e anche in fase di maturità non supera il grammo (Tab 22, 23). In linea generale il trend osservato per l'indice gonado-somatico nei differenti stadi di maturità evidenzia l'apporto ponderale dato dall'apparato riproduttivo sul peso totale dell'individuo, in particolar modo nelle femmine mature in cui come si evince dall'indice di Hayashy l'ovario che presenta uova al massimo grado di sviluppo per numero e dimensioni, dà il maggiore contributo. In questa fase sono tuttavia sicuramente importanti il peso di altri componenti come le ghiandole nidamentali e degli ovidotti, questi ultimi colmi di uova pronte per essere emesse. Come mostra l'indice di maturità (MI) all'aumento ponderale delle ghiandole nidamentali corrisponde anche quello lineare infatti come emerso macroscopicamente queste due ghiandole si allungano ricoprendo buona parte della cavità ventrale.

## MASCHI *LOLIGO VULGARIS* E *LOLIGO FORBESII*

L'analisi dettagliata dell'evoluzione ponderale effettuata sulle gonadi di 223 maschi di *L. vulgaris* (5.8-38.7 cm LM e un peso 10.3- 940 g PT ) e di 195 di *L. forbesii* (6.8-70.8 cm LM e tra 14-2900g PT) è mostrata nelle tabelle 26, 27, 28 e 29 e nelle figure 79, 80. L'analisi delle varie parti che costituiscono la gonade maschile ha evidenziato anche in questo caso, così come osservato per le femmine, una variazione dei valori ponderali, graduale, dalla fase di immaturità (stadio 1) alla fine della maturazione (stadio 2b) e brusca, nel passaggio allo stadio 3a di piena maturità. Tali variazioni trovano conferma nei trend osservati per gli indici gonado-somatici. Tuttavia se in *L. vulgaris* il maggior contributo è dato dal peso del testicolo, in *L. forbesii* all'avanzare della maturità sessuale si assiste ad un incremento ponderale maggiore per il complesso spermatoforico, come si può notare dai trend riportati per l'indice di Hayashy. Tab 29 e Fig 80

Tab. 26– *Loligo vulgaris*: valori ponderali minimi, massimi e medi con la relativa deviazione standard dell'intera gonade maschile e delle sue componenti nelle differenti fasi di maturità sessuale.

Stadio	Lunghezza Mantello (cm)	Peso totale (g)	Peso gonade (g)	Peso testicolo (g)	Peso complesso spermatoforico (g)
<b>1</b>	5.8 – 21.0	10.3 – 282	0.01 – 1.45	0.01 – 1.17	0.01 – 0.5
	(9.8 ± 3.1)	(41.7 ± 46.1)	(0.24 ± 0.20)	(0.19 ± 0.13)	(0.09 ± 0.09)
<b>2a</b>	8 – 21.5	20 – 240.6	0.08 – 2.31	0.04 – 1.83	0.04 – 0.48
	(14.5 ± 3.9)	(99.5 ± 60.1)	(0.78 ± 0.45)	(0.58 ± 0.40)	(0.19 ± 0.09)
<b>2b</b>	11.2 – 32.3	47.2 – 774.5	0.68 – 7.32	0.25 – 5.85	0.25 – 2.83
	(16.2 ± 4.7)	(137.9 ± 153.5)	(2.39 ± 1.56)	(1.77 ± 1.16)	(0.72 ± 0.64)
<b>3a</b>	<b>10.6</b> – 35.2	370 – 789	1.34 – 31.9	2.2 – 20.7	1.04 – 11.2
	(15.7 ± 4.2)	(121 ± 117.6)	(3.7 ± 3.43)	(4.1 ± 3.65)	(2.6 ± 2.4)
<b>3b</b>	12 – 38.7	52.6 – 940	1.2 – 12.78	1.1 – 9.1	1.06 – 6.55
	(20 ± 8)	(226.3 ± 231.1)	(3.7 ± 2.6)	(2.6 ± 1.7)	(2.3 ± 1.4)

Tab. 27 – *Loligo forbesii*: valori ponderali minimi, massimi e medi con la relativa deviazione standard dell'intera gonade maschile e delle sue componenti nelle differenti fasi di maturità sessuale.

<b>Stadio</b>	<b>Lunghezza Mantello (mm)</b>	<b>Peso totale (g)</b>	<b>Peso gonade (g)</b>	<b>Peso testicolo (g)</b>	<b>Peso complesso spermatoforico (g)</b>
<b>1</b>	6.8 – 31.6	14 – 704.3	0.03 – 1.4	0.01 – 0.67	0.03 – 0.63
	(16.6 ± 5.7)	(180.5 ± 148.4)	(0.26 ± 0.25)	(0.22 ± 0.14)	(0.18 ± 0.15)
<b>2a</b>	2.5 – 36.4	8.3 – 972	0.12 – 2.52	0.04 – 2	0.05 – 1.4
	(20.9 ± 6.5)	(309.1 ± 202.3)	(0.66 ± 0.52)	(0.35 ± 0.39)	(0.39 ± 0.33)
<b>2b</b>	15.2 – 34.2	112.4 – 863.7	1.15 – 8.33	0.3 – 6.77	0.12 – 1.89
	(23.6 ± 7.4)	(395.2 ± 276.1)	(3.55 ± 2.77)	(2.32 ± 2.51)	(0.74 ± 0.62)
<b>3a</b>	13.2 – 52.3	243.1 – 1743.7	3.68 – 42.55	2.84 – 22.69	10.42– 18.86
	(27.3 ± 17.9)	(908.4 ± 713)	(21.55 ± 16.48)	(8.95 ± 5.76)	(10.90 ± 10.58)
<b>3b</b>	14 – 57.6	840– 2344	3.4 – 36.83	2.35 – 15.39	1.05 – 21.44
	(30.86 ± 18.7)	(831 ± 700.8)	(15.45 ± 13.61)	(8.02 ± 5.40)	(6.13 ± 5.60)

Si riporta inoltre la cattura eccezionale di un maschio maturo (stadio 3a) di *L. forbesii* avente lunghezza mantello pari a 70.8 cm e peso pari a 2900g. I valori ponderali delle differenti componenti della gonade, sono risultati pari a 3 e 39 g rispettivamente per il testicolo e per il complesso spermatoforico.

Tab. 28 – *Loligo vulgaris*: Valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard degli indici gonado–somatico (IGS) di Hayashi (HI) osservati nei maschi, nei diversi stadi di sviluppo.

<b>Stadio</b>	<b>IGS</b>	<b>Hi</b>
<b>1</b>	0.02 – 1.71	0.10 – 0.67
	(0.50 ± 0.42)	(0.39 ± 0.17)
<b>2a</b>	0.11 – 2.57	0.10 – 0.61
	(1.28 ± 0.84)	(0.29 ± 0.15)
<b>2b</b>	0.95 – 4.07	0.12 – 0.50
	(2.18 ± 0.79)	(0.27 ± 0.10)
<b>3a</b>	1.42 – 4.72	0.15 – 0.46
	(2.92 ± 0.71)	(0.32 ± 0.08)
<b>3b</b>	1.41 – 4.97	0.20 – 0.49
	(2.67 ± 0.87)	(0.36 ± 0.08)

Tab. 29 – *Loligo forbesii*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard degli indici gonado–somatico (IGS) di Hayashi (HI) osservati nei maschi nei diversi stadi di sviluppo

<b>stadio</b>	<b>IGS</b>	<b>HI</b>
<b>1</b>	0.03 – 0.69	0.22 – 0.88
	(0.16 ± 0.14)	(0.60 ± 0.16)
<b>2a</b>	0.07 – 1.43	0.16 – 0.80
	(0.28 ± 0.28)	(0.55 ± 0.20)
<b>2b</b>	0.06 – 1.51	0.20 – 0.59
	(0.55 ± 0.54)	(0.34 ± 0.15)
<b>3a</b>	1.42 – 4.92	0.27 – 0.66
	(2.93 ± 1.23)	(0.46 ± 0.15)
<b>3b</b>	1.18 – 4.67	0.20 – 0.58
	(2.636 ± 0.44)	(0.34 ± 0.14)

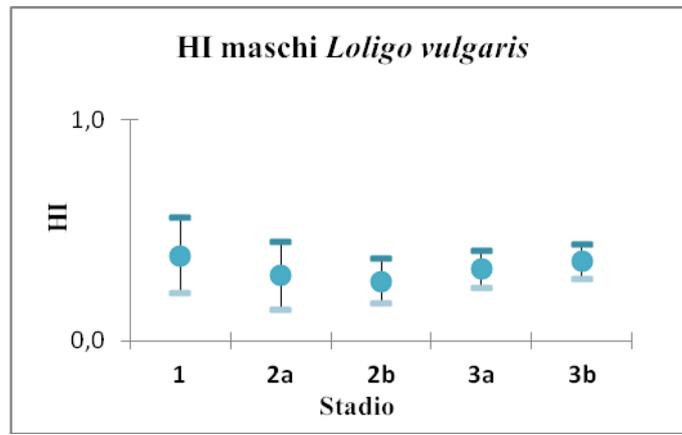
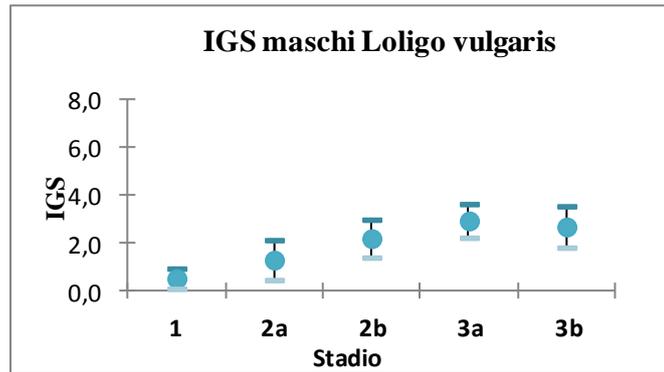


Fig. 79– Andamento dell'indice gonado–somatico, di Hayashi nei maschi di *Loligo vulgaris* nei differenti stadi di maturazione sessuale.

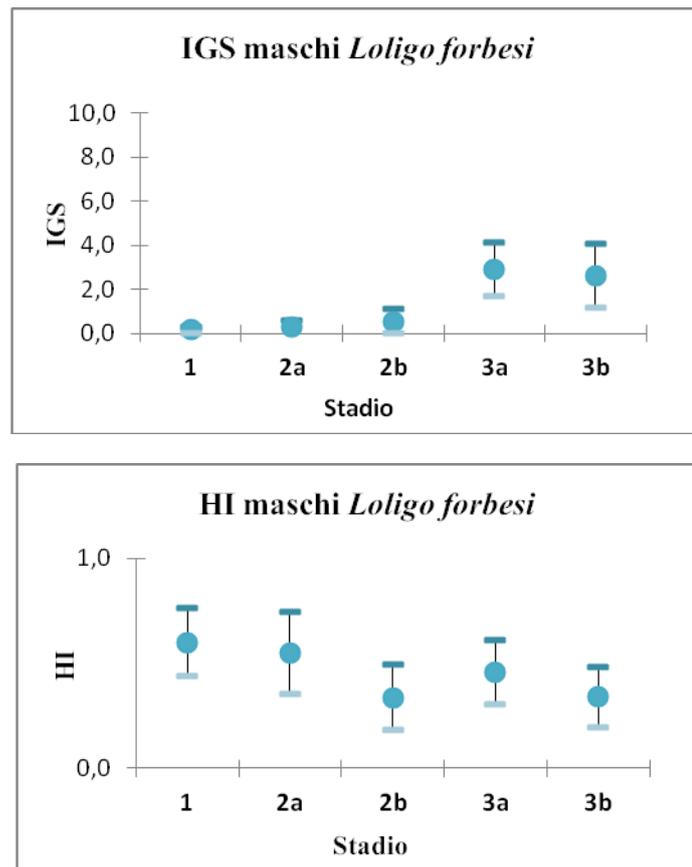


Fig. 80– Andamento dell'indice gonado-somatico, di Hayashi nei maschi di *Loligo forbesi* nei differenti stadi di maturazione sessuale.

## PERIODO MATURATIVO

### *LOLIGO VULGARIS* E *LOLIGO FORBESII*

Sulla base degli stadi maturativi individuati e descritti precedentemente la loro attribuzione ai campioni analizzati per le due specie ha consentito di verificare l'andamento temporale della fase di maturità. La sua schematizzazione mette in evidenza per entrambe le specie la presenza di individui maturi in tutte le stagioni. In particolare per *L. vulgaris* sembrerebbe che tale periodo sia tuttavia più marcato in un arco temporale che abbraccia tre stagioni (autunno-inverno e primavera) per la presenza di individui maturi ed in via di maturazione che superano il 50% dell'intera popolazione.

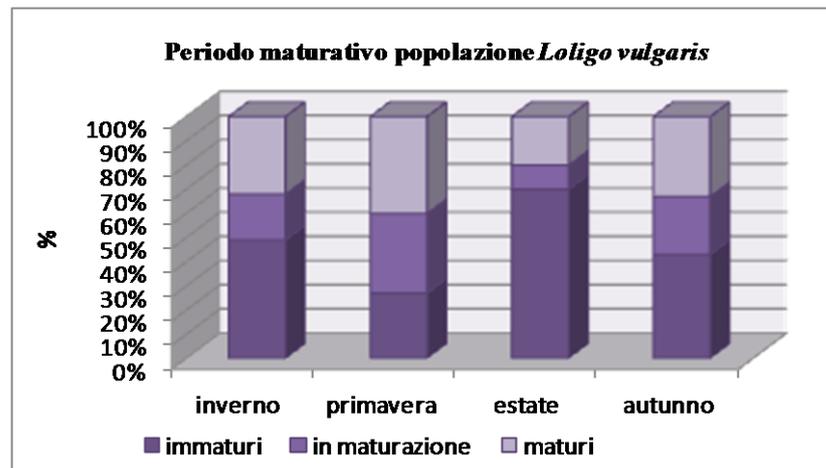


Fig. 81– *Loligo vulgaris*: distribuzione percentuale stagionale dei differenti stadi di maturità nella popolazione.

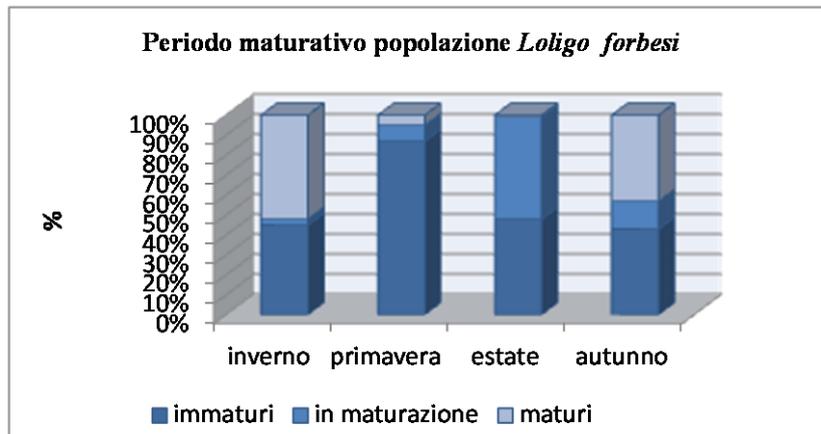


Fig. 82 – *Loligo forbesi* : distribuzione percentuale stagionale dei differenti stadi di maturità nella popolazione

Per *L. forbesii*, è più difficile circoscrivere il picco in quanto il campionamento non è stato uniforme risultando più cospicuo in estate.

## TAGLIE DI MATURITÀ

### *LOLIGO VULGARIS*

Il campione femminile di *Loligo vulgaris* analizzato era composto da 260 individui con un range di lunghezza mantello che oscillava tra 6.2 e 26.2 cm. La piena maturità sessuale riferita allo stadio di sviluppo 3 è stata appurata a partire da una taglia minima di 13.5 cm, mentre il calcolo della curva logistica di maturità ha evidenziato che il 50% della popolazione raggiunge la maturità sessuale ad una lunghezza mantello di 20.5 cm (LM<sub>50%</sub>). Nel campione maschile (N°: 222; LM: 5.8-38.7cm) l'individuo maturo più piccolo ha riportato una lunghezza del mantello pari a 10.6 cm e l'LM<sub>50%</sub> è risultata pari a 21.4 cm.

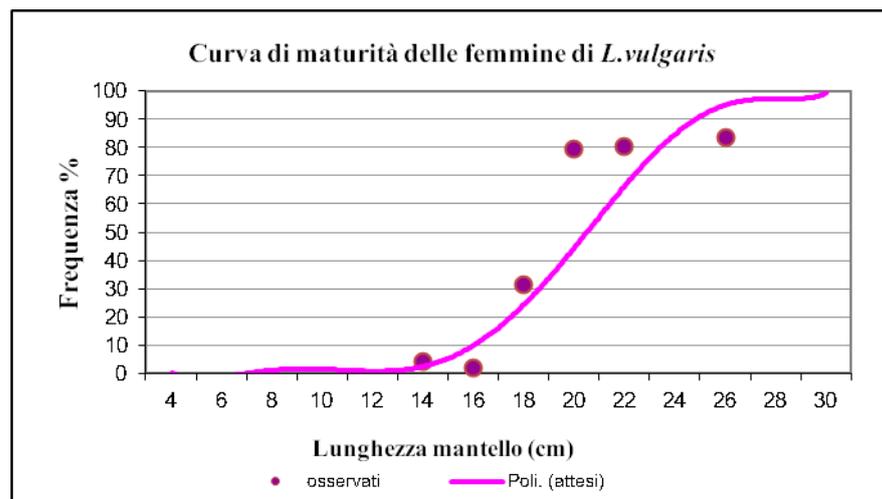


Fig. 83 – *Loligo vulgaris*: taglia di prima maturità (LM<sub>50%</sub>) per gli individui di sesso femminile.

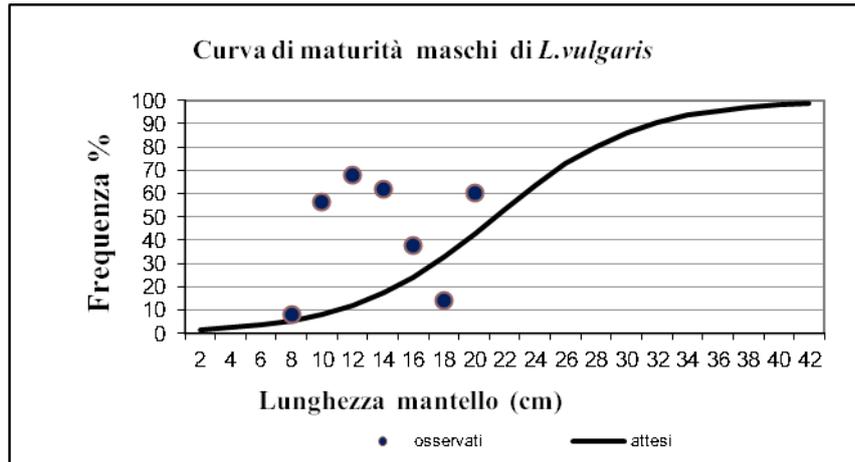


Fig. 84 – *Loligo vulgaris*: taglia di prima maturità ( $LM_{50\%}$ ) per gli individui di sesso maschile.

### ***LOLIGO FORBESII***

Su un campione femminile di 329 femmine di *Loligo forbesii* di lunghezza mantello compresa tra 8.2 e 28.2 cm, la taglia maturità di sessuale è stata registrata a partire da 15 cm, tuttavia il 50% della popolazione è risultato maturo ad una taglia di 23.1 cm ( $LM_{50\%}$ ). Per i 419 maschi analizzati della stessa specie (LM: 6.8- 57.6 cm) la maturità sessuale è stata registrata a partire dalla taglia minima di 13,2 cm di LM con una  $LM_{50\%}$  di 28.2 cm.

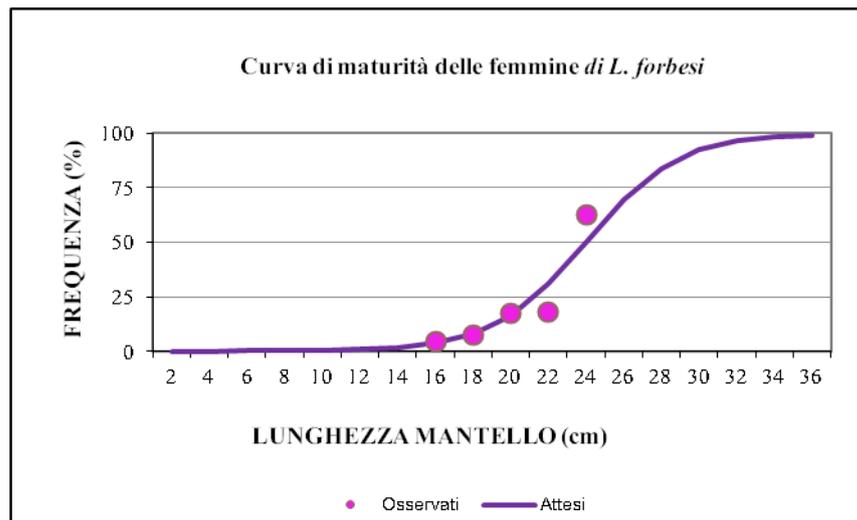


Fig. 85 – *Loligo forbesii* :taglia di prima maturità ( $LM_{50\%}$ ) per gli individui di sesso femminile.

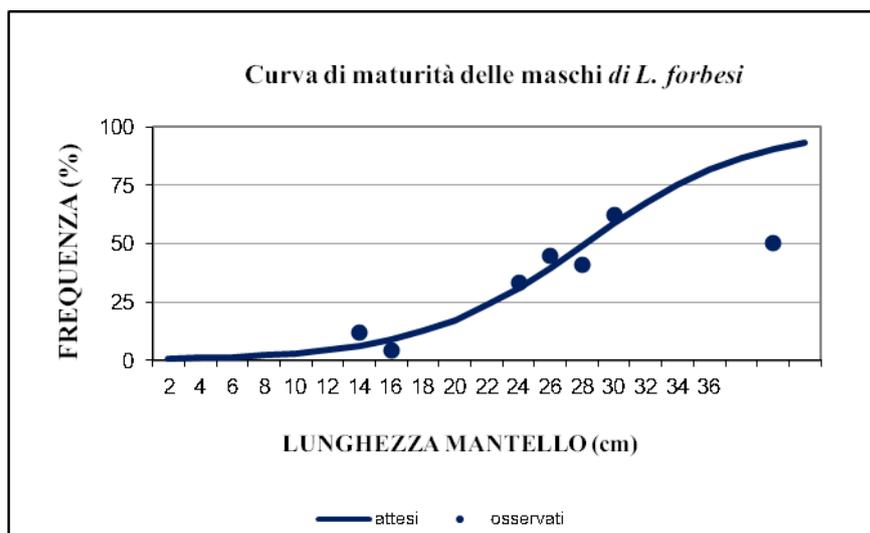


Fig. 86 – *Loligo forbesi* :taglia di prima maturità ( $LM_{50\%}$ ) per gli individui di sesso maschile.

## ANALISI DEI PRODOTTI SESSUALI

### FECONDITA' POTENZIALE NEI MASCHI DI *LOLIGO VULGARIS*

Con lo scopo di valutare la fecondità potenziale maschile sono stati analizzati i complessi spermatoforici di 41 individui maturi di *L. vulgaris*, aventi lunghezza mantello variabile tra 9.2 e 38.7 cm e un peso compreso tra 30.92 e 940g (Tab.30).

Tab. 30 – *Loligo vulgaris*: range di taglia del campione analizzato e relativi pesi medi e deviazioni standard dell'apparato riproduttore.

Lunghezza Mantello (cm)	Peso totale (g)	Peso Testicolo (g)	Peso complesso spermatoforico (g)	N <sup>o</sup> Totale spermatofore
9.2-38.7	30.92-940	0.27-20.7	0.2-11.2	26-436
19.35 ± 7.91	218.30± 230.37	3.35± 3.72	2.03± 2.21	161.65± 113.16

All'interno delle tasche del Needham sono state conteggiate da 26 a 436 spermatofore (162 ± 113) aventi una lunghezza variabile tra 7.25 e 17.37 mm (Fig 87e Tab 31).



Fig. zzz – *Loligo vulgaris*: spermatofores presenti nella tasca del Needham di un maschio maturo (A), particolare dell'apparato eiaculatore (B).

Dalla misura delle differenti porzioni è emerso che le spermatofore sono costituite mediamente per il 71.41 % della loro lunghezza dalla massa spermatica, per il 7.98% dal corpo cementificante e per il 4.94% dall'apparato eiaculatore (Fig. 88 e Tab 32) Sia dalle lunghezze che dagli indici di spermatofora emerge un notevole investimento nel produzione di spermatozoi e nel corpo cementificante importante per la riuscita del suo trasferimento.

Tab. 31– *L. vulgaris*: valori minimi, massimi e medi con le relative deviazioni standard delle differenti porzioni che compongono una spermatofora.

	<b>LT</b>	<b>LA</b>	<b>LAE</b>	<b>LCC</b>	<b>LMS</b>
Range (mm)	7.25-17.37	0.32-0.95	0.95-4.88	0.30-1.47	3.91-60.40
Media ± <b>D.S.</b>	7.25± 3.12	0.59± 0.20	2.14± 0.89	0.94± 0.21	8.58± 8.79

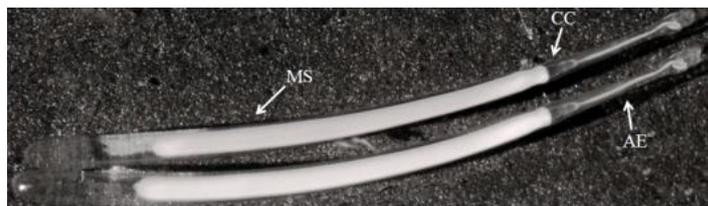


Fig. 88– *Loligo vulgaris*: spermatofora presente nella tasca del Needham di un maschio maturo. MS: massa spermatica, CC: corpo cementificante, AE: apparato eiaculatore.

Tab. 32– *L. vulgaris*: valori minimi, massimi e medi con le relative deviazioni standard degli indici delle varie parti che costituiscono la spermatofora (EjApLI, CBLI, SpML).

	<b>EjApLI</b>	<b>CBLI</b>	<b>SpML</b>
Range (mm)	2.08-7.77	4.18-14.01	33.90-585.27
Media ± <b>D.S.</b>	4.94± 1.33	7.98± 2.16	71.41± 83.84

## FECONDITÀ POTENZIALE NELLE FEMMINE *LOLIGO VULGARIS*

Per valutare la fecondità potenziale nelle femmine mature (stadio 3A), sono stati analizzati 25 ovari con i rispettivi ovidotti. È stata registrata un'ampia variabilità sia nelle dimensioni che nel numero degli oociti; sono stati stimati dai 2200 ai 4283 oociti ( $1812 \pm 1403$ ) di taglia compresa tra 0.30 e 3.0 mm ( $1.6 \pm 0.8$ ) (Fig. 89 Tab 33). Non si è osservata una netta prevalenza di una o più classi di taglia tuttavia si possono schematizzare tre principali gruppi di taglie crescenti come mostrato in Tab. 34

Tab. 33 – *Loligo vulgaris*: range di taglia del campione analizzato e relativi pesi medi e deviazioni standard dell'apparato riproduttore.

	<b>Lunghezza Mantello (cm)</b>	<b>Peso totale (g)</b>	<b>Peso Ovario (g)</b>	<b>Peso Ovidotto (g)</b>
Range (mm)	12.5-25.5	75.91-393.25	3.43-16.07	3.37-17.6
Media $\pm$ D.S.	$18.89 \pm 2.99$	$184.33 \pm 74.62$	$9.11 \pm 4.18$	$7.75 \pm 3.98$



Fig. 89 – *Loligo vulgaris*: oociti presenti nell'ovario di una femmina matura (stadio 3a).

Tab. 34 – *Loligo vulgaris*: range di taglia degli oociti analizzati negli ovarii delle femmine mature (stadio 3A).

	Classi di taglia degli oociti (mm)		
	piccoli	medi	grandi
<b>Range</b>	0.30–1.00 (0.55±0.18)	1.02–2.00 (1.44±0.28)	2.07–3.00 (2.51±0.33)
<b>%</b>	30.00– 44.94	29.09 – 36.00	24.72–35.09
<b>(Media ± D.S)</b>	(39.68 ± 5.8)	(31.4 ±2.26)	(28.94±3.80)

Negli ovidotti si è osservato un numero oociti variabile tra 643 e 1440 ( $918 \pm 350$ ) con dimensioni comprese tra 2.07 a 3.5 mm di lunghezza totale ( $2.87 \pm 0.33$  mm). Come si può osservare dall'immagine Fig. 90, le uova dell'ovidotto sono presumibilmente prossime alla deposizione, risultando per conformazione ad un più completo sviluppo.



Fig. 90 – *Loligo vulgaris*: uova presenti nell'ovidotto di una femmina matura (stadio 3A).

Complessivamente, sulla base delle suddette stime di oociti presenti nell'ovario e all'interno dell'ovidotto, la fecondità potenziale di una femmina matura oscilla tra 2843-6123 oociti con la possibilità di deporli a pacchetti (corrispondenti alla capacità dell'ovidotto) in almeno 4 volte. La fecondità totale nonché quella specifica dell'ovario e degli ovidotti è risultata correlata alla taglia dell'animale (Fig. 91); infatti femmine di taglie maggior possono produrre un maggior numero di oociti.

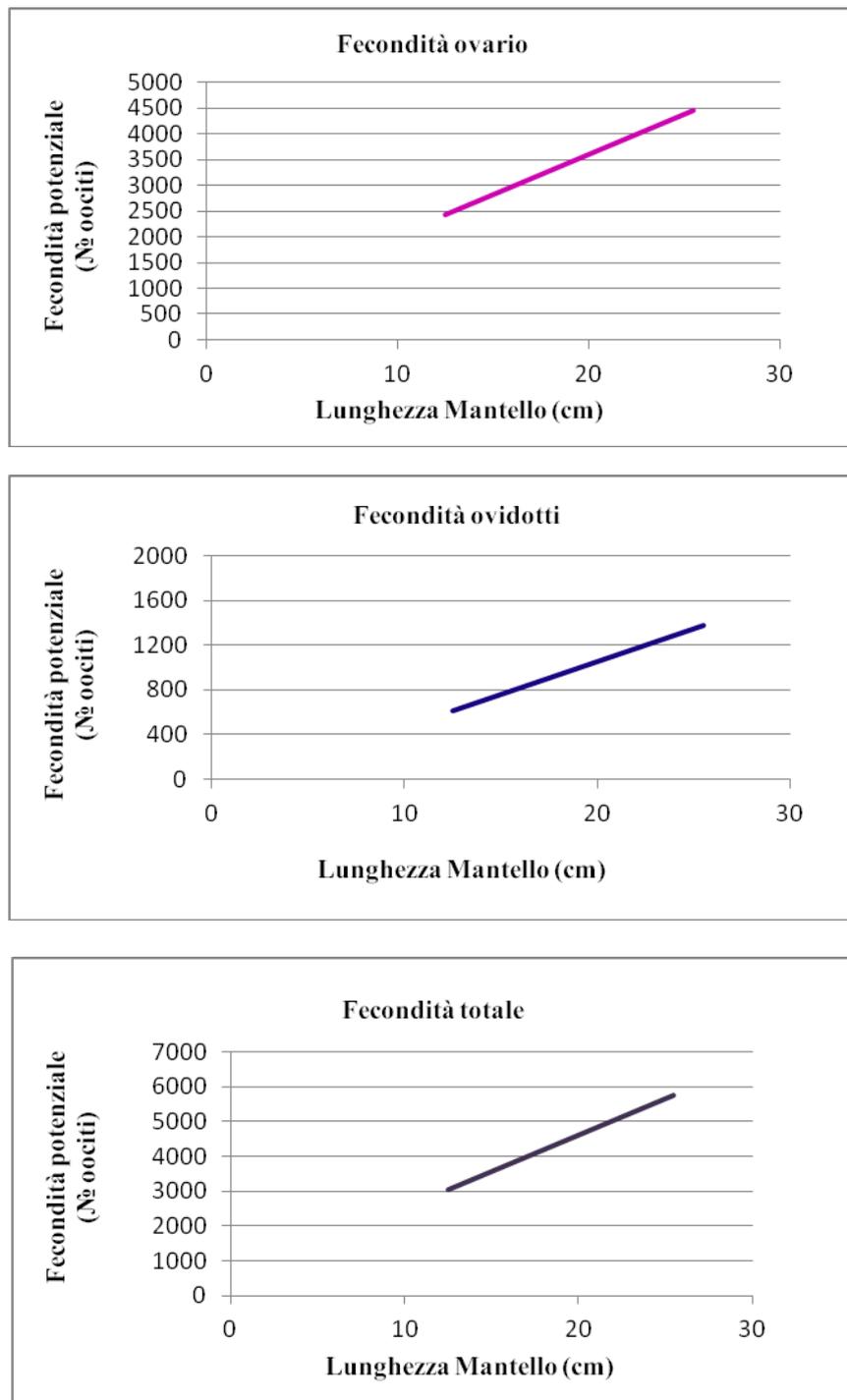


Fig. 91 – *Loligo vulgaris*: relazione tra la fecondità ovarica, degli ovidotti, totale e la lunghezza del mantello nelle femmine mature

## ANALISI UOVA DEPOSTE

Le due masse di uova (massa I e massa II), sono state ritrovate rispettivamente a 170 e 28 metri di profondità, nelle acque della Sardegna, durante la pesca commerciale (massa I) e durante la pesca artigianale con le nasse, (massa II) (Fig 92).

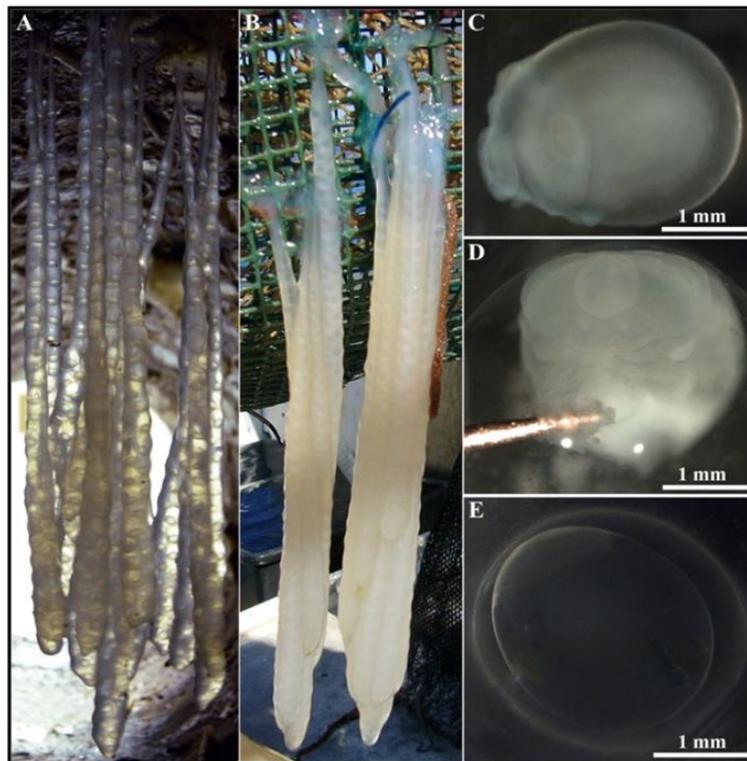


Fig. 92 – Massa d'uova I (A) e macro di un suo embrione (C, D). Massa d'uova II (B) e macro di un uovo (E).

Tab. 35 – Caratteristiche delle masse d'uova deposte analizzate (media  $\pm$  deviazione standard).

Masse d'uova	Profondità (m)	N° di capsule	Lunghezza capsule (mm)	N° di uova per capsula	Lunghezza uova (mm)	Larghezza uova (mm)
<b>I</b>	170	18	135-150 [141 $\pm$ 15]	38-42 [41 $\pm$ 1]	4.43-5.00 [4.70 $\pm$ 0.15]	4.00-4.52 [4.22 $\pm$ 0.18]
<b>II</b>	28	18	95-111 [105 $\pm$ 5.9]	48-56 [52 $\pm$ 3]	2.70-2.98 [2.90 $\pm$ 0.12]	2.58-2.80 [2.75 $\pm$ 0.11]

La massa I attaccata ad un substrato di origine antropica, è risultata essere composta da 18 capsule traslucide (Fig. 92) aventi una lunghezza variabile tra 135 e 150mm (tab. 34). Ogni capsula conteneva dalle 38 alle 42 uova embrionate di lunghezza variabile tra 4.43 e 5.00 mm (Fig. 92; tab.34). Gli embrioni hanno mostrato una prominente cefalica separata da solchi leggeri intorno agli occhi la presenza di gangli cerebrali intorno alla bocca e una leggera pigmentazione della retina. In accordo con la scala di sviluppo embrionale proposta da Naef (1928), tali caratteristiche sono attribuibili al IX stadio di sviluppo corrispondente a circa sette giorni di vita dell'embrione. La massa II, attaccata ad una nassa, era composta da 18 capsule aventi una colorazione opaca tendente al bianco (Fig G B). La lunghezza delle capsule in questo caso variava da 95 a 111mm e ciascuna di esse conteneva dalle 48 alle 56 uova non ancora embrionate, di dimensioni comprese tra 2.70 e 2.98 mm (tab.34). In accordo con quanto è risaputo sulle uova deposte le caratteristiche generali delle due masse portano alla famiglia dei Loliginidi. In particolare, le capsule opache riscontrate nelle massa II, la bassa profondità di cattura (28 m) associate al substrato roccioso suggerirebbero la sua appartenenza alla specie *Loligo vulgaris*. Al contrario per la massa I, la maggior profondità di cattura, la trasparenza delle uova di taglia maggiore sono caratteristiche che rientrano nelle descrizioni delle uova deposte finora note per *L. forbesii* (e.g. Jatta, 1896; Lo Bianco, 1909; Orsi Relini *et al.*, 2009).

## ANALISI DEI RICETTACOLI SEMINALI NELLE FEMMINE DI *LOLIGO VULGARIS*

L'analisi macroscopica di tutte le femmine ha consentito di riscontrare i ricettacoli seminali ossia il sito di impianto dei prodotti sessuali durante l'accoppiamento in sole tre femmine mature (Tab. 36) di *L. vulgaris*. In tutti e tre i casi i ricettacoli seminali erano ubicati nella massa buccale e apparivano come delle piccole tasche bianche di circa 4 mm inglobate nel tessuto muscolare della massa buccale stessa (Fig. 93). Ciascun animale presentava un solo ricettacolo al cui interno erano presenti spermatofores già evaginate (spermatangi) in numero variabile da 30 a 50 e di lunghezza compresa tra 1.71 e 2.95 mm ( $2.53 \pm 0.41$ ).

Tab. 36– *Loligo vulgaris*: principali biometrie delle tre femmine mature analizzate e rispettivo numero di spermatangi rinvenuto nel loro ricettacolo seminale.

<b>Lunghezza Mantello Dorsale (cm)</b>	<b>Lunghezza Mantello Ventrale (cm)</b>	<b>Peso totale (g)</b>	<b>№ spermatangi Ricettacolo</b>
20.6	19.2	100.74	35
25.5	24.3	393.25	53
22.5	20.4	288.55	30

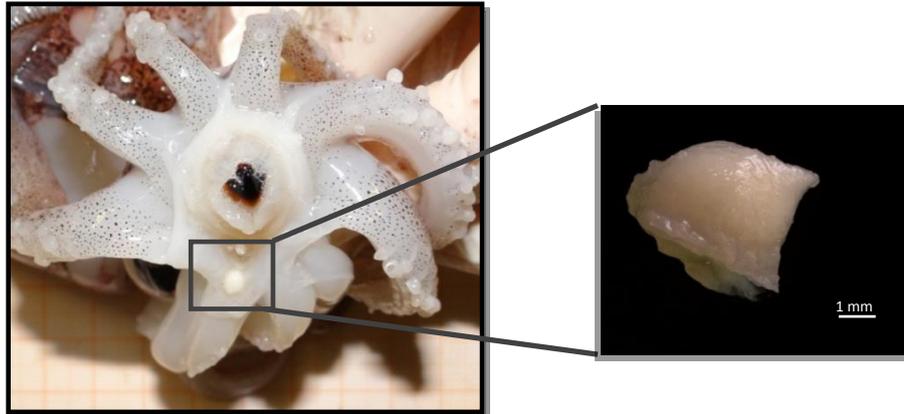


Fig. 93 – *Loligo vulgaris*: ricettacolo seminale presente nella massa buccale di una femmina matura (stadio 3A)

Tale analisi è stata l'unica nell'ambito di questo studio che abbia consentito di valutare morfologicamente e meristicamente gli spermatangi di *Loligo vulgaris*. Infatti nelle tasche del Needham dei maschi maturi analizzati gli unici prodotti sessuali presenti erano spermatofore prima dell'evaginazione che dà origine agli spermatangi.

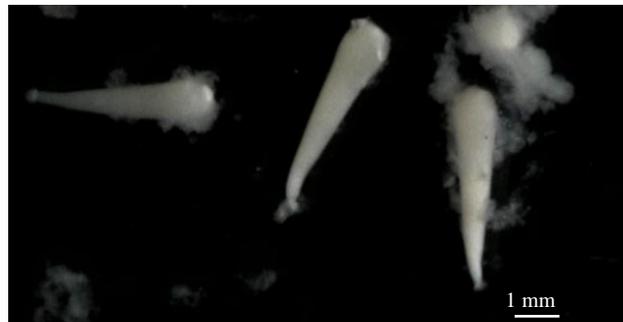


Fig. 94– *Loligo vulgaris*: spermatangi contenuti all'interno dei ricettacoli seminali.

## DISCUSSIONI

I risultati riportati in questo capitolo sullo studio del processo riproduttivo di *L. vulgaris* e *L. forbesii*, pur confermando molti aspetti già noti per la maggior parte dei calamari, consente di apportare nuove informazioni in merito ai patterns riproduttivi di queste due specie in Mediterraneo. L'analisi approfondita delle gonadi attraverso valutazioni macroscopiche, istologiche e gravimetriche nonché dell'output riproduttivo consentono di valutare il processo riproduttivo nella sua interezza cogliendo quei dettagli che danno poi significato a tutto l'evento.

Complessivamente le due specie presentano aspetti comuni che si osservano in generale nella conformazione anatomica dell'apparato riproduttore dei due sessi, nella formazione e sviluppo dei prodotti sessuali e nella precocità del raggiungimento della maturità sessuale nel sesso maschile, se pur con differenze tra le due specie che fanno registrare taglie alla maturità in assoluto maggiori in *Loligo forbesii*.

In linea generale i risultati emersi in questo studio suggeriscono per entrambe le specie una modalità di deposizione dei prodotti sessuali di tipo "intermittente" (*sensu* Rocha *et al.*, 2001). Ciò trova particolare riscontro nelle analisi macroscopiche delle gonadi ma anche nello studio più approfondito dei prodotti sessuali di *L. vulgaris*.

Le dimensioni variabili riscontrate negli oociti nell'ovario di *Loligo vulgaris* (0.3-3 mm) mostrano infatti un'asincronia di sviluppo collegabile col fatto che solo le uova all'interno dell'ovidotto sono pronte pertanto l'emissione avviene in più riprese. I dati osservati non danno alcun contributo sulla durata di questo evento tuttavia possiamo presumibilmente ritenere che l'emissione dei prodotti sessuali possa avvenire in un tempo più lungo rispetto a quanto accade in specie con deposizione simultanea terminale (Rocha *et al.*, 2001). La quantificazione inoltre della dimensione della batteria (ossia la capacità dell'ovidotto) ci induce a supporre che la deposizione delle uova a carico di una stessa femmina, in questa specie possa avvenire mediamente 4 volte nell'arco dello stesso evento riproduttivo. La deposizione ad intermittenza, secondo le schematizzazioni proposte per i cefalopodi, appare a metà strada tra le tipologie attribuite alle specie tipicamente costiere (di ambienti instabili) e a quelle più prettamente profonde (ambienti stabili). La strategia riproduttiva in senso più generale nelle due specie si diversifica per piccoli aspetti facendo emergere quanto l'habitat sia importante per la sua

caratterizzazione ad esempio nelle dimensioni maggiori delle uova deposte in *L. forbesii* più vicinente alle caratteristiche dell'output riproduttivo descritto per specie profonde. Tuttavia il rinvenimento del suo clutch di uova a 170 m contrasta con altre deposizione in acque più profonde come quelle a 600 e 730 m rispettivamente per il Mar Ligure (Orsi Relini *et al.*, 2009) e il Mar Egeo (Salman & Laptikhovsky, 2002) suggerendo che tale specie possa adattarsi a deporre anche nel range batimetrico di sovrapposizione. La possibilità di effettuare anche per i maschi di *L. forbesii* come fatto per *vulgaris*, un'analisi approfondita dei prodotti sessuali avrebbe aiutato a capire ulteriori differenze nella strategia riproduttiva. Tuttavia in mancanza di questo dato, l'analisi gravimetrica delle gonadi maschili di *L. forbesii* in fase di maturità ha messo in luce come sia il complesso spermatoforico a dare il maggiore contributo in peso alla gonade e non il testicolo come invece accade per il congenere *vulgaris*. Ciò è risultato particolarmente marcato nell'individuo eccezionalmente grande (70.8 cm LM; 2900 g PT) i cui dati sono stati trattati a parte. Possiamo quindi immaginare che la fecondità potenziale maschile in questa specie possa essere superiore a quella di *vulgaris* e poiché tale parametro è in linea generale correlato alla taglia dell'animale in *L. forbesii* può essere supportato dalle dimensioni maggiori che la specie può raggiungere (LM<sub>massima</sub>: 70.8 cm) se paragonata al congenere (LM<sub>massima</sub>: 38.7 cm). Un altro aspetto emerso è la lunghezza dell'ectocotile che in *forbersii* è risultata leggermente più grande rispetto a *vulgaris*. Se si considera che la funzione dell'ectocotile è quella di trasferire la spermatofore nel corpo femminile, si potrebbe ipotizzare che le dimensioni di questa porzione siano tali in risposta a dimensioni più grandi dei prodotti sessuali da trasportare. La maggior completezza delle analisi condotte sui prodotti sessuali di *L. vulgaris* consente di evidenziare più aspetti del suo pattern riproduttivo. Se da una parte il numero massimo delle spermatofore prodotte non è altissimo (436), l'investimento riproduttivo sembra concentrarsi sulla produzione di spermatozoi; infatti la massa spermatica rappresenta più del 70% dell'intera spermatofora. D'altra parte anche il corpo cementificante rappresenta una componente rilevante e ciò non stupisce dal momento che in questa specie il prodotto sessuale dopo l'accoppiamento viene impiantato nel corpo femminile all'interno di ricettacoli seminali inglobati nel muscolo. E' risaputo che spermatofore con larghi corpi cementificanti siano meglio

equipaggiate per essere impiantate nel corpo femminile (Hoving & Lipinski, 2009, Cuccu *et al.*, 2014). Durante l'accoppiamento per alcune specie di loliginidi non mediterranei (Juanico, 1983; Hanlon, 1998) è stata evidenziata la capacità di inserire il prodotto sessuale (spermatofora/spermatangio) in più siti del corpo femminile o di immagazzinarli in una struttura apposita (ricettacolo seminale). Nel caso specifico dei *L. vulgaris* analizzati in questo studio in soli 3 individui si è potuto verificare la sede d'impianto e si è trattato di un solo ricettacolo seminale posto nella massa buccale. Le osservazioni fatte non hanno evidenziato altri siti tuttavia non possiamo escludere che le spermatofore abbiano la capacità di impiantarsi nel tessuto mantellare come accade in alcune specie profonde. D'altra parte anche se l'informazione esula dallo studio e può sembrare bizzarra, si è avuta prova di spermatofore di *Loligo vulgaris* impiantate nel tessuto gengivale di un pescatore locale in seguito alla consumazione del prodotto crudo. Le spermatofore estratte dalla bocca dell'uomo sono state conservate e analizzate in laboratorio in cui si è confermata la loro natura. Questo per quanto insolito non è un caso isolato, si conoscono infatti altri episodi confermati (es. dal Centro Nazionale per l'Informazione Biotecnologica del Maryland, negli Stati Uniti) che hanno interessato soprattutto persone di paesi dell'Estremo Oriente dove è consuetudine consumare i calamari crudi senza neanche aver eliminato gli organi interni. A fronte di ciò è ammissibile pensare che potenzialmente le spermatofore dei calamari abbiano la capacità di inglobarsi nei tessuti. La rarità delle osservazioni dei siti d'impianto di spermatofore/spermatangi in *L. vulgaris* e l'assenza completa in *L. forbesii* rimangono ancora oscuri. E' forse proprio a causa di queste difficoltà che i dati sulla morfologia e dimensione degli spermatangi riportati in questo lavoro non trovano comparazioni in letteratura, rappresentando quindi nuove informazioni. Tornando all'aspetto prettamente tecnico, il numero di spermatangi rinvenuti nei ricettacoli femminili (30-50) messo in relazione alla fecondità potenziale registrata nell'apparato riproduttore maschile suggerisce la capacità della specie di effettuare più accoppiamenti. Ciò trova conferma anche nel fatto che la femmina riceve un numero esiguo di prodotto sessuale maschile se lo rapportiamo al numero di uova da fertilizzare (la femmina ne può produrre oltre 4000).

In linea generale alcuni aspetti del processo riproduttivo descritti in questa tesi per i due calamari presentano analogie e differenze con quanto riportato per altre aree mediterranee ed anche atlantiche (allegati II, III, IV).

Specificatamente, le taglie di maturità al 50% ottenute per *L. vulgaris* risultano più alte rispetto alla media mediterranea ed atlantica avvicinandosi maggiormente a quelle riscontrate in Liguria (Wurtz & Giuffra, 1989) e nel Saharan Bank (Raja *et al.*, 1999). Per *L. forbesii* considerando i mari italiani sono un po' più alte soprattutto nei maschi.

Per quanto concerne il periodo maturativo esteso a tutto l'anno per entrambe le specie rispecchia quanto osservato anche in altre aree di distribuzione (Lum-Kong *et al.*, 1992; Coelho *et al.*, 1994, Sánchez & Guerra, 1994; Raya *et al.*, 1999; Moreno *et al.*, 2002; Šifner & Vrgoč, 2004) fatta eccezione per le coste del Portogallo in cui si osserva un solo picco in inverno per le femmine di *L. vulgaris* (Moreno *et al.*, 2002). Tuttavia per quest'ultima specie nella presente analisi pur avendo riscontrato individui maturi tutto l'anno si è evidenziata anche una maggiore attività riproduttiva in autunno-inverno e ciò trova conferma con l'intensificarsi nei mesi di dicembre e gennaio della pesca sportiva con le totanare volta proprio alla catture di grandi individui maturi.

Nel caso di *L. forbesii* è noto che nel Canale di Sicilia vi sia un unico picco riproduttivo in autunno-inverno (Ragonese & Jereb, 1986); in Sardegna pur non avendolo individuato non possiamo escluderlo se consideriamo la non uniformità del campionamento che è stato concentrato prevalentemente in estate. Per quanto concerne i prodotti sessuali le dimensioni delle spermatofore trovate per *L. vulgaris* sono in accordo con quanto riportato in letteratura (Mangold-Wirz, 1963, 1989, Šifner & Vrgoč, 2004) mentre il numero massimo riscontrato (436) risulta inferiore a quanto riportato sino ora in Mediterraneo (754 in Šifner & Vrgoč, 2004). In merito alla fecondità potenziale femminile, le dimensioni degli oociti presenti negli ovari maturi sono simili con quanto noto in letteratura per le acque del Mediterraneo (Mangold-Wirz, 1963, 1989; Šifner & Vrgoč, 2004), e per le acque dell'Atlantico (Baddy, 1988; Laptikhovsky, 2000). Il numero è risultato invece nettamente inferiore a quanto riportato da Šifner & Vrgoč (2004) per l'Adriatico, da Laptikhovsky (C2000) per le coste Africane e da Rocha & Guerra (1996) per le coste

della Galizia. La variabilità nelle dimensioni trovate all'interno di uno stesso ovario è in accordo con quanto riportato in letteratura così come la correlazione esistente tra il numero complessivo di oociti (fecondità potenziale) e la taglia dell'animale.

## Capitolo 5

---

### Determinazione dell'età

#### INTRODUZIONE

Le specie appartenenti ai cefalopodi sono caratterizzata da un ciclo vitale breve, da periodi di deposizione di diversa durata (circostritti o dilatati) ed inoltre dalla possibile presenza di più generazioni contemporaneamente.

In relazione alla loro importanza socio-economica ed al ruolo fondamentale che svolgono all'interno degli ecosistemi marini nonché nell'ottica di poter gestire al meglio queste risorse, appare chiara la necessità di identificare modelli d'accrescimento rappresentativi per ciascuna specie e ciò risulta particolarmente valido per specie di interesse commerciale come i calamari.

In generale, l'età e l'accrescimento degli organismi marini vengono stimati attraverso l'applicazione di metodi indiretti (basati principalmente sull'analisi modale delle frequenze di lunghezza/peso o degli indici biochimici dei tassi di crescita istantanei).

I primi studi, basati sull'analisi delle frequenze in lunghezza/ peso, iniziarono a porre l'accento sulle difficoltà nell'identificazione di un modello di accrescimento adatto per i cefalopodi, suggerendo talvolta l'applicazione di differenti modelli, in relazione alle fasi del ciclo vitale (Verrill, 1881).

Allo stato attuale, la letteratura di riferimento é frammentaria ed inoltre in alcuni casi i risultati ottenuti e riportati nei differenti lavori per una determinata specie contrastano fra loro. Un esempio è dato dai pattern di accrescimento descritti per *Loligo vulgaris* in un caso definito 'ciclico' (Timbergen e Verveij, 1945) e in un altro caso come esponenziale (Mangold-Wirz, 1963).

Pertanto, al fine di non sovra o sottostimare tali parametri, condizione che si può verificare analizzando le frequenze in lunghezza/ peso (Caddy, 1991) è auspicabile stimare l'età e l'accrescimento esclusivamente tramite l'applicazione di metodi diretti come l'osservazione diretta degli animali in cattività, esperimenti di marcatura e ricattura in ambiente naturale oppure analizzando le strutture dure (statoliti,

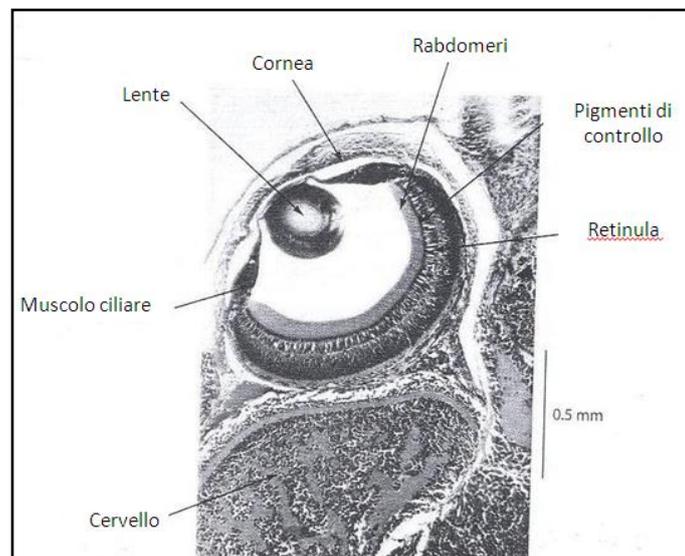
mandibole, ossi di seppia, gladi, stiletti e lenti del cristallino). In particolare le strutture maggiormente impiegate sono le mandibole e gli stiletti nel caso degli ottopodi e gli statoliti nei decapodi (Semmens *et al.*, 2004).

Pertanto in questo capitolo partendo dall'intento di stimare i tassi d'accrescimento dei due calamari *L. vulgaris* e *L. forbesii*, determinare la durata del ciclo vitale, identificare le curve d'accrescimento e verificare eventuali differenze intra ed inter specifiche si è proceduto all'applicazione di un metodo diretto basato sull'analisi di strutture dure.

Preliminarmente la ricerca è stata volta sulle mandibole e sugli statoliti che hanno evidenziato delle difficoltà oggettive al conseguimento delle finalità. La colorazione semitrasparente delle mandibole e le ridotte dimensioni degli statoliti sono stati fattori limitanti che hanno portato alla scelta successiva della lente del cristallino come struttura alternativa allo studio. Ad oggi tale struttura è stata analizzata solamente nell'ottopode *Enteroctopus megalocyathus* (Cárdenas *et al.*, 2011). Gli autori hanno fornito una tecnica di preparazione della lente finalizzata alla lettura degli anelli concentrici in essa presenti Tale tecnica attraverso una serie di modifiche è stata adattata ai cristallini delle specie oggetto di studio con l'intento di stimare il loro ciclo vitale e l'età nei due sessi durante le diverse fasi dello sviluppo ontogenetico.

## LALENTE DEL CRISTALLINO NEI CALAMARI

I cefalopodi in generale e i calamari nello specifico sono attivi nuotatori nonché voraci predatori carnivori pertanto il loro comportamento mirato alla cattura della preda è altamente influenzato dalla vista sin dai primi stadi giovanili (Hanlon & Messenger 1996). Più della metà dell'intero volume del cervello nei calamari è occupato dal lobo ottico, sottolineando ancora una volta l'enorme importanza della visione in questi organismi (Nixon & Young 2003) (Fig. 96).



**Fig. 96** – *Loligo forbesii* : sezione dell'occhio di un embrione

L'occhio nei cefalopodi, a differenza di quanto si osserva negli altri molluschi, presenta le stesse funzioni dell'occhio dei vertebrati, ed essendo sferico, produce immagini perfettamente a fuoco e nitide sulla retina. Questo schema visivo è un chiaro esempio di evoluzione convergente tra il sistema sensoriale degli invertebrati e dei vertebrati (Panagiotis, 2008).

Tuttavia sebbene esista tale convergenza, lo sviluppo e il contenuto in proteine è nettamente differente, infatti se nei vertebrati l'occhio si sviluppa a partire dall'ectoderma sovrastante la vescicola ottica, nei cefalopodi a partire da un area "lentigenica" chiamata "corpo ciliare" (Arnold, 1967).

## MATERIALI E METODI

I cristallini analizzati sono stati raccolti durante le campagne sperimentali di pesca a strascico condotte nel biennio 2013-2014 nei mari circostanti la Sardegna, nell'ambito del progetto MEDITS (Mediterranean International Trawl Survey) condotto dal Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente dell'Università di Cagliari (Bertrand *et al.*, 2002).

Precisamente sono stati estratti da 160 individui di *L. vulgaris* e 150 di *L. forbesii* dai quali sono stati anche rilevati la lunghezza del mantello dorsale (LM, con precisione al decimo di mm) e del peso (PT, con precisione al decimo di grammo) in accordo con Roper e Voss, (1983), determinato il sesso e lo stadio di maturità sessuale con l'ausilio della scala di maturità stilata ad hoc in questa ricerca (capitolo 4). Una volta estratte, le lenti sono state ripulite con acqua distillata al fine di eliminare eventuali residui, misurate mediante calibro digitale (con precisione al decimo di millimetro) e fissate in formalina neutralizzata (Tab. 37 e Fig. 97)

Tab. 37– Componenti e quantitativi per la preparazione di 1L di formalina neutralizzata

Formalina, 37-40%	100 mL
Acqua distillata	900 mL
Sodio fosfato monobasico	4,0 g
Anidride sodio fosfato bibasico	6.5g

Il fissaggio in formalina è avvenuto per 48-72 ore, in seguito, le lenti sono state sciacquate in acqua distillata e conservate in una soluzione di alcool metilico al 70% e glicerina al 1% per la successiva lavorazione; eliminando le fasi di decalcificazione e disidratazione previste in Cárdenas *et al.* (2011). Prima di procedere alla limatura, sono state tenute in acqua corrente per 24 ore successivamente asciugate per qualche ora all'interno di una cappa aspirante da laboratorio a flusso laminare (in modo da eliminare i residui di acqua) per essere poi incluse in una resina epossidica (Caldofix-2, Kit Struers).

I blocchi di resina (contenenti le lenti) sono stati quindi levigati utilizzando dischi di carta abrasiva a differente granulometria (320/800/1000 grit) montati su una lappatrice (Fig.97)



Fig. 97– Differenti fasi di lavorazione delle lenti del cristallino.

Le sezioni ottenute (aventi spessore < 1mm) sono state montate su un vetrino porta oggetto e colorate con ematossilina/eosina. In seguito, mediante l'ausilio di un microscopio ottico provvisto di fotocamera CANON Eos 1100 D collegato ad un computer, è stato possibile fotografare le varie parti del cristallino (ingrandimenti: 100x e 400x). Il conteggio degli anelli è stato effettuato dal centro del cristallino (anello natale) proseguendo fino all'estremità più esterna della lente, dallo stesso operatore per 3 volte in tempi differenti e al momento del conteggio ciascun anello è stato marcato e numerato servendosi del software Tps\_Dig2. Per le analisi successive sono stati tenuti in considerazione i valori risultati identici in due conteggi su tre. Per entrambe le specie e per ciascun sesso assumendo ogni anello corrispondente ad un giorno, è stata quindi stimata l'età di ogni individuo e la durata del ciclo vitale

delle specie in oggetto. Sono stati calcolati inoltre i tassi di accrescimento giornalieri in lunghezza e peso, espressi come mm/giorno e g/giorno. Per ciascuna specie, il numero di anelli presenti nelle lenti dei maschi e delle femmine ed i tassi di accrescimento (sia in lunghezza che in peso) sono stati comparati attraverso l'analisi della varianza (ANOVA) (Zar, 1996; Soliani, 2004)

Per entrambe le specie, al fine di identificare il modello che meglio descrivesse l'accrescimento (su ciascun sesso e sul totale degli individui analizzati) il numero degli anelli concentrici presenti nelle lenti è stato correlato con il peso totale e la lunghezza del mantello dorsale dell'animale di appartenenza.

I modelli che meglio descrivevano i dati sono risultati quello esponenziale e quello a potenza. Le curve d'accrescimento ottenute applicando questi due modelli sono state quindi comparate, al fine di verificare quali fittassero meglio i dati osservati. Per questa verifica sono stati utilizzati l'RMSE (errore residuo quadratico medio) (Fisher *et al.*, 2013) e l'AIC (criterio di informazione di Akaike) (Akaike, 1974; Haddor, 2001) secondo la formula:

$$\mathbf{AIC} = \mathbf{n} \times \ln (\mathbf{MSE}) + 2\mathbf{k}$$

dove **n** è il numero dei campioni, **MSE** è l'errore quadratico medio e **K** rappresenta il numero di parametri nel modello statistico.

Questi due test consentono di valutare e confrontare differenti modelli statistici fra loro, fornendo una misura della qualità della stima di un modello, basandosi non soltanto sulla bontà di adattamento ma anche sulla complessità di un certo modello applicato; convenzionalmente vengono preferiti i modelli con l'AIC più basso.

Successivamente al fine di verificare eventuali differenze nella durata del ciclo biologico tra le due specie e nei tassi d'accrescimento (in lunghezza e peso), il numero di anelli conteggiati ed i tassi d'accrescimento sono stati comparati mediante analisi della varianza (Soliani, 2004), per entrambi i sessi e per il totale degli individui analizzati. Infine le curve d'accrescimento stimate per entrambe le specie sono state comparate applicando l'ANCOVA (Zar, 1996; Soliani, 2004).

## RISULTATI

### CONSIDERAZIONI TECNICHE

Apportando alcune modifiche alla tecnica proposta in Cárdenas *et al.* (2011), ossia eliminando le fasi di decalcificazione e disidratazione che seguono il risciacquo con l'acqua, dopo la fissazione in formalina, è stato possibile ridurre di gran lunga i tempi di lavorazione che portano all'inclusione del cristallino in resina.

La limatura delle lenti, sebbene non semplice, data la sua fragilità, ha consentito di ottenere delle sezioni sottili, spesse meno di 1mm.

La colorazione con ematossilina/eosina ha risaltato fortemente la presenza di un nucleo centrale di formazione o anello natale e di un numero variabile di anelli concentrici. L'anello natale rappresenta il momento della schiusa e quindi della nascita dell'individuo, evidenziando pertanto il punto da cui partire per il conteggio (Fig. 98).

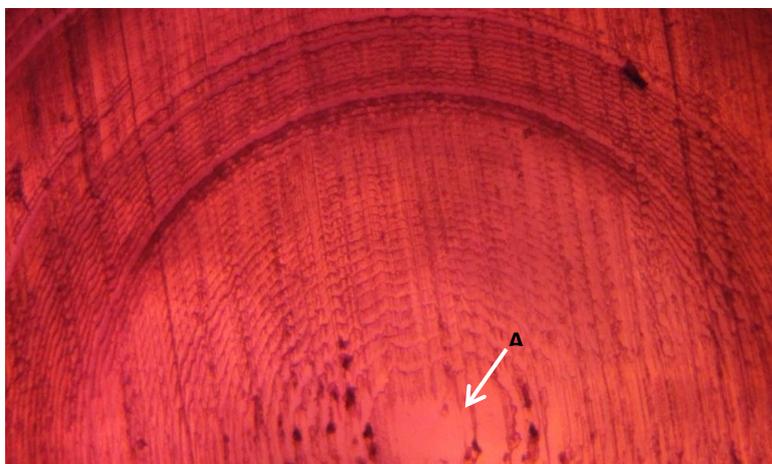


Fig. 98 – Lente del cristallino di un individuo di *Loligo forbesii*.  
AN : anello natale (ingrandimento 100x).

L'osservazione al microscopio ottico ha evidenziato come in prossimità dell'anello natale gli anelli giornalieri siano maggiormente distanziati e quindi facilmente identificabili anche con un ingrandimento relativamente ridotto (es. 100x) mentre man mano che ci si sposta lungo il raggio della lente questa distanza si accorcia e gli

anelli tendono a ravvicinarsi pertanto è possibile ‘identificarli chiaramente‘ solo con elevati ingrandimenti (es. 400x) (Fig. 99).

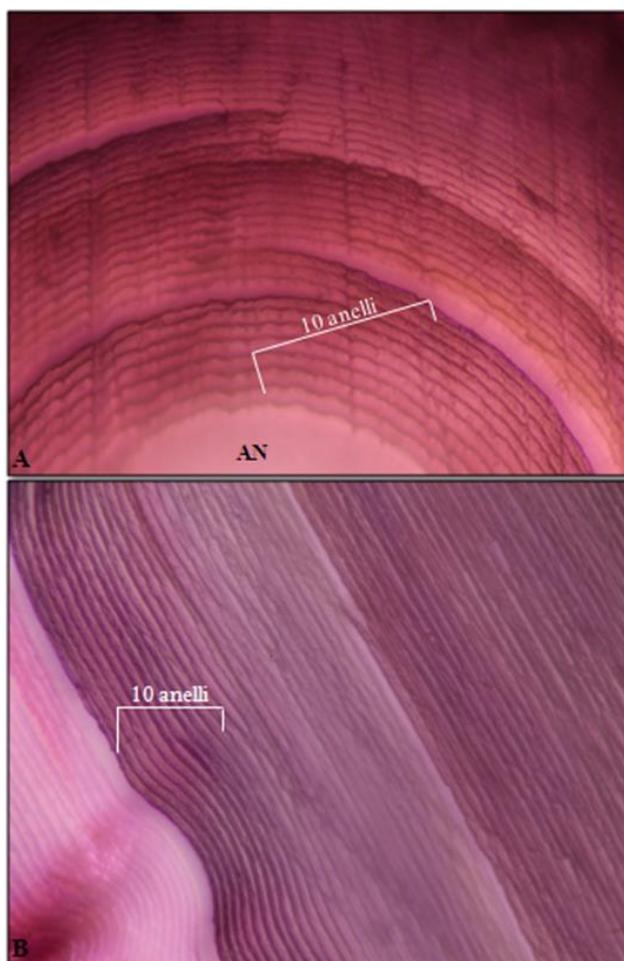


Fig. 99 – *Loligo vulgaris*: anelli concentrici giornalieri nella lente del cristallino.  
A: ingrandimento 100x; B: ingrandimento 400x. AN : anello natale.

Le coppie di cristallini estratte (Fig. 100) hanno mostrato tra loro differenze minime in diametro, per entrambe le specie (Tab 38 e 39)

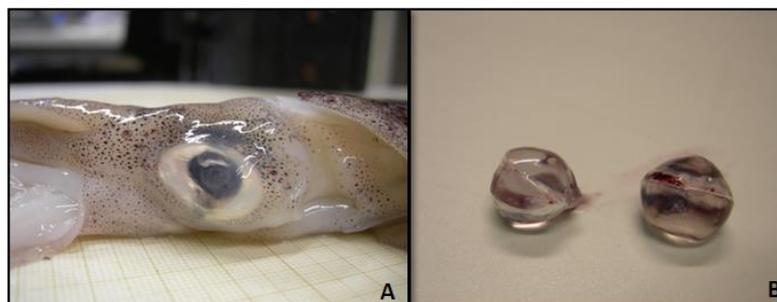


Fig. 100 – *Loligo vulgaris*: A: particolare dell'occhio; B:cristallini estratti

Tab. 38 – *Loligo vulgaris*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard dei diametri del cristallino destro e sinistro e rispettiva equazione tra il diametro dei cristallini e la taglia dell'animale.

Sesso	Diametro cristallino SX (mm)	Diametro cristallino DX (mm)	EQUAZIONE	R <sup>2</sup>
Indeterminati	2,2-7,05 (3,5±1,03)	3,2-8,05 (4,5±1,10)		
Maschi	2,5-10,9 (5,5±2,04)	3,5-11,9 (5,8±2,07)	LM = -0,927+3,6018x	0,741
femmine	2,65-9,4. (5,3±1,5)	3,65-10,4. (5,9±2,5)	LM = 8,0034+1,6148x	0,3629
Totali	2,2-10,9. (5,05±1,8)	3,2-11,9 (5,8±1,6)	LM = 19,611+34,265x	0,6449

Tab. 39 – *Loligo forbesii*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard dei diametri del cristallino destro e sinistro e rispettiva equazione tra il diametro dei cristallini e la taglia dell'animale.

Sesso	Diametro cristallino SX (mm)	Diametro cristallino DX (mm)	EQUAZIONE	R <sup>2</sup>
Indeterminati	3-6 (3,8±1,06)	4-7 (4,8± 1,5)		
Maschi	1-12,4 (6,7±2,8)	2-13,4 (7,7±3)	LM = 13,27+0,7707x	0,13
femmine	0,5-10,71 (7,1±2,4)	0,6-11,71 (8,2±3)	LM = 14,317+0,2737x	0,0545
Totali	0,5-12,4 (6,7±2,7)	4-13,4 (7±2,4)	LM = 123,3+6,1236x	0,0849

Come mostrano le equazioni riportate nelle tabelle Tab 38 e 39, e le curve corrispondenti nei grafici (Fig. 101 e 102), per entrambe le specie (ma soprattutto per *L. forbesii*) e nei due sessi, è stata osservata una bassa correlazione fra il diametro del cristallino e la taglia dell'animale. questa particolarità è stata osservata anche in laboratorio al momento dell'estrazione, dove da individui di grossa taglia venivano talvolta estratti cristallini di piccole dimensioni.

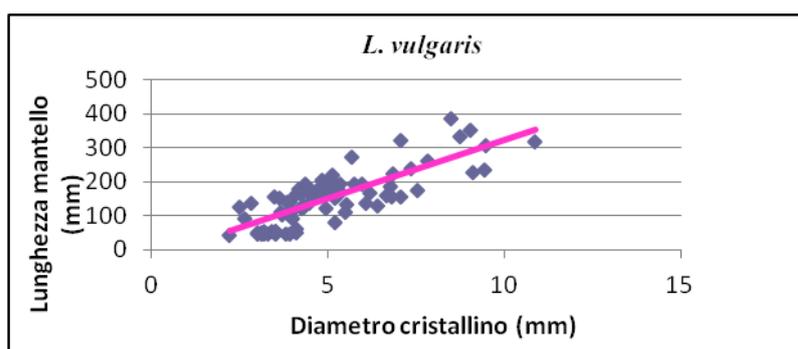


Fig. 101 – *Loligo vulgaris*: curva di correlazione tra il diametro dei cristallini estratti e la lunghezza del mantello

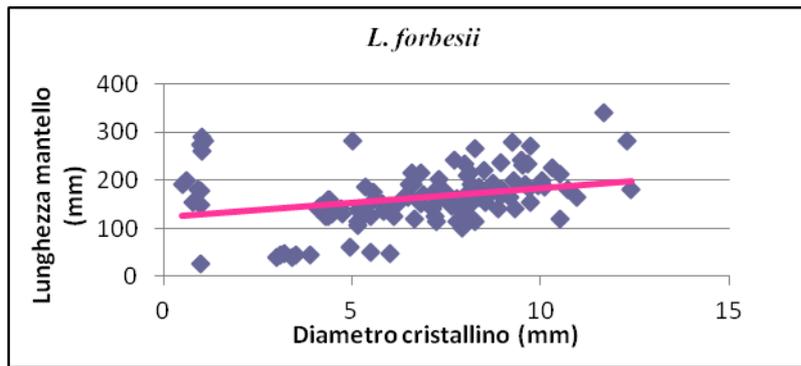


Fig. 102 – *Loligo forbesii*: curva di correlazione tra il diametro dei cristallini estratti e la lunghezza del mantello

## CONTEGGIO DEGLI ANELLI NEI CRISTALLINI DI *LOLIGO VULGARIS*

Dei 160 cristallini di *L. vulgaris* prelevati ed analizzati, 136 sono stati utilizzati per le analisi in quanto due conteggi su tre erano risultati identici.

Il campione analizzato era costituito complessivamente da individui di dimensioni comprese tra 46.0 a 387.0 mm di lunghezza mantello (LM) e 5.8 e 940.0 g di peso (PT). Nelle tabella 40 ed in figura 103 è riportata la struttura di taglia del campione distintamente per sesso

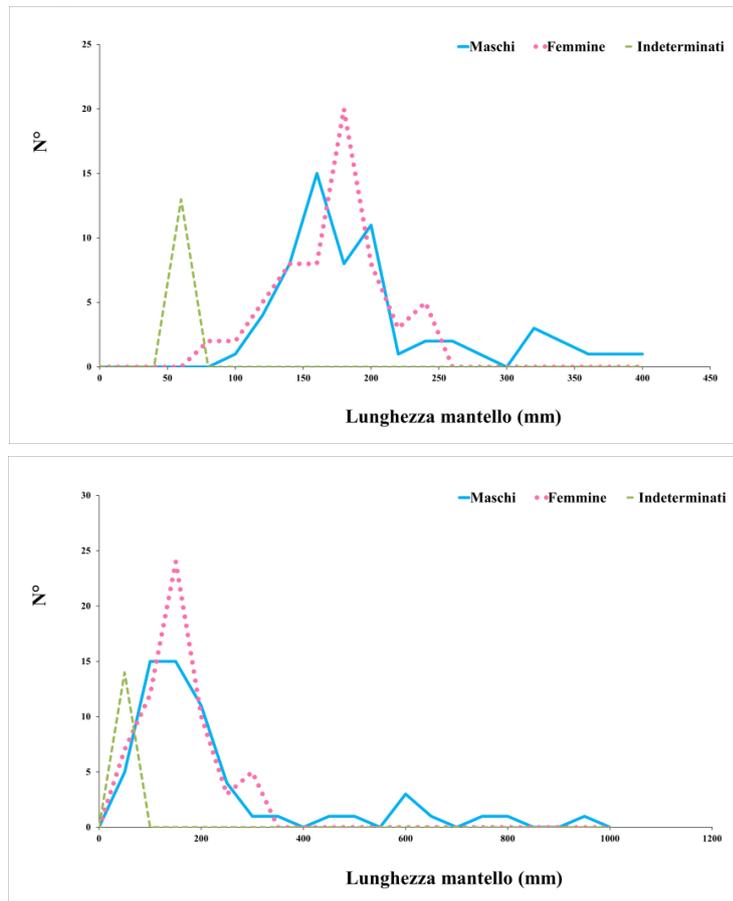


Fig.103– *Loligo vulgaris*: struttura di taglia del campione analizzato in lunghezza ed in peso.

Complessivamente per l'intero campione il numero degli anelli è risultato variabile da 55 a 520 (media± dev.st: 316±110), (Tab. 40 e Fig. 104, 105) e tassi d'accrescimento tra 0.36 e 0.84 mm/ giorno (media±dev.st: 0.53±0.11) e tra 0.10 e 1.81 g/giorno (media±dev.st: 0.41±0.31) (Tab. 40) rispettivamente riferiti alla lunghezza mantello e al peso dell'animale.

Più dettagliatamente, nei cristallini degli individui caratterizzati da ridotte dimensioni (>60mm), di cui non è stato possibile distinguere il sesso (indeterminati) sono stati conteggiati tra 55 e 84 anelli concentrici ed i tassi d'accrescimento sono risultati variabili tra 0.63 e 0.68 mm/giorno e 0.10-0.13 g/giorno

Per quanto concerne i maschi, nell'individuo più piccolo analizzato, pari a (92.0 mm LM; 26.6 g PT; sessualmente immaturo) sono stati conteggiati 168 anelli, corrispondenti a 5.6 mesi di vita, mentre nell'individuo più grande maturo (LM: 387.0 mm; PT: 940.0 g ) 520 (pari a circa 17 mesi di vita) (Tab. 40). Per quanto riguarda i tassi di accrescimento, i valori oscillavano tra 0.36-0.74 mm/giorno (media± dev.st: 0.52 ± 0.10) e 0.16-1.81 g/giorno (media±dev.st: 0.52± 0.40) (Tab. 40). Nelle femmine, il conteggio ha evidenziato un numero di anelli variabile tra 113 e 423, corrispondenti a individui aventi rispettivamente una lunghezza mantello pari a 63.0 mm e 237.0 mm e un peso di 13.0 g e 289.0 g Per esse sono stati registrati incrementi giornalieri variabili tra 0.37-0.64 mm/giorno (media± dev.st: 0.50 ± 0.07) e 0.11-0.72 g/giorno (media±dev.st: 0.36± 0.14).

Nelle femmine immature il numero anelli è risultato variabile tra 113 e 402 ed i tassi d'accrescimento variavano tra 0.37-0.60 mm/giorno e 0.11-0.40 g/giorno. In quelle in via di maturazione sono stati conteggiati tra 243 e 410 anelli ed i tassi d'accrescimento oscillavano tra 0.40-0.64 mm/giorno e 0.27-0.72 g/giorno. Infine nei cristallini degli individui maturi erano presenti tra 322 e 423 anelli, in questo stadio i tassi d'accrescimento registrati variavano tra 0.39-0.64 mm/giorno e 0.22-0.70 g/giorno (Tab. 40)

Tab. 40 – *Loligo vulgaris*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard della lunghezza mantello (LM), del peso totale (PT), del numero di anelli e dei tassi di accrescimento giornalieri in lunghezza ed in peso, per sesso e stadio maturativo.

Sesso	ML (mm)	PT (g)	Anelli (N°)	Incrementi lunghezza (mm/ giorno)	Incrementi in peso (g/ giorno)
<b>Indeterminati (N°= 14)</b>	46.0-54.0 [49.1±2.9]	5.8-9.1 [7.2±0.9]	55-84 [65±8]	0.63-0.84 [0.75±0.05]	0.10-0.13 [0.11±0.01]
<b>Immaturo (N°= 10)</b>	92.0-180.0 [132.5±28.6]	26.6-1580.0 [79.0±43.8]	168-380 [292±80]	0.37-0.57 [0.47±0.07]	0.16-0.43 [0.25±0.09]
<b>In via di maturazione (N°= 21)</b>	112.0-323.0 [183.2±42.6]	47.2-774.5 [177.0±145.6]	233-450 [347±52]	0.38-0.72 [0.53±0.09]	0.16-1.72 [0.49±0.31]
<b>Maschi Maturi (N°= 30)</b>	122.0-387.0 [209.4±82.9]	58.3-940.0 [259.0±243.0]	300-520 [384±64]	0.36-0.74 [0.52±0.13]	0.18-1.81 [0.61±0.47]
<b>Totale (N°= 61)</b>	92.0-387.0 [187.8±69.3]	26.6-940.0 [201.1±200.6]	168-520 [356±70]	0.36-0.74 [0.52±0.10]	0.16-1.81 [0.52±0.40]
<b>Immaturo (N°= 28)</b>	63.0-176.0 [133.0±30.0]	13.0-139.7 [84.0±38.0]	113-402 [293±86]	0.37-0.60 [0.47±0.07]	0.11-0.40 [0.27±0.07]
<b>In via di maturazione (N°=17)</b>	135.0-227.0 [169.0±19.5]	76.4-289.7 [143.0±43.4]	243-410 [365±52]	0.40-0.64 [0.47±0.07]	0.27-0.72 [0.40±0.10]
<b>Femmine Maturi (N= 16)</b>	135.0-237.0 [200.0±26.4]	75.9-288.6 [195.0±63.0]	322-423 [375±31]	0.39-0.64 [0.54±0.06]	0.22-0.70 [0.51±0.14]
<b>Totale (N°= 61)</b>	63.0-237.0 [161.0±38.5]	13.0-289.7 [129.6±65.7]	113-423 [335±76]	0.37-0.64 [0.50±0.07]	0.11-0.72 [0.36±0.14]
<b>Totale (N°=136)</b>	46.0-387.0 [161.5±66.5]	5.8-940.0 [149.0±142.5]	55-520 [316±110]	0.36-0.84 [0.53±0.11]	0.10-1.81 [0.41±0.31]

tra parentesi media ± deviazione standard.

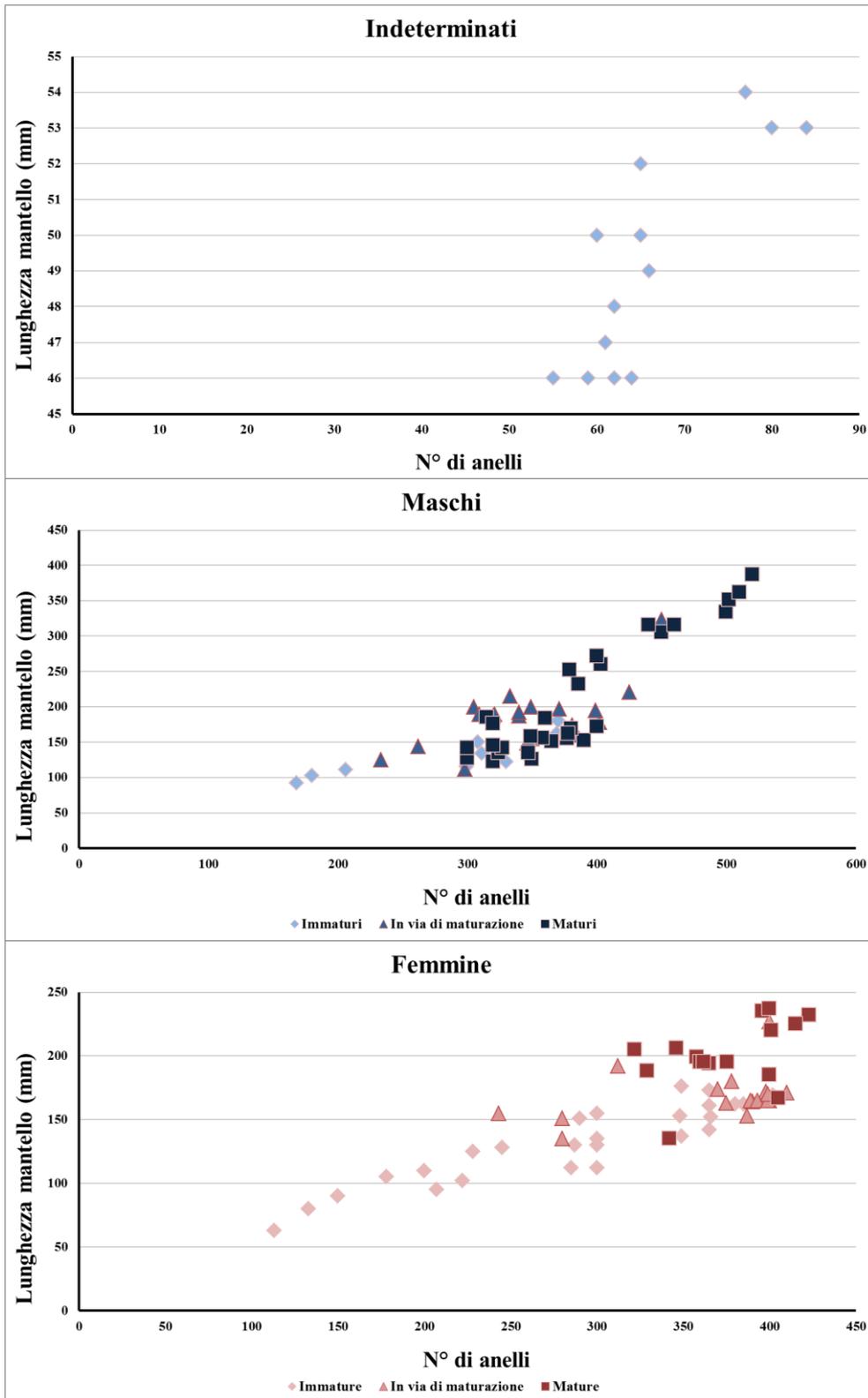


Fig.104– *Loligo vulgaris*: relazione tra il numero di anelli e la lunghezza mantello (LM) negli indeterminati e nei maschi e nelle femmine ai differenti stadi maturativi.

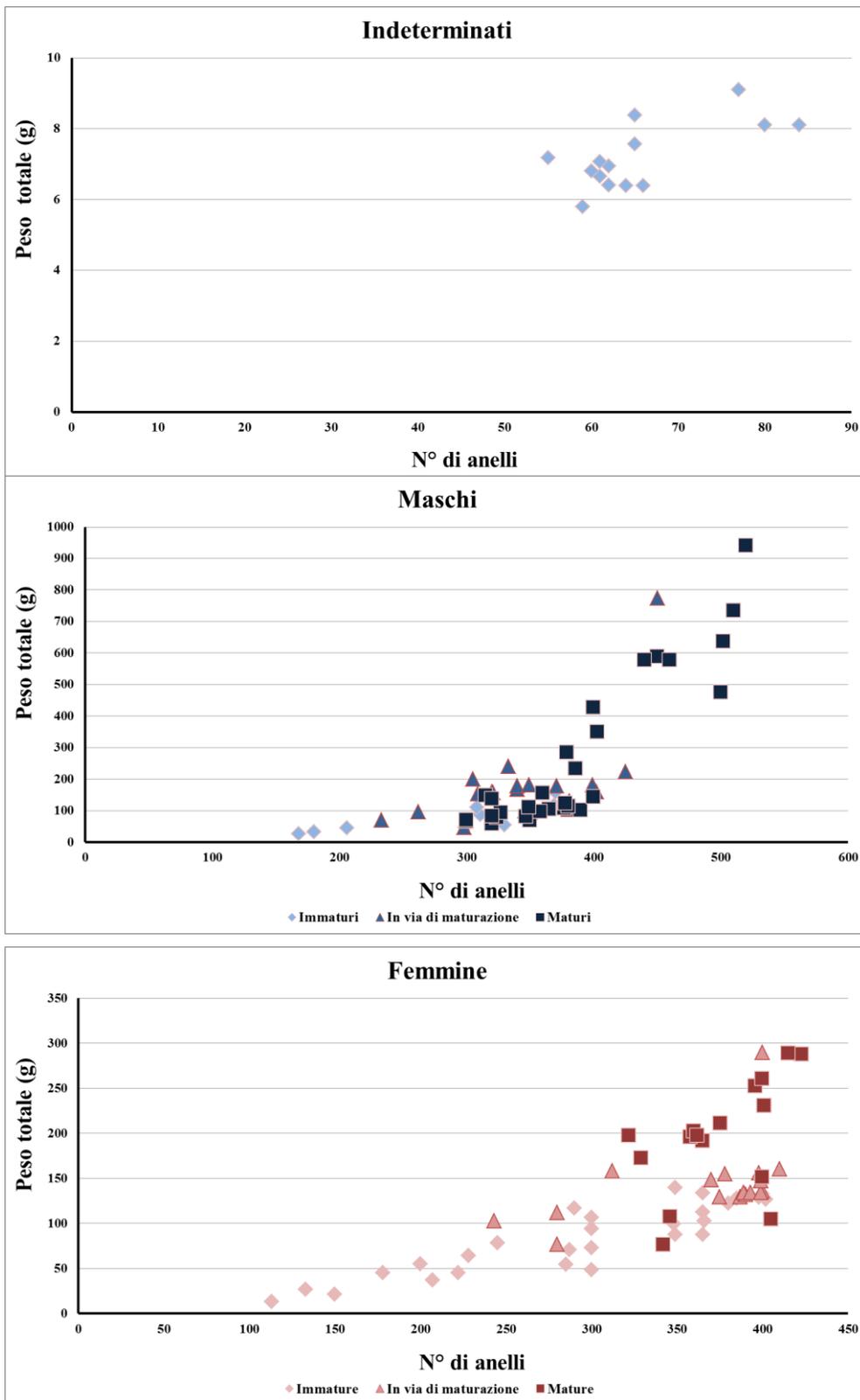


Fig. 105– *Loligo vulgaris*: relazione tra il numero di anelli ed il peso totale (PT) negli indeterminati e nei maschi e nelle femmine ai differenti stadi maturativi.

L'analisi della varianza applicata ai dati sperimentali non ha evidenziato differenze statisticamente significative nel numero di anelli e nei tassi di accrescimento sia in lunghezza che in peso tra i due sessi (Tab. 41) pertanto è stata calcolata un'ulteriore curva d'accrescimento che comprendesse entrambi i sessi (Tab. 41)

Tab. 41– *Loligo vulgaris*: risultati dell'analisi della varianza sulla comparazione del numero di anelli e degli incrementi in lunghezza e peso tra i due sessi.

		<i>Anova</i>	
Variabile		<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
<b>Maschi VS Femmine</b>	N° anelli	F(1, 120)= 2.70	0.1031
<b>Maschi VS Femmine</b>	Tassi d'accrescimento (mm/giorno)	F(1, 120)= 3.35	0.0696
<b>Maschi VS Femmine</b>	Tassi d'accrescimento (g/giorno)	F(1, 120)= 3.46	0.0701

Come si evince dalle figure 106 e 107 e dalla tabella 42 i modelli esponenziale e a potenza descrivono meglio la relazione tra il numero di anelli e la lunghezza del mantello/peso.

Tab. 42– *Loligo vulgaris*: equazioni delle curve esponenziali ed a potenza con i rispettivi coefficienti di correlazione nei due sessi e nel campione totale (maschi, femmine e indeterminati).

	<b>Equazione esponenziale</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Equazione a potenza</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Maschi</b> (N°=61)	<b>ML</b> = 42.905e <sup>(0.004*N° anelli)</sup> <b>PT</b> = 4.8389e <sup>(0.0095*N° anelli)</sup>	0.7112 0.71	<b>ML</b> = 0.1303*N° anelli <sup>1.2323</sup> <b>PT</b> = 4E <sup>-06</sup> N°*anelli <sup>2.9611</sup>	0.6353 0.6441
<b>Femmine</b> (N°= 61)	<b>ML</b> =57.944e <sup>(0.0030.7112*N° anelli)</sup> <b>PT</b> = 10.674e <sup>(0.007*N° anelli)</sup>	0.7112 0.7308	<b>ML</b> = 1.6056 *N° anelli <sup>0.7919</sup> <b>PT</b> = 0.0022 *N° anelli <sup>1.873</sup>	0.7329 0.7531
<b>Campione</b> <b>totale</b> (N°=136 )	<b>LM</b> = 41.116e <sup>(0.004* N° anelli)<sup>o</sup></sup> <b>PT</b> = 4.7145 e <sup>(0.0094* N° anelli)</sup>	0.8767 0.8793	<b>LM</b> = 1.7286*N° anelli <sup>0.7862</sup> <b>PT</b> = 0.0028*N° anelli <sup>1.8472</sup>	0.8561 0.8579

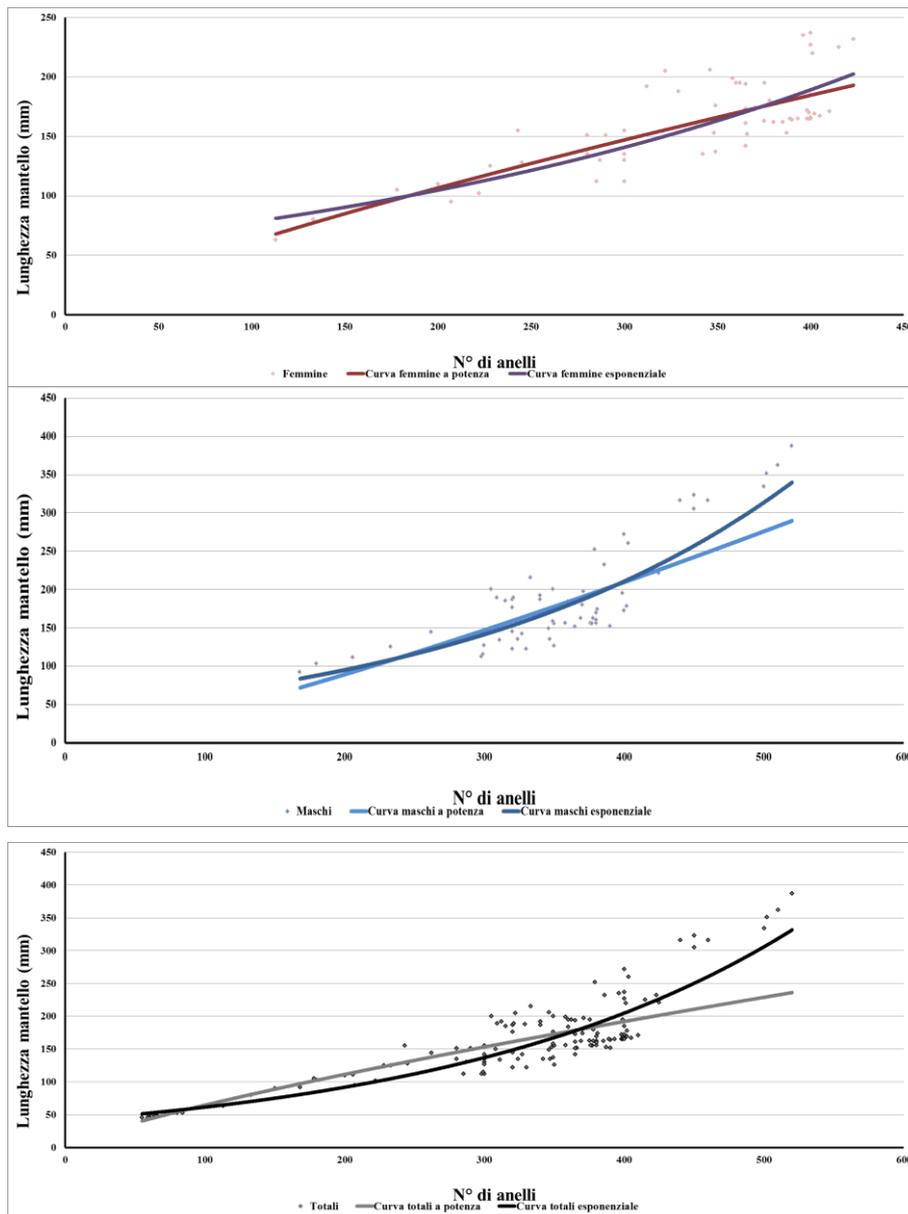


Fig. 106 – *Loligo vulgaris*: curve d'accrescimento esponenziali ed a potenza dei maschi, delle femmine e del campione totale (maschi, femmine e indeterminati) ottenute dalla relazione tra il numero di anelli e la lunghezza mantello.

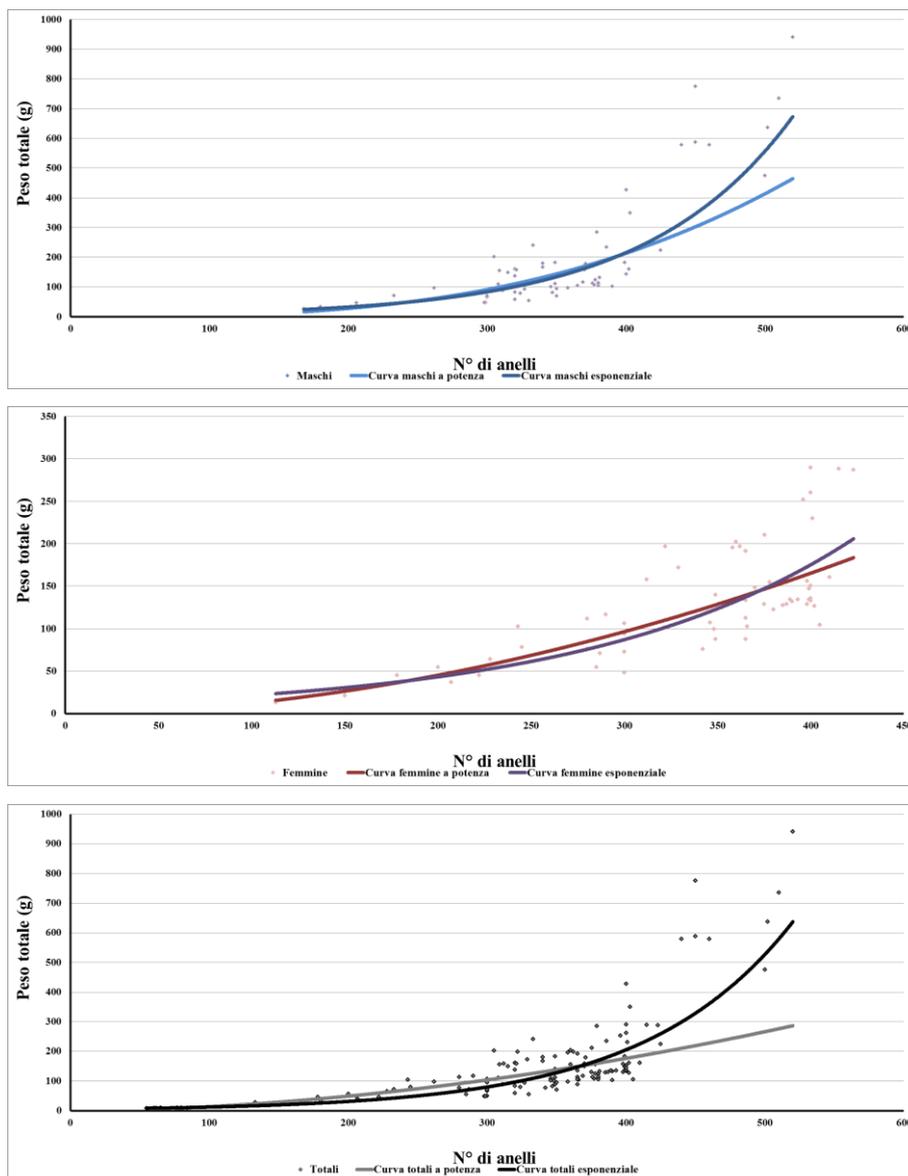


Fig. 107 – *Loligo vulgaris*: curve d'accrescimento esponenziali ed a potenza dei maschi, delle femmine e del campione totale (maschi, femmine e indeterminati) ottenute dalla relazione tra il numero di anelli ed il peso totale.

In Tabella 43 sono riportati i risultati dell’AIC e dell’RMSE relativamente alle curve esponenziali ed a potenza di *L. vulgaris*. I valori ottenuti indicano, in linea generale, che le curve esponenziali esprimono meglio l’accrescimento di questa specie rispetto a quelle a potenza: i valori dell’AIC e dell’RMSE delle curve esponenziali risultano infatti sempre più bassi rispetto delle corrispettive curve a potenza, fatta eccezione per la curva LM - N° Anelli delle femmine.

Tab.43– *Loligo vulgaris*: risultati dell’AIC ed dell’RMSE sulle curve esponenziali ed a potenza.

Curva	Sesso	AIC	RMSE
LM – N° Anelli esponenziale	Maschi	973.67	33.32
	Femmine	881.85	23.89
	<b>Totali</b>	<b>941.58</b>	<b>29.66</b>
LM – N° Anelli a potenza	Maschi	1025.57	40.21
	Femmine	876.96	23.47
	<b>Totali</b>	<b>1007.63</b>	<b>37.68</b>
PT – N° Anelli esponenziale	Maschi	1284.52	102.75
	Femmine	1055.65	44.84
	<b>Totali</b>	<b>1217.44</b>	<b>80.58</b>
PT – N° Anelli a potenza	Maschi	1359.91	135.03
	Femmine	1058.84	45.36
	<b>Totali</b>	<b>1317.20</b>	<b>115.66</b>

AIC: Akaike’s information criterion; RMSE: residual mean square error.

## CONTEGGIO DEGLI ANELLI NEI CRISTALLINI DI *LOLIGO FORBESII*

Dei 150 cristallini di *Loligo forbesii* estratti, 134 (LM: 40.0-342.0 mm; PT: 3.5-863.7) sono stati analizzati per la lettura dell'età. In Tabella 44 e in figura 108 è riportata la struttura di taglia degli individui corrispondenti.

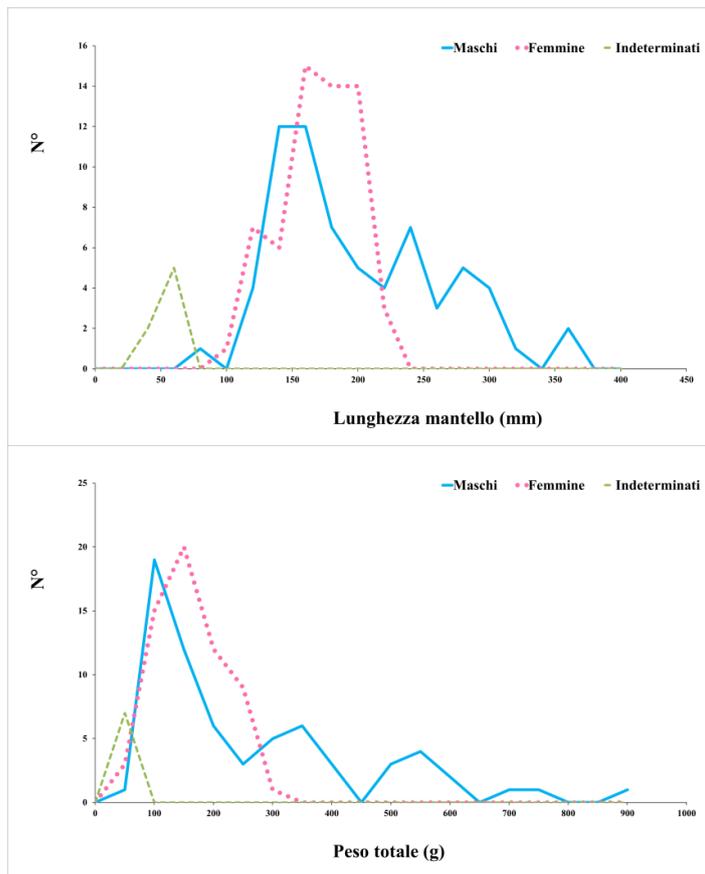


Fig. 108– *Loligo forbesii*: struttura di taglia del campione analizzato in lunghezza ed in peso.

Complessivamente, il numero degli anelli è risultato variabile tra 39 a 526 (media±dev.st:345±99), corrispondenti a individui di lunghezza mantello compresa tra 40.0 e 342.0 mm e da un peso totale oscillante tra 3.5 e 863.7 g.(Fig. 108 e Tab. 44)

Gli incrementi in lunghezza variavano tra 0.37 e 1.23 mm/ giorno (media±dev.st: 0.51±0.13) e quelli in peso tra 0.07 e 1.65 g/giorno (media±dev.st: 0.47±0.31) (Tab. 44). Più dettagliatamente, nei cristallini degli individui indeterminati in cui sono stati conteggiati da 39 a 61 anelli i tassi d'accrescimento sono risultati variabili tra 0.74 e 1.23 mm/giorno e 0.07-0.17 g/giorno (Tab. 44).

Nel cristallino del più piccolo maschio analizzato (LM: 80.0 mm; PT: 22.5 g; stadio sessuale: immaturo) sono stati conteggiati 150 anelli, mentre in quello dell'individuo più grande (LM: 420 mm; PT: 863.7 g, in via di maturazione) 526. In questo sesso sono stati registrati tassi d'accrescimento variabili tra 0.38-0.66 mm/giorno (media± dev.st: 0.51 ± 0.09) e 0.15-1.65 g/giorno (media±dev.st: 0.60± 0.38). In particolare nei maschi immaturi il numero di anelli è risultato variabile tra 150 e 502 ed i tassi d'accrescimento variavano tra 0.38-0.61 mm/giorno e 0.15-1.26 g/giorno. In quelli in via di maturazione sono stati conteggiati tra 290 e 526 anelli ed i tassi d'accrescimento oscillavano tra 0.41-0.66 mm/ giorno e 0.27-1.65 g/giorno. Sfortunatamente è stato possibile analizzare un unico individuo maturo il cui cristallino presentava 420 anelli che hanno portato alla stima dei tassi di accrescimento lineari e ponderali pari a 0.64 mm/giorno e 0.91 g/giorno, rispettivamente. Nella femmina più piccola analizzata (LM: 90.0 mm; PT: 30.7 g; stadio sessuale: immatura) sono stati conteggiati 170 anelli, mentre in quella più grande (LM: 215 mm; PT: 261.7 g, stadio sessuale: in via di maturazione) 509. In questo sesso i tassi d'accrescimento erano variabili tra 0.37-0.59 mm/giorno (media± dev.st: 0.46 ± 0.05) e 0.15-0.63 g/giorno (media±dev.st: 0.37± 0.12). In particolare negli individui immaturi il numero di anelli è risultato variabile tra 170 e 420 ed i tassi d'accrescimento tra 0.39-0.59 mm/giorno e 0.15-0.56 g/giorno. Nelle femmine in via di maturazione sono stati conteggiati tra 299 e 509 anelli ed i tassi d'accrescimento oscillavano tra 0.37-0.59 mm/giorno e 0.23-0.63 g/giorno. Per quanto concerne le femmine mature, è stato possibile analizzare un solo cristallino il cui conteggio ha messo in evidenza un numero di anelli pari a 476 e di stimare un accrescimento paria a 0.45 mm/giorno e 0.51 g/giorno (Tab. 44)

Tab. 44– *Loligo forbesii*: valori minimi, massimi e medi con relativa deviazione standard della lunghezza mantello (LM), del peso totale (PT), del numero di anelli e dei tassi di accrescimento giornalieri in lunghezza ed in peso, per sesso e stadio maturativo.

Sesso	ML (mm)	PT (g)	Anelli (N°)	Incrementi in lunghezza (mm/ giorno)	Incrementi in peso (g/ giorno)	
<b>Indeterminati</b> (N°= 7)	40-48 [44.6±3.4]	3.5-7.2 [6.1±1.2]	39-61 [49±7]	0.74-1.23 [0.93±0.17]	0.07-0.17 [0.13±0.03]	
<b>Maschi</b>	<b>Immaturo</b> (N°= 35)	80-282 [151.4±37.5]	22.5-576.2 [125.0±99.1]	150-502 [330±69]	0.38-0.61 [0.46±0.06]	0.15-1.26 [0.35±0.20]
	<b>In maturazione</b> (N°= 31)	135.0-342.0 [231.6±54.7]	88-863.7 [368.0±193.8]	290-526 [410±65]	0.41-0.66 [0.56±0.09]	0.27-1.65 [0.86±0.35]
	<b>Maturi</b> (N°= 1)	270	384.2	420	0.64	0.91
	<b>Totali</b> (67)	80-342 [190.0±62.0]	22.5-863.7 [240.0±192.0]	150-526 [368±78]	0.38-0.66 [0.51±0.09]	0.15-1.65 [0.60±0.38]
<b>Femmine</b>	<b>Immaturo</b> (N°= 33)	90-200 [145.2±26.5]	30.7-218.1 [105.2±44.7]	170-420 [323±59]	0.39-0.59 [0.45±0.05]	0.15-0.56 [0.32±0.10]
	<b>In maturazione</b> (N°= 26)	126-215 [176.8±21.6]	69.3-261.7 [171.0±48.8]	299-509 [388±54]	0.37-0.59 [0.46±0.05]	0.23-0.63 [0.44±0.10]
	<b>Maturi</b> (N= 1)	215	241.18	476	0.45	0.51
	<b>Totali</b> (60)	90-215 [160.0±30.0]	30.7-261.7 [136.0±58.0]	170-509 [354±67]	0.37-0.59 [0.46±0.05]	0.15-0.63 [0.37±0.12]
<b>Totali</b> (N°= 134)	40-342 [169.2±57.9]	3.5-863.7 [181.4±155.3]	39-526 [345±99]	0.37-1.23 [0.51±0.13]	0.07-1.65 [0.47±0.31]	

tra parentesi media ± deviazione standard.

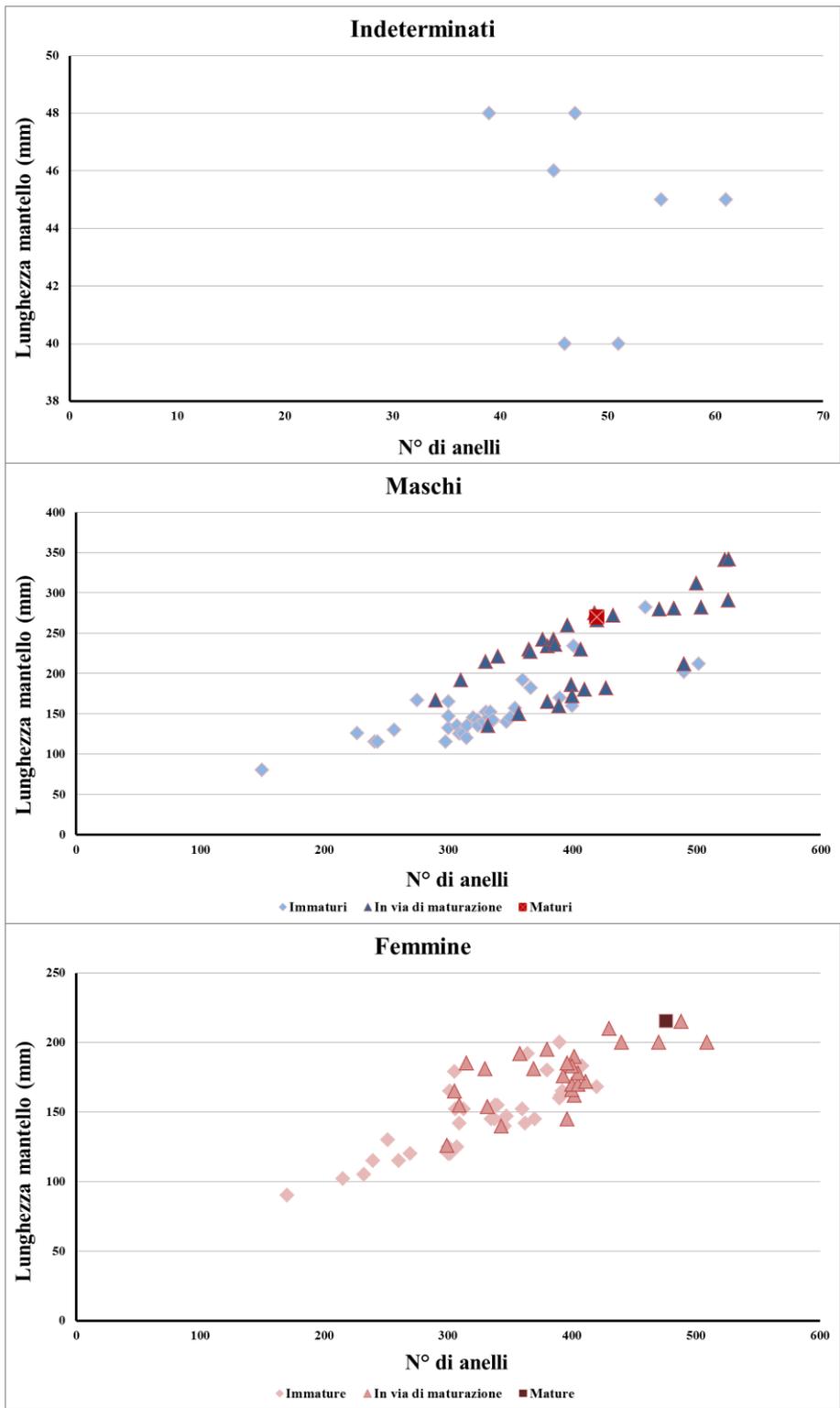


Fig. 109– *Loligo vulgaris*: relazione tra il numero di anelli e la lunghezza mantello (LM) negli indeterminati, nei maschi e nelle femmine ai differenti stadi maturativi.

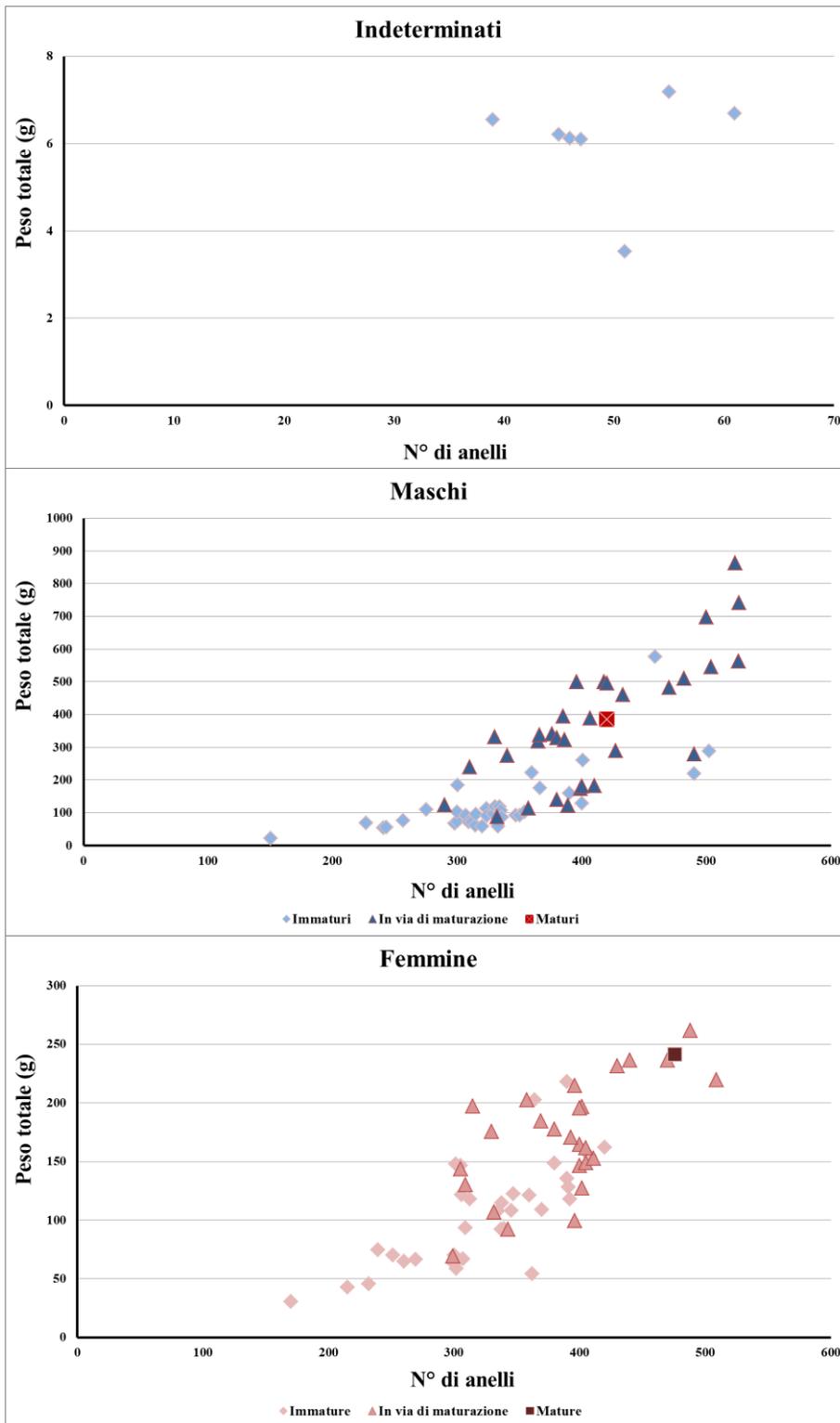


Fig. 110– *Loligo vulgaris*: relazione tra il numero di anelli ed il peso totale (PT) negli indeterminati, nei maschi e nelle femmine ai differenti stadi maturativi.

L'analisi della varianza applicata ai dati sperimentali non ha evidenziato differenze statisticamente significative nel numero di anelli tra i due sessi, evidenziando invece differenti tassi di accrescimento sia in lunghezza che in peso (Tab. 45).

Tab.45– *Loligo forbesii*: risultati dell'analisi della varianza sulla comparazione del numero di anelli e degli incrementi in lunghezza e peso tra i due sessi.

		<i>Anova</i>	
Variabile		<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
<b>Maschi VS Femmine</b>	N° Anelli	F(1, 125)= 1.28	0.2601
<b>Maschi VS Femmine</b>	Incrementi in lunghezza (mm/ giorno)	F(1, 125)= 16.59	<b>0.0001</b>
<b>Maschi VS Femmine</b>	Incrementi in peso (g/ giorno)	F(1, 125)= 19.17	<b>0.0000</b>

Anche per questa specie i modelli esponenziale e a potenza descrivono meglio la relazione tra il numero di anelli e la lunghezza del mantello/peso. Delle curve ottenute per il campione totale e separatamente per i due sessi (Fig. 111 e 112) le rispettive equazioni con i relativi coefficienti di correlazione sono riportati di seguito (Tabella 46).

Tab. 46 – *Loligo forbesii*: equazioni delle curve esponenziali ed a potenza con i rispettivi coefficienti di correlazione nei due sessi e nel campione totale (maschi, femmine e indeterminati).

	<b>Equazione esponenziale</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Equazione a potenza</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Maschi</b>	<b>ML= 50.944e<sup>(0.0034*N° anelli)</sup></b>	0.7079	<b>ML= 0.1729 *N° anelli<sup>1.1815</sup></b>	0.6912
(N°=67)	<b>PT= 7.0877e<sup>(0.0087*N° anelli)</sup></b>	0.6979	<b>PT= 4E<sup>-06</sup> *N° anelli<sup>2.998</sup></b>	0.6836
<b>Femmine</b>	<b>ML=65.885e<sup>(0.0025*N° anelli)</sup></b>	0.7058	<b>ML= 1.3021 *N° anelli<sup>0.8196</sup></b>	0.7282
(N°= 60)	<b>PT= 15.313e<sup>(0.0059*N° anelli)</sup></b>	0.6528	<b>PT= 0.0013 *N° anelli<sup>1.957</sup></b>	0.6714
<b>Campione</b>	<b>LM= 44.216e<sup>(0.0037*N° anelli)</sup></b>	0.8346	<b>LM= 2.2306*N° anelli<sup>0.739</sup></b>	0.8143
(N°=134 )	<b>PT= 5.5862 e<sup>(0.009*N° anelli)</sup></b>	0.8185	<b>PT= 0.004*N° anelli<sup>1.796</sup></b>	0.7898

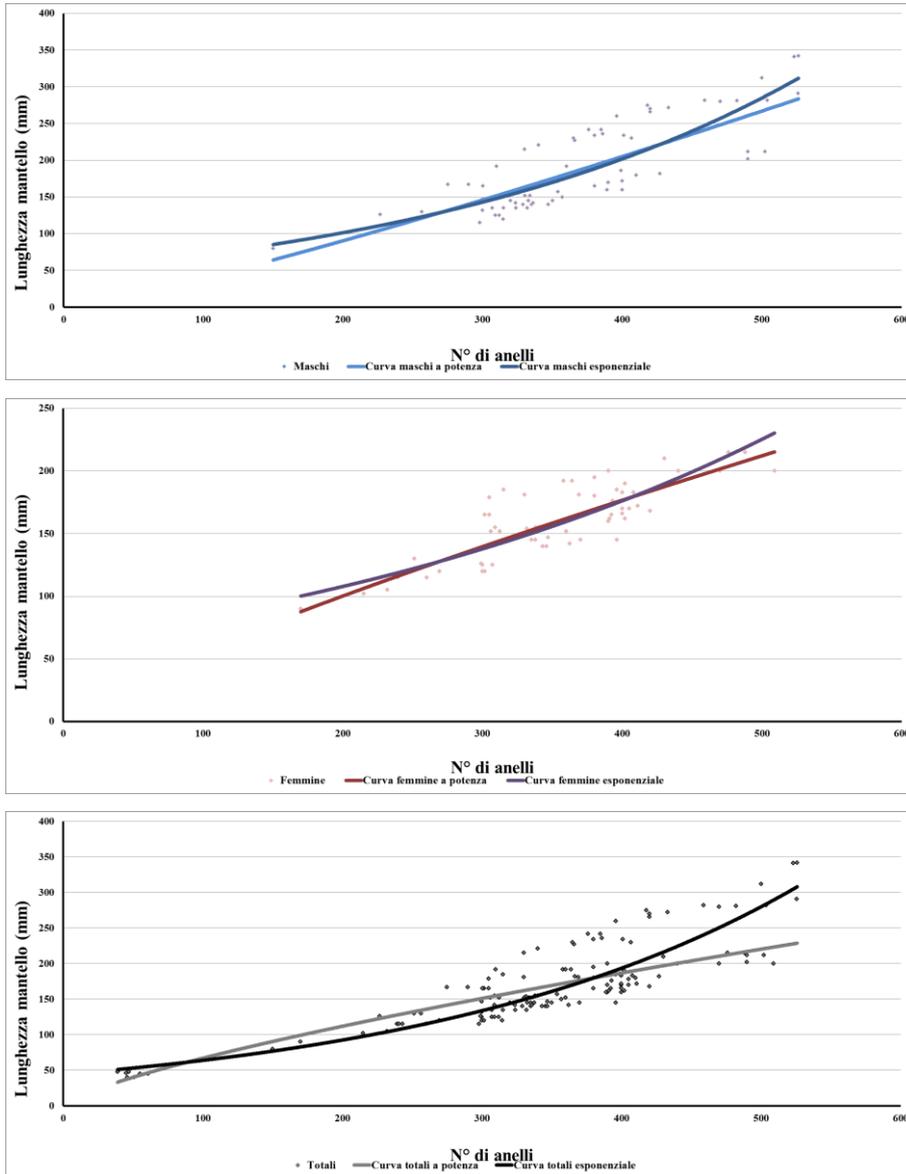


Fig. 111 – *Loligo forbesii*: curve d'accrescimento esponenziali ed a potenza dei maschi, delle femmine e del campione totale (maschi, femmine e indeterminati) ottenute dalla relazione tra il numero di anelli e la lunghezza mantello.

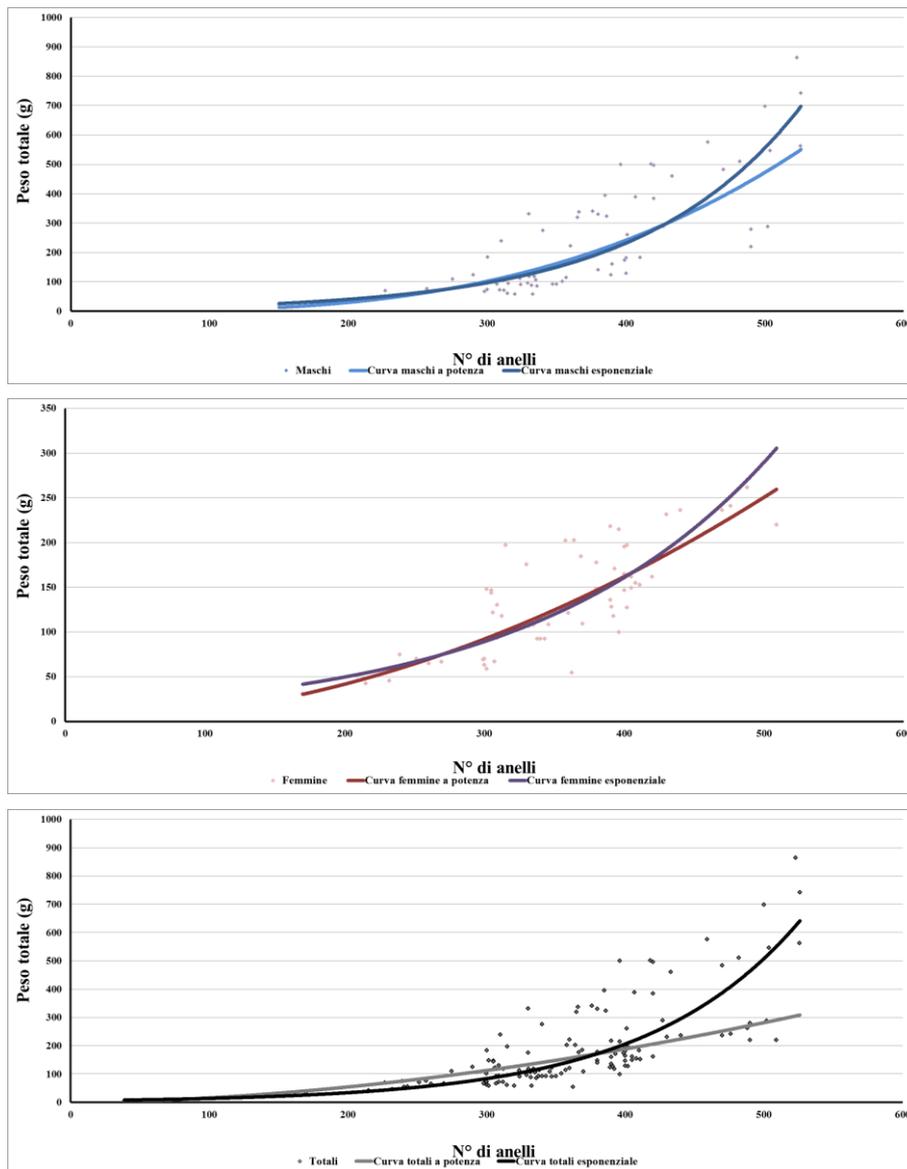


Fig. 112 – *Loligo forbesii*: curve d'accrescimento esponenziali ed a potenza dei maschi, delle femmine e del campione totale (maschi, femmine e indeterminati) ottenute dalla relazione tra il numero di anelli ed il peso totale.

In Tabella 47 sono riportati i risultati dell’AIC e dell’RMSE relativamente alle curve esponenziali ed a potenza di *Loligo forbesii*. I valori ottenuti indicano, in linea generale anche per questa specie che le curve esponenziali ottenute fittano meglio rispetto a quelle a potenza, infatti i valori dell’AIC e dell’RMSE delle curve esponenziali risultano sempre più bassi rispetto delle corrispettive curve a potenza, fatta eccezione per le curve LM - N° Anelli delle femmine, PT – N° Anelli dei maschi e PT – N° Anelli delle femmine

Tab. 47 – *Loligo forbesii*: risultati dell’AIC ed dell’RMSE sulle curve esponenziali ed a potenza.

<b>Curva</b>	<b>Sesso</b>	<b>AIC</b>	<b>RMSE</b>
<b>LM – N° Anelli Esponenziale</b>	Maschi	983.90	34.57
	Femmine	788.72	17.05
	<b>Totali</b>	<b>951.00</b>	<b>30.69</b>
<b>LM – N° Anelli a potenza</b>	Maschi	984.00	34.59
	Femmine	775.11	16.23
	<b>Totali</b>	<b>978.50</b>	<b>33.90</b>
<b>PT – N° Anelli Esponenziale</b>	Maschi	1312.55	113.55
	Femmine	1001.50	36.85
	<b>Totali</b>	<b>1270.12</b>	<b>97.53</b>
<b>PT – N° Anelli a potenza</b>	Maschi	1308.24	111.97
	Femmine	990.51	35.41
	<b>Totali</b>	<b>1322.23</b>	<b>117.80</b>

AIC: Akaike’s information criterion; RMSE: residual mean square error.

**COMPARAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI PER *LOLIGO VULGARIS* E *LOLIGO FORBESII***

L'analisi della varianza riportata in tabella 48 ha evidenziato differenze statisticamente significative per il numero di anelli esclusivamente nei campioni totali delle due specie e per gli incrementi giornalieri in mm solo nelle femmine.

Tab. 48 – Risultati della comparazione tra il numero di anelli nei cristallini di *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii*, gli incrementi in giornalieri lunghezza e di quelli in peso mediante il test dell'Anova

		<i>Anova</i>	
<b>Variabile</b>		<b>F-Ratio</b>	<b>P-Value</b>
<i>Loligo vulgaris</i> VS <i>Loligo forbesii</i>	Maschi – N° di anelli	F(1, 126)= 0.80	0.3721
	Femmine – N° di anelli	F(1, 119)= 2.11	0.1489
	<b>Totali – N° di anelli</b>	F(1, 268)= 4.88	<b>0.0280</b>
<i>Loligo vulgaris</i> VS <i>Loligo forbesii</i>	Maschi - mm/ giorno	F(1, 126)= 0.15	0.6953
	Femmine- mm/ giorno	F(1, 119)= 7.12	<b>0.0087</b>
	<b>Totali - mm/ giorno</b>	F(1, 268)=1.75	0.1868
<i>Loligo vulgaris</i> VS <i>Loligo forbesii</i>	Maschi - g/ giorno	F(1, 126)= 1.65	0.2014
	Femmine - g/ giorno	F(1, 119)= 0.02	0.8798
	<b>Totali - g/ giorno</b>	F(1, 268)= 3.17	0.0762

In grassetto sono evidenziati le differenze significative; livello di significatività P=0.05.

Le curve ottenute durante questa ricerca applicando il modello esponenziale e quello a potenza sono state inoltre confrontate con il test dell'ANCOVA (Tab. 49), questo test ha messo in evidenza differenze statisticamente significative tra le curve delle due specie, per sesso e per i totali sia per entrambi i modelli, fatta eccezione per le curve esponenziali tra il peso totale ed il numero di anelli dei maschi e dei totali (Tab. 49).

Tab. 49– Risultati delle comparazione tramite il test ANCOVA delle curve di accrescimento esponenziali e a potenza ottenute conteggiando gli anelli concentrici presenti nei cristallini di *Loligo forbesii* e *Loligo vulgaris*.

	Sesso	<i>Modello esponenziale</i>		<i>Modello a potenza</i>	
		<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
<i>L. vulgaris</i> VS <i>L. forbesii</i> LM- N° anelli	Maschi	22.61	<b>5.368E<sup>-06</sup></b>	85.49	<b>7.916E<sup>-16</sup></b>
	Femmine	146.2	<b>2.163E<sup>-22</sup></b>	1277	<b>3.947E<sup>-65</sup></b>
	Totali	8.948	<b>0.003038</b>	69.22	<b>4.567E<sup>-15</sup></b>
<i>L. vulgaris</i> VS <i>L. forbesii</i> PT- N° anelli	Maschi	1.437	0.2329	38.21	<b>8.272E<sup>-09</sup></b>
	Femmine	4.033	<b>0.0469</b>	11.29	<b>0.00105</b>
	Totali	0.1973	0.6573	16.3	<b>7.07E<sup>-05</sup></b>

In grassetto sono evidenziati le differenze significative; livello di significatività P=0.05.

## DISCUSSIONI

Ormai come già anticipato nell'introduzione di questo capitolo i tradizionali metodi indiretti per determinare l'età nei cefalopodi non sono abbastanza efficaci in relazione al rapido accrescimento e al breve ciclo vitale che contraddistingue questi organismi marini (Caddy, 1991; Arkhipkin *et al.*, 2005; Natzukari & Komine, 1992; Guerra & Rocha, 1999). Ad oggi la ricerca di metodi che consentano la determinazione dell'età in questo complesso gruppo, ha portato ad analizzare differenti strutture dure come i becchi, i gladi, gli ossi di seppia e gli statoliti che ad un attento esame presentano strutture concentriche (anelli) dovuti a deposizioni di diversa natura. In alcune strutture come il becco di *O.vulgaris* è stata appurata una deposizione giornaliera (Raya & Hernández-González, 1998; Hernández-Lo'pez *et al.*, 2001; Perales-Raya *et al.*, 2010), pertanto l'analisi di queste strutture ed il conteggio degli anelli presenti consente di stimare l'età dell'animale di appartenenza. Nel caso specifico della lettura dell'età in *L. vulgaris* e *L. forbesii* poiché i tentativi effettuati preliminarmente sui becchi e sugli statoliti non hanno avuto buon esito si è mirato all'analisi della lente del cristallino. Si è ritenuto infatti che tale analisi, potesse fornire una buona stima dell'età in relazione al fatto che l'occhio nei cefalopodi è una delle strutture che si forma fin dai primi stadi larvali (Naef, 1923), La scelta è stata fatta tuttavia con la consapevolezza dell'essere pionieri in questo tipo di valutazione e specificatamente per i cefalopodi decapodiformi. L'unico studio di riferimento riguarda infatti la specie *Enteroctopus megalocythus* un ottopode non mediterraneo (Cárdenas *et al.*, 2011). L'applicazione della tecnica proposta dagli autori, si è in effetti rivelata efficace consentendo di appurare la presenza di anelli concentrici anche nei cristallini dei calamari oggetto di studio. Tuttavia durante la preparazione dei cristallini la metodica è stata modificata e affinata il che ha reso tutta la procedura più snella ed adatta alla lente in oggetto consentendo di fare le valutazioni prefissate in premessa per entrambe le specie e specificatamente in alcune fasi dello sviluppo ontogenetico dei due sessi. Va sottolineato che questa analisi, che nell'ambito del triennio di studio è stata concentrata soprattutto nell'ultimo anno, ha precluso la possibilità di analizzare tutti gli individui maturi e in deposizione analizzati invece per le valutazioni sulla riproduzione. I risultati ottenuti

mettono in evidenza che il numero di anelli aumenti all'aumentare della taglia dell'animale in entrambi i sessi delle due specie e con nessuna differenza statisticamente significativa. Tale correlazione sembra diventare più debole quando l'animale è in fase di maturazione. Se consideriamo la specie *L. vulgaris*, l'animale più piccolo analizzato (46.0 mm LM; 49.1 g) indeterminabile sessualmente presentava un cristallino con 55 anelli mentre quello più grande (maschio maturo di 387 mm LM e 940 g di peso) ne aveva 520, il numero maggiore riscontrato in tutta l'analisi. In *L. forbesii* si è osservato un minimo di 39 anelli (individuo 40 mm LM e 2.5 g indeterminato di) ed un massimo di 526 (maschio in maturazione di 342 mm LM e 863.7 g). Assumendo quindi come suggerito per altre strutture dure (Hurley *et al.*, 1985; Jakson, 1989 e Lipinski, 1986; Hernández-Lopez *et al.*, 2001) e per lo stesso cristallino (Cárdenas *et al.*, 2011) che ogni anello equivalga ad un giorno di vita dell'animale, è plausibile dedurre che in entrambe le specie gli animali più piccoli da noi campionati (quindi reclutati dall'attrezzo da pesca) possano avere avuto poco più di 1 mese di vita e quelli più grandi circa 17 mesi. Poichè il maschio con 526 anelli non aveva ancora pienamente raggiunto la maturità sessuale possiamo ipotizzare un ciclo vitale che si possa estendere a circa 18-20 mesi in relazione anche del fatto che la specie è semelpara quindi destinata a morire dopo la riproduzione. Considerando i tassi di accrescimento giornalieri ottenuti, per entrambe le specie si osserva un tasso medio in lunghezza mantello maggiore negli individui più piccoli indeterminati (0.75 mm in *L. vulgaris* e 0.93 mm in *L. forbesii*). Man mano che gli animali diventano più grandi sia nei maschi che nelle femmine il tasso diminuisce e tende a stabilizzarsi intorno ai 0.50 mm LM. Il trend opposto si osserva per gli incrementi in peso con valori in aumento dagli individui indeterminati (0.11g in *vulgaris* e 0.13 g in *forbesii*) fino a quelli maturi, più marcatamente nei maschi rispetto alle femmine anche se confermato statisticamente solo per *L. forbesii*. L'Anova ha evidenziato un maggior accrescimento in lunghezza delle femmine di *vulgaris* rispetto a quelle di *forbesii* non rilevabile invece in peso. Sempre assumendo che ogni anello corrisponda ad un giorno di vita per ciascun sesso sono state elaborate le curve di accrescimento (in lunghezza e in peso) e vista l'assenza di differenze tra i sessi per il numero di anelli (come evidenziato dall'Anova) si è proceduto all'elaborazione anche di quelle dei campioni totali. Nonostante i dati di accrescimento si adattassero sia al modello a

potenza che esponenziale, l'analisi statistica effettuata (AIC E RMSE) ha portato ad identificare il modello esponenziale come il più adatto alla rappresentazione dell'accrescimento di entrambe le specie in accordo con quanto riportato per *L.vulgaris* anche da altri autori in Atlantico (Rocha & Guerra, 1999 e Natzukari & Komine,1992, Moreno et al., 2007). L'Ancova ha evidenziato inoltre differenze statistiche per curve esponenziali in lunghezza tra le due specie. In linea generale i risultati emersi in questo lavoro, in assenza di precedenti studi in Mediterraneo forniscono nuove informazioni di queste specie sia per la durata sul ciclo vitale, sul modello di crescita ed sui tassi di accrescimento. I risultati ottenuti si trovano in accordo con quanto ottenuto in aree atlantiche con l'applicazione di altri metodi diretti (Bettencourt *et al.*,1996, Rocha&Guerra,1999; Gonzáles *et al.*,2010, Arkhipkin, 1995) (Allegato V) mettendo in evidenza la validità della tecnica di lettura dell'età sul cristallino.

## Capitolo 6

---

### Considerazioni finali

Tenendo conto di quanto già dettagliatamente riportato nelle conclusioni di ogni capitolo di questa tesi di dottorato, i risultati ottenuti sui calamari *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii*, complessivamente possono essere considerati soddisfacenti per tutti gli aspetti analizzati. In particolar modo la sperimentazione fatta sulla lente del cristallino per la lettura dell'età sulla base dei buoni esiti ottenuti e grazie all'affinamento della tecnica preesistente stilata in origine per gli ottopodi apre la strada alla possibilità di utilizzare questa metodica in futuri studi anche sui decapodiformi.

Lo studio del processo riproduttivo nella sua complessità ha mostrato come l'approccio multidisciplinare (morfologico istologico e gravimetrico) sia stato determinante per l'interpretazione dei risultati ottenuti in merito al pattern riproduttivo delle specie. In relazione a ciò la scala di maturità stilata ad hoc per le due specie e separatamente per i due sessi così come le relazioni taglia peso effettuate possono trovare utilizzo in ambito di altre ricerche basate sulla valutazione della maturità sessuale di queste specie e sulla loro struttura di taglia. Allo stesso modo le correlazioni morfometriche effettuate sulle mandibole delle due specie possono rappresentare un utile ausilio negli studi trofici dei predatori di queste specie. L'indagine sulle catture della pesca conferma l'importanza socio-economica che queste risorse rivestono nel mondo della pesca sarda e come anche per queste specie a rinnovo veloce, esistano delle fluttuazioni annuali. Queste pur rientrando nella fisiologia del gruppo di appartenenza, volgono lo sguardo verso la possibilità di dover adottare in futuro misure gestionali mirate al razionale sfruttamento di queste risorse. La semelparità e un ciclo vitale di circa 18-20 mesi, peculiarità confermate dalla presente ricerca pongono l'accento sull'inevitabile inefficacia di alcune convenzionali misure gestionali i cui effetti sulle popolazioni sono generalmente a lungo o medio termine.

Comparando le due specie a fronte di differenze nelle dimensioni massime raggiungibili e nell'habitat di appartenenza, emergono molteplici analogie evidenziabili nella morfologia degli apparati, nei tassi di crescita e nel pattern riproduttivo. Pur avendo dei range batimetrici preferenziali nettamente distinti; presentano livelli di sovrapposizione e compiono all'occorrenza imponenti spostamenti verticali per probabili esigenze trofiche e riproduttive. Ne sono prova il rinvenimento di una massa di uova deposte di *L.forbesii* a soli 170 m e le catture eccezionali di *L.vulgaris* oltre i 400 m; non si esclude nemmeno che tali spostamenti lungo la colonna d'acqua possano avvenire in risposta a cambiamenti delle condizioni ambientali. Tra i fattori ambientali in particolar modo la temperatura dell'acqua può influenzare la schiusa delle uova e lo sviluppo embrionale determinando di conseguenza anche differenze nei tassi di accrescimento, nelle taglie alla maturità sessuale e nei picchi di deposizione. Ciò potrebbe giustificare la variabilità dei dati registrati in altre aree geografiche mediterranee e atlantiche.

Basandoci sugli schemi di riproduzione proposti per i cefalopodi (Rocha *et al.*, 2001) stupisce che una specie costiera come *L.vulgaris* presenti un periodo di riproduzione dilatato, deponga i prodotti sessuali ad intermittenza ed abbia un tipo di fertilizzazione delle uova esterna (presenza di ricettacoli seminali) in quanto sono tutte caratteristiche tipicamente dell'ambiente profondo. Allo stesso tempo se consideriamo che in ambiente costiero al contrario di quello profondo i prodotti sessuali sono numerosi e di piccole dimensioni, le caratteristiche riscontrate nell'output riproduttivo di questa specie potrebbero essere considerato a metà strada tra i due ambienti. Tali evidenze mostrano che nei cefalopodi le strategie sono molto più complesse di quanto si pensi e che la loro capacità di adattamento all'ambiente è molto forte. In generale le conoscenze acquisite durante questa indagine rappresentano un tassello importante per ampliare le conoscenze sui due calamari mediterranei e più generalmente sui cefalopodi nell'ottica di poterle aumentare ed approfondire.

Allegato I – Parametri delle relazioni taglia peso per *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesii*

specie	Area geografica	sex	a	b	Unità	Referenze	
<i>Loligo vulgaris</i>	Mediterraneo	Northern Tyrrhenian	0,1328 0,1460	2,49 2,43	cm	Ria <i>et al.</i> , 2005	
		Greek Seas	0,0001 0,0002	2,81 2,59			
	Oceano Atlantico	N France	0,0008 0,0019	2,38 2,20	cm	Moreno <i>et al.</i> ,2002	
		Saharan Bank	0,0003 0,0004	2,56 2,47			
		Portugal		0,10715 0,12794	2,554 2,458	cm	Raja <i>et al.</i> , 1999
				0,0003 0,0006	2,54 2,41		
				0,00054 0,00062	2,43 2,38	cm	Coelho <i>et al.</i> , 1994
	<i>Loligo forbesii</i>	Mediterraneo	Northern Tyrrhenian	0,1536 0,1860	2,46 2,38	cm	Ria <i>et al.</i> , 2005
			Sicilian Channel	0,164 0,147	2,418 2,455		

Allegato II – Taglie di maturità minime (ML<sub>min</sub>) e al 50% (taglia in cui il 50% della popolazione è matura) per entrambi i sessi in *Loligo vulgaris*

Specie	Area	Sesso	ML <sub>50</sub> (cm)	ML <sub>min</sub> (cm)	Referenze	
<i>Loligo vulgaris</i>	Northern Tyrrhenian	♀	17		Ria <i>et al.</i> , 2005	
		♂	18,8			
	Ligurian Sea	♀	20	18	Wurtz & Giuffra, 1989	
		♂	25	15,5		
	Mediterraneo	Adriatic Sea	♀	15,8		Flamigni & Giovanardi, 1984
			♂	11,8		
	Greek Seas	♀	15-16		Soro & Piccinetti Manfrin, 1989	
		♂	14-15			
	N France	♀	18,9	11,9	Moreno <i>et al.</i> , 2002	
		♂	13,5	9,5		
	Oceanico Atlantico	NW Portugal	♀	18,1	14	Moreno <i>et al.</i> , 2002
			♂	17,9	12	
	Saharan Bank	♀	18,2	12	Moreno <i>et al.</i> , 2005	
		♂	16,6	8		
	Saharan Bank	♀	17,6	15	Moreno <i>et al.</i> , 2002	
		♂	15,3	8		
Saharan Bank	♀	22	16,8	Moreno <i>et al.</i> , 2002		
	♂	22,8	10,4			
Saharan Bank	♀	22	16	Raja <i>et al.</i> , 1999		
	♂	16-18	10			

Allegato III – Taglie di maturità minime ( $ML_{min}$ ) e al 50% ( $ML_{50}$ ) (taglia in cui il 50% della popolazione è matura) per entrambi i sessi in *Loligo forbesii*

	Area	Sesso	$ML_{50}$ (cm)	$ML_{min}$ (cm)	Referenze	
<i>Loligo forbesii</i>	Mediterraneo	Sicilian Channel		22,5	Ragonese&Jereb,1986	
		Northern Tyrrhenian	♂	20,3	Ria et al., 2005	
			♀	21,6		
			♂	40	Mangold&Boletzky,1987	
	♀		90			
	Oceano Atlantico		♂	19,2	16	Boyle&Ngoile,1993
			♀	20,5	14	
		Scottish waters			15	Lum-kong et al.,1992
				14		

Allegato IV- Valori di Fecondità potenziale nelle femmine (PF\_F) e nei maschi (PF\_M), lunghezza degli oociti e delle spermatofore in *L. vulgaris* e *L. forbesii*

	Area	PF_F	Lunghezza oociti (mm)	Oociti maturi (mm)	PF_M	Lunghezza spermatofore (mm)	Referenze	
<i>Loligo vulgaris</i>	Mediterraneo	Catalan Sea	3000-6000	1,8-2,3x1,5	815	10-18	Mangold-Wirz,1963	
		Central Adriatic Sea	1337-10146 (5883)	0,17-3,74 (1,59)	2,11-3,74	126-754	7,5-14	Mangold-Wirz (in Grassé, 1989)
	Oceano atlantico	Galician waters	max10000	0,1 - 4,1				Rocha & Guerra,1996
		NW Africa	28500-74200	0,1-2,2	2-2,2 x 1,5-1,6			Laptikhovsky,2000
		North Africa	1300-42446					Baddy,1988 (in Laptikhovsky,2000)
		Southern Portugal	1441-14886	1,64-2,66				Coelho et al., 1994(in Laptikhovsky,2000)
<i>Loligo forbesii</i>	Oceano atlantico	Southern Portugal	1000-16000		1023	9-25	Boyle,1995	
			1853				Lum-Kong,1993	
		Galician waters	0,1-4,3	3,06	0,1-4,3			Rocha & Guerra,1996

Allegato V- Stime dell'età e della durata del ciclo biologico *L. vulgaris* e *L. forbesii*

	Area	Metodo	sezzo	Età alla maturità	Età massima (giorni)	Età minima (giorni)	Età stimata (giorni)	Ciclo vitale stimato	Referenze	
<i>Loligo vulgaris</i>	NW Portugal	Statolith	O <sub>3</sub> +O		436	87		15 months	Moreno et al., 2007	
			O <sub>3</sub> +O	298	446					
			O <sub>3</sub> +O	277		180(**)	150(**)		Moreno et al., 2005	
	NE Atlantic	Statolith	O <sub>3</sub> +O		240				1 year	Bettencourt et al., 1996
			O <sub>3</sub> +O		270					
	Saharan Bank	Statolith	Paralarvae					80		González et al., 2010
			O <sub>3</sub> +O		361	167	167-382		1 year	Rocha & Guerra, 1999
		O <sub>3</sub> +O		382	-					
<i>Loligo forbesii</i>	NE Atlantic	Statolith	O <sub>3</sub> +O		294	514(322mm)	119 (67 mm)		1 year	Rocha & Guerra, 1999
			O <sub>3</sub> +O		308	480(400mm)	382 (383 mm)			

## Bibliografia

- Akaike, H.**, 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19, 716-723.
- Arkhipkin A., 1995.** Age, growth and maturation of the European squid *Loligo vulgaris* (Myopsida, Loliginidae) on the West Saharan Shelf. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 75, 593-604.
- Belcari P. & Sartor P.** 1993 – Bottom trawling teuthofauna of the northern Tyrrhenian Sea. *Sci. Mar.*, 57(2-3): 145-152.
- Belcari P.** (1999) – *Loligo vulgaris*. In Synthesis of the Knowledge on Bottom Fishery Resources in Central Mediterranean (Italy and Corsica), pp. 710 – 714. Ed. by G. Relini, J. Bertrand, and A. Zamboni. *Biologia Marina Mediterranea*, 6 (Suppl. 1). 868 pp.
- Bertrand J., Gil de Sola L., Papaconstantinou C., Relini G. & Souplet A.** – 2002. The general specifications of the MEDITS surveys. *Scientia Marina*, 66(2): 9–17.
- Bettencourt V., Coelho L., Andrade J.P. and Guerra A., 1996.** Age and growth of the squid *Loligo vulgaris* off the south coast of Portugal, using statolith analysis. *Moll. Stud.*, 62, 359-366
- Boletzky S.V.** (1979) – Observation on the early post-embryonic development of *Loligo vulgaris* (Mollusca, Cephalopoda). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 25-26(10): 155-158.
- Cabanellas -Reboredo M., Alos J. Palmer M., and Morales-Nin B.** 2012 – Environmental effects on recreational squid jigging fishery catches. *ICES Journal of Marine Science*, 69 (10), 1823–1830.
- Cabanellas-Reboredo, M., Alos, J., Palmer, M., Gradel, M., and Morales-Nin, B.** 2011 – Simulating the indirect handline jigging effects on the European squid *Loligo vulgaris* in captivity. *Fisheries Research*, 110: 435–440.
- Caddy, J.F.**, 1991. Daily rings on squid statoliths: an opportunity to test standard population models? In: Jereb, P., Ragonese, S., Boletzky, S.V. (Eds.), *Squid Age Determination using Statoliths*. Proceedings of the International Workshop. 9–14 October 1989, Special Pub. No 1. Mazara del Vallo, Scilly, Italy, pp. 83–96.
- Capua D.**, 2004. – I Cefalopodi delle coste dell'Arcipelago Toscano. Sistematica, anatomia, fisiologia e sfruttamento delle specie presenti nel Mediterraneo. *Cibm, consorzio per il centro interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata "Guido Bacci"*. 366 pp
- Cardenas E.R.B., Correa S.M., Guzman C. R., Barahona N., Briceno F., Villegas M.J., Paredes R.**, 2011– Eye lens structure of the octopus *Enteroctopus Megalocyathus* : Evidence of Growth. *Jour. of Shel. Res.*, Vol. 30, No. 2, 199–204
- Challier L., Pierce G. J., Robin J. P.** 2006 – Spatial and temporal variation in age and growth in juvenile *Loligo forbesi* and relationships with recruitment in the English Channel and Scottish waters. *Journal of Sea Research* 55 :217– 229.
- Chen C.S., Pierce G.J., Wang J, Robin J.-P., Poulard J.C., Pereira J. Zuur A.F., Boyle P.R., Bailey N., Beare D.J., Jereb P., Ragonese S., Mannini A., Orsi-Relini L.**, 2006 The apparent disappearance of *Loligo forbesi* from the south of its range in the 1990s: Trends in *Loligo* spp. abundance in the northeast Atlantic and possible environmental influences. *Fish. Res.* 78 ,44–54.
- Clarke M.R.**, 1963. – The identification of Cephalopod “beaks” and the relationship between beak size and total body weight. *Bull. of the British Museu (Natural History) zool.*, 8(10): 421-480
- Clarke M.R.**, 1986. – A Handbook for the Identification of Cephalopod Beaks. *Mar. Biol. Ass. U.K. Plymouth*. Clarendon Press, Oxford, 270 pp.

- Coelho, M. L., Domingues, P., Balguerías, E., Fernández, M., and Andrade, J. P.** 1997 – A comparative study of the diet of *Loligo vulgaris* (Lamarck, 1799; Mollusca: Cephalopoda) from the south coast of Portugal and the Saharan Bank (Central East Atlantic). *Fisheries Research*, **29**: 245 – 255.
- Coelho, M. L., Quintela, J., Bettencourt, V., Olavo, G., and Villa, H.** 1994 – Population structure, maturation and fecundity of the squid *Loligo vulgaris* from southern Portugal. *Fish. Res.*, **21**: 87 – 102.
- Cuccu D., Addis P., Damele F., Manfrin Piccinetti G.,** 2003 – Primo censimento sulla teutofauna nei mari circostanti la Sardegna. *Biol. Mar. Medit.*, **10** (2): 795-798
- Cuccu D., Mereu M., Cau Al., Pesci P., Cau A.,** 2013a. Reproductive development versus estimated age and size in a wild Mediterranean population of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda: Octopodidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **93**(3): 843-849
- Cuccu D., Mereu M., Porcu C., Follesa M.C., Cau Al., Cau A.,** 2013b. Development of sexual organs and fecundity in *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 from the Sardinian waters (Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science*, **14**(2): 270-27
- D'onghia G., Matarrese A., Tursi A., Maiorano P. & Panetta P.** 1995 – Osservazioni sulla teutofauna epi e mesobatale nel Mediterraneo orientale (mar Ionio e mar Egeo). *Biol. Mar. Medit.*, **2**(2): 199-204.
- Flamigni C., Giovanardi O.** 1984 – Biological data, collected during the Pipeta expeditions, on the squid *Loligo vulgaris* Lam. in the Adriatic. *FAO Fish. Rep.*, **290**: 143-146.
- González J.A. & Lonzano I.L.** – 1992. Determinación de curvas de madurez sexual en la vieja, *Sparisoma* (*Euscarus*) *cretense* (L.) (Osteichthyes, Scaridae) de Canarias. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, **8**(2): 271–297.
- González, A. F., López, A., Guerra, A., and Barreiro, A.** 1994 – Diets of marine mammals stranded on the northwestern Spanish Atlantic coast with special reference to Cephalopoda. *Fish. Res.* **21**: 179 – 191.
- Gonzalez, M., and Sanchez, P.** 2002 – Cephalopod assemblages caught by trawling along the Iberian Peninsula Mediterranean coast. *Scientia Marina*, **66**: 199–208.
- Guerra, A., and Rocha, F.** 1994 –The life history of *Loligo vulgaris* and *Loligo forbesi* (Cephalopoda: Loliginidae) in Galician waters (NW Spain). *Fish. Res.*, **21**: 43 – 70.
- Guerra, A., Sánchez, P., and Rocha, F.** 1994 – The Spanish fishery for *Loligo*: recent trends. *Fish. Res.*, **21**: 217 – 230.
- Haddor, M.,** 2001. Modelling and quantitative methods in fisheries. Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton, FL; 406 pp.
- Hanlon R.T. & Messenger J.B., 1996. – Cephalopod Behaviour. *Cambridge University Press*, 232 pp.
- Hernández García V. & Castro J.J.** – 1998. Morphological variability in *Illex coindetii* (Cephalopoda: Ommastrephidae) along the North–west coast of Africa. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **78**: 1259–1268.
- Hernández López J.L., Castro Hernández J.J. & Hernández García V.** – 2001. Age determined from the daily deposition of concentric rings on common octopus (*Octopus vulgaris*) beaks. *Fishery Bulletin*, **99**(4): 679–684.
- Hoving H.J.T. & Lipinski M.R.,** 2009. – Female reproductive biology, and age of deep-sea squid *Histioteuthis miranda* from southern Africa. *ICES Journal of Marine Science*, **66**: 1868-1872

- Jereb P. & Ragonese S.**, 1986. – Un esemplare di *Loligo forbesi* (Steenstrup, 1856) di notevoli dimensioni proveniente dalla pesca locale di Mazara del Vallo (Canale di Sicilia). *Nova Thalassia*, 8(3): 675-676
- Jereb, P., Vecchione, M. & Roper, C.F.E.** 2010 – Family Loliginidae. In P. Jereb & C.F.E. Roper, eds. Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of species known to date. Volume 2. Myopsid and Oegopsid Squids. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 4, Vol. 2. Rome, FAO. pp. 38–117.
- Juanicó, M.**, 1983: Squid maturity scales for population analysis. p. 341-348. In: Advances in assessment of world Cephalopod resources – FAO Fisheries Technical Papers, n° 231. J.F. Caddy (Ed). FAO, Rome.
- Laptikhovskiy V.**, 2000. Fecundity of the squid *Loligo vulgaris* Lamarck, 1798 (Myopsida, Loliginidae) off northwest Africa. *Sci. Mar.* **64** (3):275-278
- Lipinski M.** (1995). Sexual maturation in squid: quantum or continuum? *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 15: 207-223
- Lum Kong A., Pierce G.J. & Yau C.**, 1992. – Timing of spawning and recruitment in *Loligo forbesi* (Cephalopoda: Loliginidae) in Scottish waters. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 72: 301-311.
- Mangold K. & Boletzky S.v.**, 1988. – Mediterranean Cephalopod Fauna. *The Mollusca*, 12: 315-330.
- Mangold K. & Wirz K.**, 1963. – Biologie des Céphalopodes benthiques et nectoniques de la mer Catalane. *Vie et Milieu* (suppl.):15-33.
- Mereu M., Agus B., Marongiu M., Cau A., Jereb P., Cuccu D.** 2013 – Finding of two *Loliginidae* egg masses in the Sardinian waters. *Biol. Mar. Medit.*
- Morales-Nin, B., Moranta, J., Garcí'a, C., Tugores, P., Grau, A.M., Riera, F., and Cerda` , M.** 2005 – The recreational fishery off Majorca Island (western Mediterranean): some implications for coastal resource management. *ICES Journal of Marine Science*, **62**: 727–739.
- Moreno A., Azevedo M., Pereira J. & Pierce G. J.** 2007 – Growth strategies in the squid *Loligo vulgaris* from Portuguese waters. *Mar. Biol. Res.*, **3**: 49-59 .
- Moreno A., Pereira J., Arvanitidis C., Robin J.P., Koutsoubas D., Perales-Raya C., Cunha M.M., Balguerías E. & Denis V.** 2002 – Biological variation of *Loligo vulgaris* (Cephalopoda: Loliginidae) in the eastern Atlantic and Mediterranean. *Bull. of mar. Sc.*, **71** (1): 515–534.
- Natsukari, Y. and N. Komine.** 1992. Age and growth estimation of the European squid *Loligo vulgaris*, based on statolith microstructure. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 72(2): 271-280.
- Nigmatullin, Ch. M.** 1975 – The food of commercial cephalopods from the shelf waters off Spanish Sahara and Mauritania. *Oceanological Studies, Fishery Biology and Fisheries in the Atlantic Ocean and the Baltic Sea*, **58** (in Russian, with English abstract).
- Orsi Relini L., Mannini A., Lanteri L. & Beccornia E.**, 2009. First record of an egg mass of *Loligo forbesi* (Cephalopoda: Loliginidae) in the Ligurian Sea, with notes about egg laying patterns in southern populations *Boll. Malacol.*, **45**: 27-33 (suppl.8, 2009).
- Perales-Raya C., Bartolome´ A., Garcí'a-Santamarí'a M.T., Pascual-Alayo´n P. and Almansa E.** 2010 Age estimation obtained from analysis of octopus (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) beaks: improvements and comparisons. *Fisheries Research* 106, 171–176.

- Pierce G. J., Hastie L. C., Guerra A., Thorpe R.S., Howard F.G., Boyle P.R.**, 1994. Morphometric variation in *Loligo forbesi* and *Loligo vulgaris* : regional, seasonal, sex, maturity and worker differences. *Fish. Res.* 21 127-148.
- Raya C.P. and Hernández-González C.L.** 1998 Growth lines within the beak microstructure of the octopus *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797. *South African Journal of Marine Science* 20, 135–142.
- Raya C.P., Balguerías E., Fernández-Núñez M.M., Pierce G.J.** 1999 – On reproduction and age of the squid *Loligo vulgaris* from the Saharan Bank (north-west African coast). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **79**, 111-120.
- Relini G. & Orsi Relini L.** 1984 – The role of Cephalopods in the inshore trawl fishing of the Ligurian sea. *Oebalia*, **10**: 37-58.
- Ria M., Rustighi C., Casotti M., Silvestri R. & Baino R.** 2005 – Note sulla distribuzione e biologia di *Loligo vulgaris* e *Loligo forbesi* nelle acque toscane. *Biol. Mar. Medit.*, **12** (1): 575-579.
- Rocha F. & Guerra A.**, 1996. - Signs of an extended and intermittent terminal spawning in the squids *Loligo vulgaris* Lamarck and *Loligo forbesi* Steenstrup (Cephalopoda: Loliginidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 207: 177-189.
- Rocha F., Castro B.G., Gil M.S. & Guerra A. (1994) – The diets of *Loligo vulgaris* and *L. forbesi* (Cephalopoda: Loliginidae) in northwestern Spanish Atlantic waters. *Sarsia*, **79**: 119-126.
- Rocha F., Guerra Á. & González Á.F. (2001) – A review of reproductive strategies in Cephalopods. *Biol. Rev.*, **76**: 291-304.
- Roper C.F.E. & Voss G.L. – 1983.** Guidelines for taxonomic descriptions of Cephalopod species. *Memoirs of the National Museum Victoria*, 44: 48–63.
- Royer J, Peries P, Robin J-P.** 2002 – Stock assessments of English Channel Loliginid squid: updated depletion methods and new analytical methods. *ICES Journal of Marine Science* **59**:445-57.
- Salman A. & Laptikhovskiy V.**, 2002. – First occurrence of eggs masses of *Loligo forbesi* (Cephalopoda: Loliginidae) in deep waters of the Aegean Sea. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **82**: 925-926.
- Salman, A.** 2004. The role of cephalopods in the diet of swordfish (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) in the Aegean Sea (eastern Mediterranean). *Bulletin of Marine Science*, **74**: 21 – 29.
- Sanchez P., Demestre M., Recasens L., Maynou F. and Martín P.** 2008 – Combining GIS and GAMs to identify potential habitats of squid *Loligo vulgaris* in the northwestern Mediterranean. *Hydrobiologia* **612**:91-98.
- Sanchez P., and Guerra A.**, 1994. Bathymetric distribution and aspects of the life history of the loliginid squid *Loligo vulgaris* (Mollusca: Cephalopoda) in the Catalan Sea (NW Mediterranean). *Iberus*, **12** (2) 1-12.
- Semmens J.M., Pecl G.T., Villanueva R., Jouffre D., Sobrino I., Wood J.B. & Rigby P.R. – 2004.** Understanding octopus growth: patterns, variability and physiology. *Marine and Freshwater Research*, 55: 367–377.
- Sifner, S. K., and Vrgoc, N.** 2004 – Population structure, maturation and reproduction of the European squid, *Loligo vulgaris*, in the Central Adriatic Sea. *Fish. Res.*, **69**: 239 –249.
- Silva L., Sobrino I. & Ramos F. – 2002.** Reproductive biology of the common octopus *Octopus vulgaris* Cuvier, 1797 (Cephalopoda: Octopodidae) in the Gulf of Cádiz (SW Spain). *Bulletin of Marine Science*, 71: 837–850.
- Soliani L. – 2004.** Fondamenti di statistica applicata all'analisi e alla gestione dell'ambiente.

Soro S. & Manfrin Piccinetti G. (1989) – Biologia e pesca di Cefalopodi in Adriatico. *Nova Thal.*, **10**(1): 493-498.

**Turk, P. E., Hanlon, R. T., Bradford, L. A., and Yang, W. T.** 1986 – Aspects of feeding, growth and survival of the European squid, *Loligo vulgaris* Lamarck, 1799, reared through the early growth stages. *Vie et Milieu*, **36**: 9 – 13.

**Worms J.** 1983 a – Schema migratoire d'une population de *Loligo vulgaris* Lam. (Cephalopoda, Teuthoidea) du Golfe de Lion (France). *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, **28** (5): 277-278.

Worms J. (1983 b) – *Loligo vulgaris*. In : P.R.Boyle (Ed.) – *Cephalopods life cycles*. **1**, Academic Press : 143-157.

**Wurtz M. & Giuffra E.** 1989 – Riproduzione e accrescimento di *Loligo vulgaris* (Cephalopoda, Myopsida) in Mar Ligure. *Oebalia*, **15** (2): 831-834.

**Young I.A.G., Pierce G.J., Daly H.I., Santos M.B., Key L.N., Bailey N., Robin J.-P., Bishop A.J., Stowasser G., Nyegaard M., Cho S.K., Raserio M., Pereira J.M.F.** 2004 – Application of depletion methods to estimate stock size in the squid *Loligo forbesi* in Scottish waters (UK). *Fish. Res.* **69**: 211–227.

## *Ringraziamenti*

Desidero ringraziare il mio tutor, *Prof. Angelo Cau* per la fiducia l'incoraggiamento e i suoi preziosi consigli.

Un sentito “grazie”, alla *Dott.ssa Danila Cuccu*, per la sua disponibilità il suo sostegno costante e la sua criticità durante il lavoro, che mi hanno spinto a cercare di dare sempre il meglio.

Grazie anche al *Dott. Marco Meru* per l'assistenza in laboratorio e durante le analisi.

Vorrei ringraziare inoltre,  
la *Dott.ssa Cristina Porcu*, per l'allestimento dei preparati istologici;  
il collega *Maurizio Fois* per aver contribuito alla raccolta dei campioni nella zona di Bosa;  
Il *Dott. Jacopo Culurgioni*, per il supporto e l'amicizia condivisa in questi anni;  
Infine ringrazio per ultimi, ma non per questo meno importanti i miei colleghi con cui ho condiviso bellissime esperienze, per essermi stati vicini e avermi supportato moralmente soprattutto nell'ultimo mese di lavoro.