



Università
Ca' Foscari
Venezia

**Dottorato di ricerca
in Scienze Ambientali
Scuola di dottorato in Scienze e Tecnologie
Ciclo 24°
(A.A. 2010 - 2011)**

**Identificazione delle aree di deposizione
e di nursery dell'acciuga europea
(*Engraulis encrasicolus*)
nel Canale di Sicilia**

**SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE DI AFFERENZA: BIO/07
TESI DI DOTTORATO DI ENZA MARIA QUINCI, MATRICOLA 955635**

Coordinatore del Dottorato

Prof. Bruno Pavoni

Tutore del dottorando

Prof. Fabio Pranovi

Dott. Bernardo Patti

Co-tutore del dottorando

Dott. Gualtiero Basilone

INDICE

CAPITOLO I.....	3
INTRODUZIONE.....	3
1.1 L’acciuga europea	3
1.2 Importanza dell’acciuga europea nel Canale di Sicilia	5
1.3 Influenza dei parametri ambientali sull’acciuga europea.....	8
1.4 Modelli di “spawning habitat”	11
1.5 Obiettivi della ricerca	14
CAPITOLO II	17
MATERIALI E METODI.....	17
2.1 Area di studio	17
2.2 Caratteristiche idrografiche del Canale di Sicilia.....	18
2.3 Raccolta dati biologici.....	20
2.4 Parametri ambientali	24
2.4.1 Aree di spawning	24
2.4.2 Aree di nursery.....	26
2.5 Approccio modellistico	29
2.5.1 Modelli additivi generalizzati (GAMs).....	29
2.5.2 Modelli di presenza/assenza.....	34
2.5.3 Modelli di abbondanza.....	36
CAPITOLO III.....	38
RISULTATI.....	38
3.1 Distribuzione delle uova di acciuga	38
3.1.1 Modello di presenza/assenza per le uova	39
3.1.1.1 Validazione del modello	43
3.1.2 Modello di abbondanza per le uova	48
3.2 Distribuzione delle larve di acciuga	52

3.2.1 Modello di abbondanza per le larve	54
3.3 Distribuzione dei giovanili di acciuga.....	59
3.3.1 Modello di presenza/assenza per i giovanili	63
3.3.1.1 Validazione del modello	64
CAPITOLO IV	67
DISCUSSIONI.....	67
4.1 Distribuzione delle uova di acciuga	68
4.2 Distribuzione delle larve di acciuga	74
4.3 Distribuzione dei giovanili di acciuga.....	78
CONCLUSIONI.....	81
BIBLIOGRAFIA	82

CAPITOLO I

INTRODUZIONE

1.1 L'acciuga europea



L'acciuga europea (*Engraulis encrasicolus*) (Linneo, 1758), appartiene all'Ordine dei Clupeiformi e alla Famiglia degli Engraulidi ed è l'unica rappresentante della sua famiglia nel bacino del Mediterraneo (Tudela, 1999).

La sua area di distribuzione è ampia, è diffusa nell'Atlantico Nord Orientale e Centrale, nell'intero Mar Mediterraneo, nel Mar Nero e Mar d'Azov, lungo le coste meridionali dell'Africa Occidentale fino all'Angola.

Essa presenta un corpo ben affusolato con un ventre liscio ed arrotondato, la testa è allungata e rappresenta circa il 25% della lunghezza totale, ha ampie aperture branchiali e un muso prominente ed acuto. Nella parte inferiore della testa vi è una bocca molto allungata. La mascella inferiore, più corta della mascella superiore, porta piccoli denti, è presente una pinna dorsale quasi mediana, pinne anali piccole e poste al centro del corpo, pinne pettorali sottili ed allungate in posizione ventrale.

Essa è una specie migratrice e gregaria, si riunisce in grandi banchi vicino alla costa per la riproduzione sin dall'inizio della primavera, poi alla fine dell'estate ed in autunno si allontana in acque più profonde (Patti et al., 2011).

Valutando l'indice gonosomatico e la corrispondente evoluzione degli stadi di maturità, è stato determinato che nel Canale di Sicilia il periodo riproduttivo si estende, approssimativamente, da marzo-aprile fino ad agosto-settembre, anche se lo sforzo riproduttivo maggiore si ha nei mesi di luglio-agosto. Tale periodo è sincronizzato con il picco di biomassa zooplanctonica; i Copepodi, infatti, sono il cibo delle acciughe adulte prima della deposizione, ma anche delle loro larve e degli stadi giovanili, inoltre le acciughe effettuano una sorta di selezione degli organismi di cui nutrirsi e possono addirittura arrivare ad afferrare anche pesci di piccola taglia (Mazzola et al., 2000).

Le femmine producono circa 4.000 uova alla volta, che vengono, generalmente, rilasciate negli strati superficiali, a piccoli lotti (Varagnolo, 1965; Ghirardelli, 1967) e, per lo più, in corrispondenza del tramonto (Regner, 1985). Le uova emesse sono galleggianti, di forma ellissoidale, poco più lunghe di 1 millimetro (Varagnolo, 1967; Regner, 1972; Ragusa 2000) che vengono affidate alle correnti marine. Le uova di acciuga (Fig.1.1) sono prive di gocce oleose e mostrano una membrana esterna liscia e trasparente, chiamata corion. Tale membrana presenta una regione ad imbuto, il micropilo, che consente l'ingresso allo spermatozoo. Nelle uova, all'interno della membrana, si trova una massa sferica di vitello, segmentata e circondata da uno strato di protoplasma (Tortonese E., 1967). Lo spazio libero, non occupato dalla massa sferica di vitello, viene chiamato spazio perivitellino. Il periodo di schiusa delle uova di acciuga varia in base alla temperatura dell'acqua. Nel Canale di Sicilia va da 24 a 36 ore (Holden and Raitt, 1975).



Fig. 1.1 Uovo di acciuga.



Fig. 1.2 Larva di acciuga.

Le larve alla schiusa (Fig.1.2) sono lunghe solo 2 mm e molte di esse sono destinate ad essere predate. Queste si nutrono principalmente di zooplancton, in particolare di copepodi, cirripedi, larve di molluschi, uova e larve di pesci (Banarescu, 1964; Demir, 1963).

Una volta schiusa, la larva si trova nel primo stadio detto yolk sac (pre-larva), nel quale presenta i resti di quello che in fase embrionale corrisponde al sacco vitellino. In questo stadio la larva non è ancora autosufficiente, non ha l'apparato boccale e l'intestino funzionanti, il sacco vitellino fornisce loro nutrimento per il primissimo periodo di vita. Il secondo stadio corrisponde alla fase di pre-flessione nel quale la larva non ha ancora flessionato l'urostilo, ultima parte della notocorda.

A questa segue il terzo stadio di flessionamento dove l'urostilo viene flessionato verso l'alto. L'ultimo stadio larvale è quello di post-flessione (post-larva) nel quale la larva assume tutti i caratteri morfologici distinti della specie. Questa è la fase in cui l'individuo non è detto più larva, ma giovanile (Tortonese, 1967; Cuttitta, 1999).

1.2 Importanza dell'acciuga europea nel Canale di Sicilia

I piccoli pesci pelagici popolano vasti ecosistemi marini in tutto il mondo. Nel Mediterraneo sono sei le principali specie appartenenti a questa categoria. Quattro di esse, l'acciuga (*Engraulis encrasicolus*), la sardina (*Sardina pilchardus*), l'alaccia (*Sardinella aurita*) e lo spratto (*Sprattus sprattus*) sono generalmente considerate alla stregua di pelagici, a differenza di altre, come lo sgombro (*Scomber scombrus*), il lacerto (*Scomber japonicus*), la boga (*Boop boops*) e il suro (*Trachurus spp*), che evidenziano delle fasi biologiche più o meno lunghe con comportamento pelagico (Alvares et al., 2003).

Tra queste, l'acciuga e la sardina costituiscono più di un terzo del pescato delle marinerie italiane, per tale motivo possono essere annoverate tra le categorie privilegiate nell'ambito dell'industria della pesca e, in generale, nell'industria conserviera internazionale operante nel settore del pesce. Benché la sardina costituisca la quota più cospicua della pesca di piccoli pelagici nel Mediterraneo, l'acciuga ottiene i prezzi più elevati e rappresenta una delle più importanti risorse (Patti et al., 2009).

Diverse marinerie nel mondo sono in grado di sostenersi esclusivamente sfruttando queste specie e questo avviene non a causa di un alto prezzo di vendita all'ingrosso, ma

soprattutto per le notevoli quantità sbarcate (Mazzola et al., 2002). Nel Canale di Sicilia il primo porto per quanto riguarda i quantitativi sbarcati è Sciacca (Patti et al., 2007).

Le due principali tipologie di pesca utilizzate sono (Patti et al., 2010):

- La pesca da traino pelagica (volante) è utilizzata esclusivamente da imbarcazioni iscritte e sbarcanti nel porto di Sciacca, dove la flotta si compone di 6 coppie di imbarcazioni che pescano per l'intero anno ed ulteriori 6 coppie che trasformano la loro tipologia di pesca da strascico a volante durante la stagione estiva, per un totale di 12 coppie. Tale tecnica prevede due imbarcazioni che praticano una sorta di pesca con rete trainata, simile allo strascico, tra i due mezzi. Negli ultimi anni il numero di natanti che utilizzano questa tecnica di pesca è leggermente diminuito.
- La pesca a circuizione con fonti luminose (cianciolo) è effettuata con imbarcazioni da 15 a 40 m e mediante l'ausilio di barchini d'appoggio per la pesca notturna del pesce. Attualmente le imbarcazioni iscritte nei porti nel Canale di Sicilia che praticano tale tipologia di pesca risultano pari a 6 di lunghezza inferiore a 18 m e 9 di lunghezza compresa fra 24 e 36 m.

Dal 1998 ad oggi l'Istituto per l'Ambiente Marino Costiero del Consiglio Nazionale delle Ricerche (U.Os di Mazara del Vallo e Capo Granitola) ha condotto studi mirati alla valutazione dell'abbondanza e distribuzione dei piccoli pelagici nel Canale di Sicilia, mediante metodi elettroacustici (echo-survey), ottenendo stime di biomassa delle popolazioni di sardina ed acciuga (Patti et al., 2004).

Negli ultimi anni, soprattutto dal 2006 ad oggi, è stata registrata una diminuzione notevole della biomassa di acciughe (-80% dall'ottobre 2005 al giugno 2006) che, insieme agli alti livelli di sfruttamento, suggerisce un approccio cautelativo nei riguardi della sostenibilità di tale risorsa (Fig. 1.3; Fig. 1.4; Fig. 1.5).

Nel corso della riunione 2010 del "Working Group on Small Pelagics" (Sub-Committee on Stock Assessment – SCSA, Scientific Advisory Committee – SAC 2010) per lo stock di acciughe nel Canale di Sicilia è stato raccomandato di non aumentare lo sforzo di pesca (Patti et al., 2010), sottolineando un alto tasso di sfruttamento legato ad una bassa abbondanza stimata con i metodi acustici.

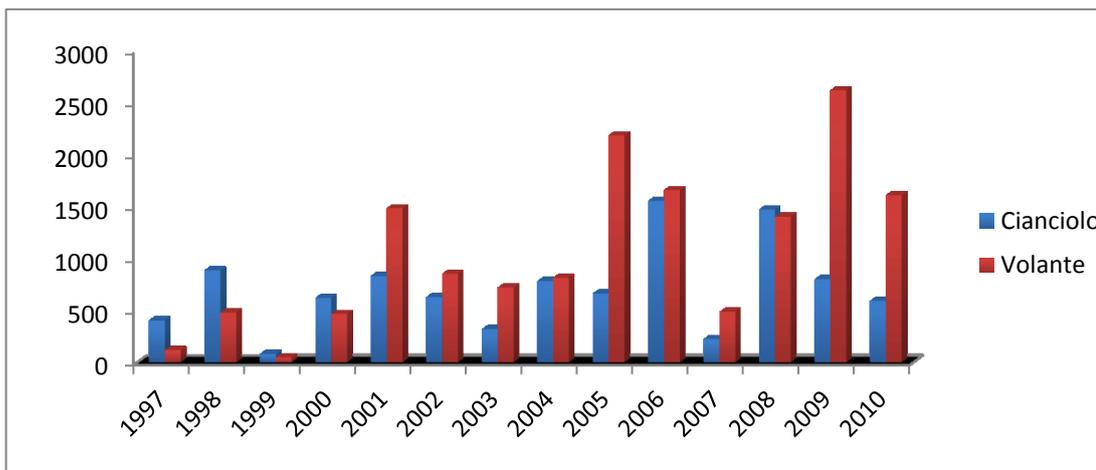


Fig. 1.3 Sbarchi di acciughe 1997-2010 nel porto di Sciacca, separati per attrezzo da pesca.

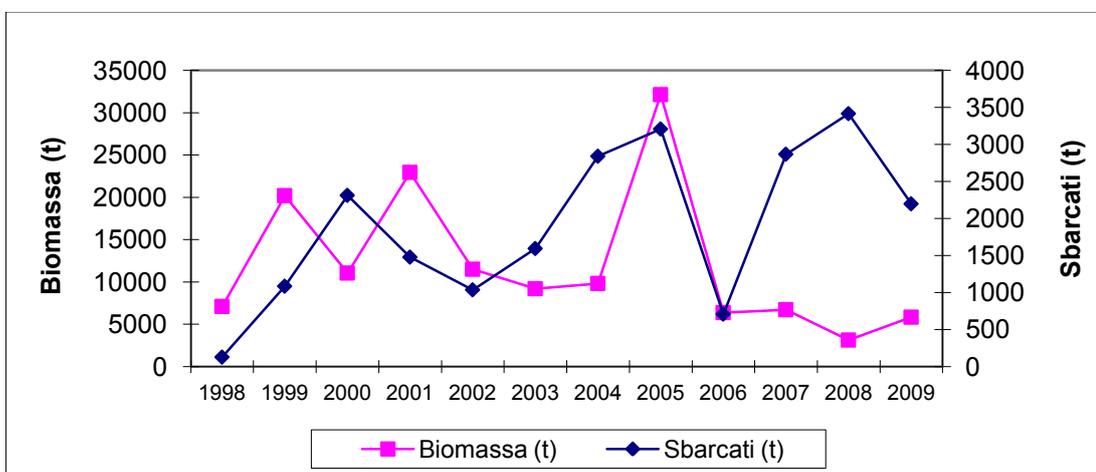


Fig. 1.4 Biomassa delle acciughe e sbarchi di acciughe nel porto di Sciacca per il periodo 1998-2009.

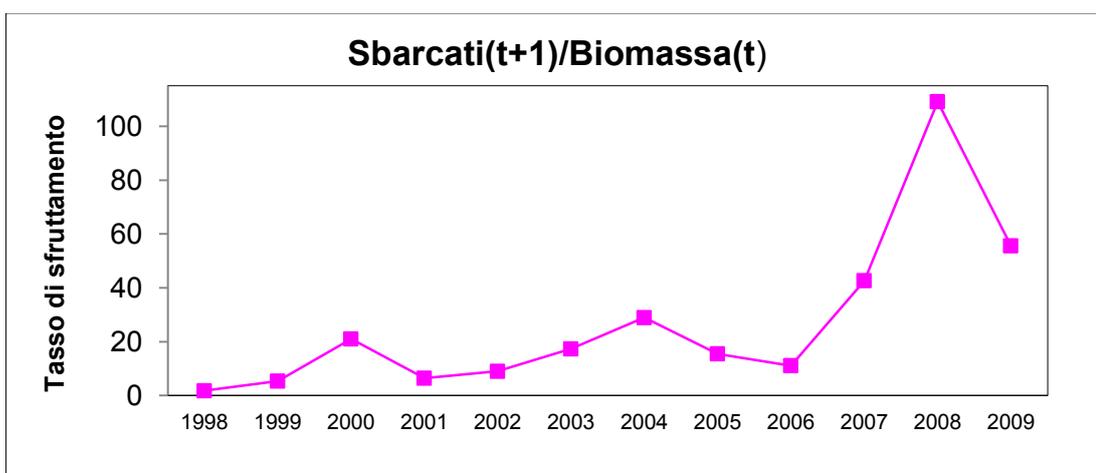


Fig. 1.5 Tasso di sfruttamento dell'acciuga, calcolato come rapporto tra gli sbarchi e la biomassa dell'anno precedente dal 1998 al 2009.

In alcune regioni del Mediterraneo la pesca dell'acciuga ha avuto, anche a causa dell'eccessivo sfruttamento, dei collassi (nel Mar di Alboran nel 1984 - Abad et al., 1998; nell'Adriatico nel 1987 - Cingolani et al., 1996). Una gestione non oculata della pesca, quindi, può portare ad un depauperamento che agisce sulla possibilità della risorsa di riprodursi provocando una riduzione dello stock per la stagione successiva. I tempi di recupero sono molto lunghi e hanno effetti socio-economici catastrofici sulle comunità marinare che vivono grazie agli introiti derivanti dalla pesca e dalla commercializzazione di prodotti in scatola.

Oltre all'importanza economica della risorsa stessa, bisogna sottolineare che l'acciuga costituisce la base trofica per tutta una serie di altre risorse ittiche, come ad esempio il tonno, altri tinnidi e i carangidi, pertanto, la flessione o il notevole calo influisce in modo massiccio su altri stock e sull'intera industria della pesca. Essa riveste, quindi, un ruolo ecologicamente rilevante in quanto costituisce, insieme alla sardina, un'importante preda per un buon numero di altre specie considerevoli per l'industria della pesca.

Pertanto, eccessive diminuzioni di biomassa possono causare un'alterazione della stabilità della rete trofica, dove la riduzione degli individui di piccola taglia potrebbe alterare gli equilibri preda-predatore a causa di una ridotta disponibilità di cibo.

1.3 Influenza dei parametri ambientali sull'acciuga europea

L'idrografia nel Canale di Sicilia gioca un ruolo chiave nello scenario ambientale dell'acciuga. L'influenza sul ciclo di vita della specie è ritenuta sia diretta che indiretta. E' diretta, in quanto contribuisce alla dispersione, al trasporto e alla ritenzione delle uova e delle larve (Garcia Lafuente et al., 2002; Patti et al., 2004; 2005; Cuttitta et al., 2006) ed indiretta, in quanto causa cambiamenti nelle caratteristiche chimico-fisiche (temperatura, salinità, nutrienti) che possono avere conseguenze sull'attività di deposizione e sul successo del reclutamento della popolazione di pesci pelagici (Cuttitta et al., 2003).

Bakun (1996; 1998) ha proposto una teoria che spiega come l'ambiente può avere influenza sul reclutamento nelle popolazioni marine con stadi di uova e larve pelagici. Egli ha identificato tre maggiori classi di processi fisici che possono influenzare l'habitat riproduttivo, chiamati "triade fondamentale": arricchimento in nutrienti (indotto da upwelling, miscelazione ecc.), concentrazione del cibo (indotto da processi

di convergenza, stabilità della colonna d'acqua, ecc.) e ritenzione degli stati larvali (habitat favorevoli). L'arricchimento è un processo necessario per lo sviluppo della produzione primaria, la concentrazione per l'aggregazione delle particelle di cibo e la ritenzione per evitare perdite in mare aperto di uova e larve.

A tal proposito, Garcia Lafuente et al. (2002) hanno proposto un modello concettuale per descrivere le tre classi che interessano le uova e le larve delle acciughe nel Canale di Sicilia durante la stagione produttiva. La principale corrente superficiale, che caratterizza il Canale (AIS - Atlantic Ionian Stream), agisce come un meccanismo di trasporto per le uova e le larve di acciuga dalle aree di deposizione, individuate nella parte nord-ovest del Canale di Sicilia, verso la costa sud-est. L'AIS scorre lungo il margine del Banco Avventura, si avvicina alla costa nella zona centrale e si allontana quando incontra il Banco di Malta, fluendo poi verso nord nello Ionio lungo la scarpata continentale (Sorgente et al., 2003). Le acque più calde al largo della costa nord-ovest costituiscono un'area idonea alla deposizione delle uova. Il successivo trasporto, prodotto dal ramo principale dell'AIS, porta uova e larve lungo la costa centrale, relativamente ricca di nutrienti a causa della risalita delle acque sub-superficiali (upwelling costiero). Infine, queste vengono convogliate da un vortice ciclonico nella parte più orientale del Canale di Sicilia, sotto Capo Passero.

I principali rischi associati al modello concettuale sopra descritto sono relativi ai meccanismi che portano alla dispersione del plancton in mare aperto. Il rischio più probabile è legato al trasporto al largo indotto dal ramo principale dell'AIS subito dopo l'avvicinamento sotto costa. Inoltre, venti forti sfavorevoli e il conseguente upwelling costiero, con il trasporto al largo delle acque superficiali, possono influenzare la sopravvivenza di uova e larve, come è stato sottolineato da Hutchings et al. (1998) per l'acciuga nel sud del Benguela (Sud Africa).

Il trasporto e la ritenzione delle larve verso opportune zone di nursery richiedono che la riproduzione e lo sviluppo larvale coincidano nel tempo e nello spazio con appropriate condizioni oceanografiche (Bakun e Parrish, 1991). Nel Canale di Sicilia, il trasporto fa sì che lo sviluppo delle classi più giovani avvenga principalmente in aree con condizioni nutrizionali favorevoli al reclutamento, come osservato da Tudela et al. (1995) lungo la costa spagnola mediterranea. Ciò è evidenziato dall'abbondanza delle classi più giovani nella zona sud-orientale del Canale di Sicilia (Basilone et al., 2011). L'importanza dei meccanismi che regolano la forza di reclutamento è stata sottolineata da diversi autori

per diversi stock di pesci pelagici e demersali (Bailey, 1981; Lasker, 1981; Parrish et al., 1981; Peterman e Bradford, 1987; Bakun e Parrish, 1991; Bakun, 1996; Borja et al., 1996.; García e Palomera, 1996; Hutchings et al., 1998;. Daskalov, 1999; Sanchez e Gil, 2000; Levi et al., 2003).

Le condizioni ambientali del mare svolgono un'azione diretta sulle specie dei piccoli pelagici. I processi fisico-chimici (temperatura, salinità, concentrazione di nutrienti) influenzano pesantemente la biologia riproduttiva, la distribuzione e l'intensità della deposizione delle uova (Basilone, 2006) e i processi di reclutamento (García Lafuente et al., 2002; Basilone et al., 2004; Cuttitta et al., 2006), contribuendo a determinare i futuri livelli della biomassa di tale specie (Patti et al., 2004). Altri parametri ambientali, come la profondità e la natura del substrato, sembrano inoltre influenzare la distribuzione e l'abbondanza della popolazione di piccoli pelagici (Boëly et al., 1982; Maravelias, 1999; D'Elia et al., 2009).

La temperatura dell'acqua rappresenta certamente il principale parametro che in maniera diretta o indiretta influisce sulla crescita e sul ciclo riproduttivo dell'acciuga (Basilone et al., 2004, 2006; Patti et al., 2004). Essa è un fattore importante nella regolazione della riproduzione, in quanto influenza il momento della deposizione, il tempo di schiusa delle uova e la mortalità di uova e larve (Palomera, 1992; Motos et al., 1996). King (1978) ha dimostrato come nelle acciughe del sud Africa la probabilità di anomalie nello sviluppo delle uova aumenta in acque con una temperatura inferiore ai 14°C, che dovrebbe rappresentare il limite inferiore per il successo riproduttivo. Temperature convenienti per il successo riproduttivo di questa specie sono normalmente maggiori di 14° C, sebbene differiscano da aree geografiche ad altre. Richardson et al. (1998) hanno identificato temperature tra i 16° C e i 19° C come il miglior range riproduttivo per l'*Engraulis capensis* nella regione del Benguela. In alcune regioni del Mediterraneo, come quella del Golfo del Leone, il range di temperatura ideale è tra 19 e 22° C (Garcia et al., 1994).

E' stato dimostrato come diminuzioni della temperatura nel periodo riproduttivo influiscano negativamente, in quanto riducono il potenziale delle femmine attive (Garcia Lafuente et al., 2002). Di contro, una maggiore temperatura dell'acqua, riducendo il tempo di schiusa delle uova, limiterebbe la mortalità dovuta alla predazione, che è legata al tempo di permanenza nell'ambiente allo stadio di uova.

Nel Canale di Sicilia, il range ottimale di temperatura superficiale per la deposizione e la sopravvivenza dei primi stadi di vita dell'acciuga risulta compreso tra 21 e 24° C (Basilone et al., 2006; Grammauta et al., 2008).

La disponibilità di cibo è un altro importante fattore che influisce sulla specie adulta e sulle larve (Takahashi et al., 2001; Methot e Kramer, 1979; Palomera et al., 2007). Esso può determinare un aumento della mortalità larvale soprattutto se avviene nel momento in cui le larve passano dall'alimentazione endogena (sacco vitellino) a quella esogena. La disponibilità di cibo, inoltre, influisce sulla qualità e quantità delle uova deposte e quindi sulla loro sopravvivenza ed eventuale passaggio agli stadi successivi. Cushing (1967, 1969, 1972, 1975) ha formulato un'ipotesi, chiamata del match-mismatch, che prevede che il periodo di deposizione sia funzione della probabilità che le larve hanno di incontrare alte concentrazioni di cibo utilizzabili per l'accrescimento.

Per quanto riguarda i valori di salinità, l'acciuga tollera salinità comprese tra 5 e 41 PSU. Correlazioni tra la presenza di uova e larve con specifici valori di salinità sembrano non mostrare un effetto diretto di tale parametro sulla biologia, ma piuttosto un effetto indiretto legato ai fenomeni idrografici.

1.4 Modelli di “spawning habitat”

Con il termine “habitat” si intende l'ambiente definito da fattori abiotici e biotici in cui vive una specie in una determinata fase del suo ciclo biologico (Direttiva 92/43/CEE art.3).

Lo studio di un habitat, quindi, riguarda le condizioni appropriate per la persistenza di individui e popolazioni. Nel caso di specie marine, l'habitat idoneo è costituito dalle acque e dai substrati necessari agli individui per la deposizione, lo svolgimento della fase iniziale di vita, l'alimentazione e l'accrescimento, finalizzati al raggiungimento della maturità riproduttiva (Benaka, 1999). La descrizione dell'habitat deve quindi tener conto di tutti gli stadi vitali di una specie, evidenziando quelli che sono i principali fattori ambientali che rivestono un ruolo cruciale nelle diverse fasi del ciclo biologico (Benaka, 1999).

Un elemento fondamentale degli studi ecologici è sempre stata la distribuzione della specie, che i diversi studiosi hanno cercato di spiegare attraverso la descrizione delle relazioni esistenti con le condizioni ambientali (Guisan e Zimmerman, 2000). Il primo ecologo che si è occupato di tali studi è Johnston, che ha esaminato la relazione tra le

condizioni climatiche e la distribuzione di una specie di cactus per predirne l'invasione in Australia (Johnston, 1924).

Negli ultimi anni, i modelli di habitat hanno guadagnato molta popolarità negli studi ecologici, principalmente dovuta all'introduzione di nuove potenti tecniche statistiche e strumenti GIS (Guisan e Zimmermann, 2000). Inoltre, la più facile disponibilità dei parametri ambientali satellitari attraverso banche dati internazionali da utilizzare nella modellazione hanno contribuito ulteriormente allo sviluppo di tali tecniche. In generale, la maggior parte delle pubblicazioni che propongono lo sviluppo e l'applicazione di modelli di distribuzione è incentrata su specie terrestri, ma sono in costante aumento anche le applicazioni sviluppate per gli ambienti acquatici.

Tra i modelli di habitat, particolare attenzione meritano i modelli di "spawning habitat", per la valutazione delle condizioni ambientali favorevoli alla deposizione di una determinata specie. Nonostante numerosi studi al riguardo, una chiara definizione di "spawning habitat (SH)" è ancora mancante e differenti autori hanno usato la stessa terminologia per concetti che, dal punto di vista ecologico, differiscono radicalmente. La più comune, e spesso implicita, definizione di "spawning habitat" è "la locazione geografica dove si trovano le uova" (Daskalov et al., 2003; Lynn, 2003). Un'altra definizione che viene spesso data riguarda "il set di condizioni ambientali favorevoli alla deposizione" (Checkley et al, 2000; van der Lingen et al., 2001). L'uso del termine "spawning habitat" per queste due definizioni spesso dipende dallo stato di avanzamento dell'osservazione e dalla comprensione che si ha delle relazioni tra adulti deponenti e loro ambiente.

Per chiarire meglio la natura dello SH, Planque (2007) ha distinto tre differenti componenti. Ogni componente ha specifiche caratteristiche che dipendono dall'ambiente abiotico e biotico, dalla struttura della popolazione e dalle tecniche di osservazione:

- Potential spawning habitat (PSH):

"L'habitat in cui le condizioni ambientali sono favorevoli alla deposizione".

Basato sulle caratteristiche ambientali, definisce il set di condizioni che una data specie trova disponibili per la deposizione. L'estensione spaziale e stagionale dell'habitat sarà principalmente affetta dalla variabilità nel clima e nell'ambiente.

- Realised spawning habitat (RSH):

“L’habitat dove la deposizione si verifica realmente”.

Il RSH è definito come l’area geografica dove il pesce depone realmente in un dato momento temporale. I fattori che contribuiscono alla localizzazione e all’estensione della deposizione sono principalmente relativi alla misura e alla struttura della popolazione adulta. L’estensione dipenderà dal numero di individui maturi, dalla loro età, migrazione, comportamento e dalle interazioni con le altre popolazioni nella stessa area (predatori, competitori e prede).

- Successful spawning habitat (SSH):

“L’habitat dove è avvenuto il successo del reclutamento”.

I fattori, che contribuiscono al SSH, non possono essere osservati al momento della deposizione, ma solo dopo che gli esemplari più giovani sono entrati in popolazione come reclute.

Gli studi condotti sulla deposizione dell’acciuga nel Mar Mediterraneo hanno riguardato sia la deposizione potenziale, analizzando i dati relativi alle uova (García Lafuente et al., 2002; Cuttitta et al., 2003; 2006; Schismenou et al., 2008; Palomera et al., 2007), sia la deposizione reale, analizzando il potenziale riproduttivo delle femmine adulte e la biomassa deponente (Somarakis, 2005; Somarakis et al., 2006; Basilone et al., 2006).

Lo studio della distribuzione dei piccoli pelagici nel Canale di Sicilia fino ad ora si è basato sulla descrizione delle relazioni esistenti tra le condizioni ambientali e le specie attraverso tecniche di analisi classiche, quali la semplice regressione lineare tra una variabile dipendente biologica ed una indipendente ambientale. Tutti gli studi si sono occupati di analizzare le aree di deposizione dell’acciuga attraverso le relazioni con la temperatura e la concentrazione di clorofilla (Basilone et al., 2006), ma soprattutto con i fenomeni idrografici (García Lafuente et al., 2002; Cuttitta et al., 2003; Grammauta et al., 2008). Finora, lo studio di queste relazioni non si è tradotto in un approccio modellistico.

Per quanto concerne l’identificazione delle aree di reclutamento, pochi studi hanno trattato la crescita e la mortalità giovanile dei clupeidi nel Mar Mediterraneo (Alvarez e Alemany, 1997; Khemiri e Gaamour, 2005; Alemany et al., 2006) e nel Canale di

Sicilia, solo Basilone et al. (2011) hanno analizzato la crescita dei giovanili di acciuga studiando la distribuzione spaziale ed i processi che ne regolano il reclutamento.

1.5 Obiettivi della ricerca

L'acciuga europea è soggetta ad ampie fluttuazioni interannuali nella sua abbondanza, dovute all'effetto combinato dell'estrema variabilità delle condizioni ambientali, propria dell'ecosistema pelagico, e del breve ciclo di vita di tale specie, che sembrano essere più importanti degli effetti delle variazioni dello sfruttamento della pesca (Southward et al., 1988; Sharp e McLain, 1993; Cingolani et al., 1996). La loro abbondanza in mare sembra essere il frutto di un compromesso fra l'evoluzione della specie nel suo determinato habitat e quella climatica (Basilone et al., 2006).

Questa ricerca ha lo scopo di identificare le aree di deposizione e di nursery dell'acciuga europea nel Canale di Sicilia, attraverso lo sviluppo di modelli di distribuzione dell'habitat della specie come strumento per la gestione eco-sostenibile della risorsa.

La scelta dello studio di tale specie è stata dettata dalla grande rilevanza che essa riveste sia dal punto di vista economico che ecologico. La pesca dell'acciuga è un'attività ampiamente diffusa, che spesso rappresenta una pressione sulla risorsa sfruttata e genera impatti sulla morfologia e la struttura stessa dell'habitat coinvolto. Inoltre, costituendo la base trofica per tutta una serie di altre risorse ittiche, i livelli di biomassa della popolazione influiscono in modo massiccio su altri stock e sull'intera industria della pesca.

Tale rilevanza richiede una corretta gestione della risorsa, che non può prescindere da una conoscenza approfondita di tutti i fattori che possono influenzare il reclutamento degli stock ittici. L'abbondanza degli stock è spesso determinata dalle caratteristiche ambientali in cui si sviluppano i primi stadi di vita (uova, larve e giovanili), che determinano il successo del reclutamento e quindi la successiva disponibilità alla pesca. Il periodo che precede il reclutamento rappresenta un passaggio critico per la sopravvivenza, infatti è stato dimostrato che proprio la sua variabilità costituisce la causa delle ampie oscillazioni annuali osservate. L'importanza della dinamica dei fattori oceanografici è enfatizzata dal fatto che le acciughe nel Mar Mediterraneo hanno una vita breve, di circa 3-5 anni (Mazzola, 2002), e che la struttura per età delle catture è dominata dalle classi di età 0-1, che più di altre possono risentire dell'impatto di condizioni ambientali sfavorevoli, in grado di aumentare la mortalità naturale.

Il monitoraggio continuo di tali risorse e dell'ambiente in cui vivono rappresenta, quindi, un importante strumento per la comprensione dei meccanismi che regolano tali fluttuazioni.

Nel Canale di Sicilia, la conoscenza dei legami tra caratteristiche ambientali e luoghi di deposizione e di nursery è ancora piuttosto scarsa. Nell'ambito del presente progetto di dottorato, al fine di definire quali caratteristiche possono favorire l'area di deposizione delle acciughe nel Canale di Sicilia, è stata valutata la possibile influenza di parametri fisici ed ambientali sulla probabilità di presenza e sull'abbondanza di uova. L'approccio innovativo impiegato è l'utilizzo dei modelli additivi generalizzati (Generalized Additive Models - GAMs), che risultano molto più flessibili rispetto ai più classici modelli di regressione lineare e più adatti per analizzare relazioni ecologiche non rappresentate dal classico modello Gaussiano. L'introduzione di modelli che automaticamente identificano appropriate trasformazioni per descrivere l'effetto delle variabili esplicative sulla variabile risposta è un passo in avanti importante per l'analisi di regressione.

Analizzando dati biologici relativi alla distribuzione di uova di acciuga dall'anno 2003 all'anno 2008, si è investigato sul ruolo che parametri fisici ed ambientali hanno sul controllo del "potential spawning habitat", secondo la definizione data da Planque (2007), di acciughe nel Canale di Sicilia.

Successivamente, lo stesso approccio è stato applicato per stimare l'abbondanza delle larve di acciuga. Il processo di reclutamento dell'acciuga, infatti, è generalmente controllato dalla ritenzione di uova e larve in aree dove le caratteristiche ambientali risultano favorevoli alla crescita e alla sopravvivenza. Per tale motivo, lo studio delle potenziali aree di nursery non può prescindere dalla conoscenza di tutti quei fattori, quali stabilità della colonna d'acqua e processi di convergenza e divergenza delle masse d'acqua, che possono influire sul trasporto dei primissimi stadi di vita della specie.

Infine, i dati relativi a tre campagne oceanografiche autunnali sono stati esaminati per studiare la distribuzione spaziale e i processi che possono regolare il reclutamento dell'acciuga. L'obiettivo è stato valutare quali caratteristiche dell'habitat possono essere associate alle aree di distribuzione dei giovanili, definite "successful spawning habitat", secondo la definizione di Planque (2007).

I modelli di distribuzione stimati sono utili per la descrizione dell'andamento dei dati, per la quantificazione del contributo di ogni predittore scelto e a fini predittivi.

L'obiettivo ultimo di tale ricerca è, quindi, di mostrare come le informazioni ottenute dai vari modelli selezionati possano essere usate per rappresentare l'habitat sulla base di condizioni fisiche e oceanografiche simulate, come un primo passo per predirne i possibili cambiamenti sotto determinati scenari ambientali. Una volta messi a punto, i modelli stimati permettono di generare mappe per la descrizione dell'habitat potenziale della specie, cioè l'insieme delle condizioni ambientali che assicurano alla specie di soddisfare i propri requisiti vitali minimi, la deposizione e la sopravvivenza dei primi stadi di vita.

MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio



Fig. 2.1 Area di studio.

Il Mar Mediterraneo è un bacino semichiuso, in comunicazione con l'Oceano Atlantico attraverso lo stretto di Gibilterra, con il Mar Rosso mediante il Canale di Suez e con il Mar Nero attraverso il Mar di Marmora. Esso può essere suddiviso in due sottobacini: uno Occidentale ed uno Orientale, con differenti caratteristiche chimico-fisiche delle acque e di circolazione. La comunicazione tra Mediterraneo Occidentale ed Orientale ha luogo attraverso il Canale di Sicilia. Esso (Fig. 2.1) è un'area trapezoidale che si estende da Capo Boeo (o Lilibeo) a Capo Passero in Sicilia, a Capo Bon in Tunisia (García Lafuente et al., 2002) e rappresenta l'unione delle Geographical sub-areas (GSAs) 15 (Malta Island) e 16 (Strait of Sicily) secondo le delimitazioni date dalla FAO.

Il Canale di Sicilia è sostanzialmente un bacino caratterizzato da un fondale poco profondo. All'estremo ovest del Canale, tra Capo Bon e Mazara del Vallo, la profondità massima raggiunge i 430 m nello stretto passaggio principale (main western sill). Una seconda soglia, ancora più ad ovest, non supera i 365 m (secondary western sill). Il passaggio più profondo (eastern sill) è di 560 m ed è situato tra Malta e Medina. Lungo la costa meridionale della Sicilia, la piattaforma continentale è caratterizzata da due

ampi banchi: il Banco Avventura a ponente ed il Banco Maltese a levante, separati da una piattaforma molto stretta nella zona centrale.

2.2 Caratteristiche idrografiche del Canale di Sicilia

Il Canale di Sicilia è caratterizzato da due correnti principali: una superficiale (MAW: Modified Atlantic Water) fino ad una profondità di 150-200 m, che scorre verso la parte orientale del mar Mediterraneo ed una intermedia (LIW: Levantine Intermediate Water) che si sposta verso ovest nello strato d'acqua inferiore. L'acqua atlantica entra nel mar Mediterraneo attraverso lo Stretto di Gibilterra, divenendo corrente algerina lungo le coste nord dell'Africa e arriva nel Canale di Sicilia, dove prende il nome di Atlantic Ionian Stream (AIS, Robinson et al., 1999). L'AIS scorre lungo il margine del Banco Avventura, si avvicina alla costa nella zona centrale e si allontana quando incontra il Banco di Malta, fluendo poi verso nord nello Ionio lungo la scarpata continentale (Sorgente et al., 2003; Fig.2.2). A differenza della MAW, la LIW ha caratteristiche di stabilità e non presenta significative variazioni stagionali. Il possibile motivo di tale stabilità è che la LIW sia il risultato di un mescolamento annuale nel bacino orientale tra le acque intermedie di nuova formazione e le acque presenti (Manzella, 1988).

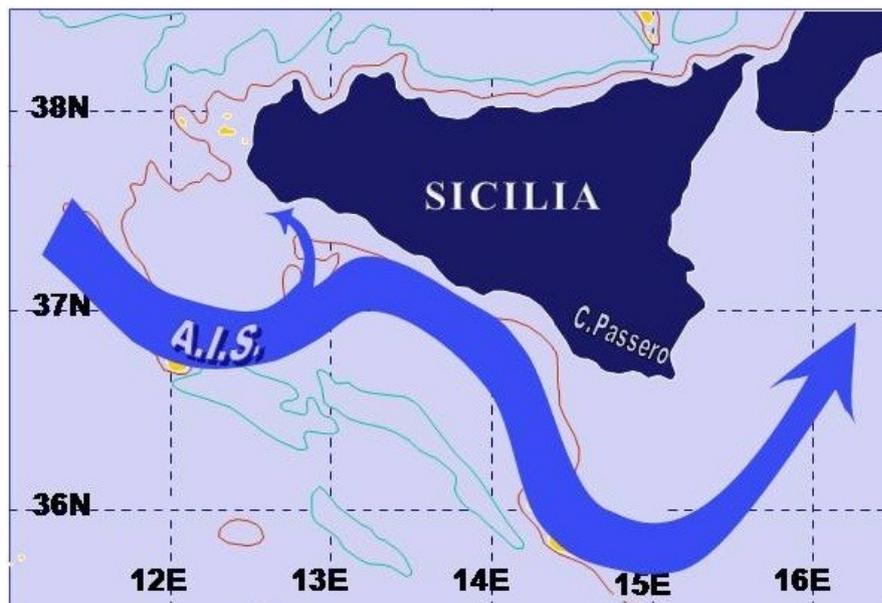


Fig. 2.2 Canale di Sicilia con il percorso medio dell' Atlantic Ionian Stream (AIS).

Modelli elaborati da Béranger et al. (2004) rilevano una variabilità spaziale e temporale

dell'AIS, su scala interannuale, stagionale e giornaliera, legata a fattori locali. Il percorso dell'AIS e le varie correnti cicloniche possono subire, infatti, variazioni in lunghezza, dimensione e forma, possono spostare la loro posizione e interagire, modificando di conseguenza anche i campi di temperatura e salinità (García Lafuente et al, 2005; Fiorentino et al., 2005).

Un fenomeno tipico dell'area oggetto di studio è l'upwelling, la risalita in superficie di acque più profonde. Nello Stretto di Sicilia tale caratteristica idrografica è evidenziata dalla presenza di una striscia d'acqua relativamente fredda, che suggerisce la costante risalita di acqua sub-superficiale (Piccioni et al., 1988).

La costa meridionale della Sicilia è caratterizzata da frequenti eventi di upwelling indotti dal vento. In particolare, i venti dominanti, provenienti dai quadranti nord-occidentali, erodono il sottile strato d'acqua superficiale, concedendo grandi porzioni d'acqua all'upwelling (Mazzola et al., 1998). Per effetto del cosiddetto trasporto di Ekman, legato alla rotazione terrestre, il vento, proveniente dai quadranti nord-occidentali, lungo la costa meridionale della Sicilia, genera un movimento netto d'acqua nello strato superficiale (fino a 100 m di profondità) in direzione ortogonale alla linea di costa e in allontanamento da essa, quindi l'acqua allontanata dalla costa può essere solo rimpiazzata dall'acqua proveniente dagli strati sottostanti (upwelling; Fig. 2.3). Viceversa, se il vento proviene dai quadranti sud-orientali, lo strato d'acqua superficiale viene spinto verso la costa e tende a sprofondare (downwelling; Fig. 2.3).

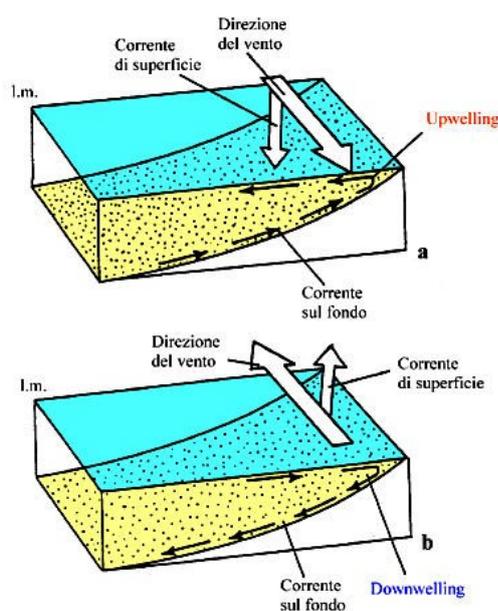


Fig. 2.3 Fenomeni di upwelling e downwelling, indotti dal vento.

Un'altra causa dei movimenti delle masse d'acqua è la differenza di densità. Le acque più dense e quindi più pesanti, tendono a sprofondare e a disporsi sotto quelle meno dense. Se fra le masse d'acqua di due bacini comunicanti vi sono differenze di densità, queste masse si muoveranno fino a distribuirsi sull'intera superficie una sopra l'altra (Agostini e Bakun, 2002). Queste differenze di densità sono legate a due parametri: la temperatura e la salinità. È noto infatti che la densità dell'acqua decresce con l'aumentare della temperatura e aumenta con l'aumentare dei sali disciolti.

Nel Canale di Sicilia il percorso dell'AIS è in grado di influire sull'estensione dell'area di upwelling e sulla temperatura dell'acqua. Se il percorso dell'AIS è lontano dalla terraferma, lungo la costa si ha una grande estensione dell'upwelling, che nel periodo estivo produce drastici cambiamenti nel regime di temperatura dell'acqua superficiale. Al contrario, se l'AIS passa vicino alla costa ciò ha l'effetto di ridurre la dimensione del vortice ciclonico nel Banco Avventura (Adventure Bank Vortex - ABV) e di aumentare la temperatura dell'acqua della zona costiera.

2.3 Raccolta dati biologici

I campionamenti planctonici alla base delle informazioni utilizzate nell'ambito del presente lavoro di tesi sono stati effettuati durante sei campagne oceanografiche (dal 2003 al 2008) condotte a bordo della N/O Urania (Fig. 2.4) nell'area antistante la costa meridionale della Sicilia, durante il picco riproduttivo dell'acciuga (luglio-agosto). I campioni sono stati raccolti usando un retino doppio di maglia 200 μm , con bocche di 40 cm di diametro ciascuna (Bongo40; Smith et al., 1985; Fig. 2.5).



Fig. 2.4 Nave oceanografica Urania.



Fig. 2.5 Campionamento planctonico mediante rete Bongo40.

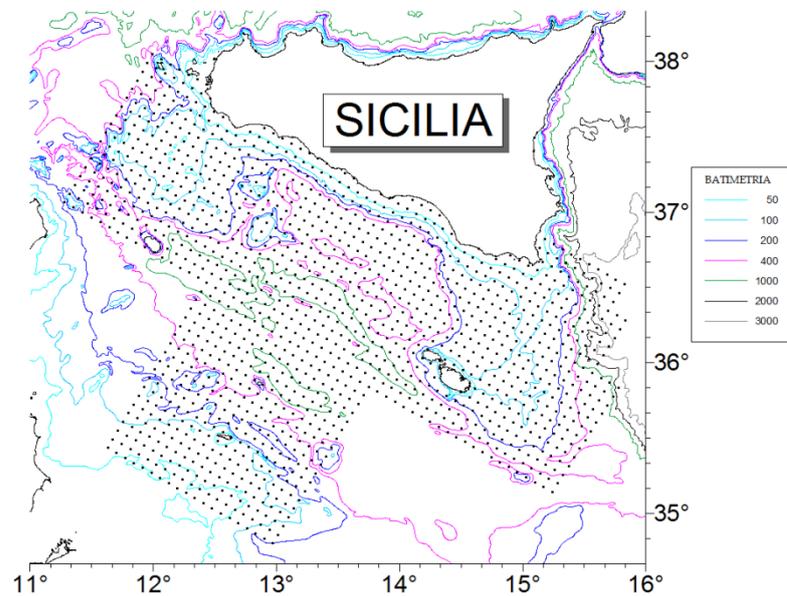


Fig. 2.6 Mappa dell'area di campionamento (Bongo40).

Le stazioni di campionamento sono basate su una griglia di 6X6 miglia nautiche sulla Piattaforma Continentale della costa siciliana e di 12X12 miglia nautiche al largo, con transetti perpendicolari alla linea di costa (Fig. 2.6).

Per l'effettuazione delle operazioni di campionamento mediante la rete Bongo40, la nave ha navigato ad una velocità di due nodi. La discesa della rete è stata realizzata ad una velocità di 40-50 m/min con circa 140 m di cavo, profondità del fondo permettendo, ad un angolo di 45° per una profondità tra i 90 e i 100 m. Una volta che la rete è arrivata al fondo desiderato, essa è stata stabilizzata tenendola ferma per 30 sec. Passato il tempo, la rete è stata ritirata ad una velocità di 20 m/min. Ritirato il campionatore, i

retini sono stati lavati con acqua di mare ed i campioni raccolti e osservati per identificare le specie più frequenti.

Il contenuto della prima bocca è stato conservato in alcool al 70% con acqua distillata, mentre il contenuto della seconda bocca in formalina al 4%.

I campioni, così preparati, sono stati versati in contenitori da 250 cc., indicando il nome della campagna, la data, la stazione di campionamento, il numero d'ordine e il numero della bocca. Inoltre, con uguale criterio, tutti i dati sono stati riportati su un foglio di carta lucida inserito nel campione.

Il sorting dei campioni conservati è stato effettuato successivamente in laboratorio usando uno stereo binoculare. Le larve e le uova di acciuga identificate sono state estratte e contate.

I survey biologici, per ottenere i campioni adulti, sono stati condotti simultaneamente ai survey acustici a bordo della nave da ricerca "G. Dallaporta" (Fig. 2.7). La nave ha seguito dei transetti perpendicolari alla costa per effettuare le cale di campionamento (Fig. 2.8).



Fig. 2.7 Nave da ricerca "G. Dallaporta".

La cattura è avvenuta per mezzo di una rete pelagica con un'apertura di 14 x 7 m e con un sacco di 19 mm (Fig. 2.9). La dimensione della maglia è dentro il range di misura per questi studi (Takahashi et al, 2001). La durata della cala è stata di 30 minuti e la rete è stata attrezzata con un sistema di monitoraggio acustico (SIMRAD ITI) in grado anche di registrare pressione e temperatura.

Per ogni cala positiva è stato estratto random un sub-campione di cui sono stati misurati a bordo, per mezzo di un portatile scientifico (Marel S182), la lunghezza totale (TL), la

lunghezza standard (SL) con l'approssimazione di 1mm e il peso totale (TW) con un'approssimazione di 0,1 gr.

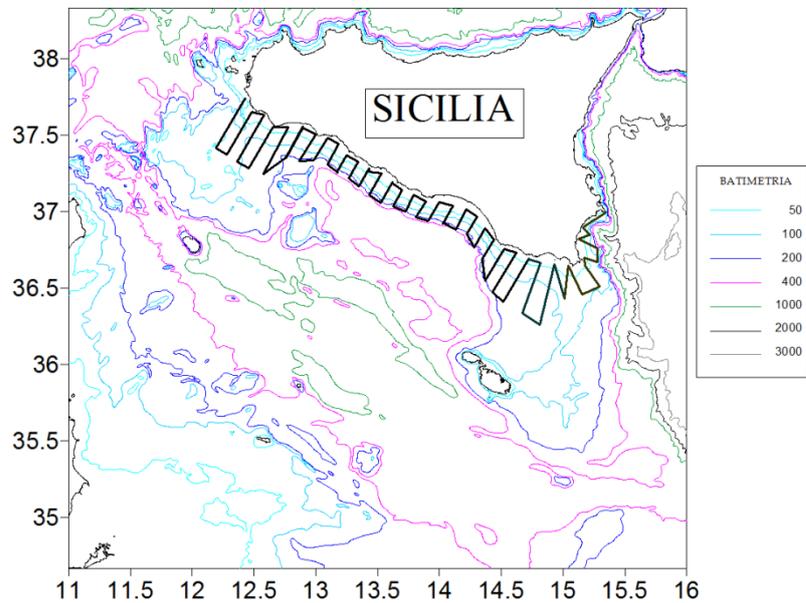


Fig. 2.8 Transetti per il campionamento della specie adulta di acciuga.

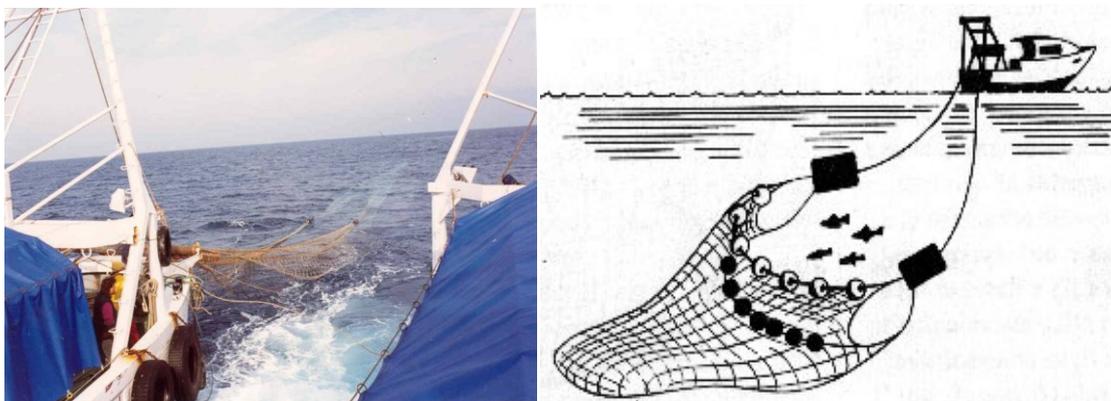


Fig. 2.9 Schema di cattura dei campioni mediante rete pelagica (Volante monobarca).

Al fine di separare dalla biomassa totale di acciuga stimata quella relativa ai giovanili della stessa specie, è stato scelto di individuare una lunghezza al di sotto della quale gli individui di acciuga pescati sono da ritenere giovanili. Si è individuata la lunghezza di 10 cm come limite, che corrisponde alla taglia massima riscontrata nei giovanili di acciuga (gruppo di età 0) nell'area del Canale di Sicilia (Basilone et al., 2004).

I dati biologici, utilizzati per l'analisi, sono relativi ai mese di giugno/luglio/agosto dall'anno 2003 all'anno 2008 per le uova e le larve e al mese di ottobre degli anni 2001, 2004 e 2005 per gli esemplari adulti (Tab. 2.1).

Tab. 2.1 Informazioni relative ai survey di raccolta dati.

Campagne estive (BONGO40)			
Survey	Nave	Periodo	Numero di stazioni
Ansic 2003	N/O Urania	11 luglio-2 agosto 2003	128
Ansic 2004	N/O Urania	18 giugno-7 luglio 2004	130
Ansic 2005	N/O Urania	7 luglio-24 luglio 2005	123
Ansic 2006	N/O Urania	30 luglio-10 agosto	92
Bansic 2007	N/O Urania	29 giugno-19 luglio 2007	129
Bansic 2008	N/O Urania	26 giugno-14 luglio 2008	149
Campagne autunnali (rete pelagica)			
Survey	Nave	Periodo	Numero di stazioni
Juvenile 2001	G. Dallaporta	4 ottobre-17 ottobre	32
Juvenile 2004	G. Dallaporta	7 ottobre-19 ottobre	21
Juvenile 2005	G. Dallaporta	5 ottobre-13 ottobre	29

2.4 Parametri ambientali

2.4.1 Aree di spawning

Per sviluppare i modelli di distribuzione dell'habitat, sono stati associati a ciascuna osservazione della variabile biotica da modellare i valori delle variabili ambientali in grado di descriverne le condizioni. Per variabile ambientale si intende qualsiasi fattore, abiotico o biotico che caratterizzi l'habitat della specie oggetto di indagine. La scelta delle variabili prese in esame è stata effettuata caso per caso, cercando di cogliere tutti gli aspetti che possono influenzare l'habitat dell'acciuga.

I parametri ambientali, la cui influenza è stata valutata, sono: la profondità del fondo marino, la temperatura e la salinità a 5 metri di profondità della colonna d'acqua, rilevate durante i survey, e alcune condizioni ambientali rilevate da satellite, relativi alle medie mensili del mese di luglio di ogni anno considerato, della temperatura della superficie marina (SST in C°), della concentrazione di clorofilla-*a* (CHLA in mg/m³), della radiazione foto sinteticamente attiva (PAR in Ein/m²/day), della distribuzione di salinità (SSS in psu) e dell'anomalia del livello della superficie (SLA in cm) (Tab. 2.2).

I valori medi mensili di tutti i parametri ambientali relativi al mese di luglio per ogni anno considerato sono stati stimati per tutti i punti di campionamento dei dati biologici secondo la risoluzione disponibile. Sono state create delle procedure automatiche che prevedono l'estrazione del dato per il periodo desiderato e nel punto più vicino possibile alla stazione di campionamento dei dati biologici.

E' stata presa in considerazione anche la salinità a 5 metri misurata mediante sonda a bordo della Nave Oceanografica, a causa della bassa risoluzione (0.5°) dei dati del modello CARTON-GIESE SODA.

Tab. 2.2 Caratteristiche dei parametri ambientali.

Parametri	Sensor/Model	Range	Risoluzione	Source
Clorofilla- <i>a</i> superficiale (CHL- <i>a</i>)	MODIS	0.08-0.45 mg/m ³	4 km	oceancolor.gsfc.nasa.gov
Radiazione foto-sinteticamente attiva (PAR)	SeaWiFS	50.88-61.15 Ein/m ² /day	9 km	oceancolor.gsfc.nasa.gov
Anomalia del livello del mare (SLA)	Merged Jason-1, Envisat	-10.85-8.85 cm	0.25°	www.jason.oceanobs.com
Salinità superficiale (SSS)	CARTON-GIESE SODA	37.91-38.68 psu	0.5°	iridl.ldeo.columbia.edu
Temperatura superficiale (SST)	NOAA-AVHRR	20.38-27.63 °C	1.1 km	eoweb.dlr.de:8080
Profondità del fondo marino		13-495m		Survey
Temperatura a 5 m		17.14-28.95		Survey
Salinità a 5 m		36.96-38.84		Survey

L'acquisizione dei profili delle variabili oceanografiche è stata effettuata attraverso la sonda multiparametrica CTD SBE 9plus (Underwater Unit) ed il modulo SBE 11plus V2 (Deck Unit) della SEA-BIRD ELECTRONICS Inc (Fig. 2.10).

In corrispondenza di ciascuna stazione un verricello idraulico ha spostato la sonda CTD dalla superficie al fondo con una velocità costante di 1 m/sec. Nella fase di acquisizione la sonda ha campionato con una frequenza di 24 Hz, i raw-data sono stati registrati in formato binario sull'HD di un PC asservito al sistema della SEA-BIRD. Sui dati acquisiti solo lungo la fase di discesa della sonda (downcast) è stata applicata un'opportuna procedura di post-processing con l'impiego del pacchetto software SEASOFT-Win32 (SBE Data Processing – CTD Data Processing and Plotting Software).

Per ogni parametro considerato, esclusi quelli rilevati da survey, sono stati acquisiti valori medi mensili di luglio dell'area del Canale di Sicilia fino ad una profondità di 500 metri con una risoluzione di 4 Km, dove possibile, al fine di poter utilizzare in modo predittivo i modelli finali scelti.



Fig. 2.10 Sonda multiparametrica CTD.

2.4.2 Aree di nursery

I dati ambientali, utilizzati per stimare le aree di nursery, sono stati collezionati durante le Campagne autunnali (Juvenile 2001, 2004 e 2005) a bordo della N/O “G. Dallaporta”. Il piano di campionamento delle variabili oceanografiche (Fig. 2.11; Fig. 2.12; Fig. 2.13) ha riguardato principalmente l'area della piattaforma continentale fino ad una profondità di 200 m; insieme a tale dataset, nel 2004 sono stati considerati i profili CTD (29 stazioni) acquisiti nelle acque Maltesi.

In ciascuna stazione la sonda multiparametrica Minisonde 4a della Hydrolab è stata calata in mare a nave ferma dal portale oleopneumatico, posto sulla paratia destra

dell'imbarcazione con verricello a doppio tamburo e cavo in acciaio di 8 mm. La sonda è dotata di sensori per la misura di profondità, temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto e ossigeno di saturazione. I dati acquisiti sono stati successivamente sottoposti ad un'opportuna fase di post-processing, effettuata con l'impiego di un pacchetto di analisi realizzato ad hoc dal Gruppo Interdisciplinare di Oceanografia dell'IAMC-CNR. Per l'interpolazione dei dati CTD processati e la successiva presentazione dei campi delle diverse variabili in corrispondenza di diverse profondità, si è fatto uso del software Ocean Data View (Schlitzer, 2006).

Ad ogni cala di raccolta dei dati biologici è stata associata la stazione CTD più vicina in base alle coordinate geografiche.

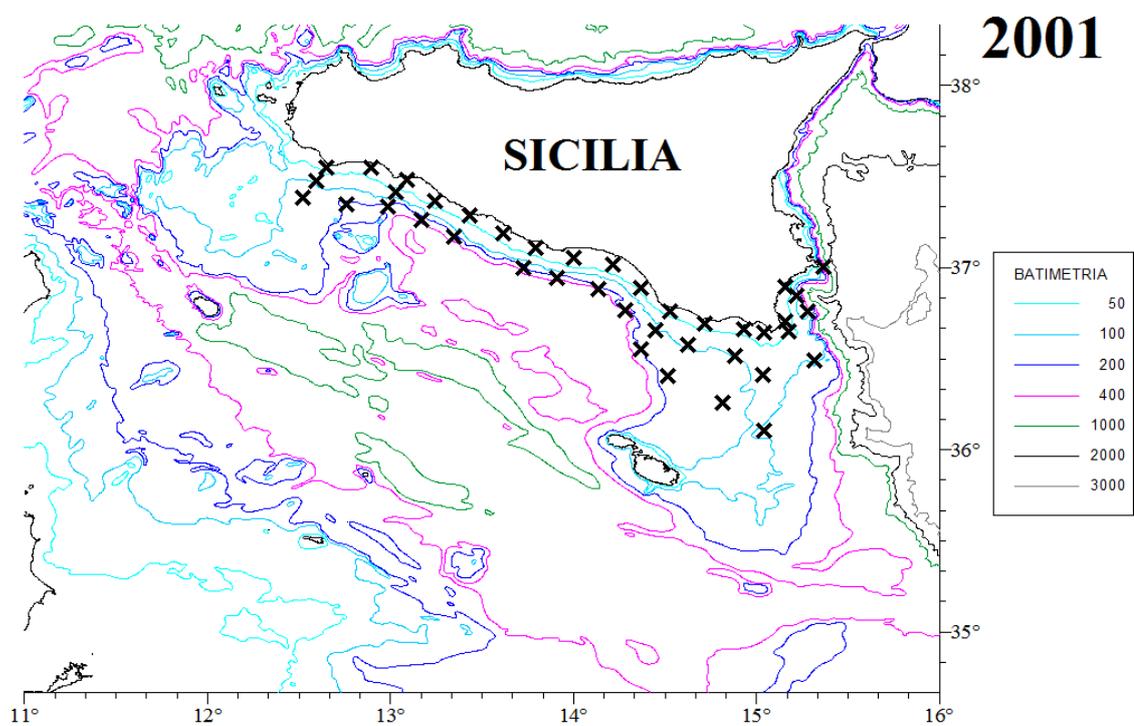


Fig.2.11 Stazioni CTD della Campagna “Juvenile 2001”.

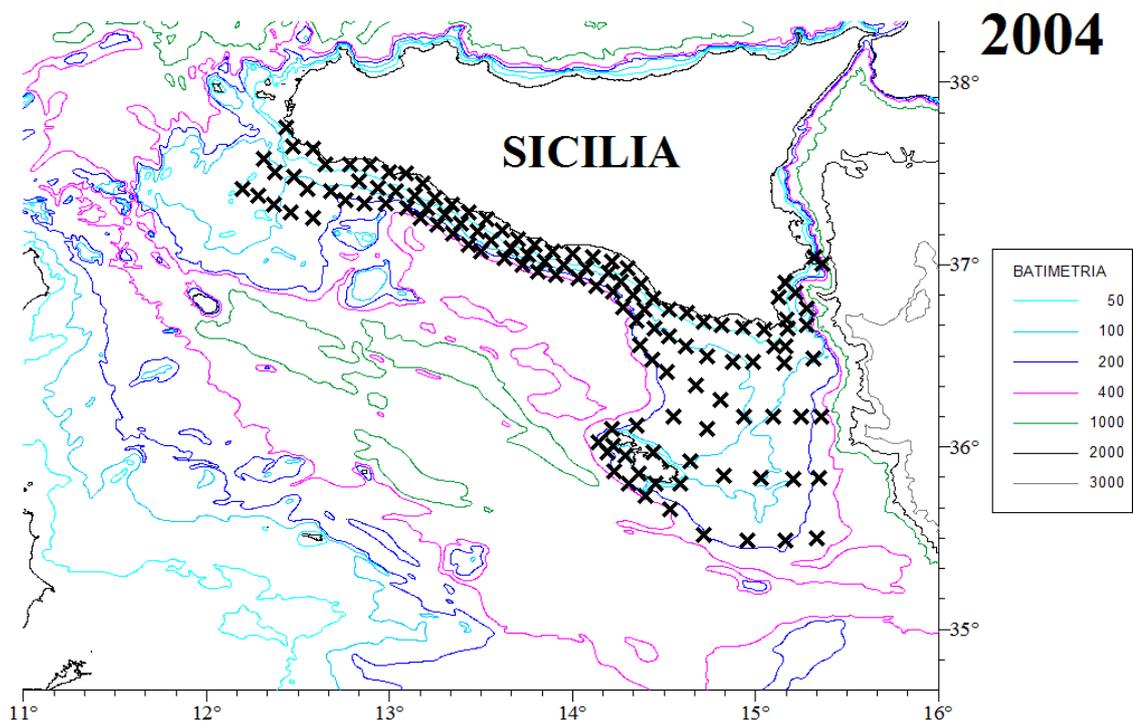


Fig. 2.12 Stazioni CTD della Campagna “Juvenile 2004”.

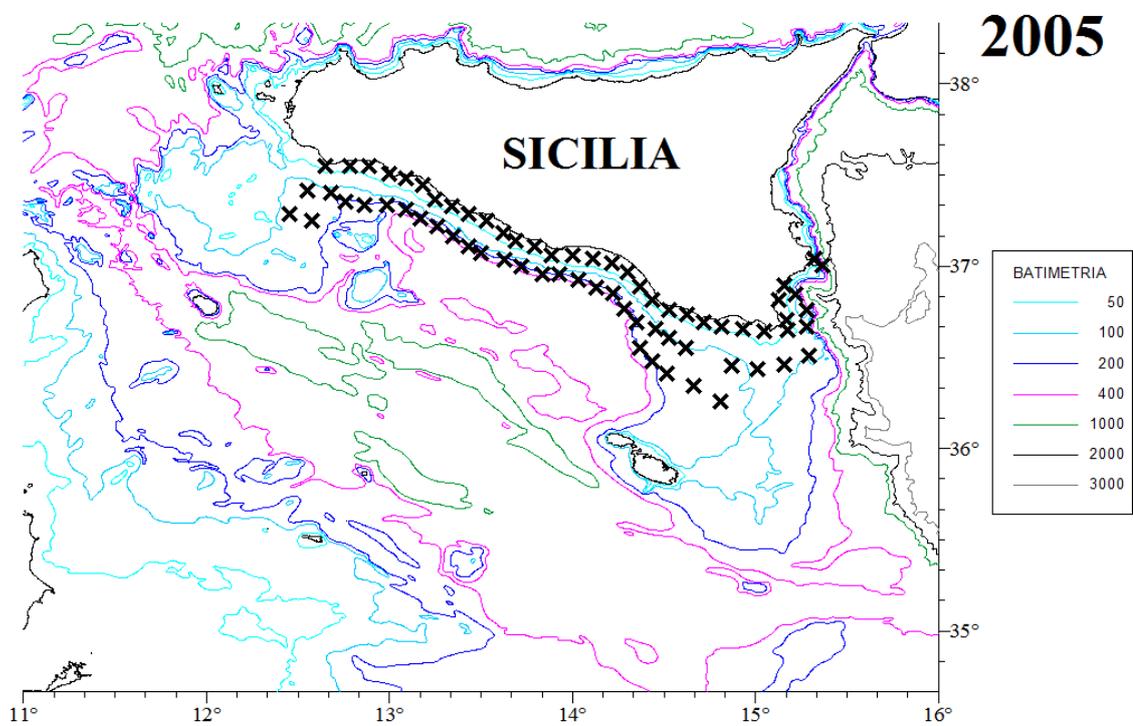


Fig. 2.13 Stazioni CTD della Campagna “Juvenile 2005” .

Per ogni cala, è stata calcolata la differenza di temperatura tra un metro della colonna d'acqua e il metro sottostante, per individuare la massima differenza, corrispondente al termoclino.

Inoltre, è stata calcolata una misura della stabilità della colonna d'acqua, la frequenza di Brunt-Vaisala, che rappresenta la frequenza alla quale una particella, posta verticalmente, oscilla all'interno di un ambiente statico.

Tale grandezza è stata derivata dai parametri di temperatura e salinità e definita come:

$$N^2 = - (g/\rho)(dp/dz)$$

dove g rappresenta l'accelerazione di gravità (9.81 m/s^2), ρ rappresenta la densità dell'acqua di mare (espressa in kg/m^3) e dp/dz è il gradiente di densità lungo il profilo verticale della colonna d'acqua (Denman e Gargett, 1983). Alti valori di N^2 testimoniano elevate discontinuità in termini di densità lungo la colonna d'acqua, che tipicamente nel periodo estivo indicano situazioni di alta stratificazione e stabilità della colonna d'acqua.

I parametri ambientali CTD considerati sono: la temperatura, la salinità e l'ossigeno a 5 metri di profondità della colonna d'acqua, la media di temperatura, salinità e ossigeno dello strato d'acqua sopra il termoclino, la profondità del termoclino e della massima concentrazione di ossigeno e la media della frequenza di Brunt-Vaisala di tutta la colonna d'acqua. Inoltre è stata presa in considerazione la profondità del fondo marino e le medie mensili, relativi al mese di ottobre, acquisiti da satellite, della concentrazione di clorofilla-a, della radiazione foto-sinteticamente attiva e dell'anomalia del livello del mare.

2.5 Approccio modellistico

2.5.1 Modelli additivi generalizzati (GAMs)

Un importante sviluppo nell'analisi statistica degli ultimi 30 anni è stato l'utilizzo nell'analisi di regressione dei modelli lineari generalizzati (GLMs) e dei modelli additivi generalizzati (GAMs), che costituiscono un grande potenziale per l'applicazione in molti campi della ricerca scientifica.

I modelli GLMs sono estensioni parametriche dei più classici modelli di regressione lineare. Essi sono basati su una relazione assunta, chiamata "funzione di link", tra la media della variabile risposta e la combinazione lineare delle variabili esplicative

(Hastie e Tibshirani, 1990). Per questo motivo, essi risultano più flessibili e più adatti per analizzare relazioni ecologiche non rappresentate dal classico modello Gaussiano. Tuttavia, con l'avanzamento delle tecniche statistiche, si è resa necessaria l'identificazione di appropriati termini polinomiali e trasformazioni dei predittori al fine di migliorare l'interpolazione di un modello lineare. Ciò nonostante, tale identificazione può spesso risultare poco precisa, quindi l'introduzione di modelli che automaticamente identificano appropriate trasformazioni è un passo in avanti importante per l'analisi di regressione.

I modelli additivi generalizzati (GAMs; Hasti e Tibshirani, 1990) sono estensioni semi-parametriche dei GLMs. Vengono detti "semi-parametrici" in quanto la sola assunzione è che le Y siano indipendenti e che abbiano una distribuzione di probabilità nota. Tale mancanza di forti ipotesi di base da rispettare e l'abilità nel fornire relazioni di tipo non lineare rendono i modelli GAM molto utili nella modellizzazione di diversi sistemi ecologici.

La costruzione del modello di distribuzione dell'habitat si è basata sulla metodologia proposta da Guisan e Zimmermann (2000), che hanno distinto il lavoro in quattro parti:

1. Formulazione di un modello concettuale.
2. Formulazione di un modello statistico.
3. Calibrazione del modello.
4. Valutazione del modello.

Formulazione del modello concettuale

La costruzione di un modello deve principalmente basarsi sulla formulazione di un modello ecologico concettuale, a cui deve seguire una fase di raccolta e ottimizzazione di tutte le informazioni necessarie e solo successivamente può avvenire la formulazione di un modello matematico vero e proprio (Austin, 2002). La procedura deve sviluppare modelli che non rappresentano la semplice correlazione tra le variabili ambientali e la distribuzione delle specie, ma che rispettano le condizioni ecologiche imposte durante la loro formulazione. Il risultato è uno strumento non esclusivamente guidato dai dati, ma che include regole dettate dalle conoscenze sulla biologia ed ecologia della specie.

La prima fase del processo, quindi, si è incentrata sullo studio della distribuzione osservata della specie, grazie all'analisi dei dati disponibili e alla raccolta di informazioni di letteratura delle principali caratteristiche dell'habitat. Tale analisi

preliminare ha consentito di individuare quali variabili esplicative sarebbero state inserite nel modello statistico, in modo da cogliere tutti i possibili fattori utili per la determinazione dell'habitat della specie.

Formulazione del modello statistico

La scelta del modello statistico più appropriato si è basata sulla valutazione della scala di misura (nominale ed ordinale) e della distribuzione di probabilità (binomiale e di Poisson) della variabile dipendente.

Data la presenza relativamente alta di conteggi nulli, è stato utilizzato un modello in due parti per mettere in relazione sia la probabilità di presenza sia l'abbondanza dei dati biologici con i parametri ambientali relativi all'area di studio.

Questo approccio è derivato da Barry e Welsh (2002) ed è basato sulla modellizzazione separata dei dati di presenza/assenza attraverso l'uso di un modello binomiale, e dei dati di abbondanza con un modello per il conteggio.

Innanzitutto è stata costruita una variabile dicotomica y_i , modellata in funzione delle covariate x_i tale che:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se } y_i \neq 0 \\ 0 & \text{se } y_i = 0 \end{cases}$$

In seguito è stata modellata l'abbondanza condizionatamente al fatto che la variabile di risposta sia diversa da zero. Questo è stato ottenuto facilmente filtrando il dataset in modo da includere solamente i casi dove $y_i \neq 0$. Successivamente è stata testata l'uniformità nella distribuzione delle variabili esplicative, ispezionando il QQ plot. È stato necessario trasformare le variabili che rappresentano la profondità del fondo e la clorofilla nel loro logaritmo ed, inoltre, per quest'ultima e per la radiazione fotosinteticamente attiva sono state eliminate alcune osservazioni con valore molto distante dalle altre disponibili (*outliers*). Inoltre, è stata stimata la correlazione tra le variabili esplicative. Le variabili significativamente associate tra loro non sono state inserite nel modello contemporaneamente.

Il dataset relativo alle campagne di raccolta estive è stato diviso in due parti: un *training set* per la calibrazione del modello (anni 2003-2004-2005-2007-2008) e un *test set* per la valutazione dell'abilità predittiva. Si è scelto di utilizzare i dati relativi all'anno 2006

come test in quanto la raccolta dei dati biologici è avvenuta in un periodo successivo (prima settimana di agosto) rispetto agli altri anni considerati. Per quanto riguarda il dataset relativo alle campagne di raccolta dei giovanili, non è stato possibile estrarre il *test set* a causa del numero esiguo di dati disponibili, ma per la valutazione della capacità predittiva sono state utilizzate 100 repliche *bootstrap* per ogni anno.

Calibrazione del modello

Entrambe le parti del modello sono state calibrate utilizzando i modelli additivi generalizzati (GAM), la cui struttura è la seguente:

$$g(E(Y)) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p s(X_i)$$

dove le funzioni s sono i lisciatori di regressione (*smoothers*) e g è la funzione di link.

Un passo cruciale nell'applicazione è la selezione di appropriati livelli di *smoother* per ogni predittore (Chambers e Hastie, 1992).

Essa è avvenuta seguendo il metodo proposto da Wood (Wood et al, 2006), usando la libreria "mgcv" del software statistico R (R Development Core Team, 2005). Wood suggerisce di selezionare i parametri di *smooth* attraverso le *spline* di regressione penalizzate, che implicano la divisione dei dati ordinati in intervalli regolari attraverso dei "nodi", nell'intervallo tra i quali la *spline* è una funzione polinomiale. Le stime dei parametri non sono eseguite mediante un algoritmo di *backfitting*, utilizzato per altri procedimenti di stima delle *smoothers*, ma minimizzando la funzione di log-verosimiglianza penalizzata per disincentivare le oscillazioni. Per ogni *spline* viene determinato un appropriato livello di gradi di libertà, che è relativo al numero di volte in cui la funzione cambia direzione. Gradi di libertà pari all'unità corrispondono a un modello lineare di primo ordine. Per ogni variabile di *smoothing*, inserita nel modello, si è scelto un livello massimo di gradi di libertà pari a 4, per evitare la presenza di numerose oscillazioni dell'effetto sulla variabile dipendente, difficili da interpretare.

La selezione dei modelli finali è avvenuta grazie alla creazione di script in ambiente R per l'applicazione di tutte le procedure necessarie alla creazione del miglior modello predittivo possibile.

Ogni modello è stato confrontato con i risultati derivanti da procedure di regressione di tipo lineare (Modelli Lineari Generalizzati - GLMs), al fine di evidenziare il contributo dei termini di *smooth* inseriti.

Valutazione del modello

Una volta scelti i modelli predittivi per ogni variabile risposta, sono stati esaminati i grafici relativi alla diagnostica: il QQ plot e l'istogramma dei residui per valutare la rilevanza del modello scelto, il plot dei residui parziali per identificare la presenza di particolari trend rimanenti nei dati e lo scatterplot relativo alla relazione tra i valori fittati e la variabile risposta per valutare la presenza di valori anomali. Se gli errori non si distribuiscono normalmente, allora il metodo di stima può fornire un risultato fortemente distorto. Ciò avviene particolarmente quando la distribuzione degli errori presenta lunghe code. In tali situazioni sono state rimosse le osservazioni che hanno prodotto tali valori anomali ed i dati rimanenti sono stati nuovamente modellati.

Ogni modello sviluppato è stato poi valutato e verificato, testando le capacità predittive e la coerenza con i vincoli ecologici. Qualora il modello non fosse stato giudicato adatto a rappresentare la distribuzione della specie in esame, sono state ripercorse tutte le fasi precedenti, per cercare di capire se il problema riguardasse le ipotesi sull'utilizzo dell'habitat o se dovesse essere cambiata la formulazione o la tipologia dei modelli utilizzati.

Una volta scelto il modello binomiale, ne è stata valutata per ogni anno l'affidabilità in termini di sensibilità e specificità, utilizzando la libreria "PresenceAbsence" del software statistico R (R Development Core Team, 2005). La sensibilità rappresenta la probabilità che una cala osservata come positiva alla presenza di uova venga classificata dal modello tra le positive e la specificità rappresenta la probabilità che una cala con assenza di uova di acciughe venga inserita tra le negative.

E' stato adottato un cut-off di 0.5 per la discriminazione dei valori predetti dal modello, evidenziando quindi presenza di uova di acciughe nelle cale il cui valore stimato è risultato superiore a tale cut off e assenza per valori inferiori.

L'attitudine a separare propriamente le cale in positive e negative è proporzionale all'estensione dell'area sottesa (Area Under Curve, AUC) dalla curva ROC (Receiver Operating Characteristic), approssimata con la statistica di Mann-Whitney. La curva mette in relazione i valori della sensibilità con il complemento a 1 dei valori di

specificità (Elith et al., 2006) a diversi livelli di *cut-off*. Il valore dell'AUC indica l'abilità del modello a discriminare tra presenza e assenza della specie oggetto di studio. Nello specifico, è la probabilità che, estraendo a caso una cala con presenza, il modello la inserisca tra le positive. Per la valutazione della capacità discriminante del modello è stata scelta la classificazione di Swets (1988):

- $AUC=0.5$: modello non informativo
- $0.5 < AUC \leq 0.7$: modello poco accurato
- $0.7 < AUC \leq 0.9$: modello moderatamente accurato
- $0.9 < AUC < 1.0$: modello altamente accurato
- $AUC=1.0$: modello perfetto

Riguardo ai modelli di abbondanza, la valutazione è stata fatta mediante la stima dei coefficienti di correlazione tra valori osservati e valori predetti per ogni singolo anno. Tale valutazione è stata effettuata anche sul *test set* (anno 2006), al fine di verificare le capacità predittive del modello stimato.

Non essendo stato possibile individuare un *test set* per i dati di cattura autunnali relativi ai giovanili di acciuga a causa della scarsità di informazioni disponibili, sono state ottenute 100 repliche *bootstrap* del campione per ogni anno. L'accuratezza del modello è stata poi valutata sui dati relativi a tali repliche.

2.5.2 Modelli di presenza/assenza

In un primo modello si è utilizzata come variabile risposta una variabile dicotomica che rappresenta la presenza o l'assenza di uova di acciughe nelle cale di raccolta considerate. La distribuzione dell'errore usata è la binomiale con il logit come funzione di link. Tale modello GAM quindi rappresenta un'estensione ai modelli additivi non parametrici della più classica regressione logistica.

Una caratteristica notevole del modello logistico (logit) consiste, contrariamente al modello lineare, nell'ottenere dei valori che appartengono tutti monotonicamente all'intervallo $[0;1]$. Naturalmente il modello logistico non è l'unico in grado di produrre questi valori limitati, ma alcune particolarità matematiche lo rendono più facilmente manipolabile e quindi più adottato dagli studiosi. L'idea sottesa dal modello logistico consiste nell'ipotizzare l'esistenza di una relazione tra la probabilità di presenza

(variabile inosservabile) ed una serie di grandezze osservabili che sono strettamente connesse con l'evento.

Ciò che si osserva nella realtà, quindi, non è esattamente la probabilità, che può essere considerata come una variabile latente, ma una realizzazione dicotomica di tale probabilità.

Il modello finale è stato scelto in base ad un metodo di selezione *stepwise forward*, che consiste nell'inserire nell'equazione di regressione un parametro alla volta e valutarne il contributo che esso può dare alla spiegazione della variabilità della variabile risposta. Scelte le variabili, sono state valutate anche tutte le interazioni possibili.

La comparazione dei modelli è stata effettuata esaminando la significatività dei coefficienti ad un livello $\alpha=0.05$ di ogni variabile esplicativa inserita, la percentuale di devianza spiegata, l'AIC (Akaike's Information Criterion) e l'UBRE (Un-Biased Risk Estimator)

La stima dei parametri di *smooth* è avvenuta minimizzando l'UBRE:

$$UBRE = \frac{D}{n} + \frac{2\sigma^2 f}{n} - \sigma^2$$

con D la devianza del modello, f il numero di gradi di libertà effettivi del modello e σ^2 il parametro di scala.

L'AIC contiene informazioni sia sulla bontà del modello sia sul numero di predittori inseriti.

$$AIC = -2\log L + 2p$$

con L funzione di verosimiglianza e p numero di predittori.

L'obiettivo è stato quello di trovare un modello che minimizzi tale criterio, che può assumere valori elevati se il modello non interpola bene i dati ($-2\log L$) o se il numero dei predittori (p) è molto elevato.

I modelli individuali non possono essere testati esclusivamente valutando la significatività dei coefficienti relativi alle variabili inserite nel modello tramite il p-valore fornito dalla libreria "mgcv", in quanto non si conosce il vero numero dei gradi di libertà e potrebbe essere falsato dalla forte autocorrelazione spaziale nei dati (Planque, 2007). Pertanto, ogni fit è stato analizzato con riguardo alla devianza spiegata

e all'intervallo di confidenza, che non deve includere lo zero per l'intero range del predittore.

Il modello ottenuto dalle informazioni relative alle cale di raccolta è stato applicato ai parametri ambientali dell'intero Canale di Sicilia, fino a 500 m di profondità del fondo marino, utilizzando una griglia con una risoluzione di 4 Km. La distribuzione dei valori predetti per ogni anno analizzato è stata visualizzata su una mappa utilizzando il software *Surfer* 8.0 (Golden Software Inc.).

Successivamente, è stato costruito il modello GAM per la discriminazione delle cale in presenza di larve di acciuga dalle cale in assenza, non ottenendo però risultati soddisfacenti in termini di devianza spiegata e di performance del modello finale scelto. Infine, è stato costruito un modello binomiale sui dati relativi ai giovanili di acciuga, utilizzando le informazioni provenienti dalle cale di raccolta autunnali degli anni 2001, 2004 e 2005.

2.5.3 Modelli di abbondanza

Il passo successivo ha riguardato la selezione dei modelli di abbondanza per esprimere la relazione tra le suddette variabili ambientali e l'abbondanza di uova di acciughe in un primo modello e di larve in un secondo modello prendendo in considerazione solo le cale positive.

In questo caso è stata utilizzata una distribuzione dell'errore quasi-poissoniana con il logaritmo come funzione di link. La variabile di Poisson è una variabile di conteggio, ovvero essa consente di calcolare la probabilità del verificarsi del numero di eventi di interesse nell'intervallo prefissato ed ha quindi ad oggetto eventi discreti (numerabili) in spazi (intervalli) continui. La distribuzione dell'errore quasi-poissoniana viene utilizzata quando la variabile risposta è un conteggio ma non si conosce il parametro di scala. La scelta del logaritmo come funzione di link è molto utile per la stima dei dati di conteggio in quanto regola l'asimmetria tipica della distribuzione di Poisson ed impedisce al modello di produrre dei valori negativi.

Per entrambe le variabili dipendenti è stato utilizzato un metodo di selezione *stepwise forward* per la valutazione delle variabili esplicative da inserire nel modello predittivo finale e, una volta scelte, si è passato alla valutazione di tutte le possibili interazioni.

Il confronto tra i modelli è stato effettuato esaminando la significatività dei coefficienti, l'intervallo di confidenza per ogni smooth (che non deve contenere il valore nullo) e la Generalized Cross Validation (GCV).

La formula per GCV è:

$$GCV = \frac{nD}{(n - f)^2}$$

dove D è la devianza del modello, f il numero dei gradi di libertà ed n la numerosità del campione.

L'UBRE risulta più informativo rispetto alla GCV per la valutazione della stima dei parametri del modello di regressione, ma può essere utilizzato esclusivamente se si conosce il parametro di scala.

I modelli costruiti sono stati applicati ai parametri ambientali dell'intero Canale di Sicilia, seguendo la griglia con una risoluzione di 4 Km. Sono stati visualizzati sulle mappe i valori ottenuti applicando il modello relativo alle larve, mentre per le uova è stato visualizzato il risultato derivante dal prodotto della probabilità stimata dal modello di presenza/assenza e la stima del modello di abbondanza, che rappresenta la distribuzione potenziale media delle uova condizionata alla loro presenza.

RISULTATI

3.1 Distribuzione delle uova di acciuga

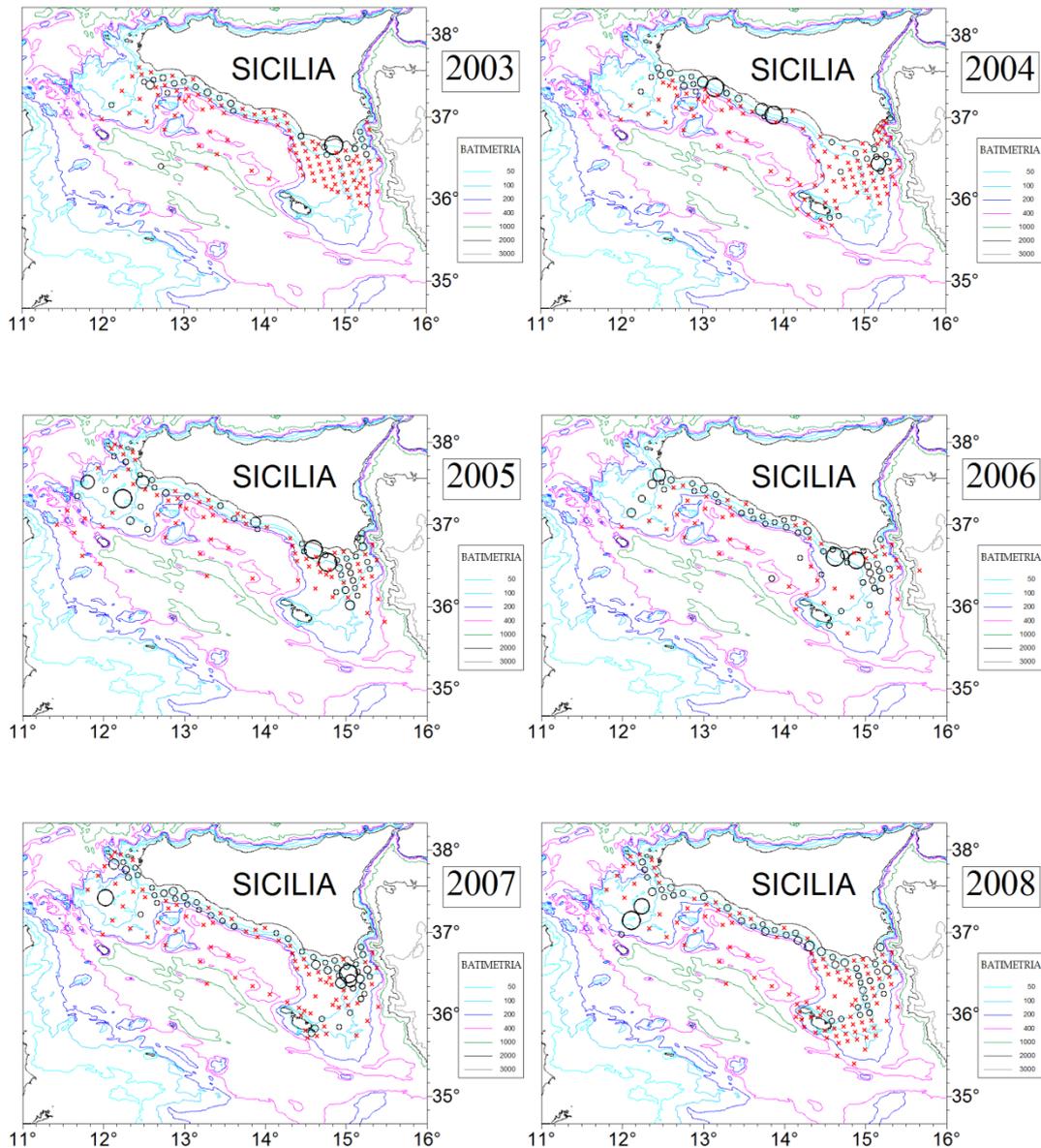


Fig. 3.1 Distribuzione spaziale delle uova di acciuga nell'area di studio dal 2003 al 2008. I cerchi sono proporzionali all'abbondanza.

La distribuzione spaziale delle uova di acciuga, osservata nell'area di studio attraverso l'analisi ittioplantonica delle stazioni campionate con rete Bongo 40 (Fig. 3.1), ha rilevato la presenza di diversi nuclei di deposizione nel Canale di Sicilia per

tutti gli anni analizzati, ad eccezione dell'anno 2003 in cui sono stati registrati bassi livelli di densità.

Per l'anno 2004, l'abbondanza maggiore è stata riscontrata principalmente nell'area a nord ovest sul Banco Avventura, lungo la costa centrale e, in minor misura, a sud-est nell'area antistante Pozzallo. Per gli anni dal 2005 al 2007 la distribuzione spaziale delle uova è stata molto simile, anche se con diversi livelli di abbondanza. Sono state evidenziate due principali aree di deposizione: la prima di fronte a Mazara del Vallo e la seconda nella parte più a nord della piattaforma Siculo-Maltese, dove è stata registrata la maggiore abbondanza. Nell'anno 2008, invece, le uova di acciuga sono apparse uniformemente distribuite lungo tutta la costa sicula, con basse densità nel Banco Maltese (Fig.3.1).

3.1.1 Modello di presenza/assenza per le uova

I box plot relativi alle variabili ambientali considerate, ad eccezione della salinità superficiale da modello e dell'anomalia del livello del mare, mostrano una differente distribuzione tra le cale in presenza da quelle in assenza di uova di acciughe (Fig.3.2).

I risultati del modello di presenza/assenza sono mostrati come plot della migliore interpolazione delle funzioni di *smooth* per l'effetto delle variabili ambientali sulla probabilità di presenza di uova di acciuga. L'effetto di ogni variabile è condizionato rispetto a tutte le altre variabili incluse nel modello.

Il modello finale selezionato ha come variabili esplicative: la temperatura superficiale, la profondità del fondo, la radiazione foto-sinteticamente attiva e la concentrazione di clorofilla-a. La probabilità di presenza di uova di acciughe dipende in maniera significativa da tutte le variabili, che non presentano problemi di multicollinearità. La percentuale di devianza spiegata dal modello finale è pari al 24.3%, l'UBRE è pari a 0.0008 e l'AIC pari a 731.62 (Tab.3.1).

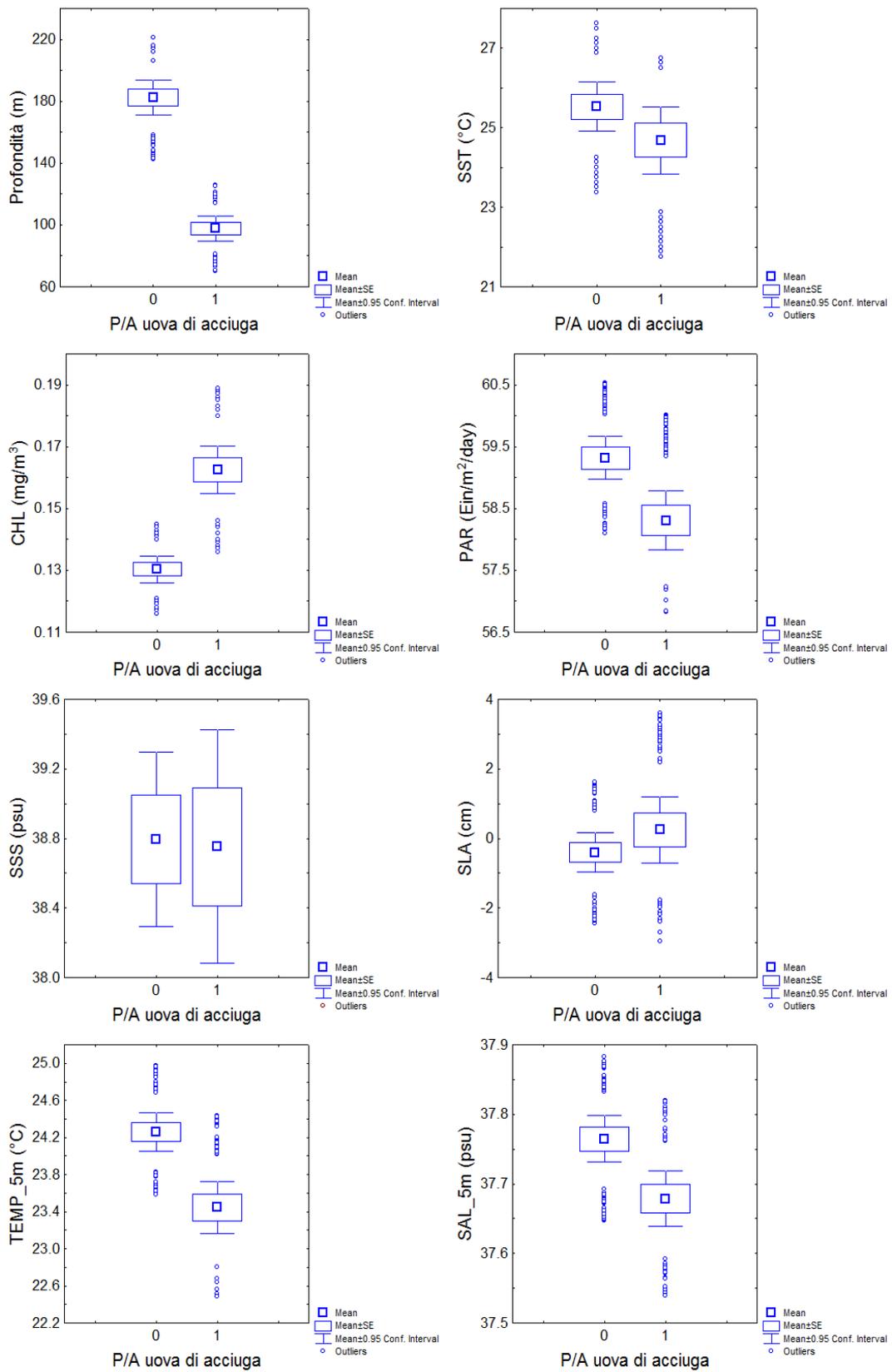


Fig. 3.2 Box-plot relativi ai parametri ambientali divisi tra cale in presenza e cale in assenza di uova.

Tab. 3.1 Risultati del modello finale scelto (GAM) per i dati di presenza/assenza di uova in base alla metodologia *stepwise forward*.

Parametri	% devianza spiegata	p-value	UBRE	AIC
Modello nullo			0.292	970.88
s(Prof)	15	<<0.000	0.108	832.83
s(Prof)+s(SST)	21.4	<<0.000	0.051	767.07
s(Prof)+s(SST)+s(PAR)	23.3	<<0.000	0.0072	746.37
s(Prof)+s(SST)+s(PAR)+s(CHL)	24.3	<<0.000	0.0008	731.62

L'applicazione dei Modelli Lineari Generalizzati porta a risultati peggiori in termini di devianza spiegata e di significatività dei coefficienti (Tab.3.2).

Tab. 3.2 Risultati del modello lineare generalizzato per i dati di presenza/assenza di uova.

Parametri	% devianza spiegata	p-value	AIC
Modello nullo			970.88
Depth	9.7	<<0.000	878.04
Depth + SST	13.9	<<0.000	832.80
Depth + SST + PAR	15.5	<<0.000	815.77

Il grafico della *spline*, adattata alla variabile profondità, mostra una più alta probabilità di presenza di uova in acque meno profonde, in particolare da 50 a 80 metri.

L'effetto della variabile SST sulla probabilità di presenza di uova di acciuga nell'area di studio risulta decrescente, positivo per temperature inferiori a 25°C circa.

L'effetto stimato relativo alla concentrazione di clorofilla è crescente fino ad un valore di circa 0.22 mg/m³, al di sopra del quale risulta costante.

La spline, adattata alla variabile PAR, mostra un andamento di tipo lineare decrescente, sintomo del fatto che per questo termine l'aver introdotto un trattamento di *smoothing*

non ha migliorato il modello finale. L'effetto sulla probabilità stimata di presenza di uova di acciughe nell'area oggetto di studio è positivo per valori inferiori a 58 Ein/m²/day circa (Fig.3.3).

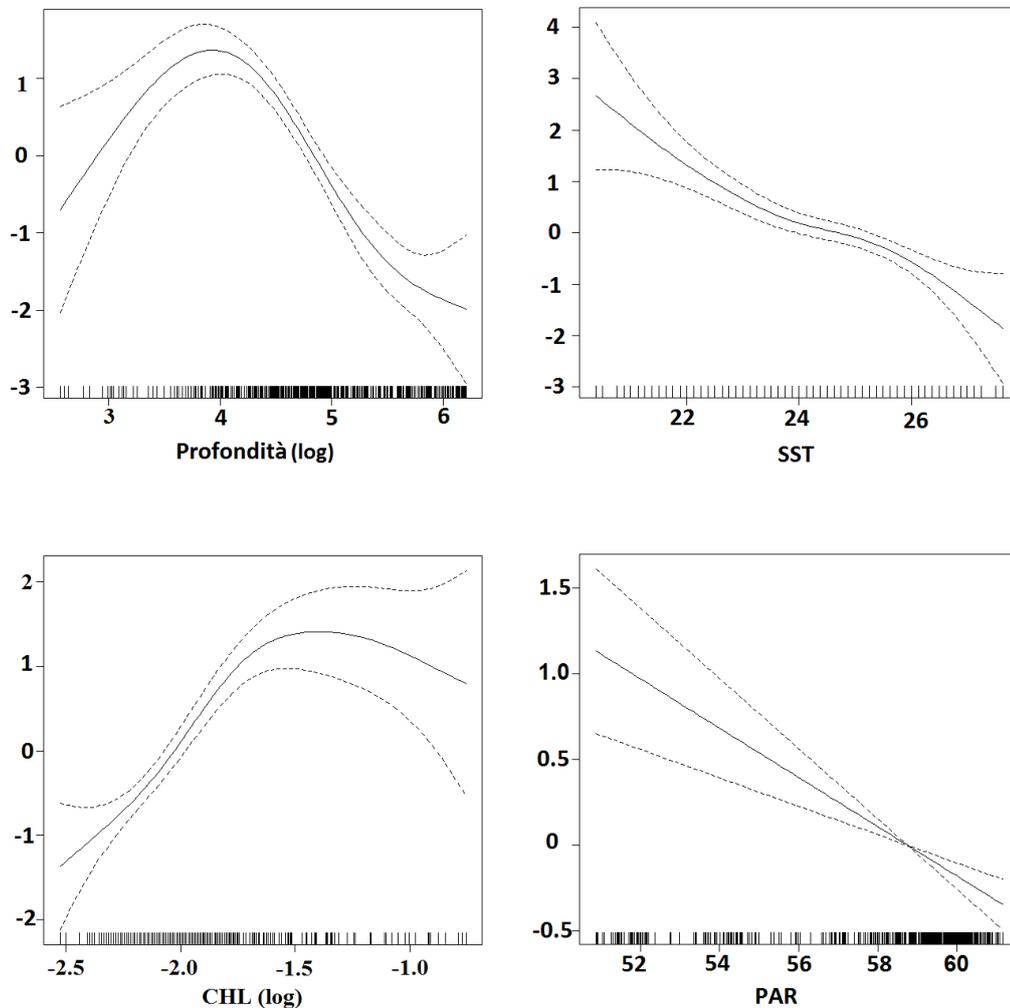


Fig. 3.3 Curve di *smoothing* per ciascuno dei predittori inclusi nel modello GAM di presenza/assenza di uova di acciughe. Le linee tratteggiate rappresentano gli intervalli di confidenza bayesiani al 95%.

I grafici relativi alla diagnostica mostrano una buona rilevanza del modello scelto. Il QQ plot e l'istogramma relativo ai residui ne evidenziano la normalità distributiva. Il grafico che illustra la relazione tra i residui e ciascuna variabile esplicativa non sembra presentare alcun trend, sintomo che i regressori spiegano bene la variabilità della variabile risposta.

3.1.1.1 Validazione del modello

La specificità, che rappresenta la probabilità che una cala con assenza di uova di acciughe venga inserita tra le negative, è superiore a 0.75 per tutti gli anni considerati, mentre la sensibilità, che rappresenta la probabilità che una cala osservata come positiva alla presenza di uova venga classificata dal modello tra le positive, ha un valore relativamente basso (0.32) per l'anno 2003, in cui la proporzione di cale positive risulta inferiore rispetto agli altri anni. Per tutti gli anni la percentuale di corretta classificazione è superiore al 70% (Tab.3.3).

Tab. 3.3 Risultati della validazione del modello GAM per le uova di acciuga per ogni anno considerato nella calibrazione.

Anno	Sensibilità	Specificità	% corretta classificazione	AUC
2003	0.32	0.93	81	0.82
2004	0.58	0.86	79	0.82
2005	0.60	0.77	70	0.79
2007	0.46	0.89	71	0.83
2008	0.52	0.82	72	0.78

L'istogramma delle probabilità predette divise dalla classificazione dei valori osservati, produce per ogni anno una certa separazione tra presenze ed assenze, sintomo anche questo di bontà del modello (Fig.3.4).

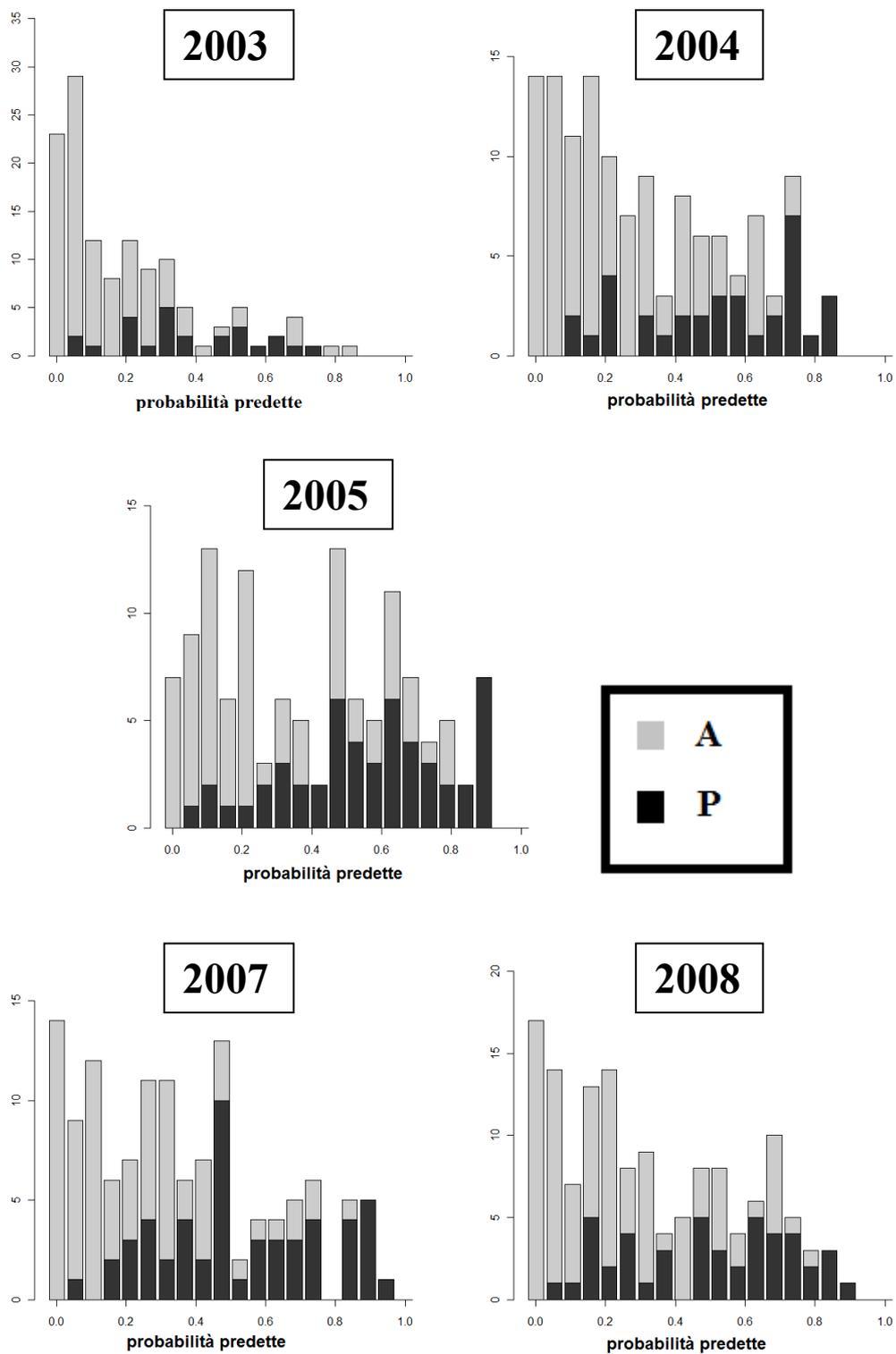


Fig. 3.4 Istogramma delle probabilità predette divise dalla classificazione dei valori osservati per ogni anno considerato nella calibrazione.

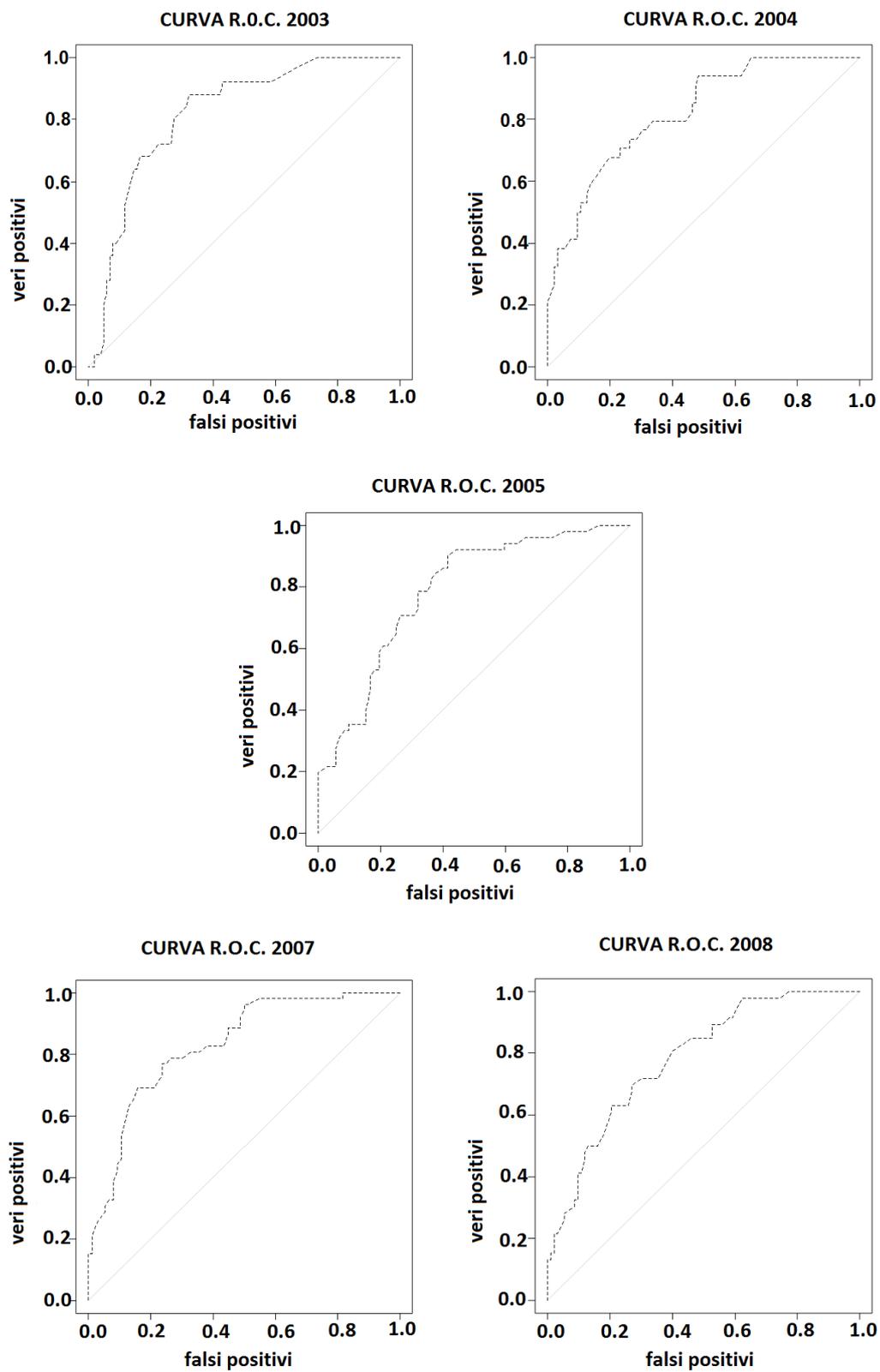


Fig. 3.5 Curva Roc (Receiver Operating Curves) e area sottesa alla curva (AUC) per ogni anno considerato nella calibrazione.

L'analisi della curva Roc (Receiver Operating Curves), che rappresenta i valori di sensibilità contro il tasso dei falsi positivi (1-specificità), per un cut-off che varia da 0 a 1, e dell'area sotto la curva (AUC) (Elith et al., 2006) stimata compresa tra lo 0.78 e lo 0.83 (Fig.3.5), inserisce il modello tra i moderatamente accurati, secondo la classificazione di Swets (1988).

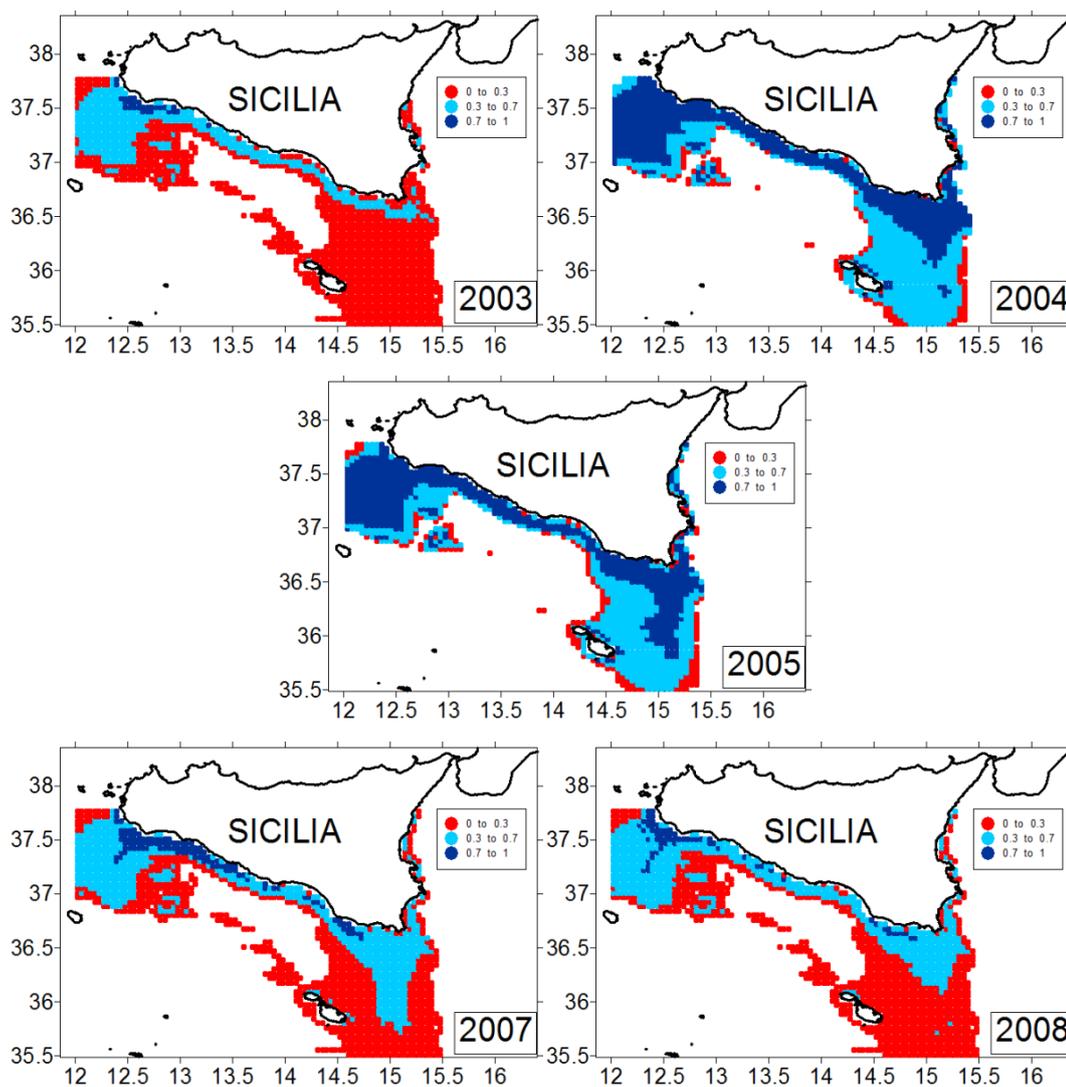
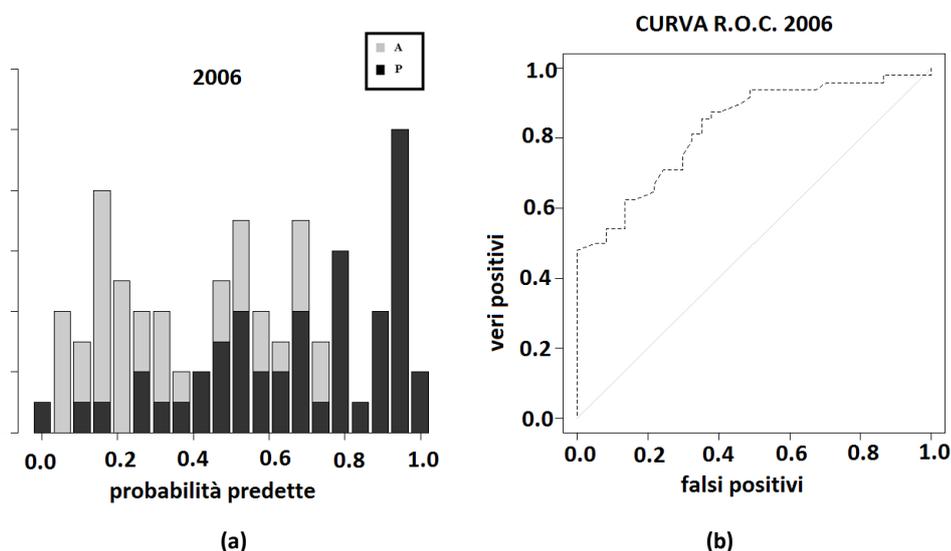


Fig. 3.6 Distribuzione dei valori predetti dal modello di presenza/assenza delle uova di acciuga.

La distribuzione della probabilità stimata di presenza di uova presenta un andamento molto simile negli anni 2004 e 2005 in cui possiamo riscontrare probabilità superiore a 0.3 per quasi tutta l'area di studio, a differenza degli anni 2007 e 2008, in cui l'area relativa al Banco Maltese risulta caratterizzata da bassa probabilità di presenza

(inferiore a 0.3), le condizioni ambientali sembrano essere maggiormente favorevoli alla deposizione lungo la costa da Mazara a Licata (Fig.3.6). Nell'anno 2003 l'area con probabilità stimate inferiori a 0.3 è più estesa rispetto agli altri anni considerati, la maggiore probabilità si trova lungo tutta la costa e nell'area del Banco Avventura.



Anno	Sensibilità	Specificità	% corretta classificazione	AUC
2006	0.75	0.70	72	0.83

(c)

Fig. 3.7 Valutazione dell'abilità predittiva del modello. (a) L'istogramma delle probabilità predette divise dalla classificazione dei valori osservati dell'anno 2006. (b) Curva Roc (Receiver Operating Curves) e area sottesa alla curva (AUC) per l'anno 2006. (c) Risultati della sensitivity analysis per l'anno 2006.

L'analisi dell'accuratezza relativa al *test set* dimostra la buona abilità predittiva del modello selezionato (Fig.3.7).

L'istogramma delle probabilità dimostra che, scegliendo un cut-off pari a 0.5, vi è una chiara separazione tra le cale positive e quelle negative, confermata da un'alta percentuale di corretta classificazione (72%) e da un'area sottesa dalla curva ROC (AUC) pari a 0.83, che secondo la classificazione di Swets (1988) corrisponde ad un modello moderatamente accurato.

Confrontando i risultati del *test set* con i pattern distributivi delle uova di acciughe nello stesso anno, possiamo trovare una buona corrispondenza tra le previsioni e le densità rilevate a mare (Fig.3.8).

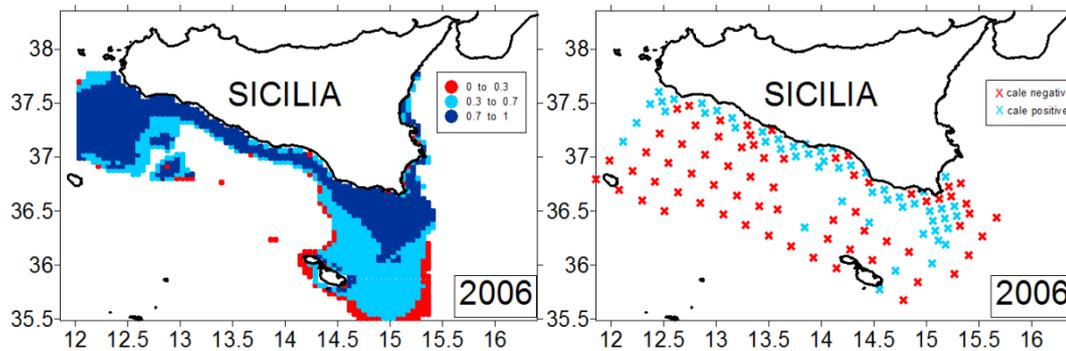


Fig. 3.8 Confronto tra la distribuzione dei valori predetti dal modello di presenza/assenza delle uova di acciuga e dei valori osservati nell'anno 2006.

3.1.2 Modello di abbondanza per le uova

L'analisi dei dati relativi all'abbondanza di uova di acciuga è stata effettuata prendendo in esame solamente le caie positive. Il modello finale scelto si compone delle variabili: salinità superficiale (SSS), concentrazione di clorofilla-a (CHL) e interazione tra la profondità del fondo marino (Prof) e la temperatura superficiale da satellite (SST). La percentuale di devianza spiegata è del 47.3% e rappresenta il modello con il più basso valore di GCV (Tab. 3.4).

A fini comparativi, in Tab. 3.5 sono riportati i risultati del corrispondente modello lineare.

Tab. 3.4 Risultati del modello finale scelto (GAM) per i dati di abbondanza di uova in base alla metodologia *stepwise forward*.

Parametri	% devianza spiegata	p-value	GCV
Modello nullo			1.71
s(Prof)	11.4	<<0.000	1.58
s(Prof)+s(SST)	20.6	<<0.000	1.43
s(Prof)+s(SST)+s(CHL)	31.4	<<0.000	1.27
s(Prof)+s(SST)+s(CHL)+s(SSS)	38.9	<<0.000	1.06
s(SST,Prof)+s(SSS)+s(CHL)	47.3	<<0.000	0.97

Tab. 3.5 Risultati del modello lineare generalizzato per i dati di abbondanza di uova.

Parametri	% devianza spiegata	p-value
SSS	3.65	<<0.000
SSS + Prof	8.69	<<0.000
SSS + Prof + CHL	13.41	<<0.000

Anche relativamente al modello poissoniano, si può notare un range ottimale di profondità del fondo marino per valori tra 50 e 100 m circa. Per valori superiori a tale range l'effetto sull'abbondanza di uova di acciughe risulta negativo e decrescente. Esso viene rafforzato con l'interazione con la temperatura superficiale, in quanto l'effetto maggiore si nota per valori appartenenti a tale range ottimale associati a valori di temperatura compresi tra 23 e 25°C.

I risultati del modello evidenziano abbondanza stimata di uova di acciuga per valori di salinità superficiale più bassi. All'aumentare della concentrazione di clorofilla-a l'abbondanza di uova di acciuga decresce linearmente (Fig.3.9).

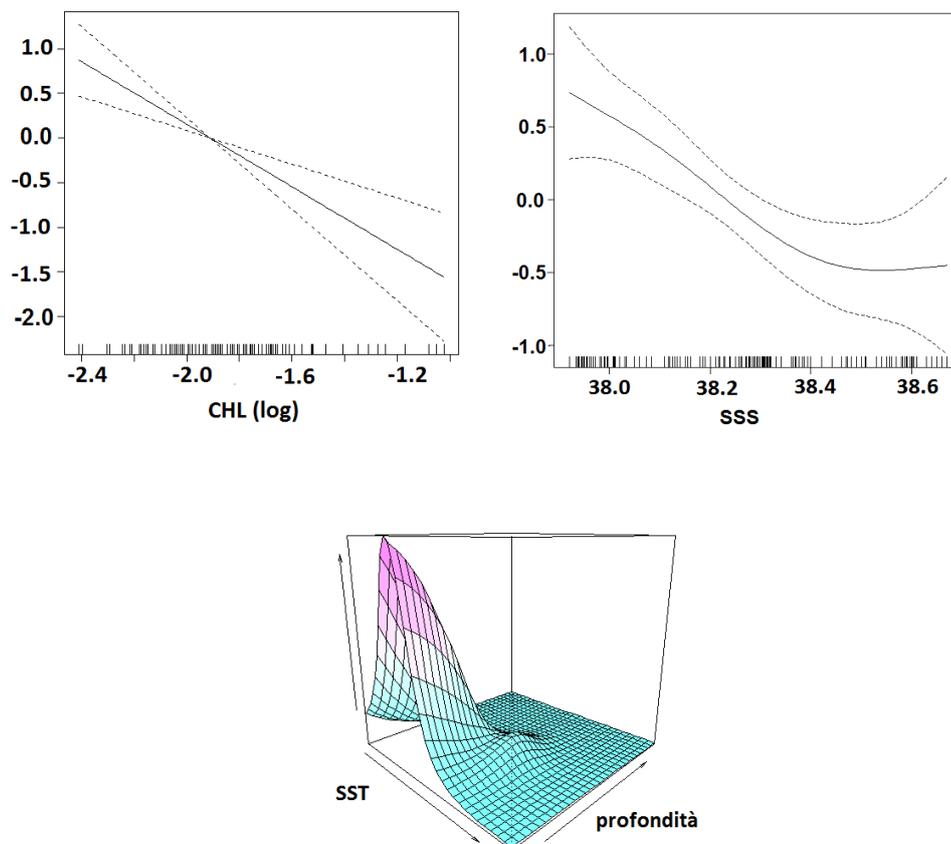


Fig. 3.9 Curve di *smoothing* per le uova di acciughe. Le linee tratteggiate rappresentano gli intervalli di confidenza bayesiani al 95%.

Tab. 3.6 Coefficienti di correlazione di Pearson tra valori stimati dal modello di abbondanza e valori di abbondanza di uova.

Anno	Coefficiente di correlazione di Pearson	Coefficiente di correlazione di Spearman
2003	0.16	0.20
2004	0.69	0.57
2005	0.53	0.45
2007	0.51	0.47
2008	0.75	0.62

La correlazione tra i valori stimati dal modello e i valori osservati risulta significativa per tutti gli anni, eccetto che per il 2003 (Tab.3.6).

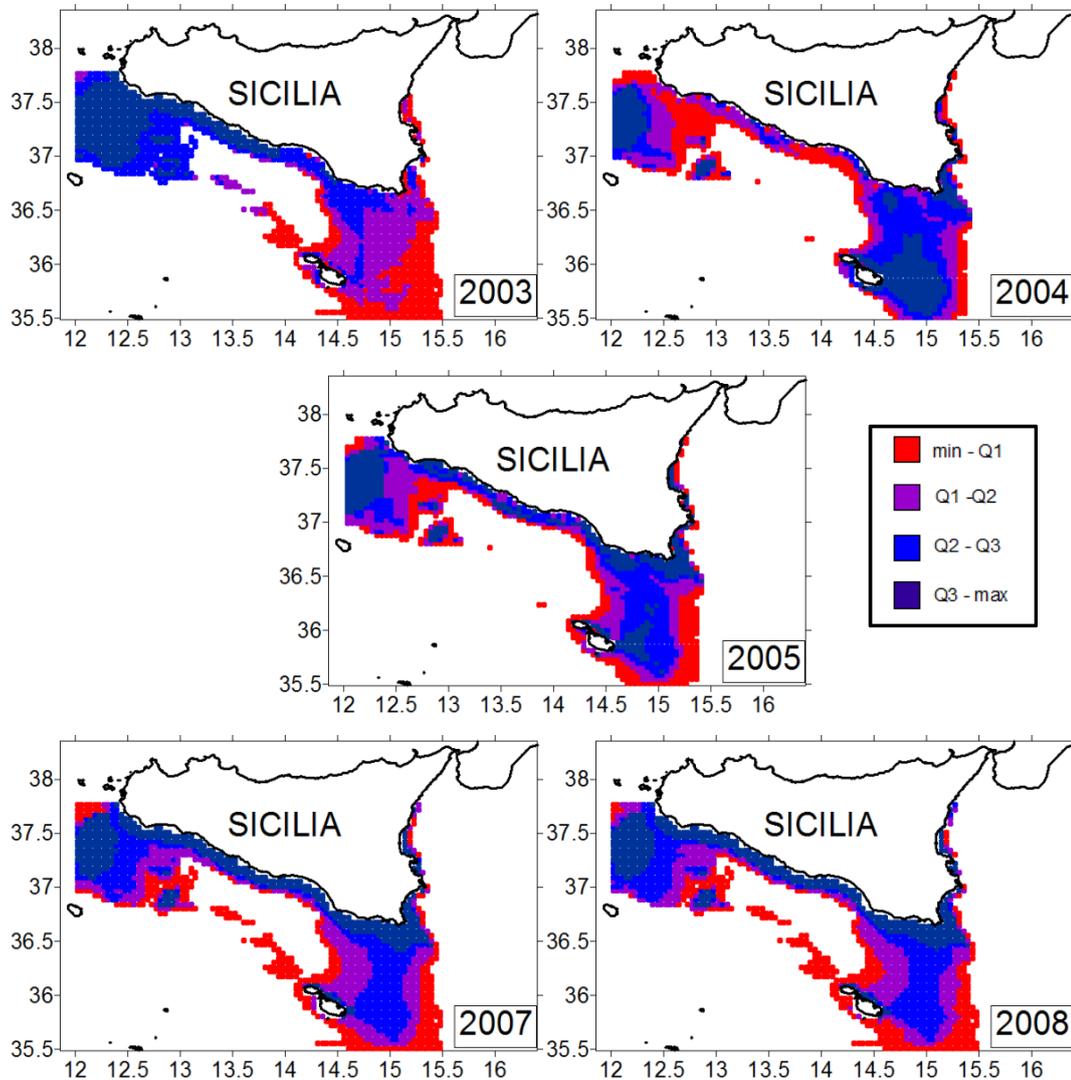


Fig. 3.10 Distribuzione dei valori predetti dal modello di abbondanza moltiplicati per le probabilità predette dal modello di presenza/assenza delle uova di acciuga.

La distribuzione dell'abbondanza stimata di uova di acciuga rispecchia in gran parte quella osservata. Infatti, per quanto riguarda i dati dell'anno 2003, pur in condizioni di relativa bassa abbondanza, la maggiore concentrazione si trova nell'area a nord-ovest sotto Mazara del Vallo, confermata anche dalla distribuzione dei valori predetti. Le due principali aree di deposizione, di fronte Mazara del Vallo e a nord della Piattaforma Maltese, negli anni 2005 e 2007 vengono evidenziate anche nella distribuzione dei valori predetti dal modello scelto. Per quanto riguarda l'anno 2008, si evidenzia una

distribuzione uniforme con scarsa densità nell'area relativa al Banco Maltese. Nell'anno 2004, invece, non vi è un'adeguata corrispondenza con l'abbondanza di uova di acciuga, in quanto sono maggiormente concentrate nell'area sud-est nel Banco Maltese, contrariamente a quanto rilevato durante i survey di campionamento di quell'anno (Fig.3.10).

Anche relativamente al *test set* di dati (anno 2006) la distribuzione dell'abbondanza predetta corrisponde per la maggior parte a quelle osservate, identificando come principali aree di deposizione il Banco Avventura e la zona più settentrionale del Banco Siculo-Maltese (Fig. 3.11). Il coefficiente di correlazione di Pearson tra valori osservati e predetti è pari a 0.52 e quello di Spearman è 0.43, entrambi significativamente diversi da zero.

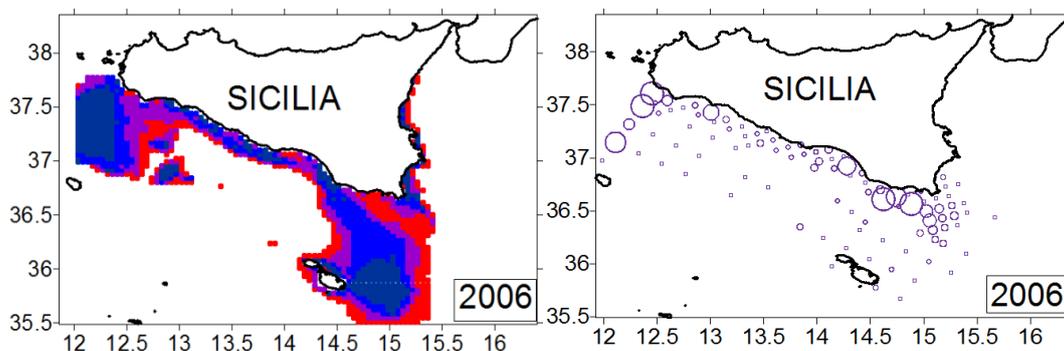


Fig. 3.11 Confronto tra la distribuzione dei valori predetti dal modello di abbondanza delle uova di acciuga e dei valori osservati nell'anno 2006.

3.2 Distribuzione delle larve di acciuga

La distribuzione delle larve di acciuga conferma le osservazioni fatte prima circa la presenza di due principali siti di deposizione, e mostra gli effetti dell'avvezione prodotta dalla corrente superficiale.

Anche la presenza di larve di acciuga, come per le uova, nell'anno 2003 è stata abbastanza scarsa per tutta l'area considerata. Per gli anni dal 2004 al 2007 la distribuzione spaziale della densità di larve manifesta gli effetti del trasporto da parte della corrente superficiale. In particolare, sono state individuate due aree caratterizzate da elevata concentrazione, una a sud-est rispetto all'area di deposizione sul Banco Avventura e un'altra a nord ovest rispetto alla zona di deposizione a sud di Capo Passero. Per quanto riguarda il nucleo di deposizione sulla piattaforma Siculo Maltese, è

opportuno sottolineare che la densità di larve è bassa e risente di un trasporto in direzione sud-est. Nell'anno 2008 la distribuzione è risultata abbastanza uniforme lungo tutta l'area considerata, così come osservato anche per le uova (Fig.3.12).

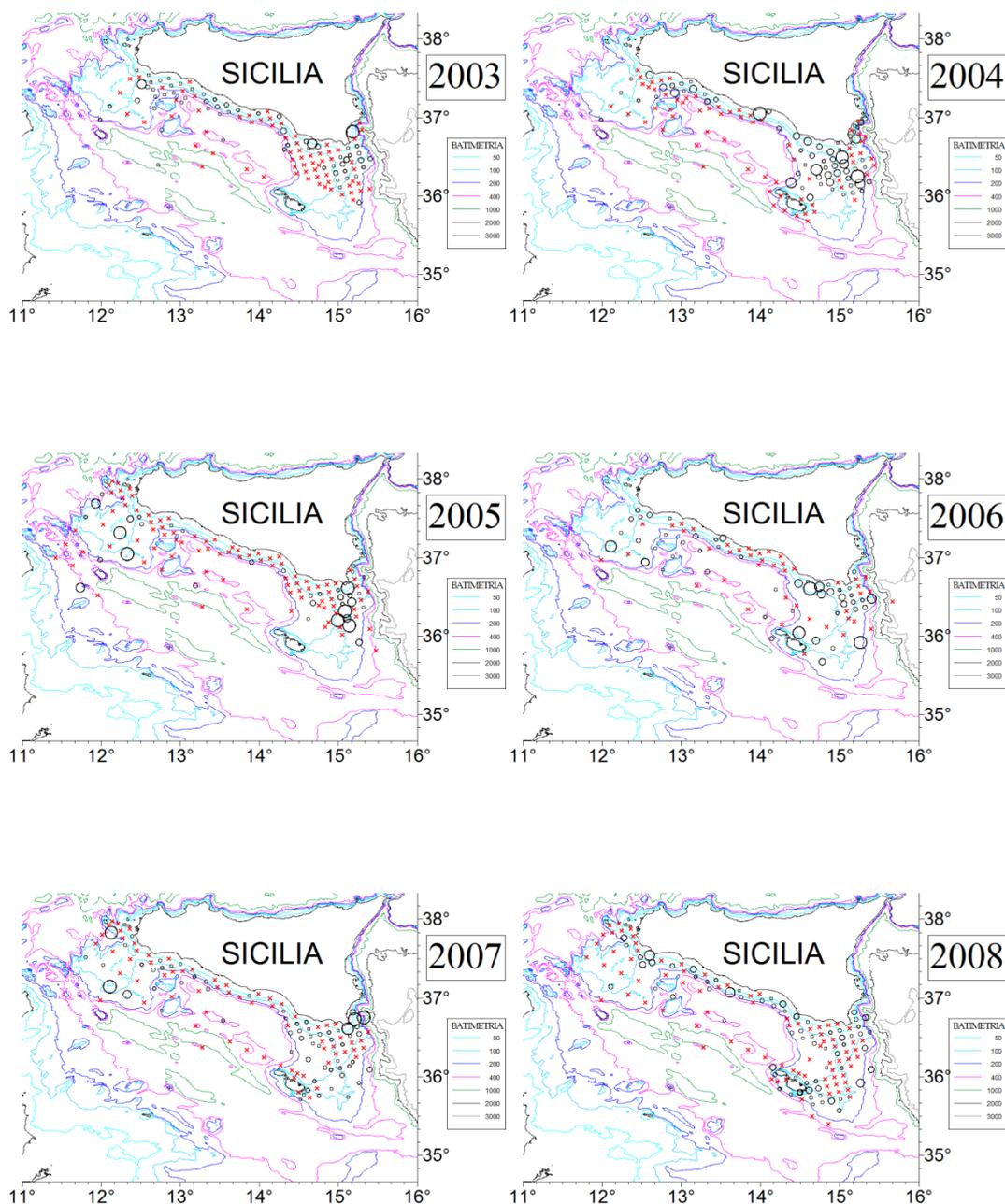


Fig.3.12 Distribuzione spaziale delle larve di acciuga nell'area di studio dal 2003 al 2008. La dimensione dei cerchi è proporzionale all'abbondanza.

3.2.1 Modello di abbondanza per le larve

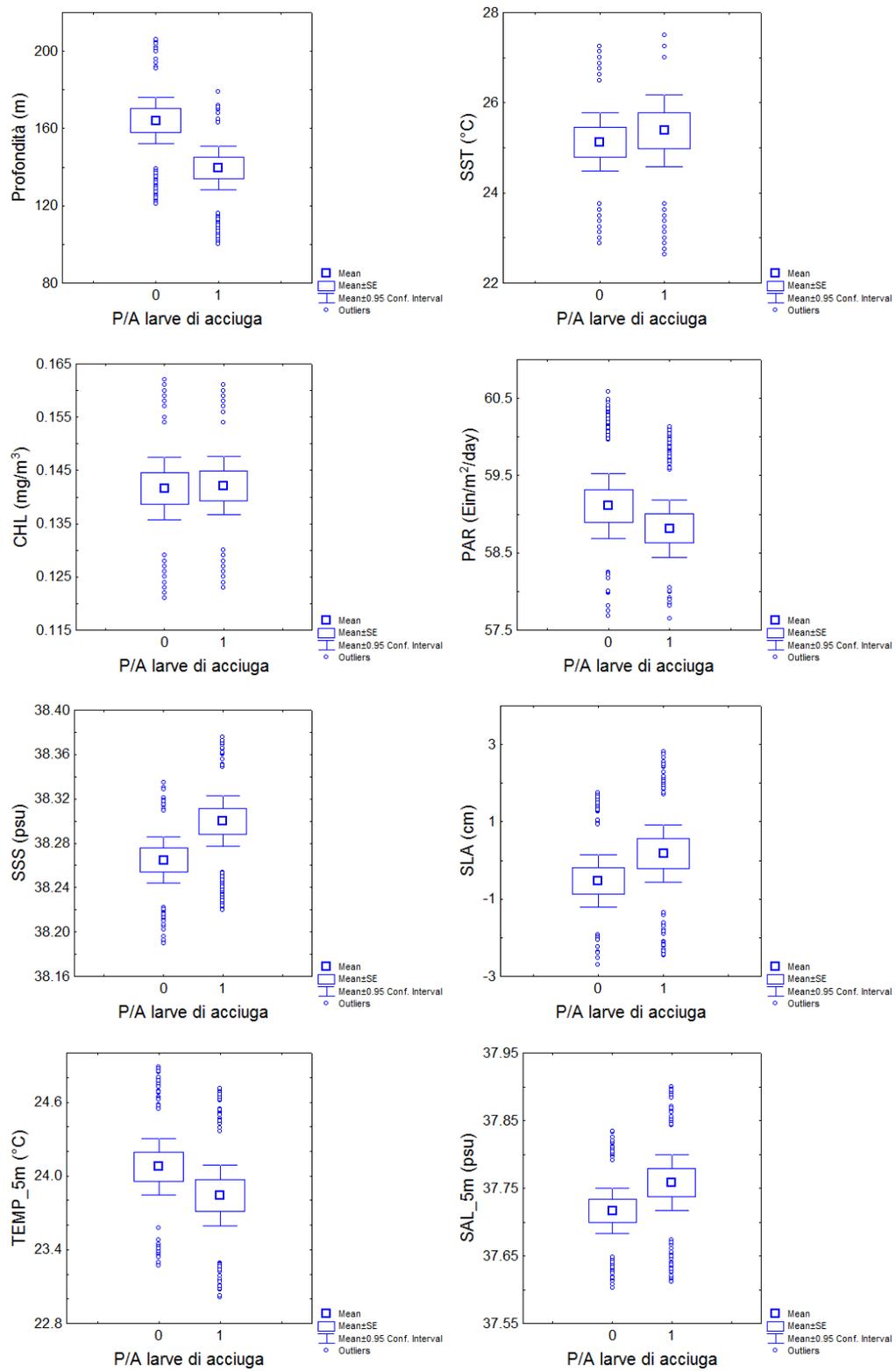


Fig. 3.13 Box-plot relativi ai parametri ambientali divisi tra cale in presenza e cale in assenza di larve.

I box-plot evidenziano differenze significative tra cale in presenza e cale in assenza di larve solo per valori di profondità del fondo marino e salinità superficiale (Fig.3.13). Infatti, utilizzando come variabile risposta una variabile dicotomica che rappresenta la presenza o l'assenza di larve di acciughe nelle cale di raccolta considerate, non si sono ottenuti risultati soddisfacenti in termini di devianza spiegata. Per tale motivo nel modello finale come variabile risposta è stata scelta l'abbondanza di larve, ottenendo invece risultati apprezzabili.

Il modello finale scelto si compone delle variabili: temperatura a 5 metri di profondità, radiazione foto-sinteticamente attiva e interazione tra l'anomalia del livello del mare e la salinità a 5 metri. Tale modello spiega il 38.3% della devianza totale (Tab. 3.7).

Tab. 3.7 Risultati del modello finale (GAM) per i dati di abbondanza di larve in base alla metodologia stepwise forward.

Parametri	% devianza spiegata	p-value	GCV
Modello nullo			6.41
s(PAR)	10.1	<<0.000	5.92
s(PAR) + s(SLA)	21.6	<<0.000	5.31
s(PAR) + s(SLA) + s(SAL_5M)	28.0	<<0.000	4.99
s(PAR) + s(SLA) + s(SAL_5M)+s(TEMP_5M)	31.3	<<0.000	4.86
s(SLA,SAL_5M) + s(PAR) + s(TEMP_5M)	38.3	<<0.000	4.70

Tab.3.8 Risultati del modello lineare generalizzato per i dati di abbondanza di larve.

Parametri	% devianza spiegata	p-value
SLA	5.57	<<0.000
SLA + SAL_5M	9.08	<<0.000
SLA + SAL_5M + PAR	11.40	<<0.000

Il corrispondente modello lineare spiega appena l'11.4% della devianza (Tab.3.8).

Il modello indica un effetto positivo sull'abbondanza di larve per temperature comprese tra i 22 e i 24°C. Al di fuori di questo range, l'intervallo di confidenza risulta ampio, quindi non si può stimare con certezza l'effetto. Stessa considerazione può essere fatta sull'effetto della radiazione foto-sinteticamente attiva, infatti esiste un range ottimale tra i 58.5 e i 60 Ein/m²/day e al di fuori di quest'intervallo l'effetto non può essere stimato con accuratezza.

Analizzando l'interazione, si nota un effetto positivo per valori negativi di anomalia del livello della superficie marina associati ad una bassa salinità. Per valori di salinità più elevati l'effetto tende a diminuire. Per valori di anomalia positivi si ha un effetto negativo a prescindere dai valori di salinità associati fino a SLA pari a 5 centimetri. Per valori elevati di SLA e di salinità l'effetto sull'abbondanza di larve di acciuga sembrerebbe essere nullo (Fig.3.14).

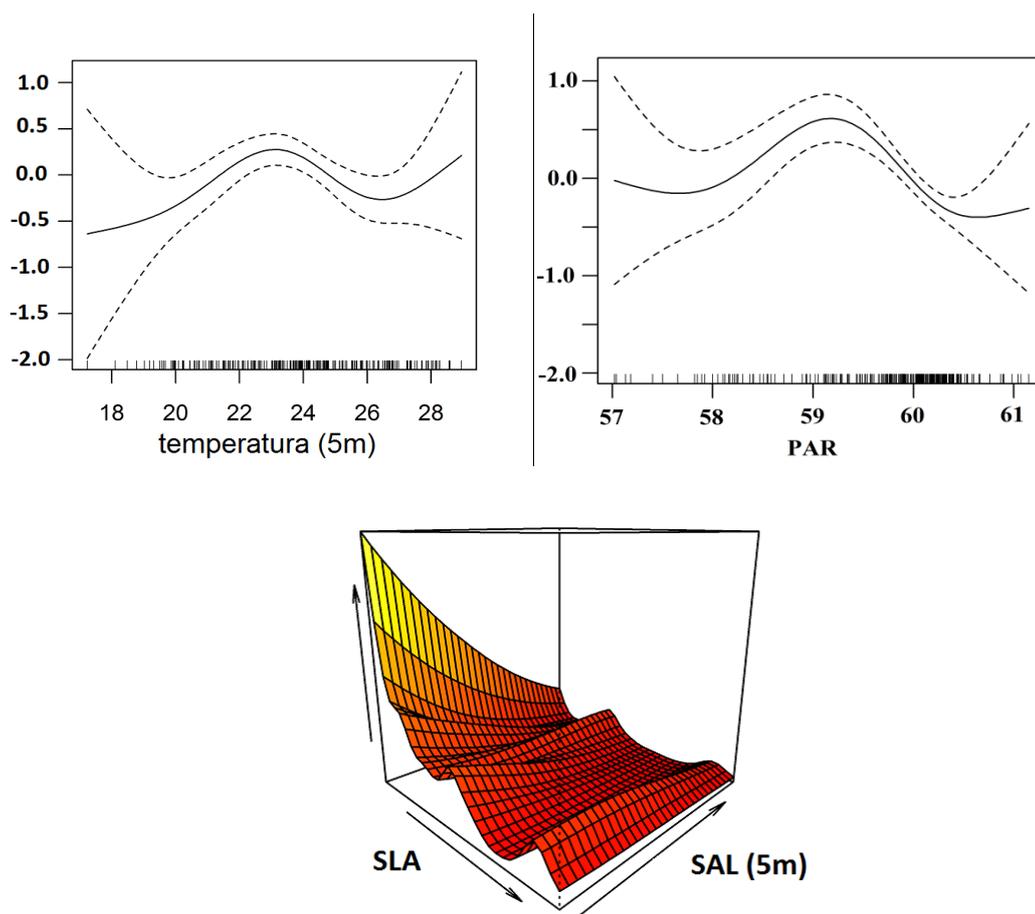


Fig. 3.14 Curve di *smoothing* per le larve di acciughe. Le linee tratteggiate rappresentano gli intervalli di confidenza bayesiani al 95%.

I grafici relativi alla diagnostica non rilevano problemi di cattiva specificazione. La correlazione tra i valori stimati dal modello e i valori osservati, pur non molto elevata risulta significativa per tutti gli anni, eccetto per il 2003 (Tab.3.9).

Tab. 3.9 Coefficienti di correlazione tra valori stimati dal modello di abbondanza e valori di abbondanza di larve.

Anno	Coefficiente di correlazione di Pearson	Coefficiente di correlazione di Spearman
2003	0.17	0.27
2004	0.36	0.42
2005	0.29	0.21
2007	0.64	0.63
2008	0.55	0.62

La distribuzione dei valori predetti secondo il modello stimato riflette la scarsa presenza di larve di acciuga nell'anno 2003 in tutta l'area di studio, con una presenza lievemente maggiore a sud di Mazara del Vallo. Per gli anni dal 2004 al 2007 la distribuzione spaziale dei valori predetti, così come quella dei valori reali, individua due aree con maggiore concentrazione, determinate dal trasporto da parte della corrente superficiale: in particolare, a sud-est rispetto all'area sotto Capo Passero per gli anni 2004 e 2007 e a sud del Banco Avventura per l'anno 2005. Nell'anno 2008 la distribuzione dei valori predetti non evidenzia particolari aree di concentrazione (Fig.3.15).

Analizzando il *test set* di dati (anno 2006) si nota una corrispondenza tra l'area di concentrazione osservata e quella predetta dal modello, la zona nord del Banco Siculo-Maltese (Fig.3.16). Il coefficiente di correlazione di Pearson tra valori osservati e predetti è 0.41, quello di Spearman è pari a 0.36.

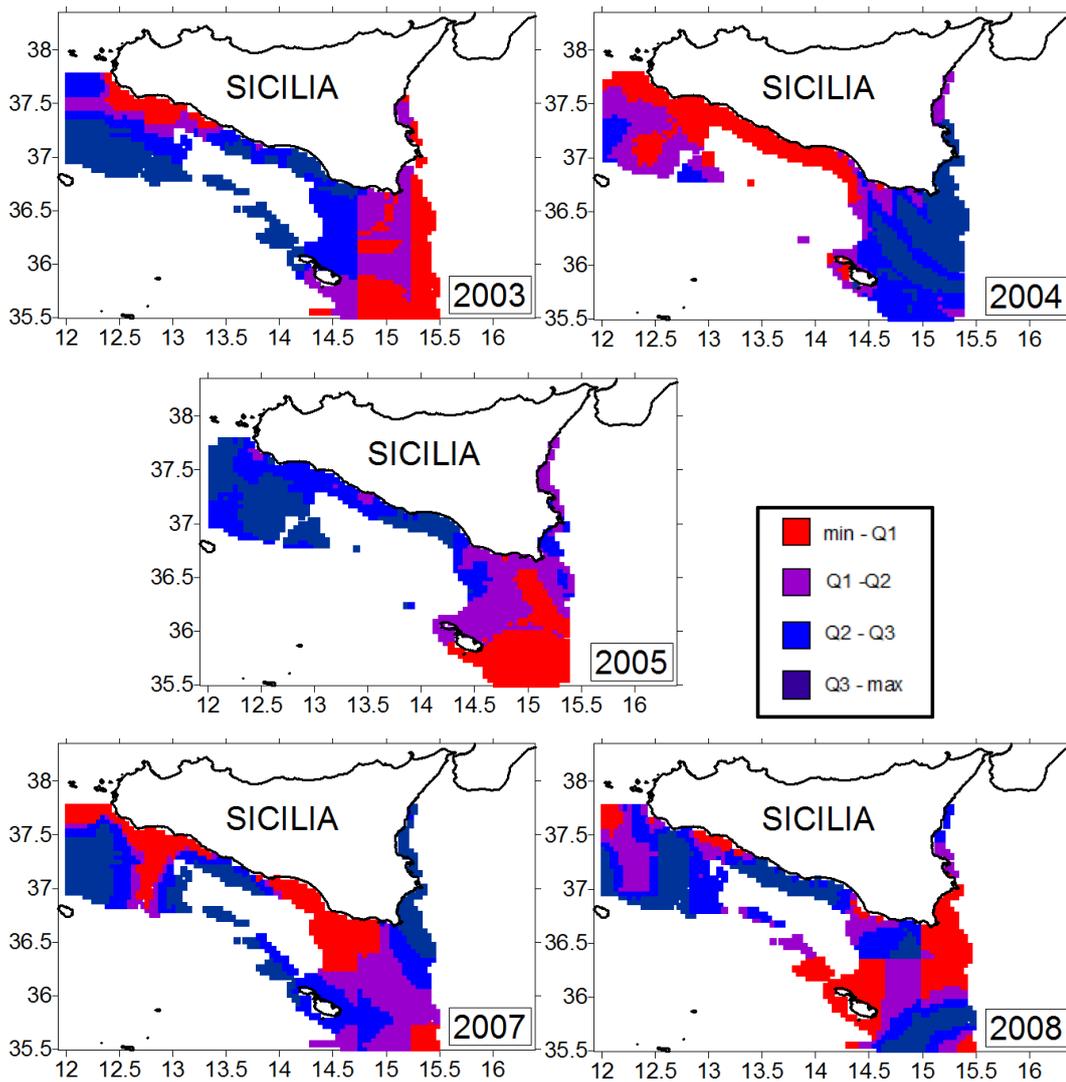


Fig. 3.15 Distribuzione dei valori predetti dal modello di abbondanza delle larve di acciuga.

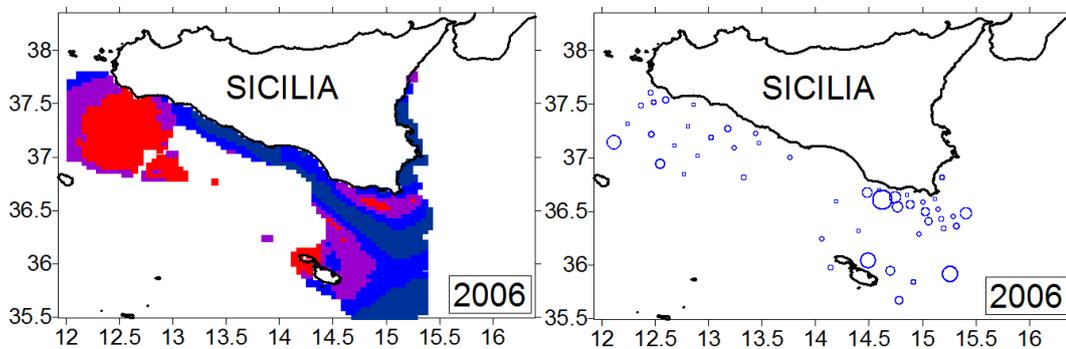
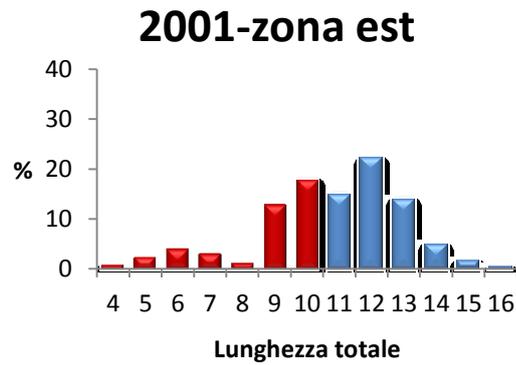
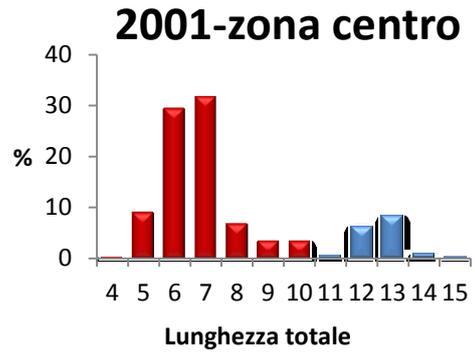
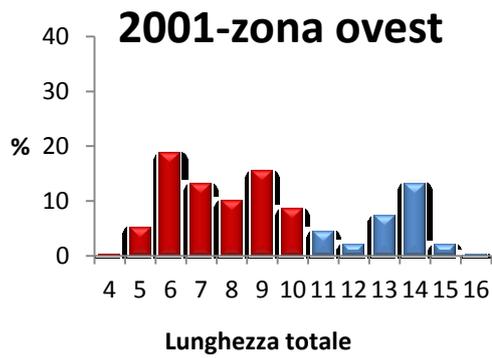


Fig. 3.16 Confronto tra la distribuzione dei valori predetti dal modello di abbondanza delle larve di acciuga e dei valori osservati nell'anno 2006.

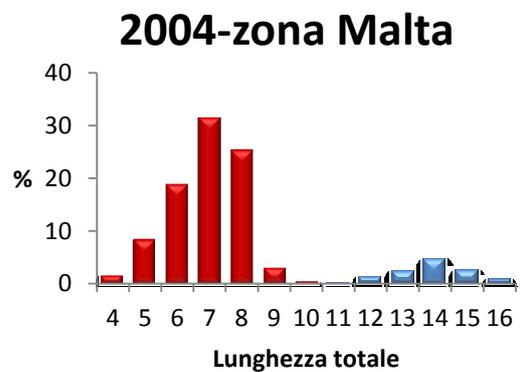
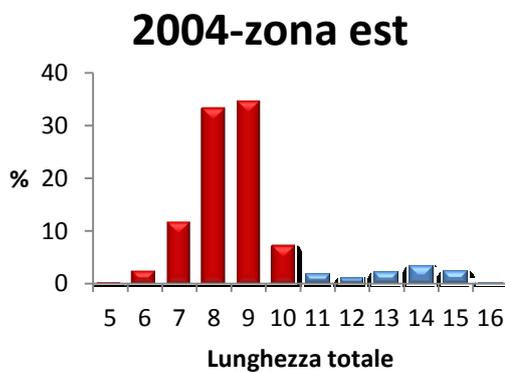
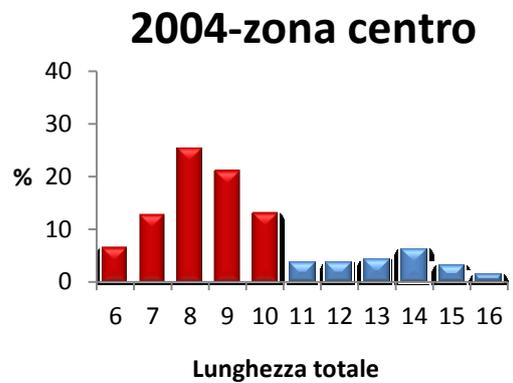
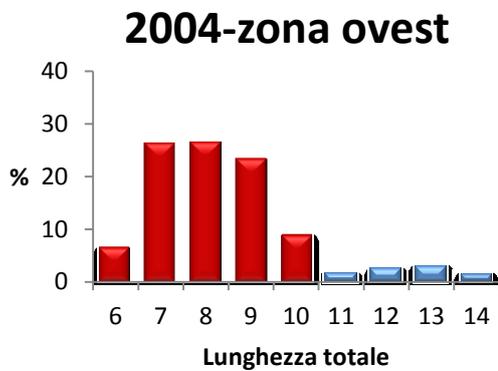
3.3 Distribuzione dei giovanili di acciuga

Nell'ottobre dell'anno 2001 la distribuzione dei giovanili di acciuga è abbastanza uniforme. Essi, infatti, si distribuiscono su tutta la zona costiera senza rilevanti differenze tra le aree (Fig. 3.17a). Nell'anno 2004, invece, la distribuzione non appare omogenea, ma si notano alcune differenze significative tra sub-aree, con una maggiore concentrazione nella parte più orientale e nel Banco Maltese (Fig.3.17b). Nel 2005 si può notare una più chiara identificazione delle aree di nursery, infatti si ha una totale predominanza delle classi di taglia inferiori a 11 cm nella zona orientale.

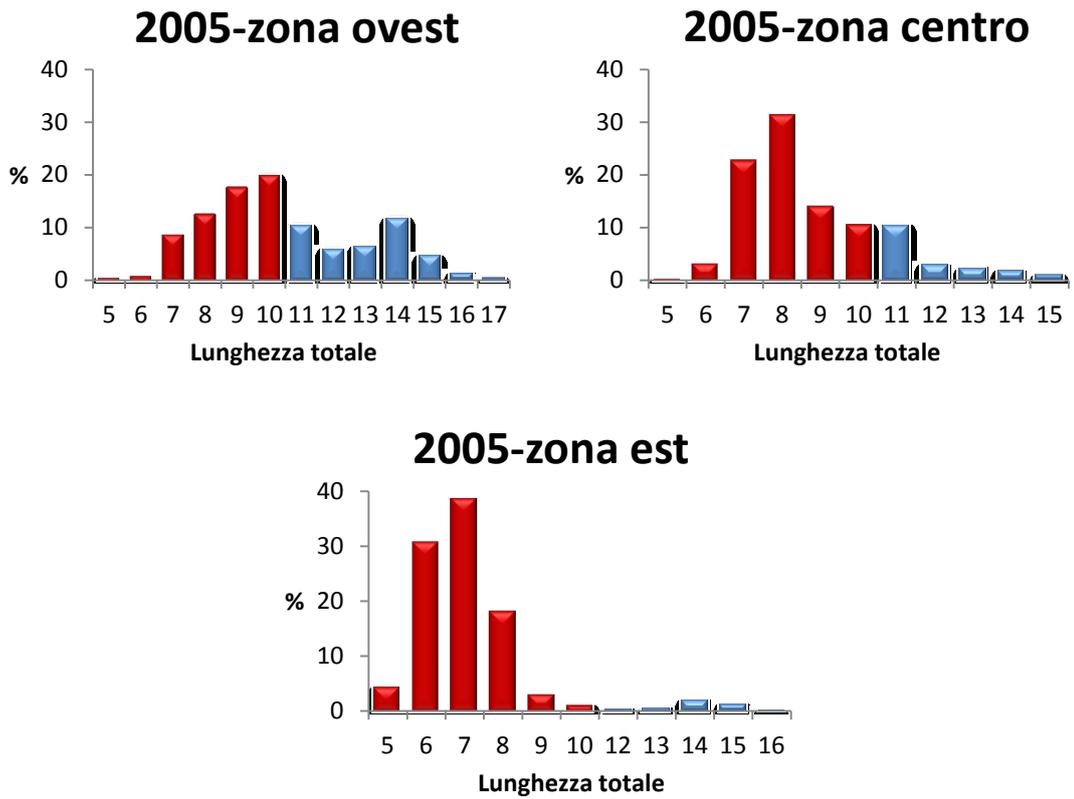
Tale distribuzione sembra essere legata alle condizioni termiche riscontrate durante il periodo del reclutamento. Nell'anno 2001 la distribuzione uniforme degli esemplari giovanili corrisponde ad un'uniformità anche nella distribuzione delle temperature superficiali dell'area di studio (Fig. 3.18a). Nell'anno 2004, è stata riscontrata una temperatura più bassa rispetto al 2001, soprattutto nella parte più occidentale. In queste condizioni i giovanili di acciuga sembrano preferire le aree con temperature più elevate (Fig. 3.18b). Le caratteristiche fisiche dell'area di studio durante il 2005 differiscono fortemente dai survey autunnali precedenti, principalmente per un incremento del gradiente delle temperature NW-SE. Nel 2005 le taglie più piccole sono state prevalentemente osservate nell'area sud-orientale, dove la temperatura risulta più elevata (Fig.3.18c).



(a)

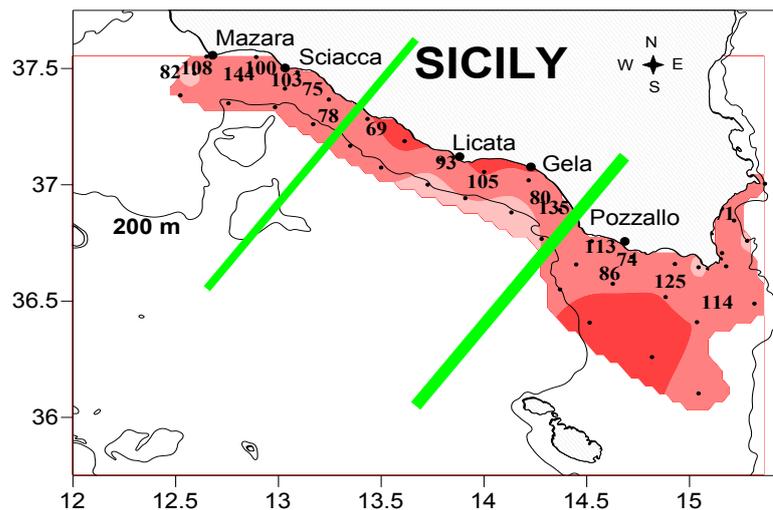


(b)

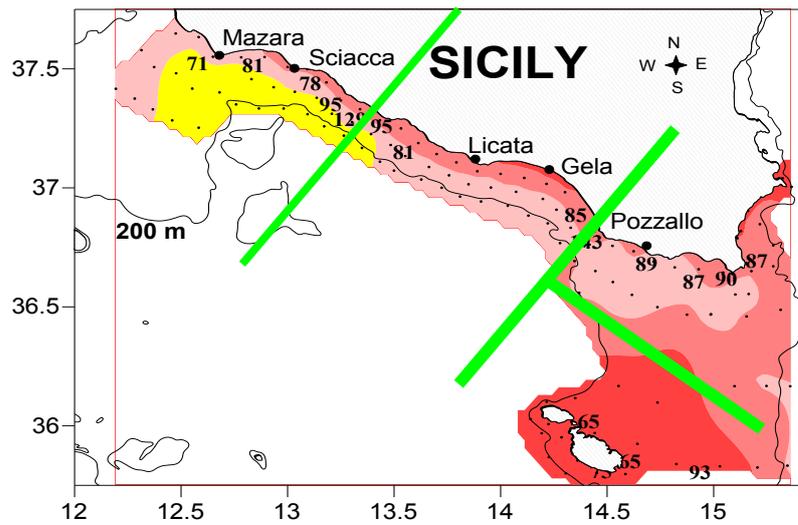


(c)

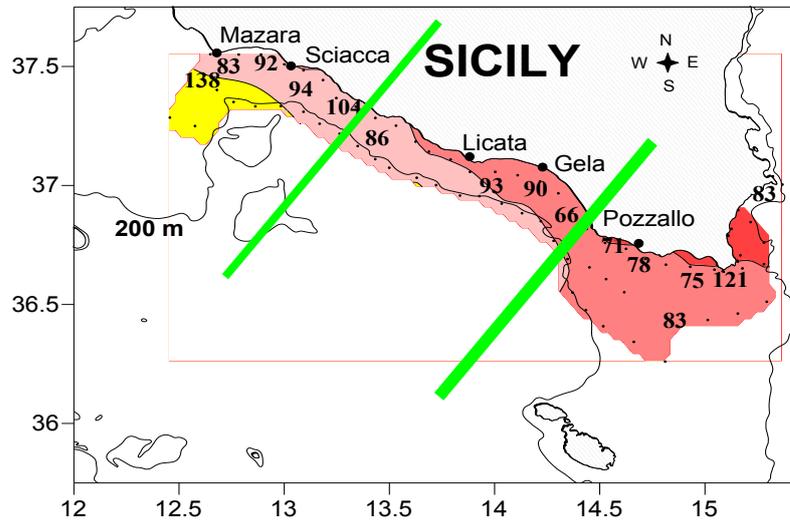
Fig. 3.17 Distribuzioni di lunghezza degli esemplari di acciuga tra le aree. Barre rosse = giovani (a) Anno 2001. (b) Anno 2004. (c) Anno 2005.



(a)



(b)



(c)



Temperatura (°C)

Fig. 3.18 Lunghezza totale media (in mm) dei esemplari i acciuga per ogni cala sperimentale e temperatura superficiale nel 2001 (a), 2004 (b), 2005 (c). L'area di studio è divisa in zona ovest, zona centro e zona est. Per l'anno 2004 è evidenziata anche la zona di Malta.

3.3.1 Modello di presenza/assenza per i giovanili

Il modello finale selezionato ha come variabili esplicative la temperatura a 5 metri di profondità della colonna d'acqua e la concentrazione di clorofilla-a. La probabilità di presenza di giovanili di acciughe dipende in maniera significativa dalla temperatura ma non dalla clorofilla, se si sceglie un livello di significatività α pari a 0.05. Nonostante la presunta mancanza di significatività di tale variabile, l'intervallo di confidenza al 95% non include l'effetto nullo per tutto il range di valori. E' stato quindi deciso di includere tale variabile nel modello, ottenendo un miglioramento in termini di riduzione dell'UBRE e dell'AIC. La percentuale di devianza spiegata dal modello finale è pari al 25.8% (Tab.3.10).

Tab. 3.10 Risultati del modello finale scelto(GAM) per i dati di presenza/assenza di giovanili in base alla metodologia *stepwise forward*.

Parametri	% devianza spiegata	p-value	UBRE	AIC
Modello nullo			0.379	82.76
s(SST)	18.6	<<0.000	0.199	71.22
s(SST)+s(CHL)	25.8	TEMP(<<0.000) CHL(0.060)	0.150	64.38

Il grafico della *spline*, adattata alla variabile temperatura, mostra un range di valori, approssimativamente compreso tra 22.5°C e 23.5°C, ottimali per la presenza di giovanili di acciuga. L'effetto della concentrazione di clorofilla sulla probabilità di presenza di giovanili risulta crescente, anche se per alcuni valori la relazione tende ad essere meno evidente per effetto del più ampio intervallo di confidenza (Fig. 3.19).

L'adozione del corrispondente modello di regressione lineare non ha prodotto risultati significativi.

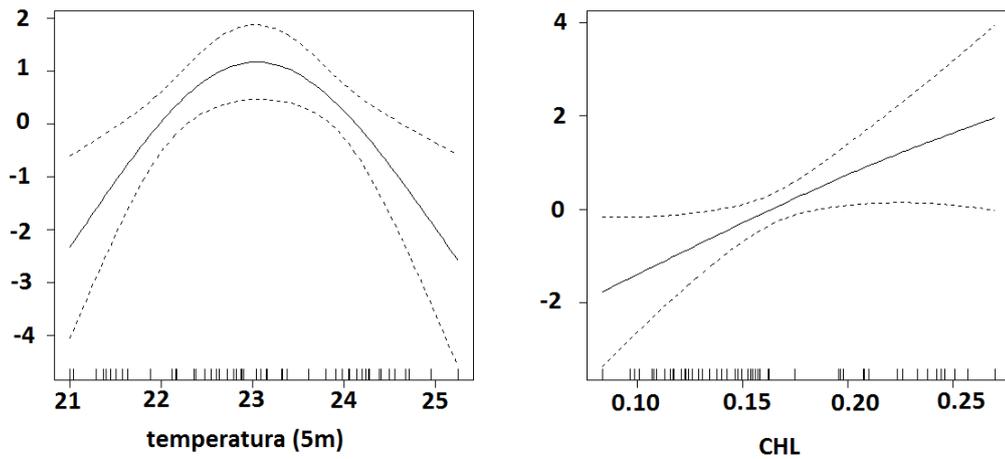


Fig. 3.19 Curve di *smoothing* per i giovanili di acciuga. Le linee tratteggiate rappresentano gli intervalli di confidenza bayesiani al 95%.

3.3.1.1 Validazione del modello

I valori di specificità e sensibilità sono superiori a 0.75 per tutti gli anni considerati. Riguardo all'anno 2005, il valore di sensibilità è pari a 1, quindi il modello selezionato per quell'anno riesce a classificare perfettamente le cale in presenza di giovanili di acciuga (Tab. 3.11).

Tab. 3.11 Risultati della validazione del modello GAM per i giovanili di acciuga per ogni anno considerato nella calibrazione.

Anno	Sensibilità	Specificità	% corretta classificazione	AUC
2001	0.91	0.78	85	0.96
2004	0.83	0.90	76	0.98
2005	1	0.75	93	0.98

L'istogramma delle probabilità predette divise dalla classificazione dei valori osservati, produce per ogni anno una buona separazione tra cale in presenza ed in assenza di giovanili, soprattutto per l'anno 2005 (Fig. 3.20).

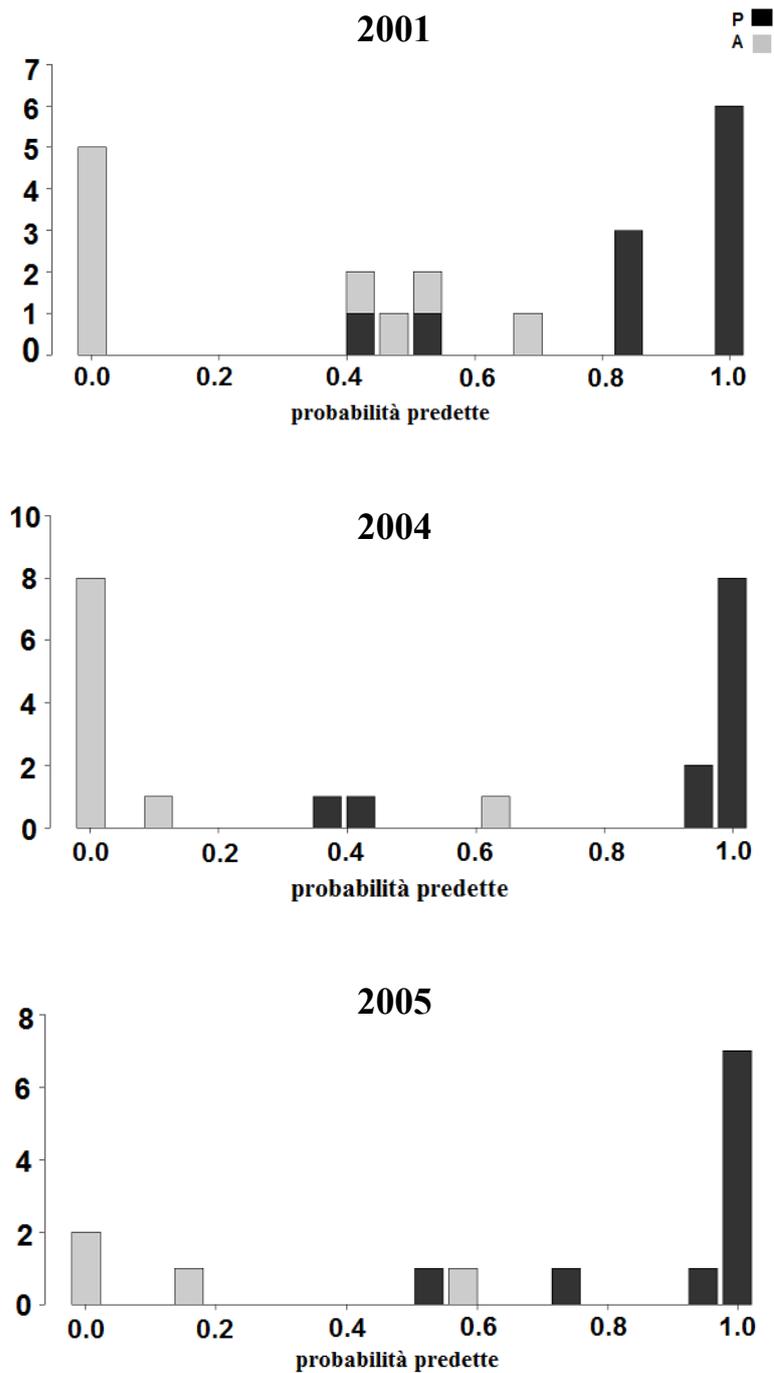


Fig. 3.20 Istogrammi delle probabilità predette divise dalla classificazione dei valori osservati.

L'analisi della curva Roc (Receiver Operating Curves) e dell'area sotto la curva (AUC) (Elith et al., 2006) (Fig. 3.21), stimata pari a 0.96 per l'anno 2001 e a 0.98 per i rimanenti anni, conferma ancora una volta che il modello è altamente accurato (Swets, 1988).

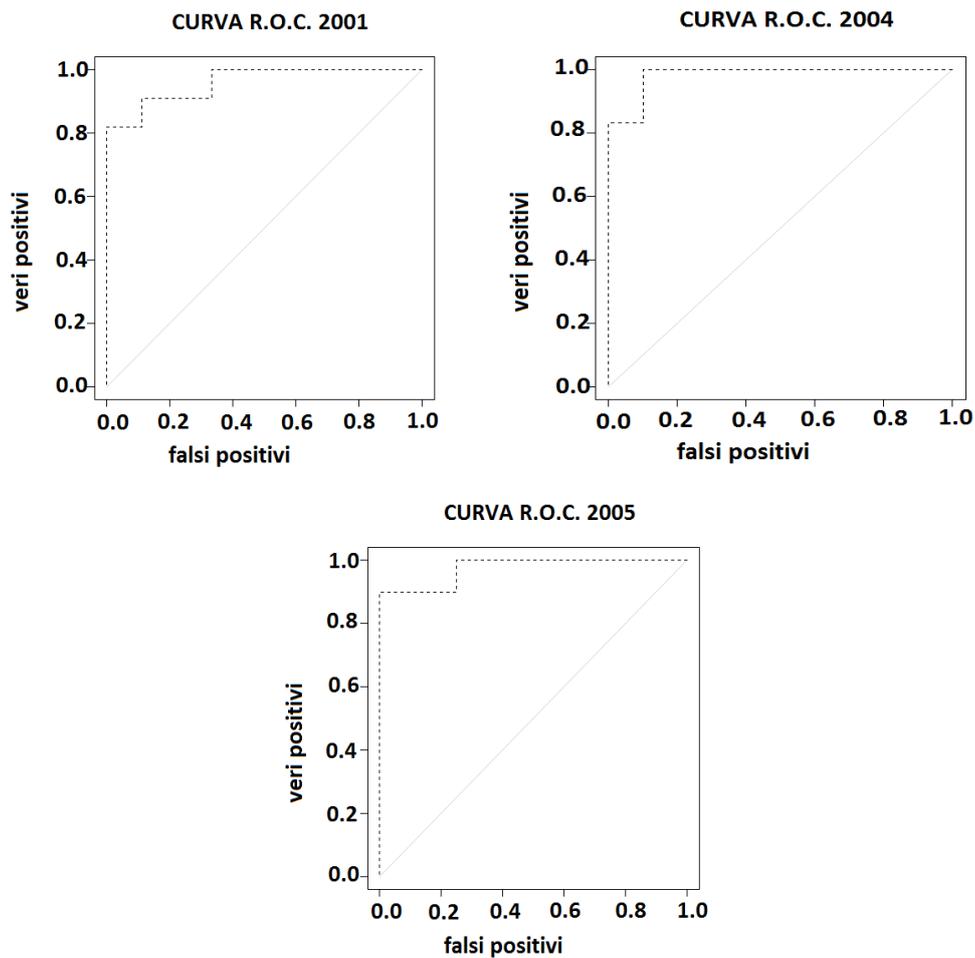


Fig. 3.21 Curva Roc (Receiver Operating Curves) e area sottesa alla curva (AUC).

Analizzando i valori di accuratezza ottenuti dalle repliche bootstrap, si nota che il valore di AUC relativo agli anni 2001 e 2004 classifica il modello come moderatamente accurato, mentre per l'anno 2005 il modello finale risulta poco accurato (Tab. 3.12).

Tab. 3.12 Risultati della validazione del modello GAM per i giovanili di acciuga per le repliche bootstrap.

Anno	Sensibilità	Specificità	% corretta classificazione	AUC
2001	0.80	0.60	65	0.80
2004	0.88	0.61	75	0.79
2005	0.78	0.81	66	0.67

CAPITOLO IV

DISCUSSIONI

L'attività di pesca dei piccoli pelagici, in particolare di acciughe e sardine, riveste un ruolo chiave nell'economia nazionale italiana. In Sicilia rappresenta un'importante realtà produttiva, che spesso genera una pressione sulla risorsa e impatti sulla morfologia e la struttura degli habitat coinvolti.

Il Canale di Sicilia rappresenta la principale zona di deposizione per le acciughe in Sicilia e i livelli di biomassa sostengono economicamente una numerosa comunità (Mazzola et al., 2002, García La Fuente et al., 2002). Tuttavia, la biomassa annuale è soggetta a notevoli oscillazioni che possono ridurre la capacità di assorbire e compensare lo sforzo di pesca che comunque è consistente (Patti et al., 2004).

Ai fini del presente lavoro di tesi di Dottorato, anche alla luce dei risultati di studi precedenti (García La Fuente et al., 2002; Cuttitta et al., 2003; Patti et al., 2004; García La Fuente et al., 2005; Basilone et al., 2006; Grammatta et al., 2008; Patti et al., 2010) il Canale di Sicilia si è rivelato una zona ideale per la verifica di ipotesi relative agli effetti della variabilità ambientale sulla dinamica delle popolazioni di piccoli pelagici. E' un'area di dimensioni ridotte, investigabile in tempi relativamente brevi, ben monitorata in termini di immagini satellitari, in cui sono presenti tutti quei processi idrografici (upwelling, avvezione, ritenzione, ecc.) considerati alla base di gran parte delle fluttuazioni registrabili durante il reclutamento delle specie ittiche.

Negli ultimi anni è stata registrata una diminuzione notevole della biomassa di piccoli pelagici, in particolare dello stock di acciuga, suggerendo l'adozione di un approccio cautelativo nei riguardi della sostenibilità di tali risorse. L'individuazione di opportune misure gestionali risulta necessaria al fine di garantire il rientro delle modalità di pesca entro condizioni di sostenibilità biologica ed il ripristino di adeguate condizioni economiche per le imprese operanti nel settore. In questo contesto, la raccolta e l'analisi di informazioni ambientali costituiscono la base per lo sviluppo di strumenti operativi fondamentati per l'implementazione del cosiddetto "Ecosystem approach to fisheries" (FAO, 2003), la cui adozione è stata fortemente promossa negli ultimi anni.

La programmazione di una nuova fase di sviluppo delle attività di pesca in Sicilia deve passare attraverso l'identificazione e la tutela degli habitat essenziali, in quanto il tasso

di sfruttamento deve essere adeguato a quello di rigenerazione naturale della risorsa, in modo da evitarne l'esauribilità. L'attività modellistica intrapresa in questa ricerca è stata condotta al fine di sviluppare un insieme di strumenti che potessero avere impiego nella gestione delle risorse nel Canale di Sicilia. La conoscenza di aree sensibili, individuate dall'analisi delle condizioni ambientali, garantirebbe, in caso di abbassamento della biomassa sotto i livelli di guardia, di prendere le dovute contromisure legislative, quali ad esempio la chiusura delle aree di nursery e/o deposizione. Tali misure eviterebbero che un eventuale declino della risorsa si trasformi in un collasso duraturo con effetti negativi anche a livello ecologico.

Nonostante la gran quantità di informazioni disponibili sui vari stadi di vita dei piccoli pelagici nel Canale di Sicilia, rimangono importanti lacune in termini di conoscenza. Infatti, sino ad oggi gli studi sono stati volti all'acquisizione della conoscenza sul tasso di crescita delle acciughe e sulla distribuzione delle uova e delle larve in correlazione a fattori oceanografici. Lo scopo di questo progetto di ricerca è quello di completare e migliorare il quadro delle informazioni relative alla biologia della specie, individuando aree con caratteristiche favorevoli alla deposizione e al reclutamento.

A tal fine, i modelli additivi generalizzati, applicati ai dati di presenza/assenza e di abbondanza dei primi stadi di vita dell'acciuga, hanno dimostrato di essere molto validi per la definizione delle caratteristiche fisiche ed oceanografiche ottimali alle aree di deposizione e di nursery. Fin dal loro sviluppo, entrambe le famiglie di modelli sono state ampiamente applicati nella ricerca ecologica, come si può notare dal gran numero, sempre in crescita, di pubblicazioni che incorporano questi moderni strumenti di regressione (Hosmer e Lemeshow, 2000; Frescino et al., 2001; Guisan, 2002; Giannoulaki et al., 2008; Schismenou et al., 2008; Tugores et al., 2011). Ciò è dovuto, in gran parte, alla loro abilità nel trattare con la moltitudine di distribuzioni che definiscono i dati ecologici.

Inoltre, la capacità predittiva dei modelli selezionati è importante perché permette di valutare le potenziali evoluzioni della distribuzione degli habitat in funzione a cambiamenti ambientali.

4.1 Distribuzione delle uova di acciuga

Il primo obiettivo fondamentale dei modelli applicati è stato l'individuazione delle principali aree riproduttive e della loro variabilità interannuale.

Ciò è avvenuto mediante l'analisi dei dati relativi alla presenza e all'abbondanza delle uova della specie, come verifica dell'avvenuta deposizione. I parametri ambientali non caratterizzano con certezza la reale localizzazione delle uova lungo la colonna d'acqua, ma riflettono le condizioni relative allo strato superficiale. Tuttavia, tale approssimazione può essere accettata, in quanto studi precedentemente condotti nel Canale di Sicilia affermano che le uova di acciuga galleggiano principalmente nei primi dieci metri della colonna d'acqua (Palomera, 1991).

Dall'osservazione dei dati rilevati si possono notare diversi nuclei di deposizione: la zona nord-ovest del Banco Avventura, la zona centrale più vicina alla costa e la zona sud-est dell'area antistante Pozzallo. La presenza e l'abbondanza di uova in queste aree è principalmente rilevata dai dati riguardanti gli anni dal 2004 al 2007, anche se con diversi livelli di abbondanza. I risultati del modello di presenza/assenza confermano una più alta probabilità di presenza (maggiore del 70%) in queste aree per gli anni 2004 e 2005, mentre nell'anno 2007 risulta più bassa (tra il 30% e il 70%) nel Banco Avventura e nell'area antistante Pozzallo e ad essere favorita è la zona costiera compresa tra Mazara del Vallo e Licata. Le uova di acciuga nell'anno 2008 risultano uniformemente distribuite in tutta l'area del Canale, ad eccezione della zona relativa al Banco Maltese. L'anno 2003, invece, risulta singolare, in quanto sono stati registrati bassi livelli di densità di uova di acciuga in tutta l'area di studio, confermati dai valori di probabilità e di abbondanza stimati dai modelli. I risultati relativi a quest'anno sono influenzati dall'anomalia termica registrata nel corso dell'estate 2003 nell'area mediterranea. In particolare, tale fenomeno si è verificato più intensamente nei bacini occidentali, mentre nel mar di Levante è stato assai più contenuto se non assente. Più in dettaglio, le aree dove il riscaldamento è stato maggiore sono state quelle del golfo di Lione, del mar Tirreno, del mar Ionio settentrionale e del mar Adriatico nel mese di giugno. In queste aree l'anomalia termica ha raggiunto in media i 4°C, con punte intorno ai 5°C nel mar Ligure, alto Tirreno e sul lato italiano del mar Adriatico. Nel mese di luglio, periodo di massima deposizione dell'acciuga nel mar Mediterraneo, il fenomeno, pur mantenendosi su valori estremamente elevati, si è attenuato presentando valori massimi di quasi 3°C, principalmente nella zona tra la Tunisia e la Sicilia. Nel mese di agosto si è avuta una nuova intensificazione del fenomeno nella zona del golfo di Lione e nel mar Ligure, raggiungendo valori prossimi ai 4°C. Nel mese di settembre l'anomalia termica è andata attenuandosi scendendo sotto 1°C. Tale anomalia ha

sicuramente avuto un effetto negativo sulla deposizione e sulla sopravvivenza delle uova di acciuga. La temperatura, infatti, è un fattore molto importante nella regolazione della riproduzione, in quanto influenza il momento della deposizione, la schiusa delle uova e la mortalità (Palomera, 1992; Motos et al., 1996). Valori molto alti di temperatura infatti, pur riducendo il tempo di schiusa delle uova limitandone così la mortalità dovuta alla predazione, hanno effetti negativi sul potenziale riproduttivo della specie (attraverso, ad esempio, l'intensificazione dei casi di atresia) e quindi sull'abbondanza a mare delle stesse uova, oltre ad essere probabilmente dannosi per la loro sopravvivenza.

Il modello di presenza/assenza risulta accurato anche per i dati dell'anno 2003, quindi riesce a spiegare l'effetto di tale anomalia sulle uova. La percentuale di corretta classificazione è pari al 81%. La probabilità che, prendendo a caso una cala, essa sia correttamente classificata (AUC) è pari al 82%. Il modello di abbondanza di uova, invece, non riesce a stimarne accuratamente la distribuzione nell'area di studio, infatti i coefficienti di correlazione stimati di Pearson e di Spearman tra i valori predetti ed i valori osservati sono molto bassi (0.16 e 0.20 rispettivamente) e non significativamente diversi da zero.

Relativamente agli altri anni analizzati, i grafici relativi alla validazione del modello di presenza/assenza mostrano una buona abilità discriminante. Infatti, il valore di AUC tra i vari anni va da un minimo di 0.78 per l'anno 2008 ad un massimo di 0.83 per l'anno 2007, che, secondo la classificazione di Swets (1988), corrispondono ad un modello moderatamente accurato.

La distribuzione dei valori predetti del modello di abbondanza rispecchia in generale quella rilevata durante i survey ittioplanctonici. Per gli anni 2005 e 2007 sono confermate le aree di deposizione osservate e rilevate dal modello di presenza/assenza e nell'anno 2008 l'abbondanza caratterizza tutta l'area, ad eccezione del Banco Maltese.

I risultati relativi all'anno 2004, invece, non rispecchiano la reale distribuzione delle uova, infatti i valori stimati maggiori si trovano nei pressi del Banco Maltese, mentre le maggiori abbondanze erano state osservate lungo la costa centrale. Tale risultato potrebbe far pensare che altri parametri ambientali, diversi da quelli inseriti nel modello, sono rappresentativi delle condizioni che in quell'anno sono state alla base del successo degli eventi riproduttivi e delle concentrazioni di uova. Tale circostanza potrebbe essere correlata alla circolazione delle masse d'acqua in quell'anno. Infatti,

rispetto agli altri anni analizzati, nel 2004 si evidenzia la presenza di un'estesa circolazione anticiclonica (evidenziata da valori di anomalia del livello del mare positivi, Fig. 4.1) nella zona centrale del Canale di Sicilia, che potrebbe aver avuto l'effetto di concentrare le uova e ostacolarne il trasporto verso est.

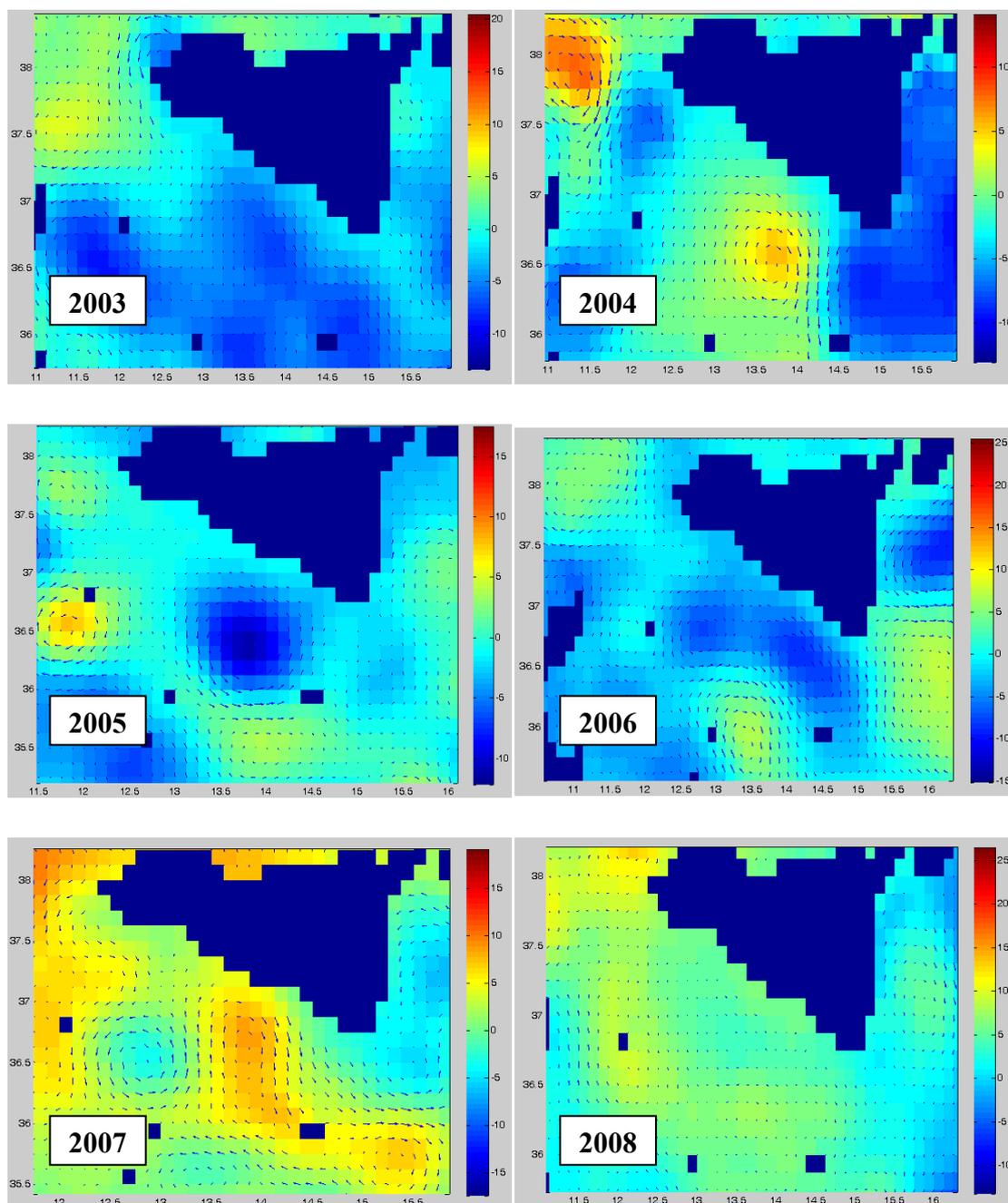


Fig. 4.1 Mappe di distribuzione dell'anomalia del livello del mare (SLA, in cm) nel Canale di Sicilia dal 2003 al 2008. Le frecce indicano la direzione e l'intensità della corrente superficiale.

La devianza spiegata del modello di presenza/assenza, pari al 24.3%, non è risultata molto alta. Un ulteriore sviluppo di tali modelli con serie di dati più lunghe, che coprano numerosi siti di deposizione delle uova in diverse fasi nell'ambito del periodo riproduttivo e che tengano conto, conseguentemente, di una più ampia gamma di condizioni ambientali, potrebbe aumentare significativamente l'efficacia e la capacità predittiva del modello.

La quantificazione del contributo di ogni parametro ambientale sulla probabilità di presenza e sull'abbondanza delle uova di acciuga è stata valutata tramite la rappresentazione grafica delle *spline* di regressione adattate alle singole variabili.

La profondità del fondo marino è un parametro importante per la presenza e l'abbondanza delle uova poiché essa è alla base della distribuzione della popolazione deponente. Dai due modelli costruiti si evince che esiste un range ottimale di profondità, compreso tra 50 e 80 metri. Le acciughe nei periodi di riproduzione si riuniscono in banchi vicino alla costa, indicando come aree principali di deposizione le acque con profondità fino a 100 m (Patti et al., 2011).

Il grafico della *spline* adattata alla variabile SST mostra un andamento di tipo decrescente. L'effetto risulta positivo per valori di temperatura inferiori a 25°C e negativo per valori superiori. Tale risultato sembra essere stato influenzato dal range di temperature osservato nelle cale considerate, che risulta essere prossimo a quello ottimale per la deposizione delle uova di acciughe. La funzione che spiega la relazione tra SST e abbondanza di uova, secondo risultati trovati in letteratura per questa specie nel Canale di Sicilia (Basilone et al. 2006; Cuttitta et al., 2006; Grammata et al., 2008; Patti, 2010), è di tipo gaussiano, quindi potremmo immaginare un andamento decrescente per temperature inferiori al range osservato. Nell'area di studio la temperatura superficiale ottimale per la deposizione e la sopravvivenza dei primi stadi di vita dell'acciuga risulta compreso tra 21 e 24°C (Basilone et al., 2006, Grammata et al., 2008; Patti, 2010) in accordo con quanto trovato mediante l'applicazione del modello. Nel modello di abbondanza l'effetto della temperatura è rafforzato dall'interazione con la profondità, quindi la maggiore riproduzione è favorita a profondità inferiori a 80 metri associate a valori di temperatura compresi tra i 23 e i 25°C.

La radiazione foto-sinteticamente attiva (PAR) ha un effetto di tipo lineare decrescente sulla probabilità di presenza di uova, positivo per valori inferiori a 58 Ein/m²/day circa.

La quantità di luce che penetra in mare influenza sicuramente l'intero ecosistema, in quanto essa è fonte di energia utilizzata dagli organismi vegetali per la fotosintesi attraverso la quale si ha produzione di sostanza organica e liberazione dell'ossigeno, indispensabile per i processi vitali. I valori ottimali di PAR e di profondità sono entrambi indicativi delle acque più vicine alla costa dell'area di studio. Quindi non possiamo stabilire con certezza se si tratta di un'influenza diretta sulla probabilità di trovare le uova o piuttosto una buona descrizione della localizzazione degli esemplari adulti nel periodo della deposizione.

Il costituente più importante dal punto di vista ecologico è la clorofilla-a (CHL-a), che è la maggiore responsabile della fotosintesi marina e quindi della relativa produttività primaria. Essa, quindi, se pur non direttamente, dà un'indicazione del cibo disponibile per gli esemplari adulti e le larve. L'acciuga si nutre principalmente di zooplancton, in particolare di copepodi, cirripedi, larve di molluschi, uova di pesci e larve (Banarescu, 1964; Demir, 1963, 1965a), che a sua volta si nutrono di fitoplancton. Il grafico della funzione *spline* adattata alla variabile clorofilla per il modello di presenza/assenza mostra un andamento crescente fino a valori intorno a 0.22 mg/m^3 ed effetto positivo per valori superiori a 0.13 mg/m^3 , ma lineare decrescente nel modello di abbondanza. Quindi, la maggiore CHL-a ha un effetto positivo sulla probabilità di presenza di uova, ma non è associata ad aree con più alta concentrazione. Tale risultato è in accordo con quanto osservato da Cuttitta et al. (2006), secondo i quali autori le uova di acciuga vengono trasportate prevalentemente in un'area di ritenzione a sud di Capo Passero, dove le condizioni nutrizionali sono complessivamente meno favorevoli, in quanto caratterizzate da bassa produttività primaria.

Inoltre, nel modello poissoniano risulta significativo anche l'effetto stimato della salinità superficiale. I risultati, infatti, evidenziano maggiore abbondanza di uova di acciuga per valori di salinità superficiale più bassi. L'acciuga tollera un ampio intervallo di salinità, con valori compresi tra 5 e 41 psu. La correlazione tra tale variabile e l'abbondanza sembra, quindi, non mostrare un effetto diretto sulla biologia della specie, ma piuttosto un effetto indiretto dovuto al trasporto da parte delle correnti superficiali. La concentrazione di uova in acque meno salate, infatti, sembra essere legata al percorso dell'acqua superficiale di origine atlantica (AIS), meno salata rispetto a quella che si trova nel Canale.

Infine, il modello è stato applicato in modo predittivo alle condizioni ambientali

dell'anno 2006 nell'area considerata, i risultati ottenuti sono stati confrontati con i pattern distributivi delle uova di acciughe dello stesso anno. E' stato scelto l'anno 2006 come *test set*, in quanto la campagna di raccolta dati per quell'anno è stata effettuata in un periodo successivo (dal 30 luglio al 10 agosto) rispetto agli altri anni analizzati. L'esclusione dei dati raccolti nel 2006 per la costruzione del modello ha avuto quindi l'effetto di evitare di produrre risultati potenzialmente non confrontabili con gli altri anni e di valutare più accuratamente la capacità predittiva del modello.

Analizzando graficamente la distribuzione della probabilità di presenza di uova, si è trovata una buona corrispondenza tra le previsioni e i dati rilevati nel 2006. Le probabilità superiori al 70% si trovano, infatti, lungo tutta la costa e a largo nella zona sotto Mazara del Vallo e sotto Capo Passero, dove realmente sono state trovate le uova di acciuga in quell'anno. Inoltre, i valori di sensibilità (0.75), di specificità (0.70) e l'AUC (0.83) confermano una buona abilità discriminante predittiva. La distribuzione dell'abbondanza predetta evidenzia due principali zone di concentrazione delle uova: una a sud di Mazara del Vallo e l'altra nella zona a nord di Malta, la prima è confermata dai valori osservati di abbondanza, mentre la seconda li rispecchia solo in parte.

4.2 Distribuzione delle larve di acciuga

Lo studio degli ambienti favorevoli al processo di reclutamento delle specie ittiche non può prescindere dalla conoscenza di tutti i fattori che possono favorire la concentrazione e la sopravvivenza degli stadi larvali della specie. A tal fine, il secondo obiettivo di tale progetto di ricerca è stato la valutazione delle relazioni esistenti tra le caratteristiche ambientali relative allo strato superficiale della colonna d'acqua dell'area di studio e la distribuzione delle larve.

Come primo passo, è stata utilizzata come variabile risposta una variabile dicotomica che rappresenta la presenza o l'assenza di larve di acciughe nelle cale di raccolta considerate, non ottenendo tuttavia risultati soddisfacenti in termini di devianza spiegata. Si è passato quindi a un modello di abbondanza, ottenendo invece risultati apprezzabili. Ciò fa supporre che le variabili ambientali utilizzate non riescono a discriminare le cale con presenza di larve da quelle in assenza, ma nell'ambito delle cale positive sono in grado di spiegarne la variabilità nell'abbondanza. Infatti, da una prima analisi descrittiva mediante box plot, si nota che le sole variabili in grado di discriminare le cale in presenza da quelle in assenza di larve sono la profondità del

fondo marino e la salinità superficiale.

Il modello additivo per l'abbondanza spiega una percentuale di devianza totale abbastanza alta se confrontata con i modelli ecologici (38.3%) e identifica bene le principali aree di concentrazione delle larve di acciuga osservate dalla raccolta dei dati ittioplanctonici.

La distribuzione mostra gli effetti dello spostamento rispetto alle uova prodotto dalle correnti superficiali, che caratterizzano l'area di studio. In particolare, le uova deposte nell'area settentrionale del Banco Avventura sono trasportate prevalentemente verso sud, mentre quelle deposte nell'area antistante Pozzallo verso sud-est.

I risultati relativi all'anno 2003 mostrano, come già osservato per le uova, una scarsa abbondanza di larve di acciuga, dovuta all'anomalia termica registrata nel Mar Mediterraneo. Quindi, la più alta temperatura superficiale, pur inducendo una probabile minore predazione legata al ridotto periodo di schiusa delle uova, sembra aver prodotto un'insufficiente deposizione o una scarsa sopravvivenza delle uova e/o degli stadi larvali. Inoltre, l'ondata di calore dell'estate 2003 ha prodotto nell'area di studio un surriscaldamento degli strati superficiali, fino a circa 15 m, che a sua volta ha determinato anomalie nel gradiente di densità alla superficie (Olita et al., 2007). Esso è uno dei principali motori dell'AIS, che per questo motivo appare indebolita e modificata nel suo usuale percorso.

Negli anni 2004 e 2007 sono state individuate dal modello due aree caratterizzate da abbondanza più elevata, localizzate a sud-est di Capo Passero, mentre nell'anno 2005 la maggiore concentrazione è stata stimata nel Banco Avventura. Riguardo ai primi due anni, si ha una corrispondenza con l'abbondanza di larve osservata, confermata per il 2007 anche dall'elevato valore dei coefficienti di correlazione di Pearson e di Spearman (rispettivamente 0.64 e 0.63).

Relativamente all'anno 2005, invece, il modello non riesce ad individuare l'alta concentrazione di larve di acciuga osservata nell'area a nord del Banco Maltese. Tale concentrazione sembrerebbe dovuta al vortice ciclonico dello "shelf break" a levante di Malta che, incontrando le acque del Mar Ionio, più calde e salate, determina la formazione di un fronte termo-alino permanente che si estende lungo la scarpata maltese (Sorgente et al., 2003) (Fig.4.2). Il fronte di densità dovuto alla salinità superficiale, piuttosto che alla temperatura, funge da barriera per le larve, arrestandone il trasporto invece di dislocarle verso il Mar Ionio.

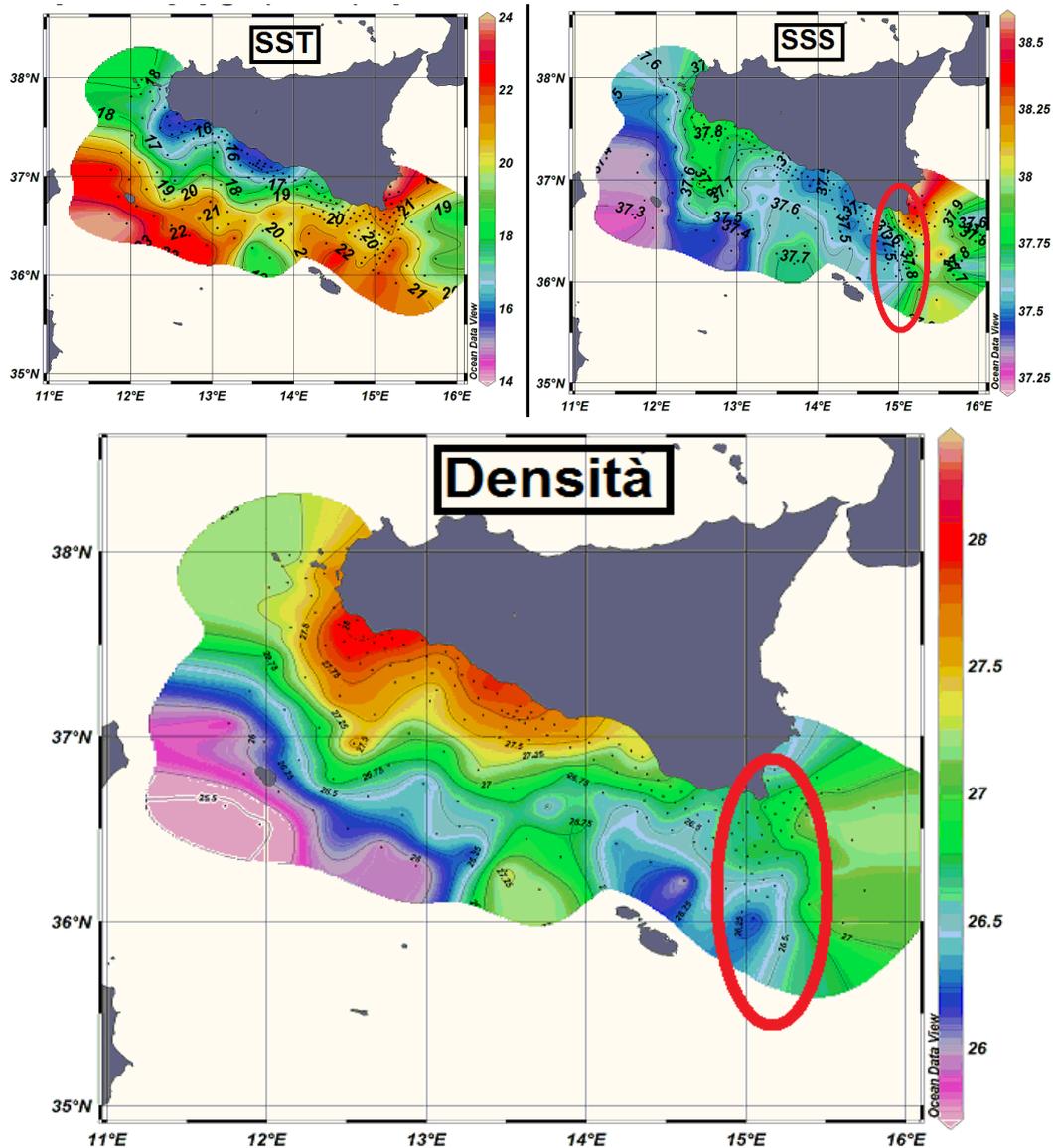


Fig. 4.2 Mappe di distribuzione della SST, SSS e densità nel Canale di Sicilia nell'anno 2005. In evidenza il fronte termo-alino lungo la scarpata maltese.

Per l'anno 2008, invece, non sono state individuate specifiche aree di concentrazione delle larve di acciuga, così come era stato osservato anche per le uova. La distribuzione dei valori stimati, infatti, è abbastanza uniforme per tutta l'area, tale risultato sembra essere dovuto alla debole intensità delle correnti superficiali in quell'anno, che non ha favorito la concentrazione (Fig. 4.1).

Il modello additivo finale applicato all'abbondanza di larve di acciuga nel Canale di Sicilia ha selezionato quali variabili predittive più significative la temperatura a 5 metri

di profondità della colonna d'acqua, la radiazione foto-sinteticamente attiva e l'interazione tra l'anomalia del livello del mare e la salinità a 5 metri.

La temperatura influisce chiaramente sulla crescita e sul ciclo larvale di tali specie pelagiche (Basilone et al., 2004; Patti et al., 2004), direttamente ed indirettamente. Agisce direttamente sui processi metabolici ed indirettamente perché legata all'abbondanza di zooplancton, cibo delle acciughe durante gli stadi larvali. Il modello indica un effetto positivo sull'abbondanza di larve per temperature comprese tra i 22 e i 24°C. Esiste un range ottimale, in quanto temperature troppo basse potrebbero aumentare il periodo necessario alla schiusa, aumentando così il rischio di predazione, mentre temperature troppo alte non favoriscono la sopravvivenza delle larve e/o ne condizionano a monte l'abbondanza anche in relazione al più basso tasso di deposizione.

Stessa considerazione può essere fatta sull'effetto della radiazione foto-sinteticamente attiva (PAR), in quanto è stato individuato un range ottimale tra i 58.5 e i 60 Ein/m²/day. La catena alimentare di ogni organismo marino necessita di un'adeguata quantità di energia luminosa alla base dei processi foto-sintetici del fitoplancton, dal quale le larve dipendono interamente per il loro sostentamento.

Temperatura e PAR, quindi, influiscono direttamente o indirettamente sull'abbondanza e/o sulla sopravvivenza larvale, mentre le altre due variabili, salinità e anomalia del livello del mare (SLA), esprimono l'influenza sulla concentrazione delle larve da parte dei movimenti delle masse d'acqua nel Canale di Sicilia.

Analizzando l'interazione, si nota un effetto positivo per valori negativi di SLA associati ad una bassa salinità. Al crescere della salinità superficiale l'effetto tende a diminuire. Per valori di anomalia compresi tra lo zero e 5 cm si ha un effetto negativo, a prescindere dai valori di salinità associati.

La SLA è rappresentativa del tipo di circolazione (ciclonica per valori negativi ed anticiclonica per valori positivi), mentre i campi di salinità danno un'indicazione sul percorso dell'acqua superficiale di origine atlantica (AIS). L'AIS agisce come un meccanismo di trasporto per le larve di acciuga dalle aree di deposizione verso la costa più orientale dell'area di studio. Queste, al termine del suo percorso nel Canale, vengono convogliate da un vortice ciclonico a sud di Capo Passero. Tale vortice, associato al fronte termo-alino in corrispondenza delle acque del Mar Ionio, fa sì che l'area a sud di Capo Passero sia considerata di ritenzione per le larve, come osservato da

García Lafuente et al. (2002). Ciò è confermato dal maggiore effetto sull'abbondanza, stimato dal modello, per valori negativi di anomalia del livello del mare.

Quindi, le correnti tendono a spingere le larve verso aree a circolazione ciclonica, caratterizzate dalla risalita in superficie di masse d'acqua più profonde, quindi più ricche di nutrienti, utili per la produzione primaria. Inoltre, l'AIS agisce come trasporto anche per lo zooplankton, quindi favorisce una maggiore disponibilità di cibo.

Infine, analizzando il *test set* di dati (anno 2006) si nota una corrispondenza tra l'area di concentrazione osservata e quella predetta dal modello, la zona nord del Banco Siculo-Maltese, confermando anche per questo modello una buona capacità predittiva.

4.3 Distribuzione dei giovanili di acciuga

Dalla letteratura disponibile non è facile valutare se esistono o meno caratteristiche preferite dai giovanili di acciuga nell'area di studio.

Per valutare la distribuzione delle aree di nursery, sono stati analizzati dati relativi alle campagne di campionamento autunnali, effettuati nel mese di ottobre degli anni 2001, 2004 e 2005, durante i quali è stata osservata la presenza di giovanili di tale specie. Il piano di campionamento adottato è stato progettato al fine di rendere compatibili le procedure di misura relative alla stima della biomassa pelagica e allo studio della circolazione nel Canale di Sicilia. Per tale ragione il piano di campionamento con CTD ha riguardato principalmente l'area della piattaforma continentale fino alla profondità di 200 m. Insieme a tale dataset sono stati considerati per il solo anno 2004 altri profili CTD acquisiti nelle acque Maltesi.

Da una prima analisi, la distribuzione dei giovanili manifesta differenze significative tra i vari anni. Infatti, nell'anno 2001, in presenza di una temperatura nello strato superiore, fino a 40 m di profondità, compresa tra 19.6 e 24.5°C, la distribuzione dei giovanili di acciuga è risultata abbastanza uniforme lungo tutta la zona costiera, con una leggera prevalenza nella zona centrale, che va da Sciacca a Licata. Nell'anno 2004, invece, la temperatura media dell'acqua è stata più bassa rispetto al 2001, con valori inferiori nella parte più occidentale. In tali condizioni la distribuzione dei giovanili non è uniforme come nel 2001, ma le taglie medie più basse sono state osservate nell'area a sud di Capo Passero e nel Banco Maltese, dove si può notare una temperatura superficiale superiore. Nell'anno 2005 l'identificazione delle aree di nursery è più chiara rispetto agli altri due anni. I giovanili di acciuga sono presenti in prevalenza nella parte orientale dell'area di

studio. In quest'anno, si può notare un gradiente crescente di temperatura in direzione nord-ovest sud-est. Quindi, le taglie medie degli esemplari potrebbero essere correlate al pattern di temperatura, in quanto le aree di nursery sono caratterizzate da temperature più elevate.

La modellizzazione della distribuzione dei giovanili è avvenuta tramite la calibrazione di un modello di presenza/assenza dei giovanili di acciuga nel Canale di Sicilia, mediante i modelli additivi generalizzati. Il modello di regressione logistica non ha mostrato la significatività di nessun parametro considerato.

E' stato scelto di non adottare la procedura dei modelli additivi per la stima dell'abbondanza di giovanili, poiché il campione raccolto mediante rete pelagica è rappresentativo della presenza di una particolare specie, ma non dell'abbondanza, poiché non riesce a campionare l'intera colonna d'acqua.

I parametri ambientali utilizzati non hanno riguardato solo lo strato superficiale della colonna d'acqua, come nel caso dei modelli per la distribuzione delle uova e delle larve, poiché mentre è noto che l'ittioplancton si concentra prevalentemente in superficie, non si hanno conoscenze precise sulla posizione degli esemplari giovanili.

Il modello finale si compone delle variabili che rappresentano la temperatura a 5 m di profondità della colonna d'acqua e la concentrazione superficiale di clorofilla-a. I risultati mostrano un range ottimale di valori di temperatura compresi tra 22.5 e 23.5°C, mentre l'effetto sulla probabilità di trovare giovanili di acciuga risulta crescente all'aumentare della concentrazione di clorofilla-a.

La temperatura e la disponibilità di cibo giocano un ruolo importante nell'aumento del tasso di crescita e nella diminuzione della mortalità negli stadi larvali e post-larvali e conseguentemente nel successo del reclutamento. A conferma di ciò esistono differenti studi (Takahashiet al., 2001; Methot and Kramer, 1979; Palomera et al., 2007) per la stessa specie. Fattori essenziali per la definizione di un'area di nursery sono stati considerati principalmente la temperatura (Borja et al., 1998; Allain et al., 2001; Waldron, 1995) e la disponibilità di cibo (García et al., 1998; Takahashi et al., 2001; Castello and Castello, 2003). Altri autori, invece, suggeriscono che non sono questi i fattori che influenzano il successo del reclutamento e la sopravvivenza dei primi stadi larvali e che, per spiegarne la variabilità, devono essere investigate anche le dimensioni larvali e la dispersione in mare aperto (Wilhelm et al., 2005).

Analizzando la distribuzione, è possibile riassumere che per quanto concerne i primi due anni analizzati, la presenza dei giovanili non è relativa ad una ben definita regione di nursery, ma al contrario i giovanili sono stati catturati lungo l'intera costa del Canale di Sicilia, in cui appare sussistere una situazione di omogeneità. Al contrario, durante l'anno 2005 la distribuzione di frequenza di lunghezza cambia in direzione NW-SE, suggerendo l'area sotto Capo Passero come la più favorevole per i giovanili.

Gli indicatori utili per misurare l'accuratezza del modello finale (sensibilità, specificità e AUC) assumono valori abbastanza elevati, sintomo di un modello molto accurato. Per l'anno 2005 il valore di sensibilità è pari a uno, quindi il modello per quest'anno riesce a classificare correttamente tutte le cale in presenza di giovanili. Tuttavia, analizzando 100 repliche bootstrap del campione per ogni anno, si nota che la stima dell'area sottesa alla curva ROC (AUC) diminuisce, soprattutto per l'anno 2005, in cui il valore pari a 0.67 corrisponde ad un modello poco accurato (Swets, 1988). C'è da sottolineare, comunque, che le informazioni raccolte risultano scarse per una valutazione chiara dell'influenza di tali parametri, e che quindi i risultati ottenuti in questo caso sono da considerare preliminari.

CONCLUSIONI

- Il lavoro di tesi ha permesso di approfondire le condizioni ambientali favorevoli alle aree di deposizione e di nursery dell'acciuga europea nel Canale di Sicilia. I modelli additivi generalizzati sono risultati in generale molto validi per definire le caratteristiche fisiche ed oceanografiche ottimali e, come primo passo, per predire i cambiamenti nell'habitat della specie dovuti agli scenari ambientali.
- I principali luoghi di deposizione sono nell'area nord-occidentale in corrispondenza del Banco Avventura, lungo la costa da Mazara del Vallo a Sciacca e, in minor misura, nell'area a sud di Capo Passero, sui fondali compresi tra 50 e 80 metri.
- La temperatura gioca un ruolo fondamentale per la deposizione e l'abbondanza delle uova di acciuga, infatti nell'anno caratterizzato dall'anomalia termica nel Mar Mediterraneo la densità di uova è risultata molto scarsa.
- La maggiore concentrazione di clorofilla-a ha un effetto positivo sulla probabilità di presenza di uova, ma non è associata ad aree con più alta abbondanza.
- Le aree di ritenzione delle larve sono delocalizzate rispetto a quelle di deposizione in funzione dell'avvezione prodotta dalle correnti superficiali. In particolare, le uova deposte nell'area settentrionale del Banco Avventura sembrano essere trasportate in direzione sud, mentre quelle deposte nell'area antistante Capo Passero verso sud-est.
- La distribuzione delle larve appare essere influenzata da processi legati alla loro sopravvivenza (Temp e PAR) e ai movimenti delle masse d'acqua (SLA e Sal).
- Le aree di nursery dell'acciuga sono correlate al pattern di temperatura e di clorofilla-a. I giovanili di acciuga preferiscono zone con temperature comprese tra i 22.5 e i 23.5°C e con una maggiore disponibilità di cibo.

BIBLIOGRAFIA

Abad R., Miquel M., Iglesias M, Alvarez F., 1998. Acoustic estimation of abundance and distribution of anchovy in the NW Mediterranean. *Scientia Marina* 62, 37–43.

Agostini V.N., Bakun A., 2002. ‘Ocean triads’ in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Oceanography* 11 (3), 129–142.

Alemany F., Alvarez I., Garcia A., Cortes D., Ramirez T., Quintanilla J., Alvarez F., Rodriguez J. M., 2006. Postflexion larvae and juvenile daily growth patterns of the Alboran Sea sardine (*Sardina pilchardus* Walb.): influence of wind. *Scientia Marina* 70 (2), 93-104.

Allain G., Petitgas P., Lazure P., 2001. The influence of mesoscale ocean processes on anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment in the Bay of Biscay estimated with a three-dimensional hydrodynamic model. *Fisheries Oceanography* 10, 151-163.

Alvares F., Cingolani N., Kallianiotis A., 2003. Piccoli pelagici: gestione futura delle risorse condivise in Mediterraneo. *Il Pesce* 5, 57-65.

Alvarez F., Alemany F., 1997. Birthdate analysis and its application to the study of recruitment of the Atlanto-Iberian sardine *Sardina pilchardus*. *Fishery Bulletin* 95, 187-194.

Austin M. P., 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling. *Ecological Modelling* 157, 101-118.

Bailey K.M., 1981. Larval transport and recruitment of Pacific hake *Merluccius productus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 6, 1-9.

Bakun A., Parrish R.H., 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of the southwestern Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.* 48, 342–361.

Bakun A., 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. California, USA: University of California Sea Grant, San Diego, in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico, 323 pp.

Bakun A., 1998. Ocean triads and radical interdecadal stock variability: bane and boon for fishery management science. In: Reinventing Fisheries Management. T.J. Pitcher, P.J.B. Hart and D. Pauly. London: Chapman & Hall, 331–358.

Bănărescu P., 1964. Fauna Republicii Populare Romine, 13. Pisces-Osteichthyes (Pestiganoizi si ososi). Academiei Republicii Populare Romine, Bucharest, 959 pp.

Barry S.C., Welsh A.H., 2002. Generalized additive modelling and zero inflated count data. *Ecological modelling* 157, 179-188.

Basilone G., Guisande C., Patti B., Mazzola S., Cuttitta A., Bonanno A., Kallianiotis A., 2004. Linking habitat conditions and growth in the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Research* 68, 9-19.

Basilone G., Guisande C., Patti B., Mazzola S., Cuttitta A., Bonanno A., Vergara A.R., Maniero I., 2006. Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. *Fish. Oceanogr.* 15, 271-280.

Basilone G., Bonanno A., Patti B., Gancitano S., Caruana L., Bonsignore M, Aronica S., Tranchida G., 2011. Juvenile Anchovy, *Engraulis Encrasicolus*, Habitat Conditions and Daily Growth in the Central Mediterranean Sea. Volume Speciale Mare - CNR Dipartimento Terra e Ambiente.

Benaka L.R., 1999. Fish Habitat: Essential fish habitat and rehabilitation. Bethesda, Maryland: American Fishery Society.

Beranger K., Mortier L., Gasparini G.-P., Gervasio L., Astraldi M., Crepon M., 2004. The dynamics of the Sicily Strait: a comprehensive study from observations and models, Deep- Sea Res. II 51, 411–440.

Boely T., 1982. Les ressources en poissons pelagiques des cotes oust-africaines entre la Mauritanie et le fleuve Congo. Rapp. P.-V. Reun. Con. int. Explor. Mer 180, 423-431.

Borja A, Uriarte A., Valencia V., Motos L., Uriarte A., 1996. Relationship between anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) recruitment and the environment in the Bay of Biscay. Sci. Mar. 60 (2), 179-192.

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

Chambers J. M., Hastie T., 1992. Statistical Models in S. Chapman and Hall, London.

Checkley D. M. J., Dotson R. C., Griffiths D. A., 2000. Continuous, underway sampling of eggs of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern 10 anchovy (*Engraulis mordax*) in spring 1996 and 1997 off southern and central California. Deep Sea Res. 2 47, 1139-1155.

Cingolani N., Gianneti G., Arneri E., 1996. Anchovy fisheries in the Adriatic Sea. Scientia Marina 60, 269–277.

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

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

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

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

Cuttitta A., Basilone G., Patti B., Bonanno A., Mazzola S., Giusto G.B., 1999. Trends of anchovy condition factors and gonadosomatic index in the Sicilian Channel. XXIX Congresso della Società Italiana di Biologia Marina, Ustica (Pa) 15-20 Giugno 1998. *Biologia Marina Mediterranea*, 6 (1), 566-568.

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

Cuttitta A., Guisande C., Riveiro I., Maniero I., Patti B., Vergara A. R., Basilone G., Bonanno A., Mazzola S., 2006. Factors structuring reproductive habitat suitability of *Engraulis encrasicolus* in the south coast of Sicily. *Journal of Fish Biology* 68, 264-275.

D'Elia M., Patti B., Sulli A., Tranchida G., Bonanno A., Basilone G., Giacalone G., Fontana I., Genovese S., Mazzola S., 2009. Distribution and spatial structure of pelagic fish schools in relation to the nature of the seabed in the Sicily Straits (Central Mediterranean). *Marine Ecology* 30 (Suppl.1), 151-160.

Daskalov G., 1999. Relating fish recruitment to stock biomass and physical environment in the Black Sea using generalized additive models. *Fish Res* 41, 1-23.

Daskalov G. M., Boyer D. C., Roux J. P., 2003. Relating sardine *Sardinops sagax* abundance to environmental indices in northern Benguela. *Prog. Oceanogr.* 59, 257-274.

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

Denman K.L., Gargett A.E., 1983. Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. *Limnology and Oceanography* 28, 801-815.

Elith, J., Graham C. H., Anderson R. P., Dudík M., Ferrier S., Guisan A., Hijmans R. J., Huettmann F., Leathwick J. R., Lehmann A., Li J., Lohmann L. G., Loiselle B. A., Manion G., Moritz C., Nakamura M., Nakazawa Y., Overton J. Mc C., Peterson A. T., Phillips S. J., Richardson K. S., Scachetti-Pereira R., Schapire R. E., Soberon J., Williams S., Wisz M. S., Zimmermann N. E., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129–151.

Fiorentino F., Mazzola S., Garofalo G., Patti B., Gristina M., Bonanno A., Massi D., Basilone G., Cuttitta A., Giusto G.B., Gancitano S., Sinacori G., Rizzo P., Levi D., Ragonese S., 2005. Lo stato delle risorse demersali e dei piccoli pelagici e le prospettive di pesca “sostenibile” nello Stretto di Sicilia.

Frescino T.S., Edwards Jr T.C., Moisen G.G., 2000. Modelling spatially explicit forest structural attributes using generalized additive models. *Journal of Vegetation Science* 12, 15-26.

García A., Palomera I., Liorzou B., Giovanardi O., Pla C., 1994. Northwestern Mediterranean Anchovy. Distribution, biology, fisheries and biomass estimation by different methods. Final Report of the EC FAR Project 1992-1993, Contract No MA 3.730.

García A., Palomera I., 1996. Anchovy early life history and its relation to its surrounding environment in the Western Mediterranean basin. *Scientia Marina* 60 (2), 155-166.

García A., Cortes D., Ramirez T., 1998. Daily larval growth and RNA and DNA contents of the NW Mediterranean anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and their relations to the environment. *Marine Ecology Progress Series*. 166, 237-245.

García Lafuente J., García A., Mazzola S., Quintanilla L., Delgado J., Cuttitta A., Patti B., 2002. Hydrographic phenomena influencing early life stages of the Sicilian Channel anchovy. *Fisheries Oceanography* 11(1), 31-44.

García Lafuente J., Vargas J.M., Criado F., García A., Delgado J., Mazzola S., 2005. Assessing the variability of hydrographic processes influencing the life cycle of the Sicilian Channel anchovy, *Engraulis encrasicolus*, by satellite imagery. *Fisheries Oceanography* 14 (1), 32-46.

Ghirardelli E., 1967. I fattori che regolano la microdistribuzione superficiale del plancton: la temperatura. *Boll. Soc. Adriatica Sci.* 55, 18-86.

Giannoulaki M., Valavanis V. D., Palialexis A., Tsagarakis K., Machias A., Somarakis S., Papaconstantinou C., 2008. Modelling the presence of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Aegean Sea during early summer, based on satellite environmental data. *Hydrobiologia* 612, 201-214.

Grammatta R., Molteni D., Basilone G., Guisande C., Bonanno A., Aronica S., Giacalone G., Fontana I., Zora M., Patti B., Cuttitta A., Buscaino G., Sorgente R., Mazzola S., 2008. Linking air-sea energy exchanges and European anchovy potential spawning ground. *Eur. Phys. J. B* 65, 459-467.

Guisan A., Zimmermann N. E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling* 135, 147-186.

Guisan A., Thomas C., Edwards Jr C., Hastie T., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling* 157,89-10.

Hastie T.J., Tibshirani R.J., 1990. Generalized Additive Models. Chapman & Hall.

Holden M.J. and Raitt D.F.S., 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Tec. Pesca FAO 115, 211 pp.

Hosmer D.W., Lemeshow S., 2000. Applied Logistic Regression. New York: Wiley.

Hutchings L., Barange M., Bloomer S.F., 1998. Multiple factors effecting anchovy recruitment in the spawning, transport and nursery area. Afr.J.mar.Sci.19, 211-225.

Johnston T.H., 1924. The relation of climate to the spread of prickly pear. Trans. R. Soc. South Aust. 48, 269–295.

Khemiri S., Gaamour A., 2005. Preliminary study of age, growth and birthdates of juvenile sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792) and European anchovy *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in the east coast of Tunisia. Bulletin Institute National Science Technologie de la Mer 32, 7-13.

King D., Robertson A.A., Shelton P.A., 1978. Laboratory observations on the early development of the anchovy *Engraulis capensis* from the Cape Peninsula. Fish. Bull. S. Afr. 10, 37-45.

Lasker R., 1981. The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment. In: Marine Fish Larvae, Morphology, Ecology, and Relation to Fisheries. R. Lasker, ed. Washington Sea Grant Program, Seattle and London.

Levi D., Andreoli M. G., Bonanno A., Fiorentino F., Garofalo G., Mazzola S., Norrito G., Patti B., Pernice G., Ragonese S., Giusto G. B., Rizzo, P., 2003. Embedding sea surface temperature anomalies into the stock recruitment relationship of red mullet (*Mullus Barbatus* L. 1758) in the Strait of Sicily, Sci. Mar. 67 (1), 259–268.

Linneo C., 1758. *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Editio decima, reformata. Holmiae. Laurentii Salvii, 1-4, 1-824.

Lynn R. J., 2003. Variability in the spawning habitat of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off southern and central California. *Fish. Oceanogr.* 12, 541-553.

Manzella G.M.R., Gasparini G.P., Astraldi M., 1988. Water exchange through the eastern and western Mediterranean through the Strait of Sicily. *Deep Sea Res. I* 35, 1021-1035.

Maravelias C.D., 1999. Habitat selection and clustering of a pelagic fish: effects of topography and bathymetry on species dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56(3), 437-450.

Mazzola S., Garcia A., Lafuente Garcia J., 1998. Distribution, biology and biomass estimates of the Sicilian Channel anchovy, *Rapporto finale progetto MED96-052.*, 6-9.

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

Mazzola S., García A., García Lafuente J., 2002. The Sicilian Channel anchovy fishery and the underlying oceanographic and biological processes conditioning their interannual fluctuations. DGXIV MED 98/070 Final Report.

Methot R.D., Kramer D., 1979. Growth of northern anchovy, *Engraulis mordax*, larvae in the sea. *Fish. Bull.* 2, 413-423.

Motos L., Uriarte A., Valencia V., 1996. The spawning environment of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Sci. Mar.* 60, 117-140.

Olita A., Sorgente R., Natale S., Gabersek S., Ribotti A., Bonanno A., Patti B, 2007. Effects of the 2003 European heatwave on the Central Mediterranean Sea: surface fluxes and the dynamical response *Ocean Sci.* 3, 273–289.

Palomera I., 1991. Vertical distribution of eggs and larvae of *Engraulis encrasicolus* in stratified waters of the Western Mediterranean. *Mar. Biol.* 111, 37-44.

Palomera I., 1992. Spawning of anchovy *Engraulis encrasicolus* in the Northwestern Mediterranean relative to hydrographic features in the region. *Marine Ecology Progress Series* 79, 215-223.

Palomera I., Olivar M.P., Salat J., Sabatés A., Coll M., García A., Morales-Nin B., 2007. Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: An ecological review. *Progress in Oceanography* 74, 377–396.

Parrish R.H., Nelson C.S., Bakun A., 1981. Transport mechanisms and reproductive success of fishes in the California Current. *Biol. Oceanogr.* 1, 175-203.

Patti B., Bonanno A., Basilone G., Goncharov S., Mazzola S., Buscaino G., Cuttitta A., García Lafuente J., García A., Palombo G., Cosimi G., 2004. Interannual fluctuations in acoustic biomass estimates and in landings of small pelagic fish populations in relation to hydrology in the Strait of Sicily. *Chemistry and Ecology*, 20, 365-375.

Patti, B., Cuttitta A., Bonanno A., Basilone G., Buscaino, G., Patti C., Garcia Lafuente J., Garcia A., Mazzola S., 2005. Coupling between the hydrographic circulation in the Strait of Sicily and the reproductive strategy of the European anchovy *Engraulis encrasicolus*: effects on distribution of spawning grounds. *MedSudMed Technical Documents* No.5.

Patti B., Venezia S., Piazza I., Basilone G., Patti C., Caruana L. and Mazzola S., 2007. Rapporto finale progetto CAS.FO. "Cattura e sforzo di piccoli pelagici nel Canale di Sicilia per la gestione delle risorse pescabili". Regolamento C.E.E. n. 1263/99 – SFOP – Misura n 4.17 – Sottomisura B.

Patti B., Bonanno A., Basilone G., Quinci E.M., Mazzola S., 2009. Anchovy, *Engraulis encrasicolus*, GSA 16 (South of Sicily), presented at General Fisheries Commission for the Mediterranean, Sub-Committee On Stock Assessment (SCSA), Report of the SCSA Working Group on Stock Assessment of Small Pelagic Species, Ancona, Italy 26-30 October 2009.

Patti B., Quinci E.M., Bonanno A., Basilone G., Mazzola S., 2010. Anchovy, *Engraulis encrasicolus*, GSA 16 (South of Sicily), presented at General Fisheries Commission for the Mediterranean, Sub-Committee On Stock Assessment (SCSA), Report of the SCSA Working Group on Stock Assessment of small Pelagic Species - Campobello di Mazara, 1-6 November 2010.

Patti B., 2010. On the responses of key environmental conditions and marine production to physical forcings in coastal upwelling areas: from global to local scale. PhD Thesis.

Patti B., Bonanno A., D'Elia M., Quinci E., Giacalone G., Fontana I., Aronica S., Basilone G., Mazzola S., 2011. Daytime pelagic schooling behaviour and relationships with plankton patch distribution in the Sicily Strait (Mediterranean Sea). *Advances in Oceanography and Limnology* 14, 79-92.

Peterman R. M., Bradford M. J., 1987. Wind speed and mortality rate of a marine fish, the northern anchovy (*Engraulis mordax*). *Science* 235, 354-356.

Piccioni A., Gabriele M., Salusti E., Zambianchi E., 1988. Wind-induced upwellings off the southern coast of Sicily. *Oceanol. Acta* 11, 309-314.

Planque B., Bellier E., Lazure P., 2007. Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. *Fisheries Oceanography* 16, 16-30.

Ragusa G., 2000. Specie ittiche marine commerciali del Mare Mediterraneo. FEDERCOOPESCA. Progetto realizzato con il contributo della Commissione Europea-

DG Pesca e del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali – Direzione Generale della Pesca e dell'Acquacoltura, 11-12.

Regner S., 1972. Contribution to the study of the ecology of the planktonic phase in the life history of the anchovy in the Central Adriatic. *Acta Adriat.* 14 (9), 3-31.

Regner S., 1985. Ecology of the planktonic stages of the anchovy, *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758), in the Central Adriatic Sea. *Acta Adriat.* 26, 1-113.

Richardson A.J., Mitchell-Innes B.A., Fowler J.L., Bloomer S.F., Verheye H.M., Field J.G., Hutchings L., Painting S.J., 1998. The effects of sea temperature and food availability on the spawning success of the Cape anchovy *Engraulis capensis* in the Southern Benguela. In: *Benguela Dynamics. Impacts of Variability on Shelf-Sea Environments and Their Living Resources*, S.C. Pillar, C.L. Moloney, A.L.I. Payne and F.A. Shillington (eds). *S. Afr. J. Mar. Sci.* 19, 275-290.

Robinson A. R., Sellschopp J., Warn-Varnas A., Leslie W. G., Lozano C. J., Haley P. J., Anderson L. A., Lermusiaux P.F J., 1999. The Atlantic Ionian Stream. *Journal of Marine Systems* 20, 113-128.

Sánchez F., Gil J., 2000. Hydrographic mesoscale structures and poleward current as a determinant of hake (*Merluccius merluccius*) recruitment in Southern Bay of Biscay, *ICES Journal of Marine Science* 57, 152-170.

Sharp G.D., Mclain D., 1993. Fisheries, El Nino-Southern Oscillation and upper Ocean temperature records: an eastern pacific example. *Ocean.* 6, 13-22.

Schismenou E., Giannoulaki M., Valavanis V., Somarakis S., 2008. Modeling and predicting potential spawning habitat of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and round sardinella (*Sardinella aurita*) based on satellite environmental. *Hydrobiologia* 612, 201–214.

Schlitzer R., *Ocean Data View*, 2006.

Smith P.E., Hewitt R.P., 1985. Sea survey design and analysis for an egg production method of anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (Ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Tech. Rep. NMFS 36, 17-26.

Somarakis S., Machias A., Giannoulaki M., Siapatis A., Torre M., Anastasopoulou K., Vassilopoulou V., Kalianiotis A., Papaconstantinou C., 2005. Ichthyoplanktonic and acoustic biomass estimates of anchovy in the Aegean Sea (June 2003 and June 2004). GFCM working document, Sub-Committee for Stock Assessment, Working Group on Small Pelagic Species, FAO, Rome, 26-30 September 2005.

Somarakis S., Tsianis D. E., Machias A., Stergiou K. I., 2006. An overview of biological data related to anchovy and sardine stocks in Greek waters. In Palomares, M. L. D., K. I. Stergiou & D. Pauly (eds), *Fishes in Databases and Ecosystems*. Fisheries Centre Research Reports 14. Fisheries Centre, University of British Columbia, 56–64.

Sorgente R., Drago A. F., Ribotti A., 2003. Seasonal variability in the Central Mediterranean Sea circulation, *Ann. Geophys.* 21, 299–322.

Southward A.J., Boalch G.T., Mattock L., 1988. Fluctuations in the herring and pilchard fisheries of Devon and Cornwall linked to change in climate since the 16th century. *J. Mar. Biol.* 68, 423-445.

Swetz J. A., 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science* 240, 1285-1293.

Takahashi M., Watanabe Y., Knoshita T., Watanabe C., 2001. Growth of larval and early juvenile Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in the Kuroshio-Oyashio transition region. *Fish. Ocean.* 10, 235-247.

Tortonese E., 1967. Differenziazioni infraspecifiche nelle acciughe (*Engraulis encrasicolus* L., Pisces, Clupeiformes) della Sicilia Orientale. *Atti. Accad. Gioenia, Catania* 34, 58-65.

Tudela S., Palomera I., 1995. Diel feeding intensity and daily ration in the anchovy *Engraulis encrasicolus* in the northwest Mediterranean Sea during the spawning period. *Marine Ecology Progress Series* 129, 55-61.

Tudela S., 1999. Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European anchovy, *Engraulis encrasicolus*. *Fish Res* 42, 229-243.

Tugores M.P., Giannoulaki M., Iglesias M., Bonanno A., Ticina V., Leonori I., Machias A., Tsagarakis K., Diaz N., Giraldez A., Patti B., De Felice A., Basilone G., Valavanis V., 2011. Habitat suitability modelling for sardine *Sardina pilchardus* in a highly diverse ecosystem: the Mediterranean Sea. *MEPS* 443, 181-205.

Van der Lingen C. D., Hutchings L., Merkle D., van der Westhuizen J.-J., Nelson J., 2001. Comparative spawning habitats of anchovy (*Engraulis capensis*) and sardine (*Sardinops sagax*) in the southern Benguela upwelling ecosystem. In *25 Spatial processes and management of marine populations*. University of Alaska. Sea Grant College Program, Anchorage Alaska, 185-209.

Varagnolo S., 1965. Alcune osservazioni sulla distribuzione delle uova galleggianti di Teleostei nell'Alto Adriatico. *Boll. Zool.* 32 (2), 849-858.

Varagnolo S., 1967. Osservazioni sulla riproduzione dell'*Engraulis encrasicolus* L. (Acciuga) dell'alto Adriatico. *Arch. Oceanog. Limnol.* 15, 71-81.

Waldron M.E., Armstrong M.J., Prosch R.M., 1989. Aspects of variability in growth of juvenile anchovy *Engraulis capensis* in the Southern Benguela system. *South African Journal Marine Science* 8, 9-19.

Wilhelm M. R., Painting S. J., Field J. G., Kerstan M., Durholtz M. D., 2005. Impact of environmental factors on survival of larval and juvenile Cape anchovy *Engraulis encrasicolus* (G.) in the southern Benguela upwelling region, determined from hatchdate distributions: implications for recruitment. *Marine Freshwater Research* 56, 561-572.

Wood S. N., 2006. Generalized Additive Models. An Introduction with R. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton.

RINGRAZIAMENTI

Giunta al termine di questo percorso desidero ringraziare tutte le persone che, in modi diversi, mi sono state vicine e hanno permesso la realizzazione di questa tesi.

Ringrazio il Dott. Salvo Mazzola e il Dott. Mario Sprovieri per avermi dato l'opportunità di realizzare questo progetto, per avermi accolto nell'Istituto IAMC-CNR di Capo Granitola e per aver creduto in me e nel mio Dottorato.

Ringrazio i miei due tutor, il prof. Fabio Pranovi per tutti i consigli e le correzioni, mettendomi a disposizione la sua valida esperienza e il Dott. Bernardo Patti per avermi indirizzato nelle scelte durante il percorso di questo progetto, e per avermi offerto preziosi suggerimenti per la stesura della tesi.

Un ringraziamento particolare va alla Dott.ssa Marianna Giannoulaki (Hellenic Centre of Marine Research di Creta) per il valido aiuto e per avermi introdotto nel fantastico mondo dei modelli ecologici.

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

In particolare, voglio ringraziare:

- Il Dott. Gualtiero Basilone e la Dott.ssa Maria Bonsignore, che hanno messo a mia disposizione tutte le loro competenze e le loro analisi sui giovanili di acciuga.
- La Dott.ssa Angela Cuttitta per la sua esperienza relativa all'analisi ittioplanctonica.
- Il Dott. Angelo Bonanno per la disponibilità e per le informazioni sui parametri ambientali.
- Un ringraziamento sentito va a Giovanni Giacalone e Ignazio Fontana per il supporto informatico.