

ALMA MATER STUDIORUM

UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE – Campus di Ravenna

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali – BiGeA

Corso di Laurea Magistrale in
Biologia Marina

DINAMICHE SPAZIOTEMPORALI DEL
MERLANO (*Merlangius merlangus*, Linnaeus
1758) NEL MAR ADRIATICO CENTRO-
SETTENTRIONALE.

Tesi di Laurea in
Biologia delle risorse alieutiche

Relatore:
Prof. Michele Casini

Presentata da:
Emanuele Ascitto

Correlatori:
Dott.ssa Chiara Manfredi
Dott. Federico Maioli

Controrelatrice:
Prof.ssa Marina Antonia Colangelo

Indice

1 INTRODUZIONE	2
2 IL MERLANO	3
2.1 DESCRIZIONE MORFOLOGICA.....	4
2.2 DISTRIBUZIONE ED HABITAT	5
2.3 ALIMENTAZIONE	7
2.4 RIPRODUZIONE	8
2.5 IDENTIFICAZIONE.....	9
2.6 PESCA	10
3 AREA DI STUDIO E PROGETTO DI RICERCA	11
3.1 IL MAR ADRIATICO	11
3.2 PROGETTO MEDITS	20
4 SCOPO DEL LAVORO.....	22
5 MATERIALI E METODI	23
5.1 NAVE, ATTREZZI DI PESCA E DISEGNO DI CAMPIONAMENTO.....	23
5.2 OPERAZIONI A BORDO	26
5.3 OPERAZIONI IN LABORATORIO	27
5.4 LE MISURAZIONI NEL DETTAGLIO: L'ESEMPIO DEL MERLANO.....	28
5.5 ANALISI DEI DATI.....	30
6 RISULTATI	35
7 DISCUSSIONE	49
8 CONCLUSIONI.....	55
9 RINGRAZIAMENTI	56
10 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	60
11 APPENDICE.....	69

1 INTRODUZIONE

La specie oggetto di questo studio è il merlano (*Merlangius merlangus* Linnaeus, 1758), un attinopterigio appartenente alla famiglia Gadidae presente in Adriatico soprattutto nella parte settentrionale.

Il lavoro si basa sull'analisi delle catture di *M.s merlangus* al fine di avere più informazioni, per esempio, sull'areale di distribuzione, la profondità preferita ed osservare come, in generale, la prima sia determinata da parametri abiotici con particolare riferimento alla temperatura.

Tutti i dati di questo lavoro provengono dalle campagne di pesca annuali della motonave Andrea impegnata nelle operazioni di ricerca del progetto “Mediterranean Trawl Survey” (MEDITS) nell'Adriatico centro settentrionale (area gestionale GSA17).

Le attività di laboratorio per l'analisi dei campioni sono state svolte nel Laboratorio di Biologia Marina e Pesca di Fano, del Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali (BiGeA).

In generale, il database impiegato in questa attività raccoglie i dati dal 1994 ad oggi.

2 IL MERLANO



Figura 1. *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758). @skaphandrus.com

M. merlangus (Fig. 1), conosciuto anche con il nome di molo, è un attinopterigio appartenente alla famiglia Gadidae. Quest'ultima ricopre un ruolo rilevante nell'economia e commercio delle specie ittiche anche a livello italiano. Nel Mar Mediterraneo sono presenti specie a cui, tendenzialmente, viene attribuito un modesto valore commerciale. Altre ancora, al contrario, sono meglio apprezzate (Bombace e Lucchetti, 2011).

2.1 DESCRIZIONE MORFOLOGICA

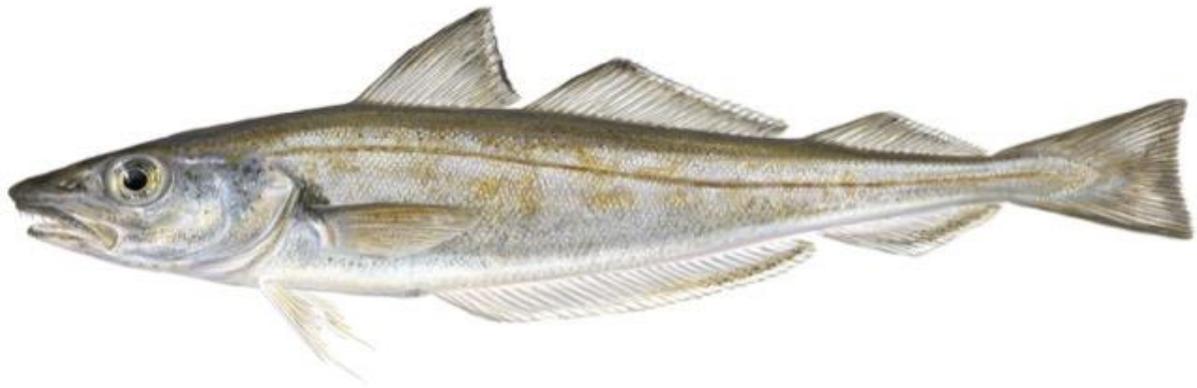


Figura 2. Accurata rappresentazione di *M. merlangus*. @mare.istc.cnr.it

Il corpo del *M. merlangus* (Fig. 2) si presenta slanciato e affusolato, coi fianchi leggermente compressi. La testa è stretta e allungata, con un'apertura boccale in proporzione piuttosto grande corredata di barbiglietto mandibolare, a volte molto piccolo o assente (Food and Agriculture Organization of the United Nations, "FAO": <http://www.fao.org/fishery/species/3022/en>), caratteristico della specie (Vrgoč et al., 2004). La mandibola sopravanza nettamente la mascella ed entrambe sono munite di denti: nella prima è presente una fila esterna di denti grandi e appuntiti e altri, più piccoli, nella parte interna, nella seconda invece i denti più piccoli sono in posizione esterna, mentre quelli più grandi (più lunghi di quelli della mascella superiore) formano una fila interna. *M. merlangus* è caratterizzato da tre pinne dorsali fra loro molto ravvicinate.

La prima è quasi triangolare, la seconda non supera in altezza la prima, ma risulta essere la più lunga delle tre. La terza pinna dorsale è bassa, corta e di forma trapezoidale.

Ventralmente sono presenti due pinne anali disposte in maniera contigua e, fra le due, la prima è quella più grande ed inizia al termine della prima dorsale, mentre la seconda è simmetrica rispetto alla terza dorsale. Il numero di raggi della prima pinna anale è l'unico carattere meristico che dimostra differenze fra i sessi (Milic e Kraljevic, 2011). La pinna caudale è marcatamente triangolare e dritta lungo il margine posteriore.

Le pinne pettorali si estendono fino all'inizio della seconda dorsale.

M. merlangus presenta un corpo con il dorso di colore grigio scuro con sfumature tendenti al giallo-bruno/verde olivastro che interessa anche le pinne dorsali e la caudale ed è ricoperto di piccole scaglie e abbondante muco. La porzione ventrale appare bianco-argentea come le pinne anali. Le pettorali tendono al giallo e spesso alla loro base è presente una tipica macchietta di colore nero. La taglia massima si attesta sui 70cm (Manzoni e Tepedino, 2008), anche se la lunghezza media si attesta intorno ai 30cm (FishBase). Può raggiungere un peso di circa 3kg (IGFA, 2001) e la notevole età di 20 anni (Muus e Nielsen, 1999).

2.2 DISTRIBUZIONE ED HABITAT

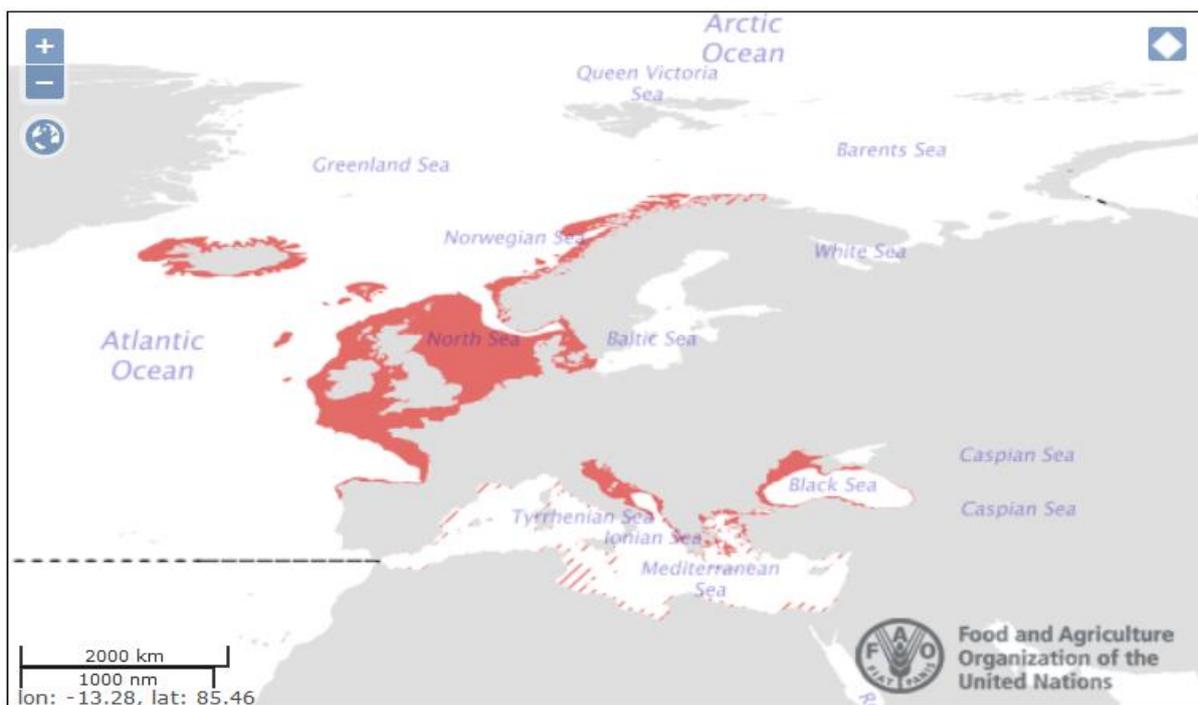


Figura 3. Distribuzione del *M. merlangus*

Stando a quanto riportato dalla FAO, la distribuzione del *M. merlangus* è molto ampia (Fig. 3). Può essere rinvenuto dalla Norvegia all'Islanda passando per il Mediterraneo, l'Egeo e arrivando al Mar Nero (<http://www.fao.org/fishery/species/3022/en>; Abella et al., 1996).

È una specie demersale con una spiccata preferenza verso le acque fredde, come ben visibile dalla Fig. 3, e una tendenza a radunarsi in piccoli banchi (Desbrosses, 1995; Damm, 1975). All'interno del Mar Mediterraneo risulta essere abbondante nel centro-nord Adriatico, zona in cui, grazie alla geomorfologia ed all'azione dei venti, le acque riescono a raffreddarsi velocemente (Boldrin et al., 2009) raggiungendo le temperature ideali per la specie .

Una caratteristica del Mar Adriatico, a differenza degli altri sottobacini italiani, è quella di ospitare specie ad areale tipicamente nordico non presenti in altre zone, come appunto *M. merlangus*, lo spratto (*Sprattus sprattus*) e la passera di mare (*Platichthys flesus*).

Questi organismi, così come altri, potrebbero essere la testimonianza della penetrazione in Mediterraneo di una fauna atlantica di climi temperato-freddi avvenuta durante le glaciazioni. Queste specie sarebbero sopravvissute in nord Adriatico proprio grazie alle peculiari caratteristiche ambientali di questo mare (Bombace e Lucchetti 2011).

Le informazioni ad oggi disponibili, provenienti da vecchie campagne che però non hanno portato avanti specifici studi sulla profondità, indicano che *M. merlangus* è molto comune in Adriatico fino a 50 metri di profondità, ma non è così difficile trovarlo anche a circa 100m nei canali delle coste Croate (Giovanardi e Rizzoli, 1984; Frattini e Casali, 1988; Piccinetti et al., 2012) su fondali di varia natura, con una preferenza per quelli sabbiosi (Atkinson et al., 2014).

Gli individui più grandi preferiscono stanziare in acque più profonde (Cooper, 1983).

È una specie vicariante ecologica del nasello (*Merluccius merluccius*) e ne entrerebbe in competizione per risorse e spazi, tuttavia quest'ultimo vive preferenzialmente a profondità maggiori rispetto a *M. merlangus* e questo consente la convivenza nello stesso bacino.

La particolare distribuzione del *M. merlangus* ha spesso portato gli studiosi ad ipotizzare che possano esistere due sottospecie: *Merlangius merlangus merlangus* e *Merlangius merlangus euxinus*. Molti studi sulla morfometria di esemplari campionati (Bini, 1970; Tortonese, 1975; Ungaro et al., 1995; Milic e Kraljevic, 2011; Witehead et al., 1986; Svetovidov et al., 1986) hanno effettivamente messo in luce delle differenze morfometriche (assenza o presenza del barbiglio, numero dei raggi delle pinne, rapporto dimensione della pinna pettorale/lunghezza del corpo), probabilmente imputabili a differenti condizioni ambientali e alla segregazione spaziale che si è stabilita nel corso del tempo. Al fine di ottenere ulteriori informazioni e confermare l'effettiva presenza di due sottospecie, sono stati condotti studi genetici di filogeografia (Şalcıoğlu et al., 2020) i quali hanno evidenziato l'effettiva presenza di differenze fra gli individui. Tuttavia, i markers finora utilizzati non risultano essere abbastanza informativi per confermare una certa separazione tassonomica.

2.3 ALIMENTAZIONE

L'alimentazione del *M. merlangus* è varia e copre un ampio spettro di prede: invertebrati come cefalopodi, anellidi, gamberi e granchi, passando per i pesci. La tendenza ad essere piscivoro si intensifica nell'età adulta. Si possono anche verificare dei casi di cannibalismo (Bombace e Lucchetti, 2011; Demain et al., 2011; Atkinson et al., 2004; Hislop et al., 1991; Mergardt e Temming, 1997; Seyhan et al., 1998; Pedersen, 2000; Andersen, 2001; Staniland et al., 2001).

2.4 RIPRODUZIONE

Il periodo riproduttivo si attesta nei mesi invernali-primaverili (Giovanardi e Rizzoli, 1984) con dei picchi di deposizione nell'arco di tempo subito vicino al mese di dicembre (Vallisneri et al., 2006). Le larve affrontano due fasi di vita: la prima fase è pelagica, la seconda fase è quella del reclutamento all'habitat ovvero il momento in cui gli individui passano alla vita bentonica. Questo avviene quando le loro dimensioni raggiungono i 5/10cm di lunghezza (Bombace e Lucchetti, 2011).

Il tasso di accrescimento è abbastanza elevato: ad un anno la taglia è di circa 20cm (Ross et al., 2018). La taglia di prima maturità sessuale viene raggiunta intorno ai 25cm per le femmine e 24cm per i maschi anche se alcuni esemplari hanno dimostrato di essere precoci raggiungendo la maturità a 19cm (Vallisneri et al., 2006).

Il rapporto maschi-femmine è generalmente a favore delle femmine, le quali raggiungono anche dimensioni maggiori (Hannerz, 1964; Gordon, 1977; Hislop, 1984).

Rispetto ad altri gadidi *M. merlangus* produce più uova e lo fa per una stagione più lunga. Ciò dipende comunque dalla quantità di cibo a disposizione (Conway et al., 1997).

Una curiosità riguardante gli individui giovani dai 2 ai 5cm è rappresentata dalla loro tendenza a ripararsi sotto l'ombrello delle meduse in cerca di protezione (Lynam e Brierley, 2007).

2.5 IDENTIFICAZIONE

M. merlangus, soprattutto negli stadi giovanili, può essere confuso con esemplari di altre specie come il potassolo (*Micromesistius potassou*) (Fig. 4), il cappellano (*Trisopterus minutus*) (Fig. 5) e il nasello (Fig. 6).

Esistono, comunque, delle caratteristiche morfologiche che consentono di discernere fra le diverse specie: il nasello (che, fra l'altro, appartiene alla famiglia Merlucciidae e non Gadidae) presenta due pinne dorsali e non tre, denti molto più preponderanti e una tipica cresta ossea a forma di V sulla testa, la forma del corpo è più rotondeggiante e la colorazione tende molto di più all'argento; il cappellano mostra un barbiglio inferiore più lungo, un muso più corto e tozzo con un grande occhio e corpo molto più allungato verticalmente; il potassolo non possiede barbiglio, ha un corpo più slanciato e fusiforme dal dorso bluastro e la mascella sopravanzata rispetto alla mandibola (Bombace e Lucchetti, 2011).



Figura 4. Potassolo. (Gervais e Boulard, 1877)

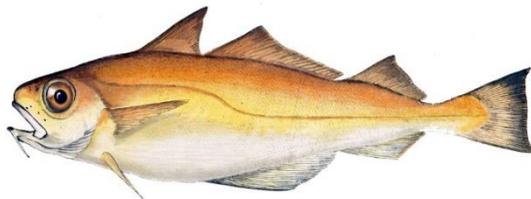


Figura 5. Cappellano. (Gervais e Boulard, 1877)



Figura 6. Nasello, @https://ec.europa.eu/fisheries/marine_species/wild_species/hake_en

2.6 PESCA

M. merlangus rientra all'interno delle specie di interesse commerciale o conservazionistico nell'area di applicazione della General Fisheries Commission for the Mediterranean (GFCM).

Stando a quanto riportato dalla GFCM stessa, *M. merlangus* rappresenta il 3,2% dello sbarcato nel Mar Adriatico (su uno sbarcato di 28.880 tonnellate), il 4,32% nell' Est Mediterraneo (su uno sbarcato di 2.013 tonnellate) ed il 13,2% nel Mar Nero (su uno sbarcato di 13.022 tonnellate) (FAO, 2018).

La tecnica di pesca più indicata per catturare il *M. merlangus* è sicuramente la pesca a strascico, anche se esemplari di dimensioni maggiori possono essere catturati utilizzando palangari di profondità. Nella pesca sportiva viene invece pescato attraverso lenze da fondo calate dalle imbarcazioni. Secondo ADRIAMED (progetto FAO finanziato in Italia dal Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali nato per promuovere la cooperazione scientifica in tema di gestione delle risorse alieutiche condivise fra i paesi che si affacciano sull'Adriatico), nelle zone del Nord Adriatico, si catturano circa da 1 a 2,5 kg di pesce per ora di attività di pesca a strascico (Piccinetti et al., 2012). In Adriatico il quantitativo più abbondante di catture viene effettuato nelle zone antistanti alla foce del Po, nel momento in cui i nuovi individui si uniscono allo stock adulto, soprattutto nel periodo invernale (Bombace e Lucchetti, 2011; Frattini e Casali, 1998).

3 AREA DI STUDIO E PROGETTO DI RICERCA

3.1 IL MAR ADRIATICO

All'interno del Mar Mediterraneo è possibile individuare diversi bacini. Fra essi quello che rappresenta l'ambiente target di questo lavoro è il Mar Adriatico.

Questa porzione di mare si interpone fra l'Italia e la Penisola Balcanica, estendendosi in lunghezza dal golfo di Trieste fino all'estremità della Puglia in corrispondenza dello stretto di Otranto (Ellis, 2005). Esso ricopre una superficie di 132.000km², ed è in comunicazione con il Mar Jonio attraverso un passaggio largo poco più di 70km. La sua lunghezza si attesta a 800km, mentre ha una larghezza media di circa 200km.

Prendendo in considerazione tutto il Mare Adriatico (Fig. 7):

- L'Adriatico centrale e settentrionale si estende dalle zone del Golfo di Trieste a Nord e termina sulla congiungente che si delinea dal Gargano fino all'isola di Lagosta. È caratterizzato da acque poco profonde, la batimetria non supera generalmente i 100m fatta eccezione per alcuni spot nelle zone delle coste dalmate. Nella zona centrale, più o meno in linea d'aria con la città di Pescara, è presente la fossa di Pomo. Qui la profondità aumenta (seppur in questa zona circoscritta) fino a toccare i 250m circa.

I fondali sono caratterizzati principalmente da sabbie litorali che lasciano spazio a fanghi nelle zone più distanti dalla linea di costa. Alcune aree, però, presentano delle caratteristiche particolari e si distinguono per diverse tipologie di biocenosi (Fig. 8). In Alto Adriatico è possibile trovare avvallamenti sabbiosi che emergono da zone ricche di fanghi e risultano essere spot ideali per la pesca dei fasolari, ma anche un particolarissimo substrato duro di origine biologica. Queste aree vengono dette "tegnue" (Fig. 9).

Il loro nome pare derivare dal dialetto veneto: questo termine può essere tradotto in italiano come "trattenute", come le reti dei pescatori che restavano impigliate

in queste aree.

Nella parte più centro-settentrionale sono presenti le cosiddette “sabbie relitte”, originatesi dopo l’ultima glaciazione quando il mare ricominciò ad avanzare trasportando nella pianura vecchi depositi costieri.

- L’Adriatico meridionale comprende ad occidente le coste della Puglia, mentre ad oriente quelle albanesi e del Montenegro. È caratterizzato da acque profonde, un’ampia scarpata continentale supera i 1000 metri di profondità nelle porzioni di mare antistanti il promontorio del Gargano e si incanala verso il Mar Jonio seguendo una depressione canaliforme in corrispondenza del Canale di Otranto, che ne rappresenta la porta di comunicazione.

Anche in queste zone, la componente principale del fondo è di origine sedimentaria soprattutto nelle zone limitrofe alla costa.

Con l’aumentare della distanza da costa aumenta la percentuale di fanghi. L’area del Golfo di Manfredonia rappresenta un hot-spot per l’accumulo di sedimenti e nutrienti che favoriscono soprattutto la crescita di molluschi bivalvi di interesse commerciale (Cataudella e Spagnolo, 2011).

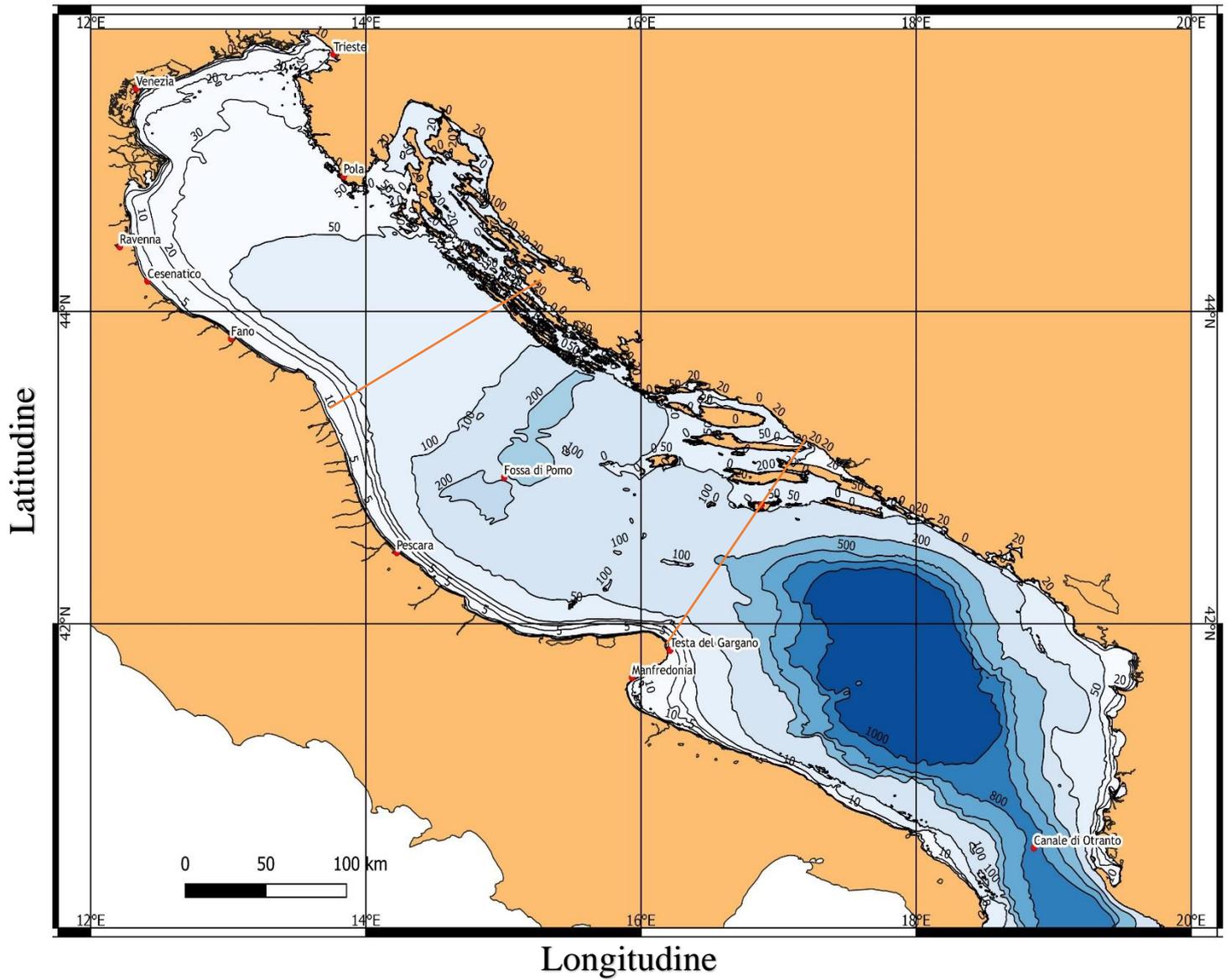


Figura 7. Suddivisione del Mar Adriatico. (Artegiani et al., 1997)

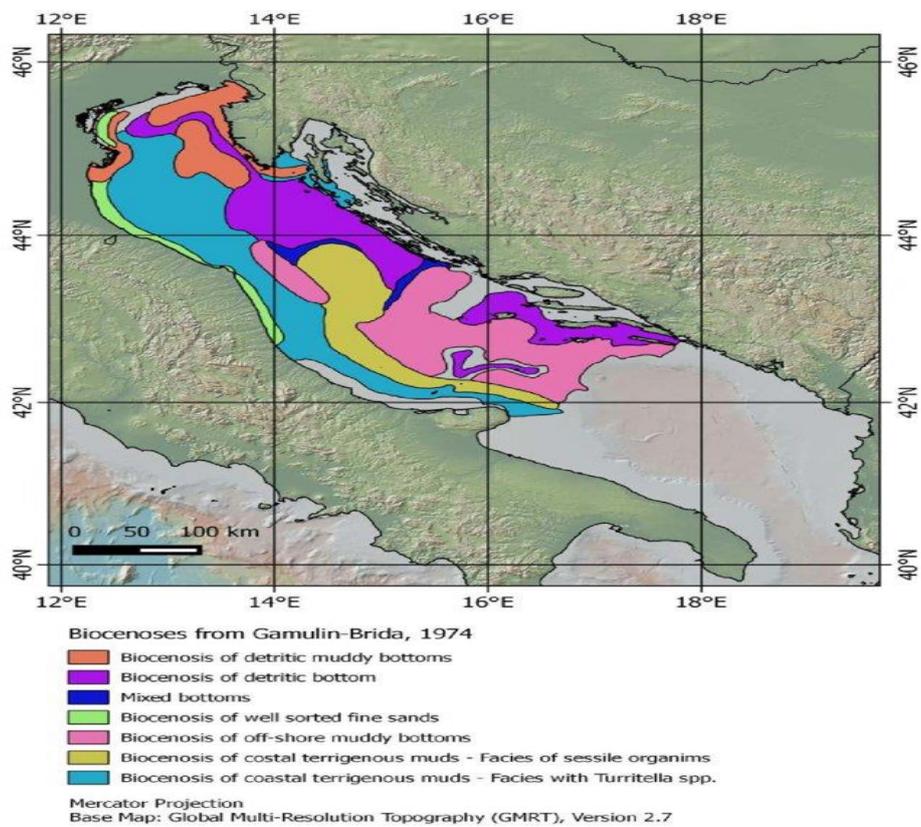


Figura 8: Biocenosi nell'Adriatico centro-settentrionale. (UNEP/MAP-RAC/SPA, 2015).



Figura 9. Tegnue, @ArpaVeneto

In Adriatico si osservano delle oscillazioni piuttosto importanti di alcuni parametri come temperatura e salinità nel corso dell'anno. D'estate la temperatura superficiale risulta essere abbastanza uniforme su tutto l'Adriatico con un valore di circa 23-24°C in mare aperto (Fig.10). Tuttavia, in inverno, le temperature crollano fino a raggiungere gli 11°C lungo le coste italiane e 14°C in acque più distanti dalla costa. Nella stagione estiva, dipendentemente dalla zona, si riscontra un termoclino intorno ai 30m di profondità nell'alto Adriatico, uno a 50m nell'Adriatico centrale e uno a circa 75m nel Sud Adriatico, il che porta ad una netta separazione fra le acque superficiali e quelle sottostanti (Artegiani et al., 1997 a-b).

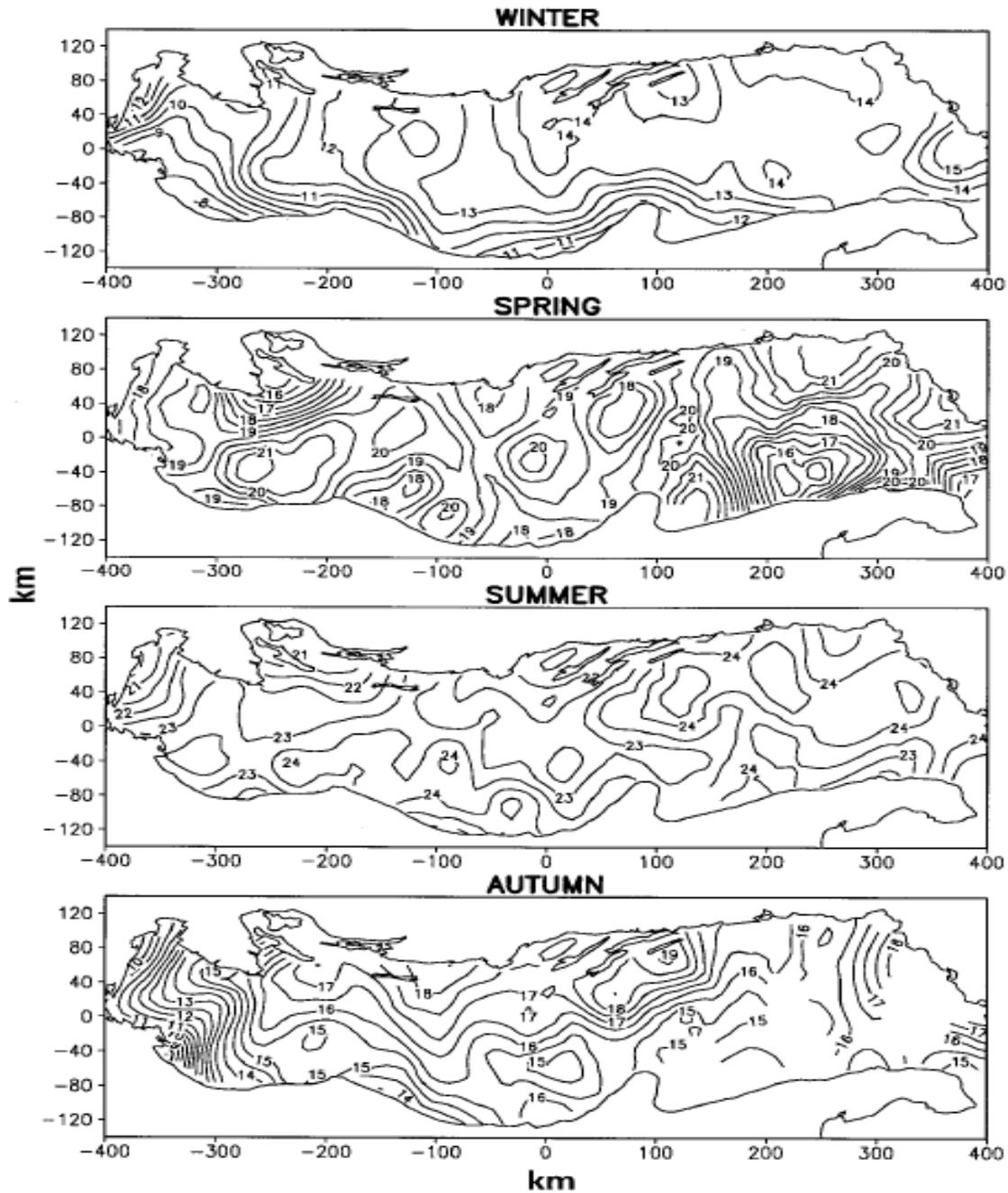


Figura 10. Temperatura stagionale superficiale ($^{\circ}\text{C}$), (Artegiani et al., 1997). Gli 0 su ascisse ed ordinate indicano i punti di origine di assi immaginari che separano in quattro quadranti il Mar Adriatico.

La salinità è influenzata soprattutto dagli input fluviali (acqua dolce) e dalla risalita da sud di acque più dense e salate provenienti dal Mar Jonio che porta alla formazione di forti gradienti spaziali soprattutto nella zona Nord/Nord-Ovest ed in particolare davanti alla foce del Po (Fig.11). In linea di massima, si può affermare che la salinità decresca da Sud verso Nord e da Est verso Ovest, attestandosi ad un valore medio di circa 38 psu.

Non è insolito, però, trovare zone a salinità di molto inferiore in prossimità degli sbocchi fluviali: i loro apporti idrici influenzano il bilancio salino soprattutto nelle zone costiere (Cataudella e Spagnolo, 2011).

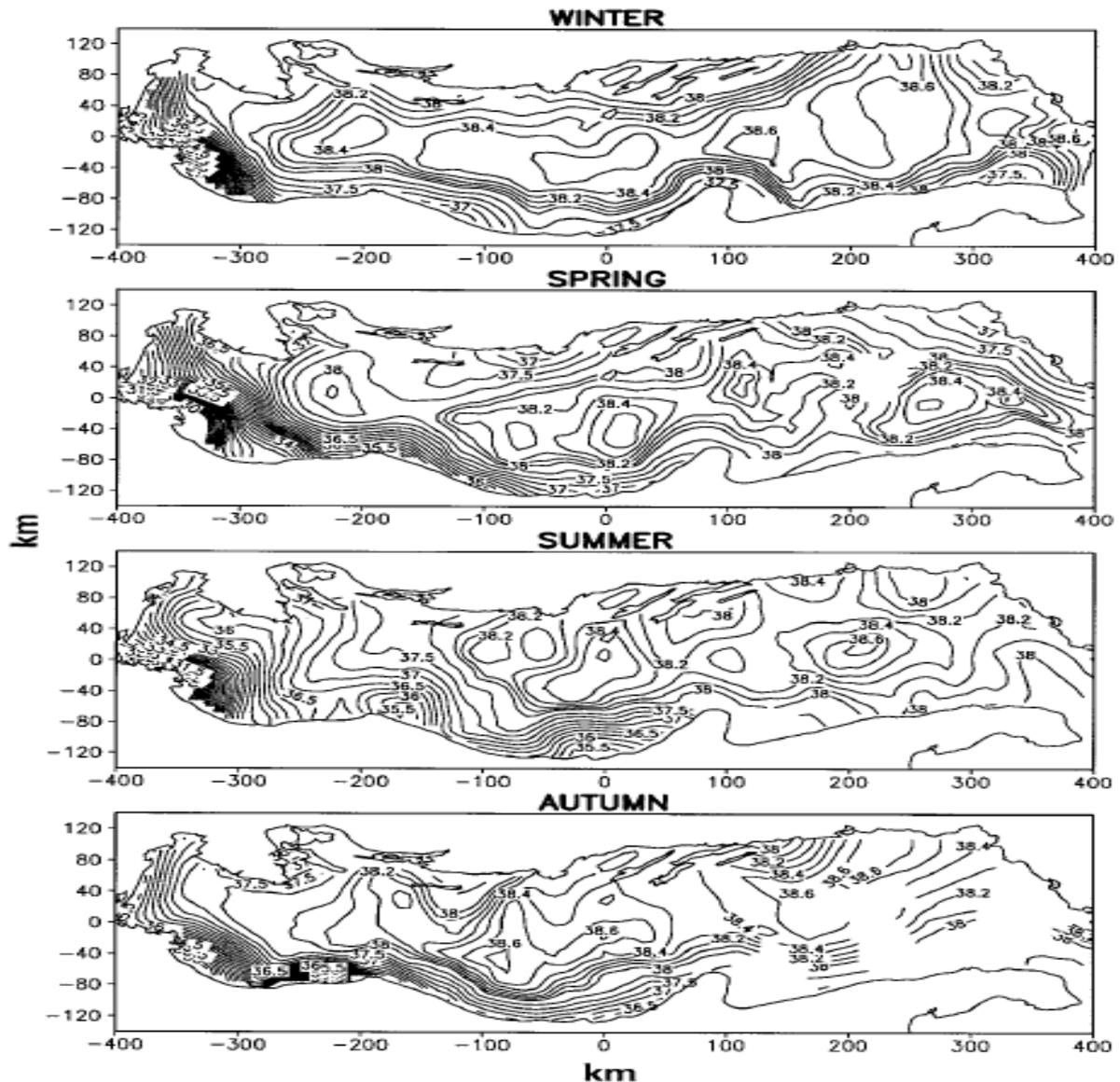


Figura 11. Salinità stagionale (psu) (Artegiani et al., 1997). Gli 0 su ascisse ed ordinate indicano i punti di origine di assi immaginari che separano in quattro quadranti il Mar Adriatico.

Dal punto di vista dell'idrologia, l'Adriatico è caratterizzato da una strutturazione in movimenti ciclonici (antiorari) sul fondo (Fig. 12).

In generale, la circolazione principale consente la risalita di acqua più salata da sud verso nord lungo la costa balcanica dal Basso Adriatico fino alla zona istriana/veneta, dove poi ridiscende verso la Puglia percorrendo la costa italiana dopo essersi mescolata e “addolcita” con quella derivante dagli apporti fluviali caratteristici dell’area dell’Alto Adriatico.

In aggiunta, si registrano, a causa della morfologia e della batimetria, delle sottostrutturazioni di tipo ciclonico che sono più o meno evidenti a seconda della stagionalità. Un primo grande vortice ciclonico è presente nel Basso Adriatico, il quale ha un notevole effetto di ritenzione delle particelle planctoniche. Un secondo importante vortice ciclonico è presente nel Medio Adriatico, nelle zone della fossa di Pomo. Nel complesso, le correnti superficiali più forti si presentano nel periodo invernale-primaverile, mentre quelle profonde si intensificano in primavera e raggiungono la loro massima intensità nel periodo estivo (Kraus et al., 2019).

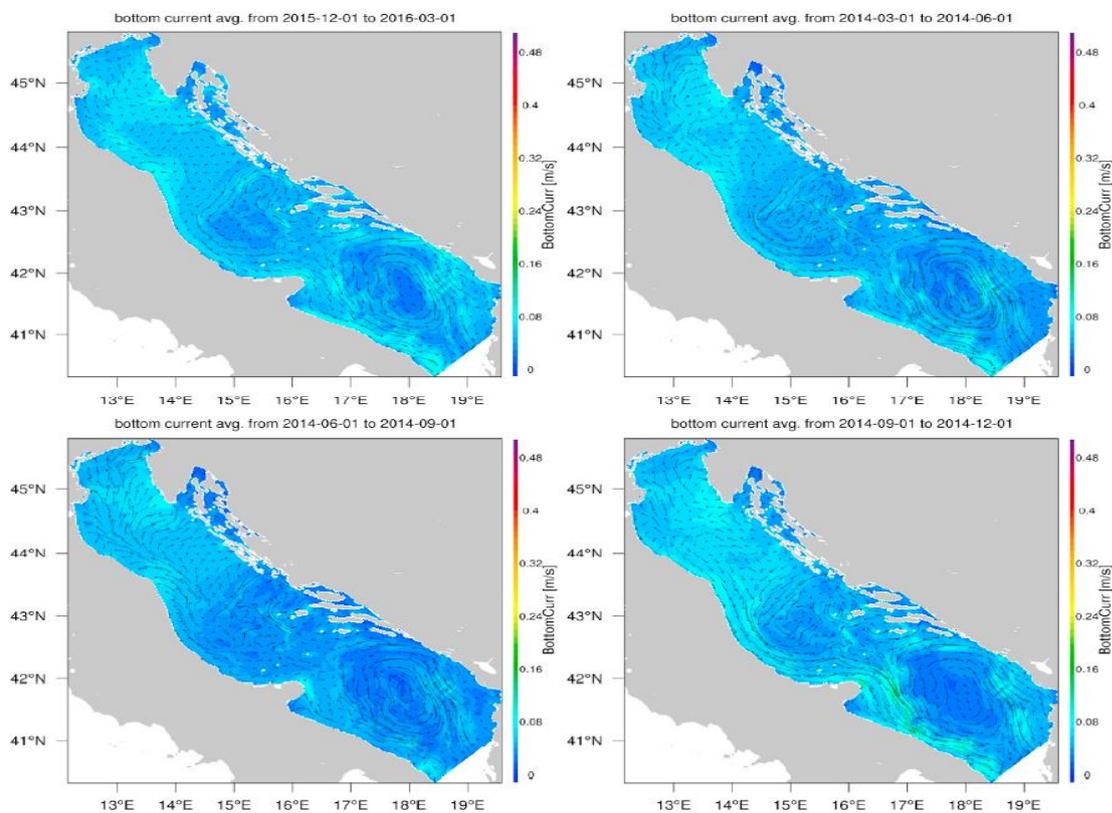


Figura 12. Circolazioni correntizie stagionali. In senso orario da in alto a sinistra: inverno, primavera, autunno, estate. (Kraus et al., 2019).

Per rendere più efficienti tutte le attività di ricerca scientifica e raccolta dati per il controllo e la valutazione delle risorse biologiche, ma anche gestione delle flotte di pesca e tutti gli aspetti giuridici nazionali ad esse collegati che sono svolte all'interno del Mediterraneo, questo bacino semichiuso è stato suddiviso in 30 sotto-aree (Fig. 13).

Tale suddivisione è stata istituita attraverso il Resolution GFCM/33/2009 (GFCM, 2009). Queste zone vengono definite come GSA (Geographical Sub Areas) e si differenziano fra di loro soprattutto per dimensioni e caratteristiche (Cataudella e Spagnolo, 2011).

Davanti alle coste italiane, secondo la disposizione delle varie zone, sono presenti le seguenti GSA:

- 9: Mar Ligure e Tirreno settentrionale
- 10: Tirreno centro-meridionale
- 11: Mari di Sardegna
- 16: Coste meridionali della Sicilia
- 17: Adriatico settentrionale
- 18: Adriatico meridionale
- 19: Ionio occidentale



Figura 13. Suddivisione del Mediterraneo in GSA. (Cataudella e Spagnolo, 2011).

Nello specifico, le attività di ricerca che interessano questo studio tengono in considerazione la parte dell'Adriatico centro-settentrionale (GSA17).

Le specie bentoniche e demersali presenti all'interno di questo bacino sono generalmente pescate attraverso imbarcazioni dedicate alla pesca a strascico o altri tipi di pesca come il rapido, reti da posta e il palangaro. Essi, dipendentemente dagli attrezzi utilizzati e dall'area di esercizio dell'attività alieutica, si interessano prevalentemente alla cattura di sogliole (*Solea* sp.), triglie (*Mullus* sp), merlani, canocchie (*Squilla mantis*), naselli, rane pescatrici (*Lophius* sp.), scampi (*Nephrops norvegicus*) e cefalopodi (*Sepia officinalis*, *Eledone* sp., *Loligo vulgaris*, *Illex coindetii*).

Sulla costa adriatica italiana sono presenti un alto numero di porti e mercati dove il pescato viene venduto all'asta o attraverso accordi diretti fra pescatori e acquirenti.

3.2 PROGETTO MEDITS

La complessità biogeografica del Mar Mediterraneo porta, solitamente, allo sfruttamento delle risorse bentoniche e demersali soprattutto in aree non lontane dalla costa (Bertrand et al., 2002).

La conoscenza dello status in cui versano gli stocks ittici, dunque, è diventata una tematica di fondamentale importanza anche per la ricerca scientifica. Il progetto MEDITS (Bertrand et al., 2002, Spedicato et al., 2019) nasce nel 1994 e coinvolge, al giorno d'oggi, dieci paesi: Spagna, Francia, Italia, Slovenia, Croazia, Montenegro, Albania, Grecia, Malta e Cipro. Esso si occupa della raccolta di dati non commerciali (fishery independent data) riguardanti specie ittiche bentoniche e demersali, soprattutto per quanto riguarda la struttura demografica all'interno del Mar Mediterraneo, al fine di accumulare informazioni riguardo lo stato in cui versano stocks alieutici di importanza commerciale e monitorare il loro andamento nel tempo.

Lo strumento di ricerca di tale programma è la pesca a strascico scientifica condotta seguendo un protocollo di campionamento standardizzato per tutti i Paesi che ne fanno parte (Anonymous, 2017).

I survey scientifici che adottano questa tecnica, nell'ultimo decennio, hanno guadagnato un ruolo molto importante come strumento utile per lo stock assessment, cioè la valutazione dello stato delle risorse e della pressione da pesca sulle risorse stesse attraverso la raccolta di informazioni sulla distribuzione delle risorse alieutiche, stimandone le relative abbondanze e caratteristiche biologiche (Hilborn e Walters, 1992; Gunderson 1993; Spedicato et al., 2020). Per fornire un ulteriore contributo alla ricerca, dal 2013 nel progetto MEDITS ci si impegna anche nel campionamento del “macro-litter” per accumulare dati per la Marine Strategy Framework Directive.

Il MEDITS usa una rete a strascico sperimentale che aumenta le probabilità di cattura delle specie bentoniche e demersali e che meglio si adatta alle caratteristiche fisiche del Mar Mediterraneo. Così, la collaborazione fra biologi e tecnologi ha permesso la progettazione di una rete differente rispetto a quelle più comunemente usate nella pesca commerciale nel Mare Nostrum.

4 SCOPO DEL LAVORO

La distribuzione di una specie è determinata dal modo in cui gli individui appartenenti ad essa si dispongono nello spazio (Turner, 2016). La disposizione degli organismi all'interno dell'area occupata è influenzata dalle caratteristiche ambientali ed ecologiche di quest'ultima e per questo può risultare disomogenea. Cambiamenti di queste caratteristiche possono determinare una variazione spaziotemporale nella distribuzione, abbondanza e produttività degli organismi (Tingley et al., 2009; Swain et al., 2015). Riuscire a determinare come i vari organismi rispondano a tali cambiamenti, per quanto sia da decenni una grande sfida per i ricercatori, è fondamentale per fare delle predizioni sulle future condizioni degli stocks in termini di distribuzione spaziale e produttività, ma anche per ideare delle strategie di gestione delle risorse per assicurare che le attività antropiche siano sostenibili e utili per tutela di popolazioni fortemente a rischio (Thorson et al., 2017; Smith et al., 2010; Rassweiler et al., 2014; Godefroid et al., 2019).

La necessità di condurre questo studio è stata rafforzata dal fatto che la letteratura riguardo il *M. merlangus* nel bacino Adriatico è abbastanza scarsa, datata e concentrata soprattutto su studi sulla biologia riproduttiva e biometria. L'obiettivo di questo lavoro è quello di valutare come la distribuzione di *M. merlangus* sia influenzata da parametri abiotici quali profondità e temperatura e come essa sia cambiata nel tempo all'interno del Mar Adriatico centro-settentrionale.

5 MATERIALI E METODI

5.1 NAVE, ATTREZZI DI PESCA E DISEGNO DI CAMPIONAMENTO

L'imbarcazione da ricerca utilizzata nella campagna MEDITS nella parte italiana della GSA17 è la M/N Andrea (Fig. 14) destinata alla pesca scientifica. La motonave (634x2 kW, lunghezza complessiva di 29.15 m e stazza lorda di 211 GT) è un catamarano, costruita in vetroresina e lega di alluminio ed è equipaggiata con appropriata strumentazione sia per la navigazione che per le operazioni di ricerca in Adriatico (Ferretti et al., 2005).

Nelle campagne MEDITS, la maglia del sacco della rete ha un'apertura di circa 20mm. La porzione superiore, la cosiddetta “lima dei sugheri” è stata progettata per ospitare 40 galleggianti capaci di resistere ad immersioni a 1300m di profondità, disposti a 1,5m di distanza l'uno dall'altro. La sua controparte, la “lima dei piombi”, è costituita da una catena principale di 120kg e disposta in modo tale da formare anse di 17cm distanti le une dalle altre. L'apertura verticale della rete, in pesca, si attesta tra i 2m e i 3m. I divergenti ,strumenti necessari all'apertura orizzontale della rete, sono standardizzati e del tipo Morgere WH S (Fig. 16). La temperatura sul fondo durante le pescate è stata registrata utilizzando il sensore di temperatura DST centi – TD della Star - Oddi (-2°C – +40°C) con intervallo di registrazione di 30 secondi (Piccinetti e Manfredi, 2020) posto sulla lima dei galleggianti. Una rappresentazione di rete a strascio è riportata in Fig. 15.



Figura 14. La M/N Andrea

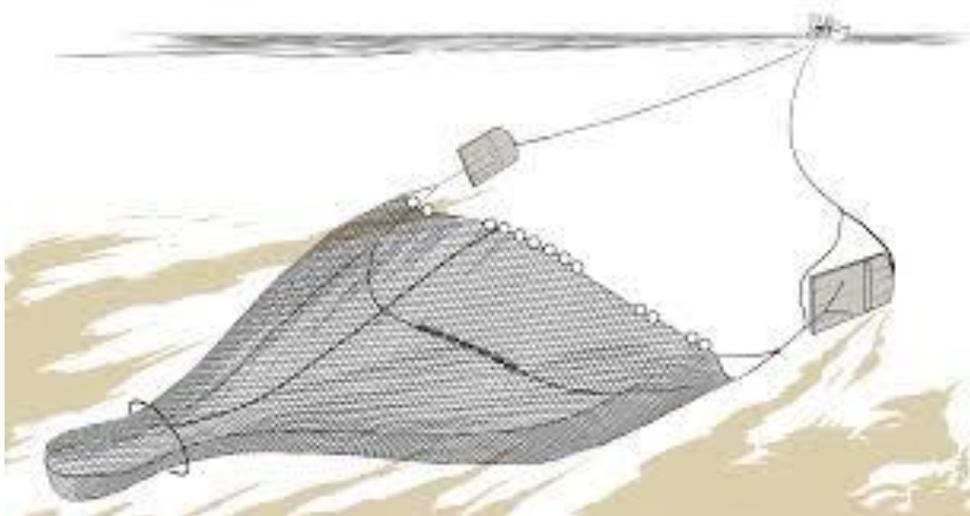


Figura 15. Esempio di rete a strascico

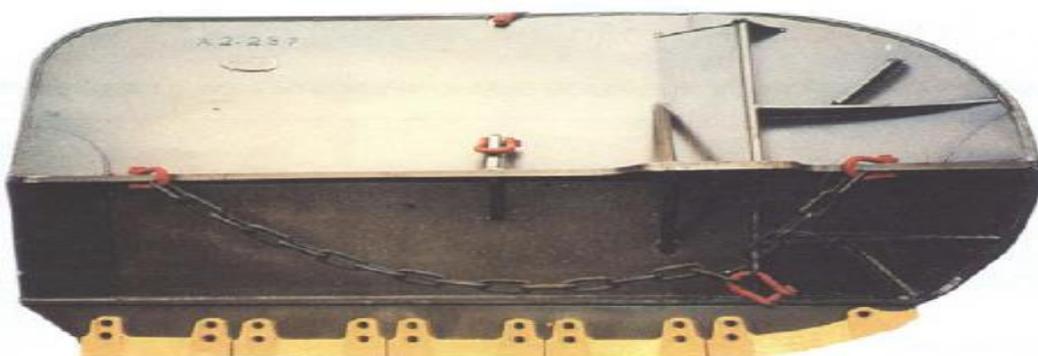


Figura 16. Divergente Morgere WH S

Il periodo previsto dal protocollo per i monitoraggi MEDITS va da maggio a luglio. Tutto questo è in funzione alla volontà di mantenere il periodo di studi costante in tutti gli anni, così da poter ridurre i potenziali effetti del fattore “periodo dell’anno” sulle analisi.

Le strascicate vengono eseguite seguendo un disegno di campionamento a profondità stratificate fisse (10 - 50 m, 51 - 100 m, 101 - 200 m, 201 - 500 m, 501 - 800 m) e un numero di cale proporzionale all’estensione di ogni strato (Fig. 17).

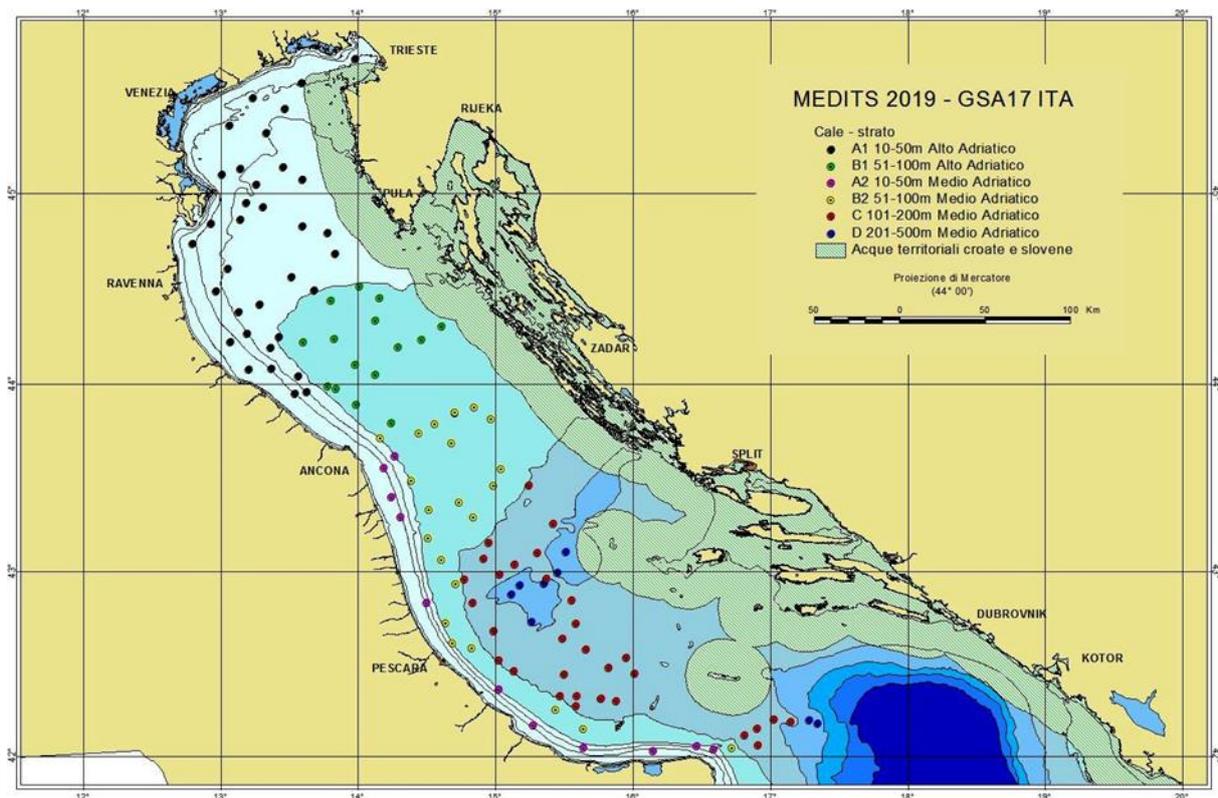


Figura 17. Schema del disegno di campionamento MEDITS nell’area delle acque nazionali ed internazionali della GSA 17 (Piccinetti e Manfredi, 2020).

Il luogo in cui la rete viene calata è identico per ogni anno. La velocità standard in pesca è di circa 3 nodi. Trainare in questo modo assicura la corretta apertura della rete e il mantenimento della sua geometria. Infatti, a velocità inferiori viene compromessa la funzionalità dei divergenti che possono perdere il loro assetto andando a conficcarsi nel fango. In acque profonde, una velocità superiore potrebbe portare ad un distacco della rete dal fondale, vanificando tutta l’azione di pesca.

La strascicata, sempre diurna, ha una durata standardizzata di 30 minuti a profondità inferiori a 200metri e di 60minuti a profondità superiori. La pescata è considerata valida una volta che sono stati raggiunti i 2/3 del tempo prestabilito di strascico. L'inizio della strascicata è considerato dal momento in cui la rete ha raggiunto il fondo ed è stata stabilita la sua corretta geometria. La fine, invece, coincide al momento in cui inizia la raccolta dei cavi di traino.

5.2 OPERAZIONI A BORDO

Tutte le informazioni di cala di inizio, metà e fine pesca (coordinate, profondità, velocità), la rotta, la lunghezza dei cavi d'acciaio e dei calamenti, il giorno, l'orario e la durata della cala vengono registrate a bordo.

Issata la rete e svuotato a bordo il sacco, possono iniziare le operazioni di cernita del pescato dopo che è stata fotografata l'intera saccata: gli organismi target e non target vengono separati dagli altri organismi bentonici e dai rifiuti. Tutto il pescato viene suddiviso per specie e quindi registrato in numero e peso totale. Il progetto MEDITS considera 84 specie target (ovvero quelle specie di una certa importanza commerciale e/o di potenziale interesse come indicatori biologici) suddivise in due liste G1 e G2. Nel caso in cui venga pescata una specie rara e/o protetta e ancora viva, anche in questo caso, si registrano i parametri morfologici e biologici (lunghezza, peso e sesso) con l'accortezza di rilasciare l'individuo nel minor tempo possibile.

Tutto il pescato target viene dunque sistemato in delle apposite casse, congelato, trasportato e conservato in congelatori e, alla fine della campagna, trasportato in laboratorio (Laboratorio di Biologia Marina e Pesca di Fano) dove viene a sua volta conservato in congelatori. Nel caso di catture abbondanti di una specie, viene portato in laboratorio un subcampione casuale di 100 esemplari.

5.3 OPERAZIONI IN LABORATORIO

Prima delle analisi in laboratorio, le casse da esaminare vengono dapprima scongelate. Risalendo ai dati della cala contenuti all'interno di provette Eppendorf congelate assieme al pescato, si risale al foglio di barca dove vengono riportate tutte le specie pescate ed i loro numeri e pesi totali. Se gli individui esaminati appartengono alla lista G1 è necessario registrare sesso, maturità sessuale, peso e lunghezza individuali; se appartengono alla lista G2 vengono registrati solo il peso e la lunghezza individuale. Gli otoliti per le stime di età vengono prelevati solo per *Mullus* sp. e *M. merluccius*. Queste misurazioni dei singoli individui vengono registrate su specifici fogli biologici. Per ulteriori approfondimenti sulle misurazioni di elasmobranchi ed invertebrati si rimanda al Manuale MEDITS 2017 rev.9 (Anonymus, 2017).

I dati bruti riguardanti cala, pescato e parametri biologici provenienti dai fogli di barca e dai fogli biologici vengono memorizzati in un database contenente i dati relativi a tutte le campagne MEDITS effettuate. Per questo studio, i dati sono stati ulteriormente ampliati calcolando lo spazio interessato dalla strascicata (in km²), profondità media della strascicata, il numero e il peso totali degli esemplari pescati rapportati ai km² dell'area strascicata, prelevando dalla sonda i valori di temperatura del fondo corrispondente alla cala e determinando le classi di taglia. Il tutto viene poi raccolto su fogli elettronici Excel.

Una specie che non rientra nell'elenco delle specie target del progetto MEDITS, ma che risulta presente negli sbarcati delle navi operanti nelle GSA 17 e GSA 18 è *M. merlangus*. Per l'interesse commerciale che suscita questa specie nella GSA 17, il Laboratorio di Biologia Marina e Pesca di Fano si impegna nel raccogliere da diversi anni, seguendo il protocollo MEDITS, anche i dati di taglia di questo organismo.

5.4 LE MISURAZIONI NEL DETTAGLIO: L'ESEMPIO DEL MERLANO

Una volta scongelata la cassa e rintracciata la cala di riferimento come precedentemente indicato, si ricercano tutti gli individui dell'organismo selezionato, in questo caso *M. merlangus*, e ci si prepara per le misurazioni. Preliminarmente si confronta il peso misurato in barca con quello misurato in laboratorio. È normale che ci siano delle variazioni dovute principalmente alle procedure di congelamento e scongelamento.

Successivamente si passa alle operazioni di pesatura e misurazione del singolo individuo. Uno per uno, gli esemplari vengono pesati attraverso una bilancia elettronica e misurati (considerando la lunghezza totale LT, dalla punta del muso al limite estremo dei lobi della pinna caudale) utilizzando degli ittiometri (Figg.18-19) con precisione al millimetro. Per ottenere una misurazione quanto più accurata possibile è importante mandare in battuta la punta del muso di ogni individuo con la lamina metallica dell'ittiometro posta sullo 0 e stendere bene la pinna caudale. Nel caso in cui il corpo di un esemplare si presenti molto lacerato, la bilancia potrebbe non registrare il vero peso dell'individuo. Per farne una stima è possibile fare un confronto con un altro esemplare di lunghezza simile.



Figura 18. Esempio di M. merlangus durante le misurazioni

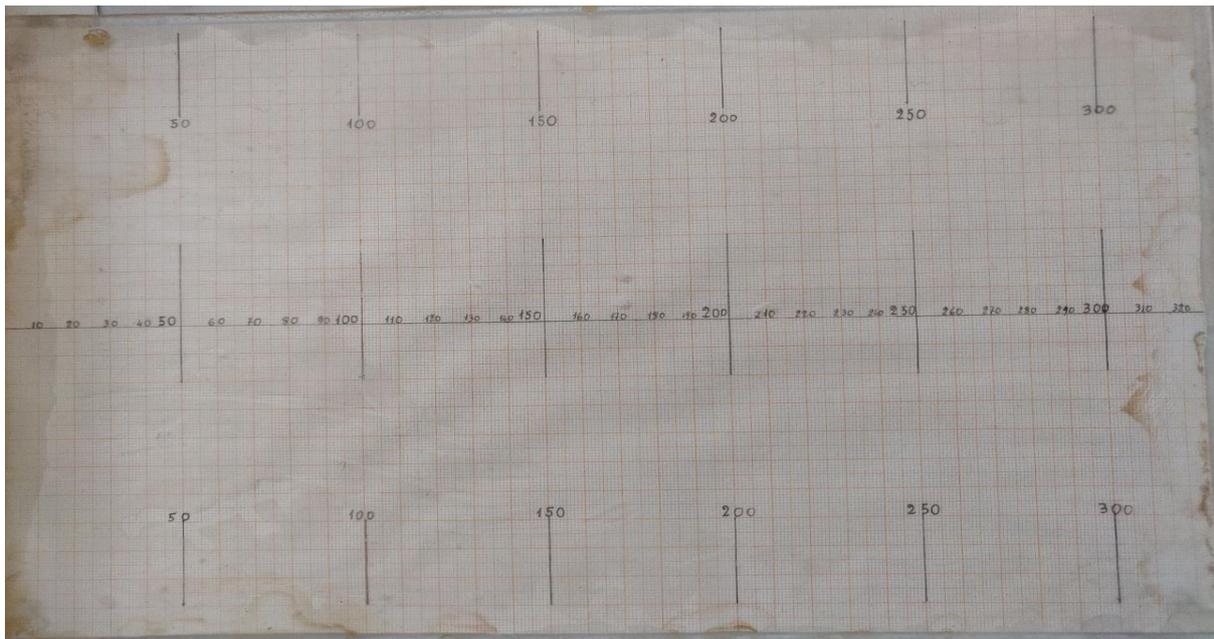


Figura 19. Ittiometro impiegato nelle misurazioni

5.5 ANALISI DEI DATI

I dataset disponibili coprono gli anni che vanno dal 1994 al 2020. I dati dell'ultimo anno sono stati ottenuti dall'attività pratica di laboratorio svolta durante la preparazione della tesi.

In alcuni casi, purtroppo, le informazioni riguardanti la temperatura non sono state ricavabili dalla sonda. Nella tesi si è dunque optato di impiegare la piattaforma Copernicus per sopperire a questa mancanza fino all'anno 2019 (per l'anno 2020, al momento delle analisi, i dati non erano disponibili). Per alcuni anni sono assenti i dati riguardanti le classi di taglia. Preliminarmente il dataset utilizzato nella tesi ha subito delle modifiche. Come già accennato, l'anno 1994 è stato rimosso a causa della scarsità dei dati da esso riportati e dunque poco informativo; le informazioni provenienti oltre longitudini di $16,8^\circ$ non sono state considerate poiché le stazioni lì ubicate non sono state costantemente campionate. L'esplorazione e l'analisi dati è stata eseguita usando i software QGis (QGis.org, 2021) ed RStudio (RStudio Team, 2020). Attraverso il primo sono state create delle mappe che permettessero di evidenziare l'abbondanza espressa in kg/km^2 per ogni cala in cui fossero state presenti catture di *M. merlangus*, ma anche marcare quelle in cui esso fosse assente. Inoltre, l'Adriatico è stato suddiviso in tre sotto-aree seguendo le isobate dei 50 e 100 metri, tenendo in considerazione anche la latitudine per tagliare trasversalmente il bacino (Fig. 20).

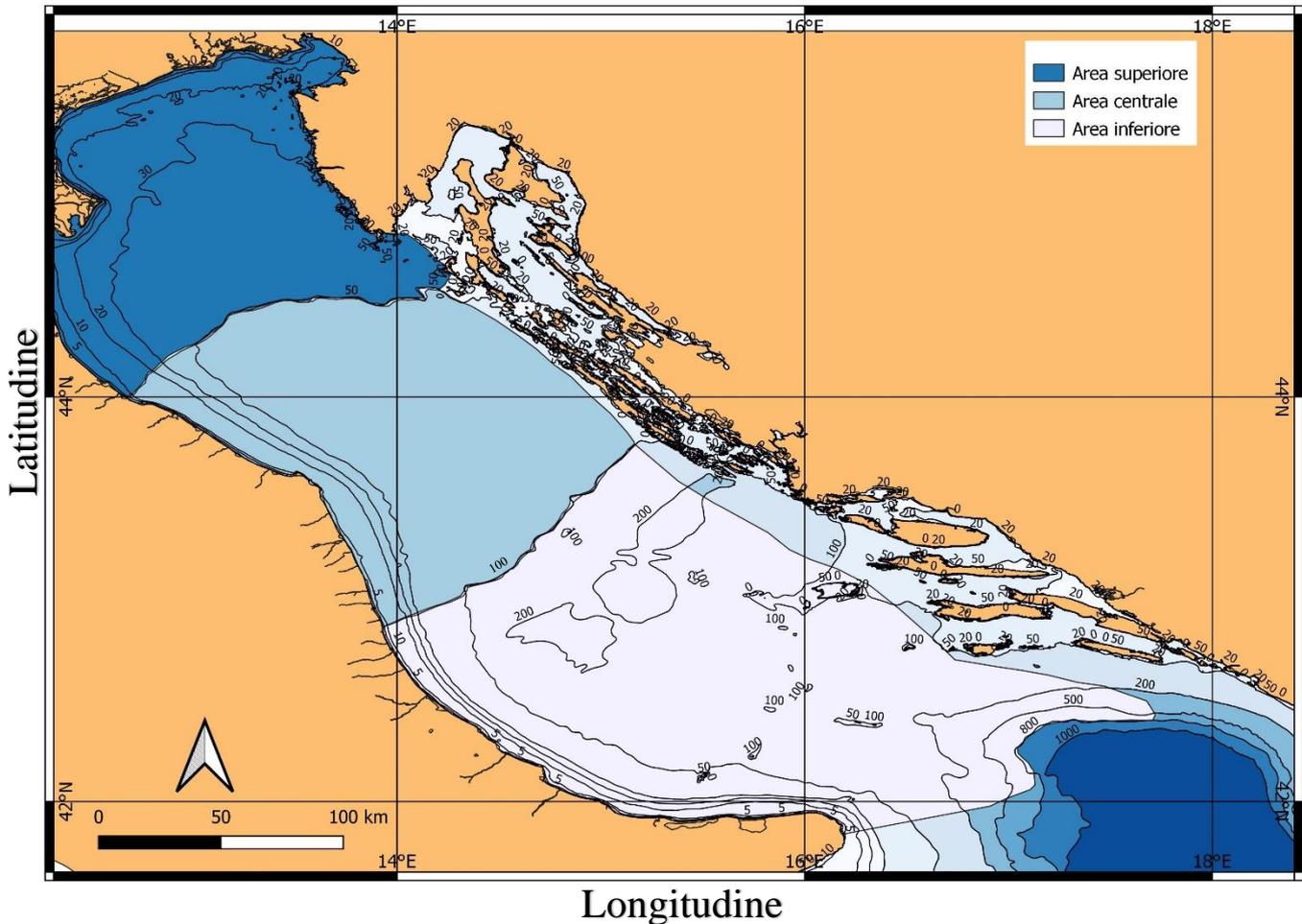


Figura 20. Suddivisione dell'Adriatico ottenuta tagliando trasversalmente lo spazio prendendo come riferimento le isobate. In blu la porzione "Alto Adriatico" con limite l'isobata dei 50metri. In azzurro la sezione "Medio Adriatico" con limite l'isobata dei 100 metri. In grigio la sezione "Basso Adriatico" oltre i 100 metri.

Attraverso il secondo è stata osservata la distribuzione delle classi di taglia per tutti gli anni in cui questi dati erano disponibili; sono stati utilizzati modelli Generalized Additive Models (GAMs) (Hastie e Tibshirani, 1990) per l'analisi statistica sfruttando il pacchetto *mgcv* (Wood, 2011) e sono state osservate le tendenze della densità generale di *M. merlangus* dapprima sfruttando le predizioni del modello scelto su tutto l'Adriatico, poi in maniera più specifica in maniera "regionalizzata" (utilizzando la suddivisione in aree) di anno in anno.

I modelli GAMs risultano essere di grande utilità poiché molto flessibili e applicabili ad uno scenario di situazioni molto ampio, permettendo di modellizzare relazioni non lineari. Uno dei loro grandi punti di forza è quello di trovarsi a metà tra i semplici modelli lineari e modelli più complessi appartenenti alla sfera del cosiddetto “Black-box machine learning” come “neural networks”, “random forest” e “boosted regression trees”. I risultati dei modelli lineari sono generalmente di facile interpretazione e semplici per fare inferenza. I GAMs si usano principalmente per comprendere e fare inferenza riguardo a relazioni che possono risultare più o meno complesse, non lineari e probabilmente interattive. Attraverso il termine “Generalized” si indica la tipologia di dati a cui ci si può approcciare: attraverso questi modelli è possibile operare su diverse tipologie di dati anche non distribuiti normalmente. Attraverso “Additive” si evidenzia il fatto che, all’interno del modello, si presentano diversi termini che fra essi si sommano per ottenere la nostra predizione.

Un modello GAM è, di base, un GLM (General Linear Model) con un predittore lineare che coinvolge una somma di quelle che vengono definite “smooth functions” delle covariate (Woods, 2017).

$$y_i = \beta_0 + \sum_j s(x_{ji}) + \varepsilon_i$$

Dove:

y_i : è la variabile risposta

β_0 : è l’intercetta

$\sum_j s(x_{ji})$: è la sommatoria delle smooth functions delle covariate

ε_i : è l’errore casuale non spiegato

Quando si utilizzano modelli GAM e si ha la necessità di osservare la relazione non lineare delle variabili, si fa riferimento a delle funzioni che possono prendere una grande varietà di forme. Tali funzioni vengono definite “smooth” e sono a loro volta costituite dalla somma di ulteriori funzioni chiamate “basis functions”. Il numero di queste ultime basis functions influenzerà la forma della funzione smooth del modello GAM: un numero esiguo di esse non permetterà alla curva di avere la giusta “wiggleness”, un numero troppo alto può portare ad avere un modello con troppi parametri rispetto al numero di osservazioni e troppo complesso da far spiegare dati, col rischio di indurre il modello all’ “overfitting”. La forma della funzione viene influenzata anche da un termine penalizzante che agisce sui coefficienti delle basis functions in modo tale da prevenire un’eccessiva wiggleness e garantirne un’adeguata complessità (Pedersen et al., 2019). Per questo lavoro sono stati sviluppati quattro GAM differenti. Per tutti, la variabile dipendente risulta essere la densità di *M. merlangus*, mentre come variabili indipendenti sono state usate lo spazio (latitudine e longitudine), il tempo (anno), la temperatura e la profondità.

I modelli sviluppati sono:

1) Modello Spazio-Tempo ST in cui vengono considerate la longitudine, la latitudine e gli anni:

$density \sim s(long, lat, k = 150) + s(year, k = 25, bs = 'cr')$

2) Modello Variabili Ambientali ENV, in cui vengono considerate la temperatura sul fondo, la profondità e gli anni:

$density \sim s(bottom_t, k=5) + s(depth, k=5) + s(year, k = 25, bs = 'cr')$

3) Modello Spazio-Tempo e interazioni STI, i cui vengono considerate la latitudine, la longitudine e gli anni più la loro interazione:

$density \sim s(long, lat, k = 150) + s(year, k = 25, bs = 'cr') + ti(long, lat, year, d = c(2, 1), k = c(20, 25), bs = c('tp', 'cr'))$

4) Modello interazioni Spazio-Tempo e Variabili Ambientali STIENV, in cui vengono considerate singolarmente la longitudine, la latitudine, gli anni, la profondità e la temperature, ma anche le interazioni fra la temperatura e gli anni, quella fra longitudine, latitudine e temperatura e quella fra longitudine, latitudine e gli anni:

```
density ~ s(long, lat, k = 150) + s(year, k = 25, bs = 'cr') + s(bottom_t, k = 5) +
s(depth, k = 5) + ti(bottom_t, year, k = c(5, 25), bs=c("tp", "cr"))+ ti(long,lat
, bottom_t, d=c(2,1), k=c(20,5), bs=c("tp", "tp")) + ti(long,lat,year,d = c(2, 1),k =
c(20, 25),bs = c('tp', 'cr') )
```

A causa della presenza di molte cale in cui non è stata riscontrata la presenza di *M. merlangus*, nella modellizzazione è stata impiegata una distribuzione di *Tweedie* che permette di modellare un numero considerevolmente alto di zeri (o “excess zeroes”: quantitativi eccessivi di tale valore che risulterebbero problematici per alcune distribuzioni) durante le attività analitiche. Inoltre, sono state incluse le interazioni fra diverse variabili attraverso la funzione “ti()- Tensor Interaction” che consente di scomporre l’effetto principale delle smooth functions dalla loro interazione. Nella formulazione dei modelli, il termine k ha la funzione di stabilire il numero massimo delle basis functions per ogni smoothing function in cui esso è contenuto; nelle tensor interaction ogni variabile coinvolta nell’interazione ha abbinato un valore di k.

Attraverso il termine bs è possibile selezionare la tipologia di basis scelta per rappresentare la smooth function al fine di controllarne il livello di smoothness. Nei modelli, quando non specificata all’interno della funzione “s()”, la tipologia predefinita è la “thin plate regression spline, tp”.

In particolare, per la variabile “anno”, è stata scelta una “cubic regression spline, cr”, che consente di distribuire un “k” ad ogni anno, ottenendo un numero totale di k pari al totale di anni più uno.

6 RISULTATI

Grazie alla rappresentazione grafica creata attraverso il software QGIS è possibile osservare (Figg. 21 A-B-C, Appendice) come la maggior parte delle catture di *Merlangius merlangus* sia avvenuta principalmente nel Nord Adriatico nelle zone antistanti le coste venete, davanti alla foce del Po e alle coste dell'Emilia-Romagna anche a distanza di diversi anni. Comunque sia, sono stati riscontrati alcuni esemplari anche lungo le coste delle Marche, dell'Abruzzo fino al promontorio del Gargano. Al contrario le aree più distanti dalla costa nel centro Adriatico presentano catture scarse, molto spesso anche inesistenti. Complessivamente, le cale con maggiori catture si sono rivelate quelle in un range di profondità che non va oltre le isobate dei 100 metri.

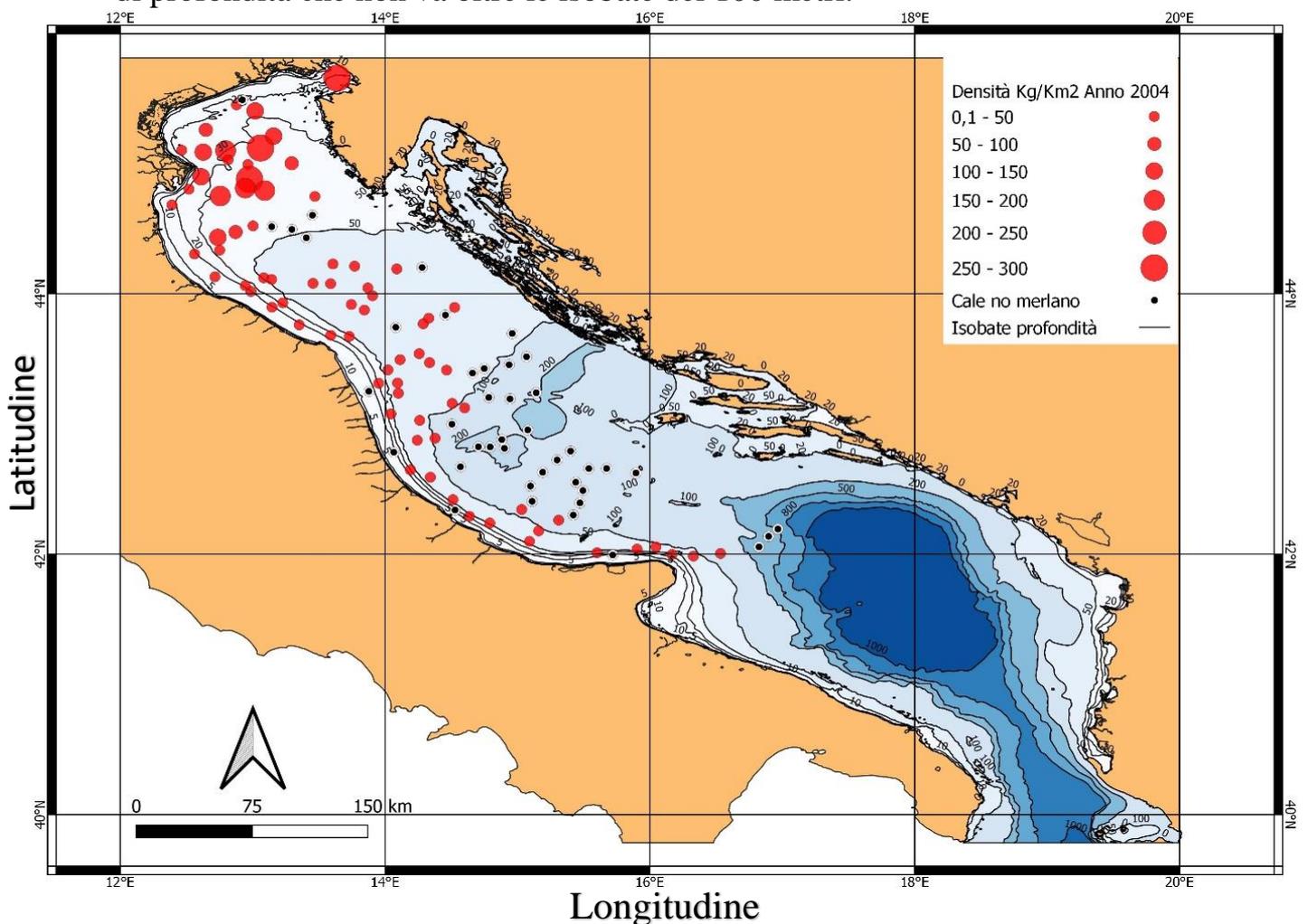


Figura 21-A. Esiti cale 2004. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*.

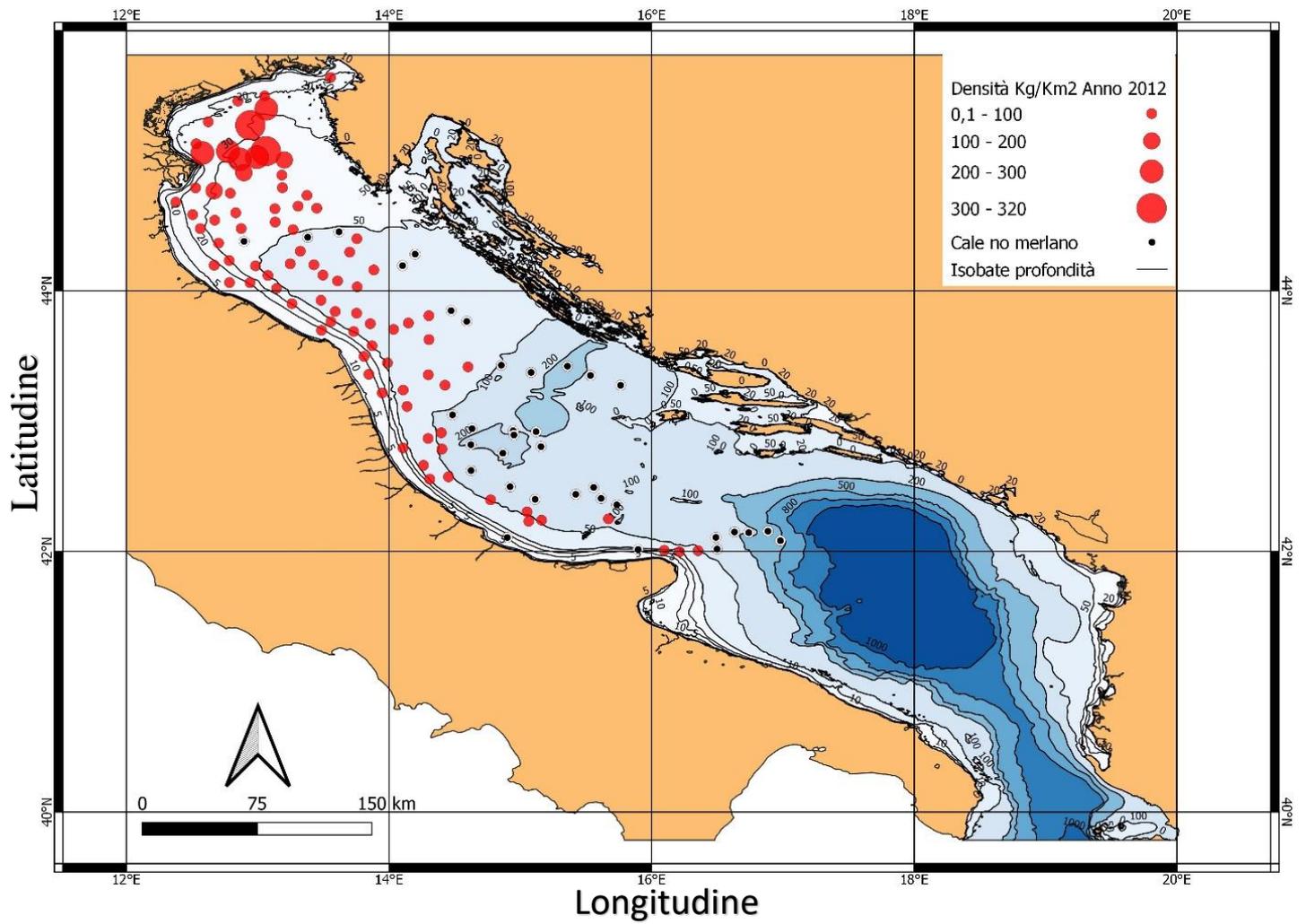


Figura 21-B. Esiti cale 2012 I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

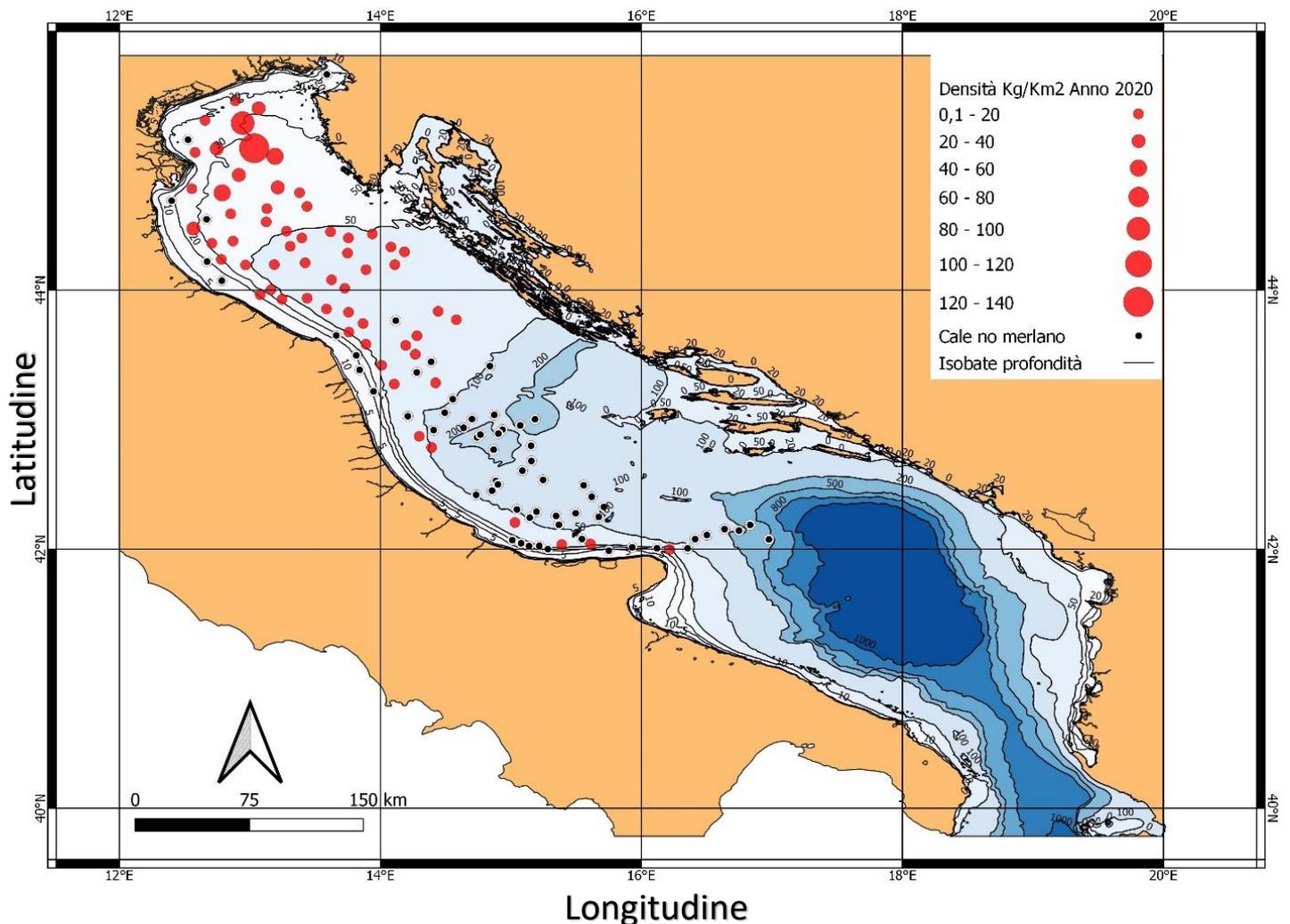


Figura 21-C. Esiti cale 2020. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

Attraverso le informazioni raccolte dai fogli biologici e dai conseguenti grafici di distribuzione delle classi di taglia (considerata come la frequenza percentuale di ogni classe sul totale complessivo di individui su km² ogni anno) è possibile osservare, per gli anni disponibili, come la maggior parte degli individui catturati si attestò intorno ai 15cm di lunghezza. La linea rossa presentata nel grafico è stata posta alla lunghezza di 20cm, taglia raggiunta, stando alla letteratura, al primo anno di età (Fig. 22). La linea blu coincide con la taglia di prima maturità sessuale stabilita quando oltre il 50% degli individui analizzati l'ha raggiunta (Vallisneri et al., 2006).

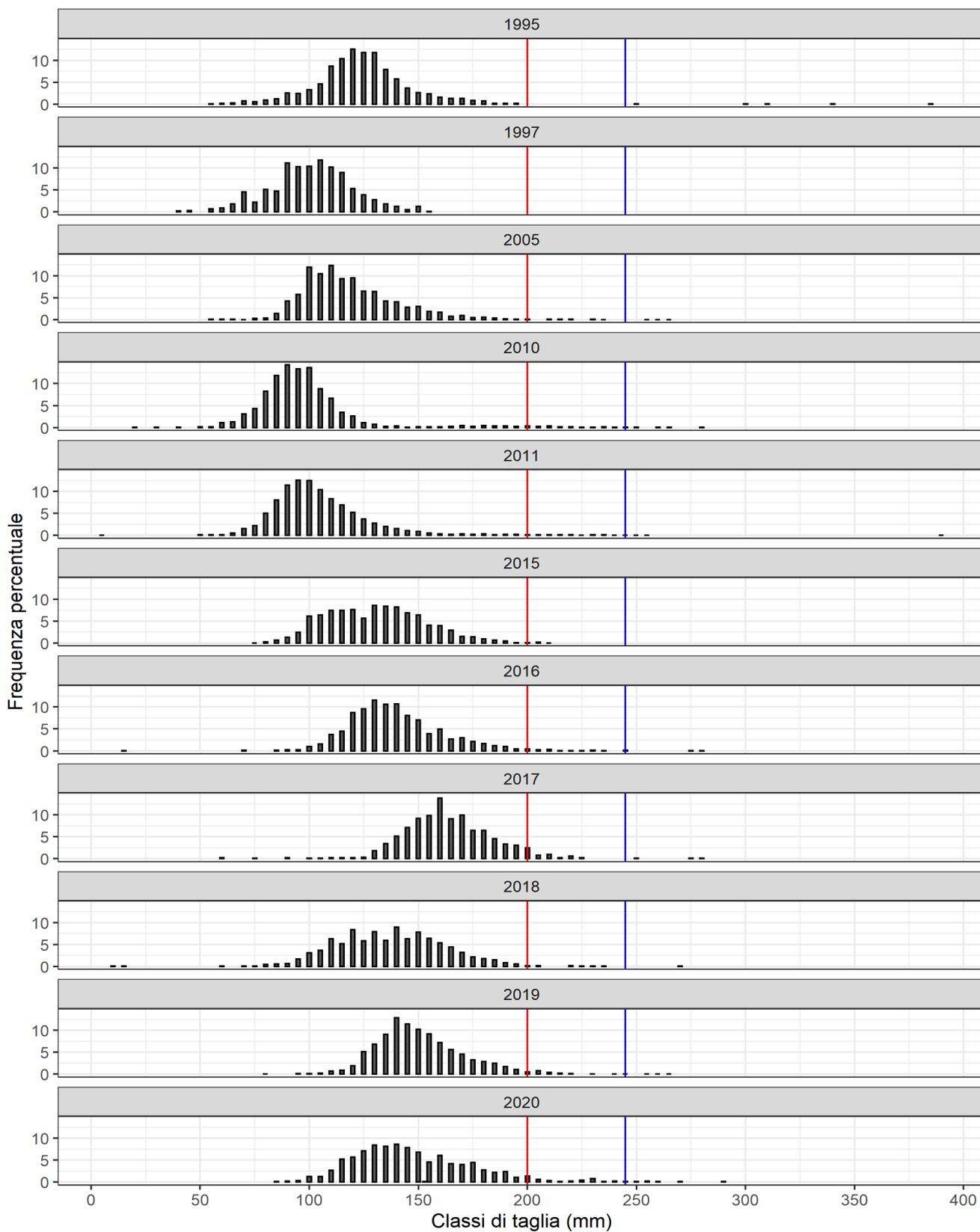


Figura 22. Distribuzione delle classi di taglia (frequenza percentuale sul totale di individui per kilometro quadrato pescati ogni anno). La linea rosso marca la taglia raggiunta da *M. merlangus* intorno al primo anno di vita, la blu quella intorno alla quale raggiunge la prima maturità sessuale.

I risultati della Model Selection dei GAMs sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Risultati Model Selection

	modello	rank_cor	mad	df	AIC	R ²
1	mod.st.merlano	0.8132081	11.226621	121.32529	13201.15	0.7989283
2	mod.sti.merlano	0.8309464	10.510662	320.77871	12620.45	0.8768329
3	mod.env.merlano	0.7211868	16.717717	33.61082	14549.55	0.6013711
4	mod.stienv.merlano	0.8561659	9.957283	336.50037	12352.32	0.8954272

Gli esiti di tale analisi (la più alta correlazione fra ranghi=0.85, la più bassa MAD=9.95, il più basso AIC=12352.32, il più alto R²=0.89), suggeriscono che il modello STIENV sia il migliore nello spiegare i dati di densità e per le predizioni. La devianza da esso spiegata risulta essere pari all' 89.5% (Tabella 3).

Tuttavia, il modello ENV che prende in considerazione le variabili ambientali fornisce una devianza spiegata del 60.1% (Tabella 2) e può essere utile per interpretare la nicchia ecologica realizzata del *M. merlangus* per quanto riguarda la temperatura al fondo e la profondità.

Tabella 2. Sommario modello ENV

```

Family: Tweedie (p=1.607)
Link function: log

Formula:
density ~ s(bottom_t, k = 5) + s(depth, k = 5) + s(year, k = 25, bs =
"cr")

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value      Pr(>|t|)
(Intercept)   -9.236      1.532   -6.028 0.00000000187 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df      F      p-value
s(bottom_t)   3.751  3.962  36.08 <0.0000000000000002 ***
s(depth)      3.921  3.994 342.96 <0.0000000000000002 ***
s(year)       22.467 23.763  25.71 <0.0000000000000002 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.297   Deviance explained = 60.1%
fREML = 6589   Scale est. = 5.3263   n = 2935

```

Temperatura e profondità sono significative nello spiegare la densità di *M. merlangus*. L'andamento della curva riguardante la temperatura subisce delle lievi variazioni con tendenze positive a valori compresi fra i 10-15 °C, sviluppando una più distinta salita dai 15 ai 20°C, per poi repentinamente calare a valori maggiori (Fig.22)

Similmente si comporta la curva riguardante la profondità: lievi variazioni (in questo caso negative) fino a batimetrie di circa 160 metri per poi drasticamente calare a valori superiori (Fig. 23).

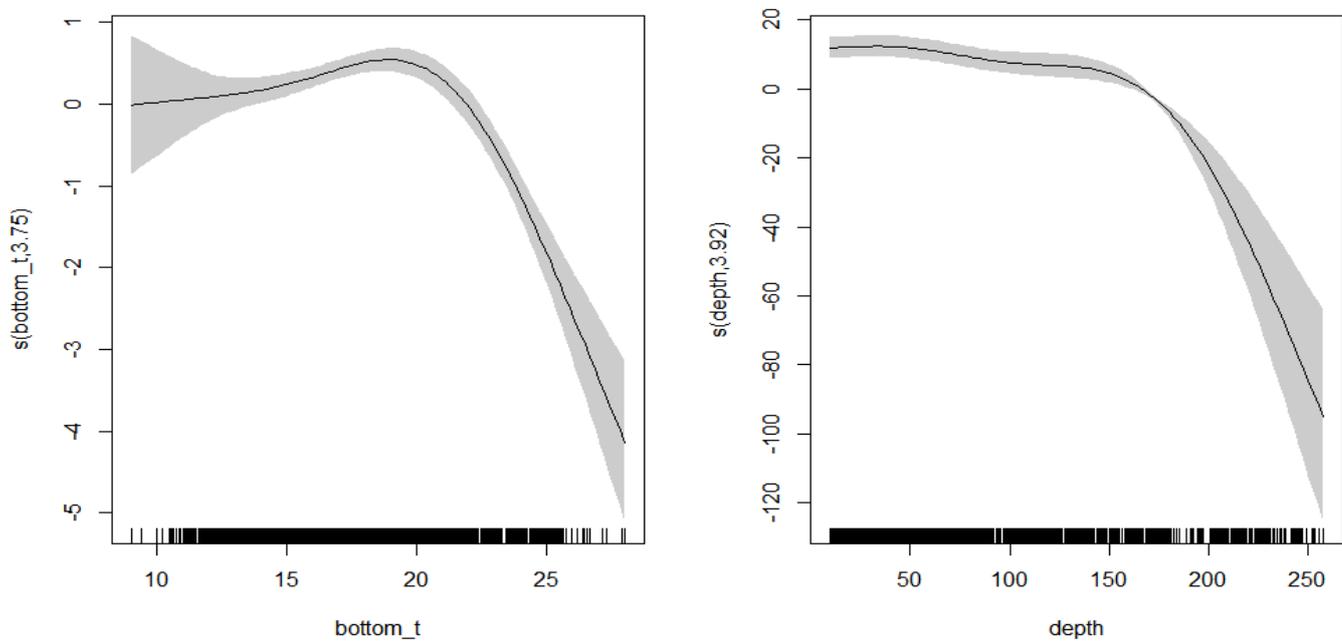


Figura 23. Effetti parziali della temperatura sul fondo e la profondità. Ogni tacca sull'asse x rappresenta un'osservazione per la variabile considerata (modello ENV).

Osservando la variabile “anno” (Fig. 24) è possibile individuare fluttuazioni con picchi positivi (come negli anni 1998 e 2011) e avvallamenti (come negli anni 1996 e 2014) che, nel loro insieme, non mostrano tendenze positive o negative.

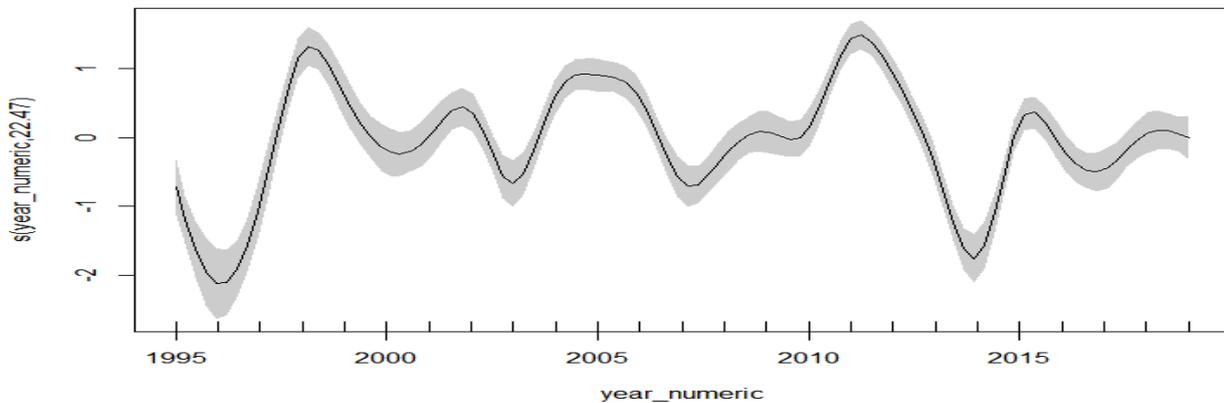


Figura 24. Effetto parziale degli anni sulla densità di *M. merlangus* (modello ENV)

Attraverso il modello STIENV è possibile osservare anche gli effetti delle interazioni fra variabili, riportate all’interno della funzione “ti()” in Tabella 3.

Tabella 3. Sommario modello STIENV

```

Family: Tweedie(p=1.42)
Link function: log

Formula:
density ~ s(long, lat, k = 150) + s(year, k = 25, bs = "cr") + s(bottom_t,
k = 5) + s(depth, k = 5) + ti(bottom_t, year, k = c(5, 25), bs = c("tp",
"cr")) + ti(long, lat, bottom_t, d = c(2, 1), k = c(20, 5), bs = c("tp",
"tp")) + ti(long, lat, year, d = c(2,1), k = c(20, 25), bs = c("tp",
"cr"))

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -2.220      0.896   -2.478  0.0133 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf   Ref.df    F      < p-value
s(long,lat)   74.840  92.277 10.862 < 0.0000000000000002 ***
s(year)       22.624  23.332 12.016 < 0.0000000000000002 ***
s(bottom_t)   3.363   3.604  4.946  0.000608 ***
s(depth)      3.591   3.821 19.647 < 0.0000000000000002 ***
ti(bottom_t,year) 38.801  47.707  2.747 < 0.0000000000000002 ***
ti(bottom_t,long ,lat) 24.395  29.727  2.081  0.000542 ***
ti(long,lat ,year) 159.650 211.466  2.954 < 0.0000000000000002 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.774  Deviance explained = 89.5%
REML = 5733.5  Scale est. = 2.3983  n = 2935

```

L'effetto parziale dello spazio sulla densità è evidenziato in Figura 25. Tanto più il colore è chiaro, tanto maggiore è l'effetto: la densità sarà maggiormente concentrata nelle aree in giallo. Le rappresentazioni delle interazioni sono riportate in appendice.

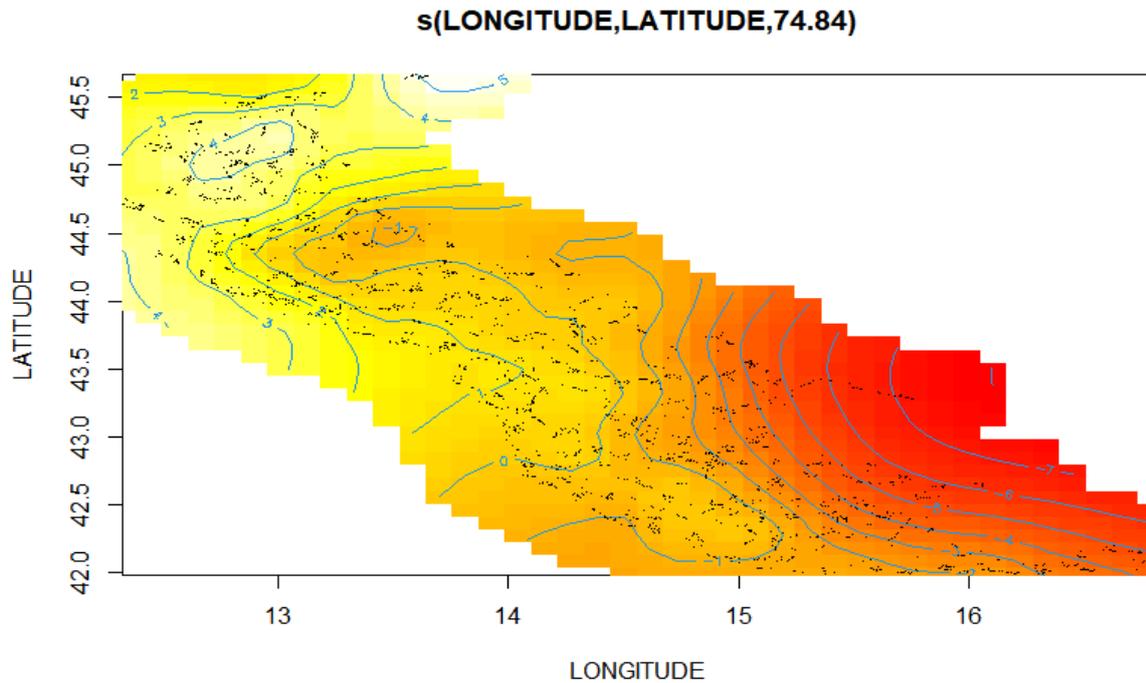


Figura 25. Effetto parziale dello spazio sulla densità di *M. merlangus*. Il colore giallo indica un effetto maggiore (modello STIENV).

Nella figura 26 A-B-C viene rappresentato il modo in cui la densità di *M. merlangus* si sia distribuita nello spazio durante i vari anni, secondo le predizioni del modello STIENV. Le densità maggiori si riscontrano principalmente nell'Adriatico settentrionale, davanti alle coste venete e in particolar modo davanti alla foce del Po. Valori di densità intermedi, invece, si concentrano nella zona davanti alle coste dell'Emilia-Romagna, Marche Abruzzo. Valori minimi davanti alle coste molisane e alto-pugliesi. Si evidenzia, inoltre, un'area corrispondente alla congiungente le città di Cesenatico e Pola in cui la densità di *M. merlangus* appare essere sempre inferiore rispetto alle aree circostanti. Non si riscontra densità, invece, nelle zone circostanti alla Fossa di Pomo e le aree geograficamente subito più a sud dove la profondità tocca valori pari o superiori a 100m

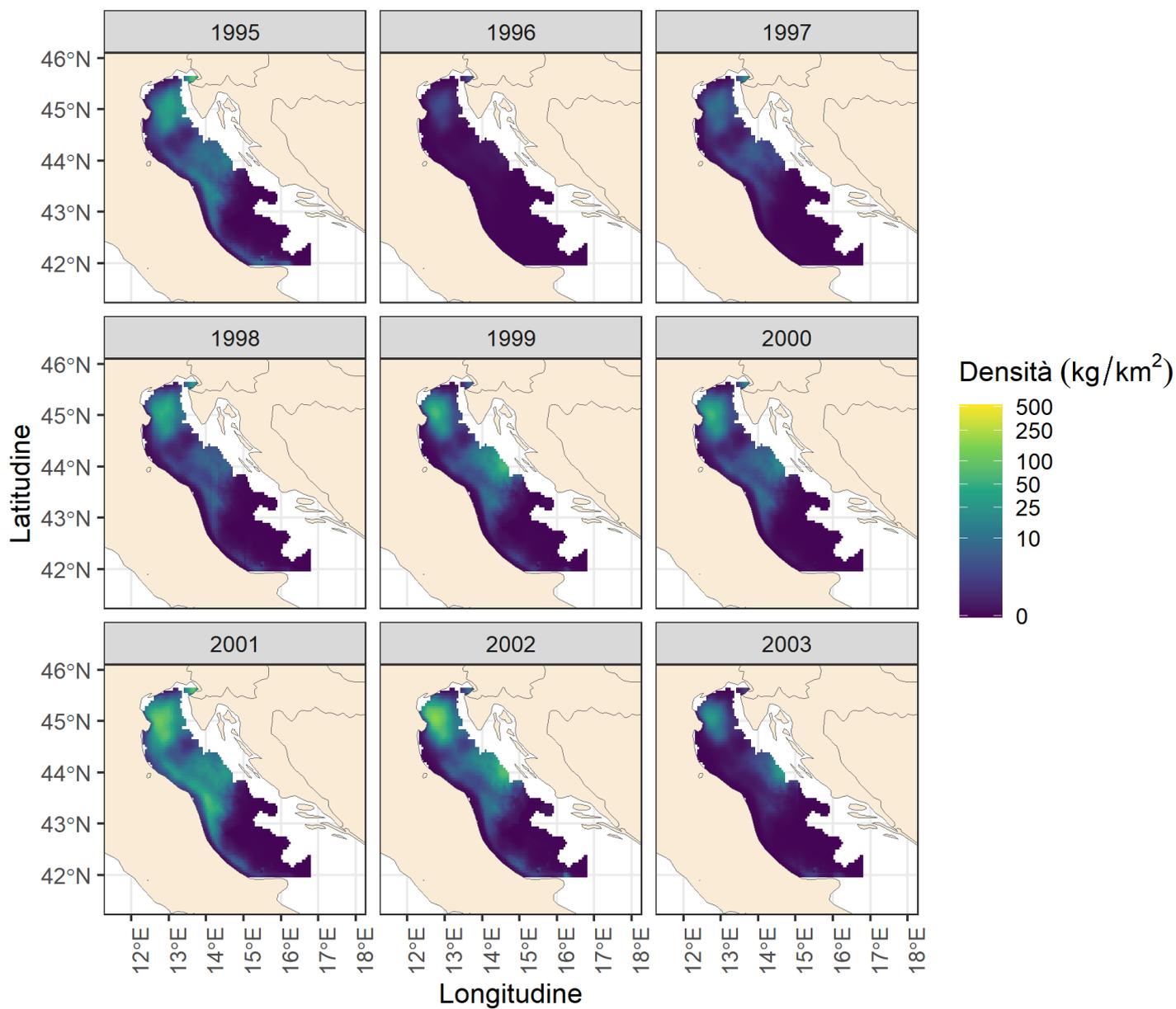


Figura 26-A. Predizioni spaziali della distribuzione di densità di *M. merlangus* negli anni (modello STIENV)

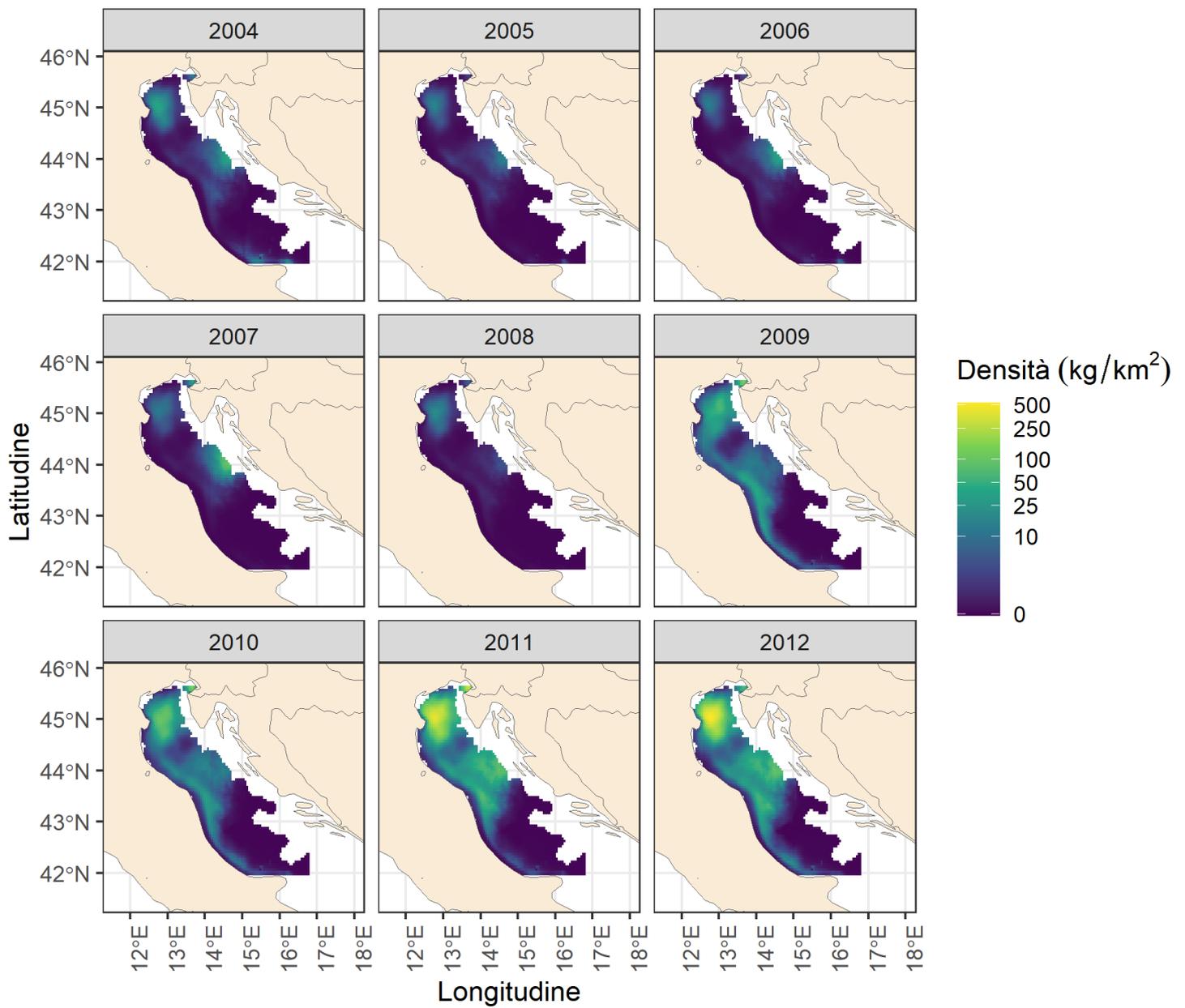


Figura 26-B. Predizioni spaziali della distribuzione di densità di *M. merlangus* negli anni (modello STIENV)

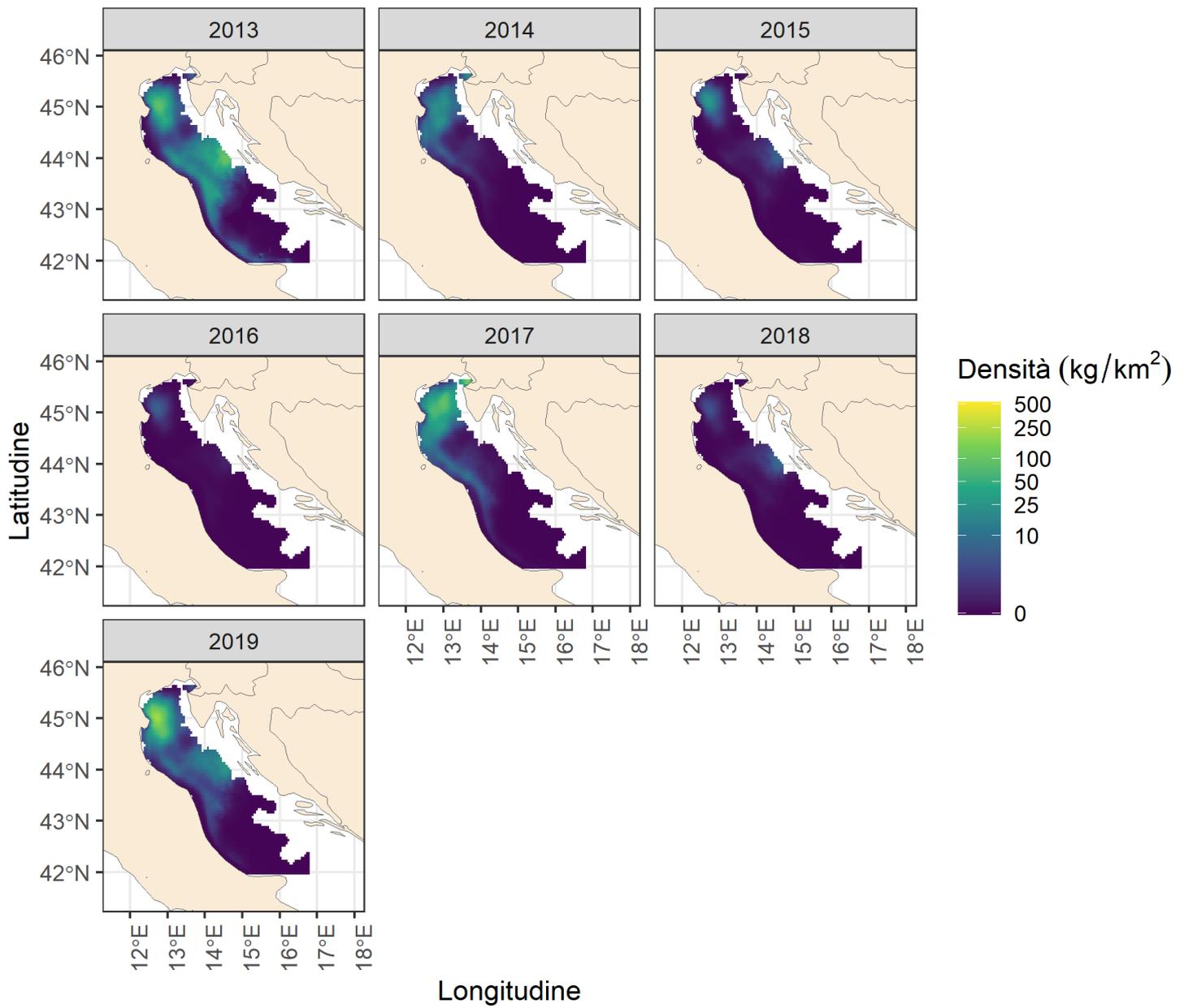


Figura 26-C. Predizioni spaziali della distribuzione di densità di *M. merlangus* negli anni (modello STIENV).

In figura 27 è possibile osservare le previsioni dei modelli sulla densità media annuale di *M. merlangus*. Considerando gli esiti della selezione dei modelli, il candidato migliore nell'analisi dei dati, risultando il modello di riferimento per le previsioni, è il modello "STIENV". Complessivamente, comunque, entrambi i modelli rappresentati seguono lo stesso andamento, evidenziando picchi importanti nel 2002, 2011 e 2017. Tendenzialmente i valori predetti dal modello STIENV sono sempre maggiori di quelli del modello ENV, eccezion fatta per un picco predetto dal modello ENV nel 1998.

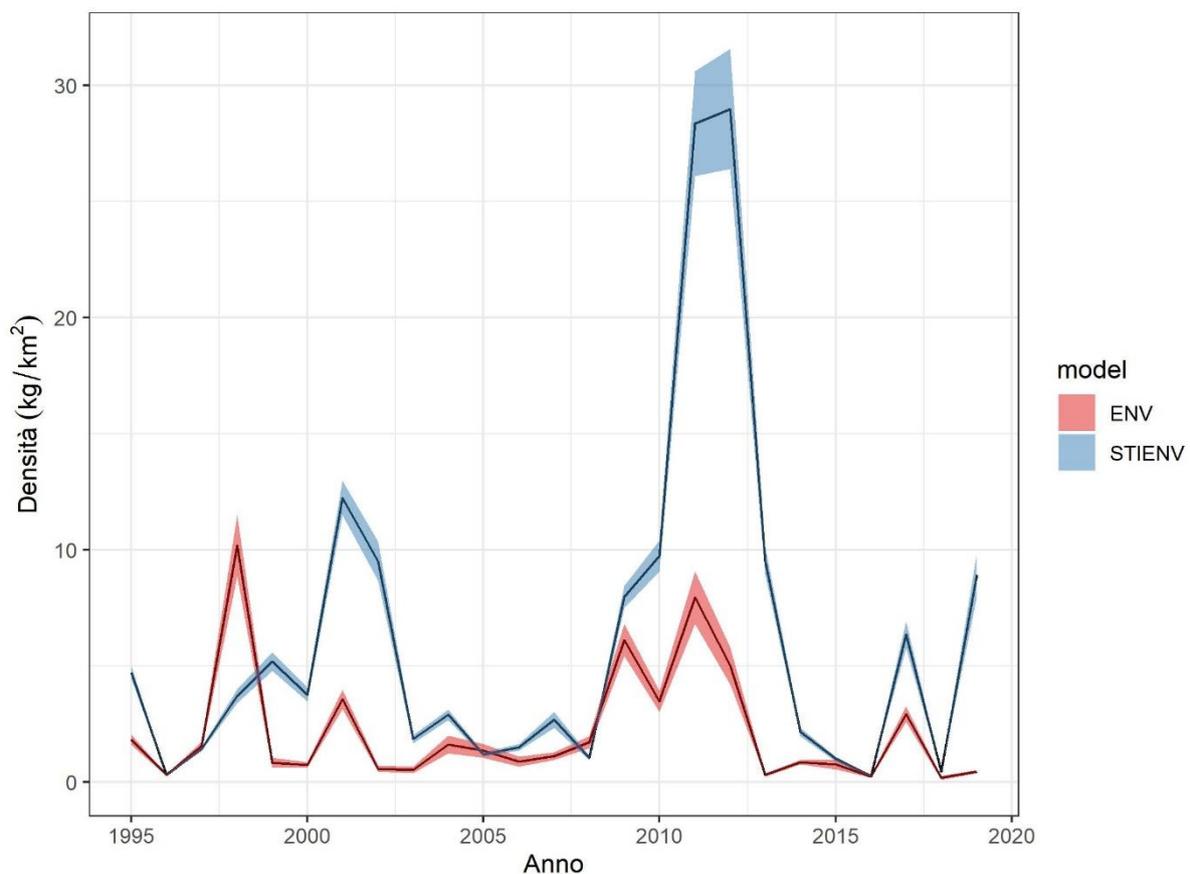


Figura 27. Grafico riassuntivo in cui è possibile osservare contemporaneamente la densità media per ogni anno secondo le previsioni dei modelli ENV e STIENV, espressa in kg/km². Considerando gli esiti della selezione dei modelli, il candidato migliore nell'analisi dei dati, risultando il modello di riferimento per le previsioni, è il modello "STIENV".

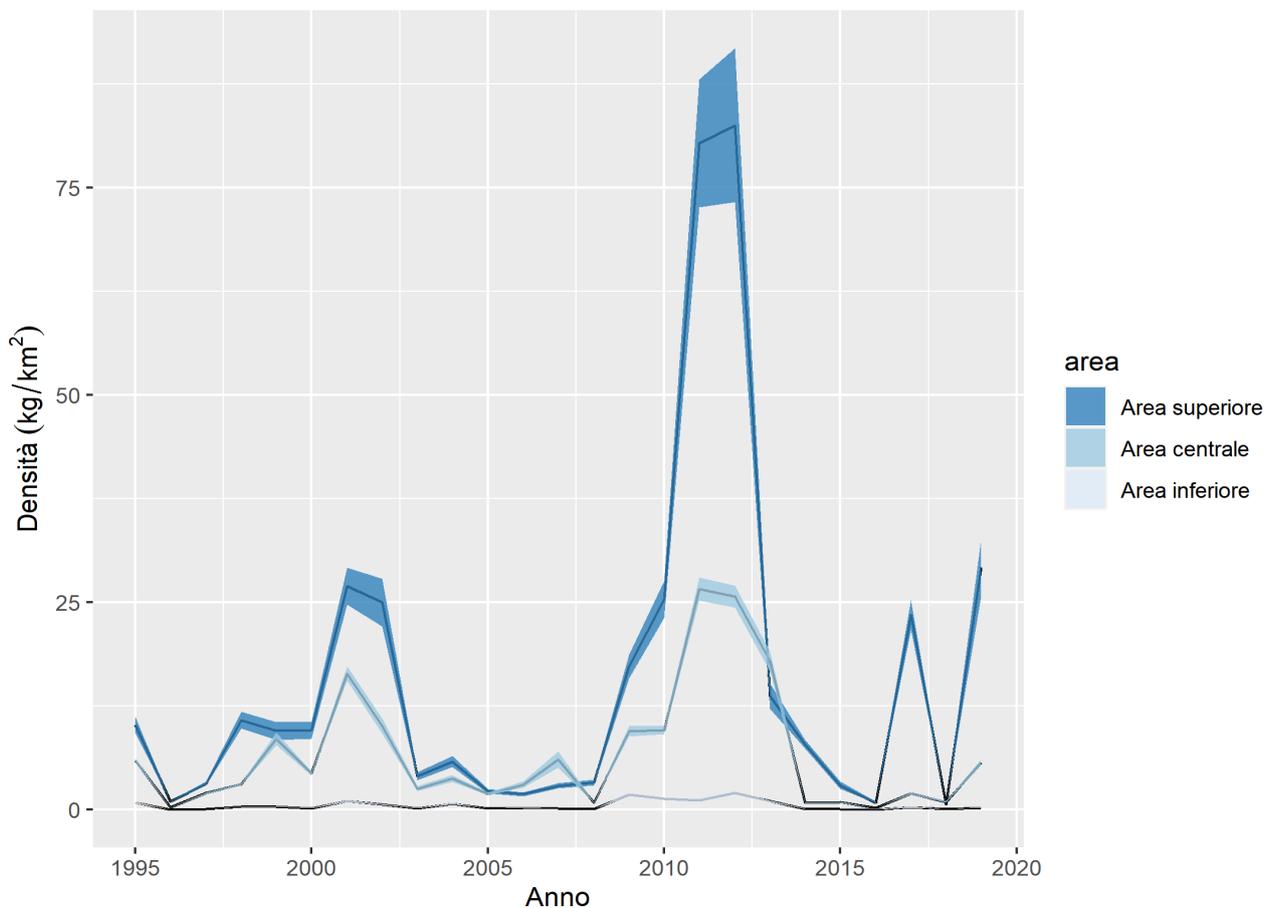


Figure 28. Serie temporali della densità di *M. merlangus* seguendo una suddivisione in aree determinate da una sezione trasversale dell'Adriatico seguendo le isobate dei 50 e 100 metri.

In figura 28 sono rappresentati gli andamenti annui della densità media di *M. merlangus* nelle tre zone nelle quali è stata suddivisa l'area di studio. Queste aree sono state arbitrariamente scelte seguendo sia la latitudine che i contorni batimetrici delle isobate dei 50 e 100 metri di profondità. Questa scelta è stata presa in considerazione del fatto che sia la posizione geografica sia la profondità risultano essere parametri molto influente sulla densità. Gli andamenti sono simili in tutte le aree, ma ciò che appare più evidente è che nell'area superiore i quantitativi di densità sono sostanzialmente sempre i maggiori, mentre valori più contenuti si riscontrano nell'area centrale, mentre molto minore è la densità riscontrata nell'area inferiore.

7 DISCUSSIONE

Poiché gran parte delle conoscenze riguardo la specie in esame derivano da ricerche condotte in mari come quello del Nord ed il Mar Nero, l'aver condotto questo studio consente di approfondire le scarse conoscenze riguardo il *M. merlangus* in Adriatico che, per questo bacino, riguardano principalmente aspetti della riproduzione (taglie di prima maturità sessuale e periodo riproduttivo). Dagli esiti delle indagini è stato possibile ottenere maggior informazioni su come parametri ambientali quali la temperatura e la profondità agiscano sulla densità di questo animale, ma anche su come esso si distribuisca all'interno del suo areale e come la sua densità sia cambiata nel corso degli anni.

Da quanto è emerso dalle preliminari osservazioni attraverso il software QGIS e successivamente dall'impiego dei modelli GAM, *M. merlangus* risulta essere presente soprattutto in ambienti poco profondi dai 30-50 metri di profondità diminuendo gradualmente la sua presenza a profondità superiori fino a diventare quasi assente a batimetrie che si attestano intorno ai 100 metri. L'area che risulta più ricca di *M. merlangus* è, in generale, quella dell'Alto Adriatico. In particolare, le zone antistanti le coste venete e la foce del Po. Non a caso quest'ultima, rappresenta un hotspot per la produzione primaria e quindi a cascata il tutto si potrebbe ripercuotere vantaggiosamente per tutta la rete trofica. La presenza di alcuni esemplari nelle cale più a sud, come quelle antistanti le coste del Gargano, possono essere imputabili all'ipotesi secondo la quale i regimi correntizi anticiclonici tipici dell'Adriatico possano trasportare gli individui ai primi stadi di vita pelagici fino a quelle aree dove, raggiunta la taglia tipica del reclutamento all'habitat, si sono insediati accrescendosi (Giovanardi e Rizzoli, 1984; Frattini e Casali, 1998). Alternativamente, è possibile ipotizzare la presenza di altre aree riproduttive dalle quali dipende la presenza di individui in quelle zone.

Per quanto riguarda la temperatura, in molti casi la maggiore densità è stata riscontrata intorno a valori di 16-20°C e l'effetto positivo di tale range è stato evidenziato anche dagli esiti del modello GAM. Fishbase (<https://www.fishbase.se/summary/Merlangius-merlangus.html>) indica un range di temperatura preferito dai 7°C agli 11°C. In Adriatico, le alte abbondanze a temperature superiori possono essere attribuibili al periodo di campionamento effettuato principalmente nel periodo estivo. Questo fenomeno, inoltre, potrebbe testimoniare che, col passare del tempo successivamente alla loro penetrazione in queste zone da ambienti più freddi, gli esemplari insediatisi nell'Adriatico si siano adattati a vivere anche in tali condizioni.

Dagli istogrammi delle distribuzioni delle classi di taglia è interessante notare come praticamente in tutti i primi anni esaminati (dal 1995 al 2011), le classi predominanti si attestino tra i 10 ed i 15 centimetri di lunghezza totale, mentre pochissimi individui nell'insieme di quelli catturati raggiungono una taglia di 20 centimetri corrispondente al primo anno di età (Ross et al., 2018). Sono ancora meno gli individui catturati che hanno raggiunto la taglia riproduttiva (~ 25cm.). Gli esemplari pescati, dunque, dovrebbero essere i cosiddetti young of the year (YOY) nati dopo il precedente periodo riproduttivo nei mesi freddi. Uno spostamento della distribuzione verso taglie maggiori, si evidenzia a partire dal 2015 in poi. Questo fenomeno potrebbe essere dovuto ancora una volta al periodo di campionamento (si veda il calendario degli anni in questione nell'appendice): infatti negli anni a partire dal 2015, le cale sono state eseguite ad estate inoltrata e nei mesi autunnali. In tarda primavera-inizio estate (principalmente negli anni dal 1995 al 2011) vengono quindi catturati i più piccoli, in piena estate e nel periodo autunnale (i restanti anni) vengono pescati esemplari che hanno avuto più tempo di accrescersi.

Un possibile spiegazione, riguardo l'assenza di individui di dimensioni maggiori, potrebbe risiedere nella possibilità che questi riescano a sfuggire al campionamento MEDITS. Già precedentemente Fiorentini et al. (1999), in uno studio riguardante la selettività della rete MEDITS, misero in luce la capacità di esemplari più grandi, ad esempio, di *M. merluccius*, *M. poutassou*, *P. erythrinus* e *L. vulgaris* di sfuggire alla cattura. Questa tendenza sarebbe imputabile alla loro abilità di sfuggire attraverso le maglie di ampiezza maggiore situate in alcuni pannelli della rete MEDITS, anche se altre specie non hanno dimostrato tale abilità (per esempio *M. barbatus*, *T. capelanus*, *S. flexuosa* e *Trachurus* sp.). Inoltre alcuni esemplari di *M. merluccius* hanno dimostrato la tendenza scappare direttamente dall'apertura della rete (Dremlère et al., 1999). L'assenza di individui grandi di *M. merlangus* nelle catture MEDITS potrebbe anche essere spiegata da una reale e semplice assenza di individui di dimensioni maggiori nell'area di pesca interessata.

È possibile osservare come, in un arco di tempo di 24 anni, la densità di *M. merlangus* abbia subito delle fluttuazioni più o meno evidenti, senza seguire delle vere e proprie tendenze positive o negative. Gli evidenti picchi in salita o in discesa sono probabilmente imputabili a variazioni dell'entità del reclutamento. Una possibile influenza su di esso potrebbe essere associata, per esempio, a tre fattori principali: sovrappesca intorno alle taglie di reclutamento, competizione per le risorse e alta predazione sugli stadi pelagici di *M. merlangus* (uova e larve). Sulla prima è difficile esprimersi a causa della scarsità di dati riguardanti questo pesce, sulla competizione e predazione sugli stadi pelagici può essere interessante considerare la presenza di interazioni negative con altri organismi. Un'ipotesi estremamente particolare, ma molto calzante, prende in considerazione l'esplosione quantitativa di animali che si cibano di uova e larve come *Mnemiopsis leidyi* (Bilio e Niermann, 2004) la cui presenza è stata accertata anche in Mediterraneo (Fuentes et al., 2010). Sono anche da considerarsi fenomeni di eutrofizzazione e anossia che caratterizzano l'Alto Adriatico

(Nespoli, 1988) e possono aver influito sulla mortalità. Come evidenziato dall'analisi delle serie temporali, l' "Area superiore" è quella in cui la densità è maggiore sostanzialmente ogni anno, mentre l' "Area centrale" presenta valori intermedi. Il contributo dell' "Area inferiore" è quasi insignificante. Parallelamente a ciò, è interessante notare come negli anni in cui è stata rilevata una maggiore densità di organismi, essa sia riscontrata quasi esclusivamente nel Nord Adriatico, soprattutto davanti alle acque antistanti il Delta del Po. Si potrebbe ipotizzare che in tali anni questo fiume abbia avuto una portata maggiore, rilasciando in mare molti più nutrienti consentendo un aumento della produzione primaria che si è ripercosso a cascata lungo tutta la rete trofica. Inoltre, è interessante notare come nelle 3 aree le variazioni temporali di densità siano generalmente simili. Al contrario, l'aumento di densità nell' "Area superiore" presenta una corrispettiva impennata nell' "Area centrale" e, seppur difficilmente apprezzabile per le densità inferiori, anche nell' "Area inferiore" come se gli individui allargassero le aree di frequentazione espandendosi da nord verso sud o i processi di reclutamento e ciò che li influenzano siano simili su tutte queste aree. La combinazione di input fluviali e profondità contenute potrebbe essere determinante per una maggiore densità in Alto Adriatico. A tale scopo sarebbe interessante analizzare l'andamento temporale della portata del Po. Tuttavia, si evidenzia che anche una particolare zona (data dall'immaginaria linea congiungente Cesenatico e la città croata di Pola) dove l'aggregazione di *M. merlangus* sembra essere generalmente inferiore rispetto alle aree circostanti. Tale fenomeno potrebbe essere riconducibile alle caratteristiche dei fondali in quelle aree: essi, infatti, sono costituiti da sabbie relitte e zone ricche di epifauna (non a caso tali punti vengono definiti anche "sporchi" per la loro tendenza ad intasare la rete durante le attività di strascico). *M. merlangus* pare preferire aree con scarsa biocenosi e sedimenti fangosi o a granulometria molto fine (Atkinson et al., 2004). Non si riscontra densità nelle zone della Fossa di Pomo e le aree geograficamente subito più a sud dove la profondità tocca valori pari o superiori a 100m.

Questo potrebbe dipendere semplicemente dalle preferenze ambientali della specie o dalla eventuale competizione per spazi e risorse con organismi quali *M. merluccius*, di cui *M. merlangus* è il vicariante ecologico.

Considerando il modello STIENV che è risultato essere il più adatto nello spiegare la variabilità dei dati e nelle predizioni, la densità media per ogni anno secondo le predizioni di ogni modello, espressa in kg/km², segue degli andamenti talvolta simili (anni 2002/2003 e 2011/2012) e talvolta dissimili (anno 2005) alle fluttuazioni evidenziate dall'effetto parziale dell'anno ottenuto dal modello ENV. Seppur il modello STIENV predica valori maggiori del modello ENV, nel 1998 si registra un picco atipico nelle predizioni del modello ENV. Questo potrebbe essere dovuto all'interpretazione del modello: il modello STIENV considera anche le interazioni delle variabili indipendenti e questo può aver portato ad una predizione più ristretta.

Al fine di ampliare e migliorare le conoscenze della specie presa in esame in questo studio, sarebbe utile condurre ulteriori studi che considerino altri parametri ambientali come la salinità e periodi differenti di campionamento. La salinità non è stata considerata in questo studio poiché si è deciso di esaminare la profondità e la temperatura, le variabili più trattate in letteratura riguardo questo organismo. Un differente periodo di campionamento potrebbe evidenziare la presenza di individui non più giovani e potrebbe consentire di individuare potenziali aree di aggregazione specifiche per quelle determinate taglie di potenziali riproduttori.

Sarebbe utile, inoltre, effettuare delle ricerche sui contenuti stomacali di *M. merlangus* in Adriatico per meglio delineare la tipologia di dieta e ruolo nella rete trofica; leggere gli otoliti al fine di definire i tassi di accrescimento annuali ed osservare lo stadio di sviluppo gonadico per stabilire con maggiore precisione la taglia di prima maturità sessuale. Sarebbe anche interessante definire l'area di riproduzione del *M. merlangus*. In questo modo si potrebbe capire se ci sia davvero un vero e proprio trasporto larvale da nord a sud dovuto al fatto che *M.*

merlangus si riproduce in Adriatico settentrionale o la presenza di individui nell'Adriatico centrale sia invece dovuta ad altre aree riproduttive vicine. Non meno importante sarebbe indagare su relazioni di potenziale competizione con altri organismi che potrebbero influire sull'abbondanza e distribuzione di *M. merlangus*. Per esempio, Bombace e Lucchetti (2011) evidenziano che *M. merlangus* è presente dove *M. merluccius* risulta essere assente e viceversa. Questo indicherebbe che, potenzialmente, le due specie potrebbero entrare in competizione per risorse e spazi. Approfondire ulteriormente le conoscenze biologiche ed ecologiche della specie consentirebbero una gestione sostenibile in un contesto multispecie. Per esempio, concentrare temporaneamente gli sforzi di pesca su questo organismo secondariamente importante in commercio, potrebbe consentire a stocks più sovrasfruttati di ricostituirsi.

Infine, per garantire una maggiore completezza delle conoscenze riguardo il *M. merlangus* in Adriatico, sarebbe utile integrare i dati provenienti dalle campagne croate che in questo studio sono mancanti.

8 CONCLUSIONI

Una sinossi approfondita di quelli che sono gli aspetti caratteristici di una specie, come la sistematica, l'ecologia e la biologia così come il monitoraggio dei cambiamenti demografici delle risorse alieutiche sono elementi fondamentali per delineare lo status degli stocks presi in esame (Bombace e Lucchetti, 2011).

La corretta analisi e gestione di questi ultimi sono fattori essenziali per loro salvaguardia e perpetuazione nel lungo periodo, nel pieno rispetto del significato intrinseco del concetto di "sostenibilità": avere la possibilità di sfruttare una risorsa per soddisfare i bisogni attuali, senza andare a minare la possibilità delle generazioni future di poterne usufruire.

Condurre studi sull'impronta di quello qui presentato risulterebbe fondamentale per raccogliere dati che, successivamente, possono fare da apripista ad indagini più specifiche di stock assessment.

9 RINGRAZIAMENTI

Seppur ribadito più volte nella mia carriera universitaria che la statistica non sia il mio forte e che abbia sempre avuto difficoltà ad interpretarla, non posso nascondere che questo capitolo sia parimenti difficile da stendere. Non è affatto facile trovare le parole giuste per omaggiare le persone che mi sono state accanto fino ad adesso. Mi aiuterò con quella più semplice e, forse, sottovalutata di tutte.

Grazie.

Grazie al Professore Michele Casini, il quale si è fatto carico di seguirmi in questo lavoro nonostante io non sia stato propriamente suo alunno in questi due anni di studio. Dai suoi consigli e correzioni ho capito ancor di più l'importanza dello spirito critico e del continuo interrogarsi sulla realtà delle cose, aspetti fondamentali in un settore di studi come questo.

Grazie alla Dottoressa Chiara Manfredi per aver impiegato il suo tempo nell'aiutarmi con precise indicazioni per ricavare e organizzare i dati fondamentali per questo studio, per avermi aiutato ad ottenere dei preziosi articoli utili alla stesura di questa tesi, per i suggerimenti essenziali a migliorare la qualità di questo scritto.

Grazie a Federico, il Virgilio in quella selva oscura rappresentata da RStudio. Non riesco nemmeno ad immaginare come sarebbe potuta andare la preparazione di questa tesi senza il suo prezioso aiuto. Grazie per la tua immensa pazienza e disponibilità, per essere stato in grado di addolcire l'amara pillola delle analisi statistiche.

Grazie a tutti i membri del Laboratorio di Biologia Marina e Pesca di Fano. Grazie al Professore Corrado Piccinetti per il supporto bibliografico, Alessandra, Elettra, Loredana e me cum pari Jacopo per aver condiviso con me la loro quotidianità, avermi insegnato tanto e tenuto compagnia durante il lavoro in laboratorio. Da sotto la mascherina non si saranno visti molti sorrisi, ma è stato un piacere lavorare assieme a voi.

Grazie ai miei colleghi.

Grazie a Liscio, collega, compagno di pesca, mente brillante e visionaria. I tuoi artificiali sono un ricordo che custodirò gelosamente. Grazie a Gianluca, persona intraprendente, ricca di iniziativa, doppiamente collega e coinquilino eccezionale, soprattutto in cucina. Grazie ad Alessandro, il Mona, persona genuina ed affettuosa, pronta a darti una spalla su cui piangere, l'orso buono che auguro sia presente nelle compagnie di tutti.

Grazie a 'mbare Leandro. Non dimenticherò il tuo spirito coinvolgente e rassicurante, le tue strimpellate alla chitarra e il chi c'aviti di taliari.

Grazie a Gabjack. Anima trasudante di gioia e allegria, spirito libero e sensibile. Ricorderò trasudante di alcol anche il tuo fegato alle feste, questo è certo.

Grazie a Silvia, una persona che è un inno alla gioia e alla felicità, sempre pronta a regalare un sorriso e una risata senza chiedere nulla in cambio.

Abbiamo condiviso gioie e lacrime che, come ceralacca, sigilleranno la busta dei ricordi.

Una carezza anche a Binnone, mascotte ad honorem.

Siete stati la mia seconda famiglia, la mia seconda casa. Le colonne su cui appoggiarmi nei momenti di difficoltà, soprattutto nell'ultimo anno. Nonostante ci si conosca da appena due anni, sembra di conoscersi da molto più tempo. Vi auguro il meglio possibile, perché davvero ne siete meritevoli.

Grazie a Valentino, a Claudia e a Beppe, coinquilini speciali dalle mille qualità. Avete reso accogliente una casa che non è stata la mia e riempito le mie giornate fra una partita a biliardo e qualche giro in bici. Ognuno di voi mi ha insegnato qualcosa e spero di farne tesoro negli anni a seguire.

Grazie a Francesca, collega e persona speciale, pronta ad ascoltarti nei momenti di sconforto e abbattimento, pronta a condividere le sue avventure e disavventure quotidiane nonostante si trovi in una regione lontana, pronta a mandar giù le mie peggiori battute degne del più scadente cabaret di periferia. Sono contento di non averti perso, nonostante gli anni, nonostante tutto.

Grazie ai miei amici d'infanzia che rendono speciale ogni rientro in Calabria, che hanno condiviso uscite di matto periodiche, ma nonostante tutto mi supportano e sopportano per come sono.

Grazie ai SouthernSeaDogs, amici di salsedine, persone speciali ed uniche (per fortuna). Uniti dalla stessa valvola di sfogo nonché passione, mi hanno sostenuto nonostante la distanza, pronti a scarrozzarmi per mare ad ogni rientro.

Grazie alla Dott.ssa Sassi che mi ha visto crescere, che mi ha fatto da consigliera, che mi ha letteralmente regalato il miglior sorriso che potessi sfoggiare in occasioni come questa.

Grazie ai miei parenti tutti, Mamma e a Papà che mi hanno permesso di studiare quello che davvero amo, di incamminarmi verso un futuro che non so minimamente dove mi porterà. Nonostante sarà pieno di incertezze, nonostante io sia ormai grande, vi sento sempre al mio fianco con le mie mani nelle vostre, pronti a sostenermi nelle cadute e a sollevarmi come si fa con un bambino che sta imparando a camminare.

Vi voglio bene.

10 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Abella A, Serena F, Auteri R 1996. Un metodo alternativo per lo studio della distribuzione geografica per taglia del nasello. *Biol. Mar. Medit.*, 3 (1) 522-524.
- Andersen NG 2001. A gastric evacuation model for three predatory gadoids and implications of using pooled field data of stomach contents to estimate food rations. *J. Fish Biol.*, 59 (5) pp. 1198-1217.
- Anonymous 2017. MEDITS-Handbook. Version n. 9. MEDITS Working Group, pp. 106 . <https://sibm.it/MEDITS%202011/principaledownload.htm>
- Artegiani A, Bregant D, Paschini E, Pinardi N, Raicich F, Russo A 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part I(a): Air–Sea Interactions and Water Mass Structure. *Journal of physical oceanography* 27, pp. 24.
- Artegiani A, Bregant D, Paschini E, Pinardi N, Raicich F, Russo A 1997. The Adriatic Sea General Circulation. Part II(b): Baroclinic Circulation Structure. *Journal of physical oceanography* 27, pp. 19.
- Atkinson CJL, Bergmann M, Kaiser MJ 2004. Habitat selection in whiting. *Journal of Fish Biology* 64, pp. 788–793. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00340.x>
- Bertrand JA, Gil de Sola L, Papaconstantinou C, Relini G, Souplet A 2002. The general specifications of the MEDITS surveys. *Sci. Mar.* 66, (9). doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.2002.66s29>
- Bertrand JA, Gil de Sola L, Papaconstantinou C, Relini G, Souplet A 2002. The general specifications of the MEDITS surveys *Sci. Mar.*, 66 (Suppl. 2), pp. 9-17 doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.2002.66s29>
- Bilio M, Niermann U 2004. Is the comb jelly really to blame for it all? *Mnemiopsis leidyi* and the ecological concerns about the Caspian Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 269, pp. 173–183. doi: <https://doi.org/10.3354/meps269173>
- Bini G 1970. *Atlante dei pesci delle coste italiane*, 3, p.232, Mondo sommerso eds.

- Boldrin A, Carniel S, Giani M, Marini M, Bernardi Aubry F, Campanelli A, Grilli F, Russo A 2009. Effects of bora wind on physical and biogeochemical properties of stratified waters in the northern Adriatic. *J. Geophys. Res.* 114, C08S92. pp. 6-7. doi:<https://doi.org/10.1029/2008JC004837>
- Bombace G, Lucchetti A 2011. *Elementi di biologia della pesca*. Casa editrice Edagricole. I edizione. pp. 5. ISBN 978-88-506-5370-6
- Cataudella S, Spagnolo M 2011. *Lo stato della pesca e dell'acquacoltura nei mari italiani a cura di OnLine Group srl –Roma, 43, pp. 73-77.*
- Conway DVP, Coombs SH, Smitch C 1997. Vertical distribution of fish eggs and larvae in the Irish Sea and southern North Sea. *ICES J. of Marine Science*, 54(1), pp. 136-147
- Cooper A 1983. The reproductive biology of poor-cod, *Trisopterus minutus* L., whiting, *Merlangius merlangus* L., and Norway pout, *Trisopterus esmarkii* Nilsson, off the west coast of Scotland. *J. Fish Biol.* 22, pp. 317-334.
- Damm U 1975. *Untersuchungen zum Wachstum des Wittings (Merlangius merlangus) der Nordsee*. Kiel University, Germany, 70.
- Demain DK, Gallego A, Jaworski A, Priede IG, Jones EG 2011. Diet and feeding niches of juvenile *Gadus morhua*, *Melanogrammus aeglefinus* and *Merlangius merlangus* during the settlement transition in the northern North Sea. *Journal of Fish Biology* 79, pp. 89–111. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02997.x>
- Desbrosses P 1945. Le merlan (*Gadus merlangus*) de la coté française de l'Atlantique. *Revue Trav. Inst. Sci. Tech. Peches Marit.* 13, pp. 177-195.
- Dremière PY, Fiorentini L, Cosimi G, Leonori I, Sala A, Spagnolo A 1999. Escape-ment from the main body of the bottom trawl used for the Mediterranean international trawl survey (MEDITS). *Aquat. Living Resour.* 11.
- Ellis R 2005. *Enciclopedia del mare*, pp. 4, Codice Edizioni Torino

Ellis RW, Jones R 1956. The whiting (*Gadus merlangus*) in the North Sea. Mar. Res. Scot. 2, pp. 25.

Everitt BS, Skrondal A, The Cambridge Dictionary of Statistics 480.

FAO 2018. The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. pp. 172 Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FAO <http://www.faoadriamed.org/html/Species/MerlangiusMerlangus.html>

Ferretti M, Sala A, Piccinetti C, Ungaro N 2005. Selectivity of Italian bottom trawl with diamond- and square-mesh codends. Final Report to the Italian Ministry of Agriculture and Forestry (Project MIPAF n. 6-B-4): pp. 149 , doi: <https://doi.org/10.13140/2.1.3732.1281>

Fiorentini L, Dremière PY, Leonori I, Sala A, Palumbo V 1999. Efficiency of the bottom trawl used for the Mediterranean international trawl survey (MEDITS), Aquatic Living Resources, Volume 12, Issue 3, pp. 187-205, ISSN 0990-7440, doi: [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(00\)88470-3](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(00)88470-3).

Fiorentino F, Zamboni A, Relini G 1998. La selettività della rete a strascico in *Merluccius merluccius* sulla base delle esperienze riportate in letteratura, Biol. Mar. Medit. 5, pp. 465–474

Fishbase <https://www.fishbase.se/summary/Merlangius-merlangus.html>

Frattini C, Casali P 1998. Distribuzione di Gadiformi in Alto e Medio Adriatico. Biol. Mar. Medit., 5(2), pp. 92-98.

Fuentes VL, Angel DL, Bayha KM, Atienza D, Edelist D, Bordehore C, Gili JM, Purcell JE 2010. Blooms of the invasive ctenophore, *Mnemiopsis leidyi*, span the Mediterranean Sea in 2009. Hydrobiologia 645, pp. 23–37. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0205-z>

Garrod DJ, Gambell R 1965. The whiting of the Irish Sea and the Clyde. Fish. Invest. Ser. II 24 (3), pp. 1-64.

- General Fisheries Commission for the Mediterranean – GFCM 2009. Resolution GFCM/33/2009/2 on the establishment of geographical subareas in the GFCM area of application, amending Resolution GFCM/31/2007/2
- Giovanardi O, Rizzoli M 1984. Biological data, collected during the Peta expeditions, on the whiting, *Merlangius merlangus* (L.) in the Adriatic Sea. FAO Fish. Rep., 290, pp. 149-153.
- Godefroid M, Boldt JL, Thorson JT, Forrest R, Gauthier S, Flostrand L, Ian Perry R, Ross ARS, Galbraith M 2019. Spatio-temporal models provide new insights on the biotic and abiotic drivers shaping Pacific Herring (*Clupea pallasii*) distribution. Progress in Oceanography 178, 102198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2019.102198>
- Gordon JDM 1977. The fish populations in inshore waters of the west coast of Scotland. The distributions, abundance and growth of the whiting (*Merlangius merlangus*), J. Fish. Biol. 10, pp. 587-596.
- Gunderson DR 1993. Surveys of fisheries resources. Wiley. New York. pp. 248.
- Hannerz L 1964. Regional and annual variations in the growth of whiting (*Gadus merlangus*), Inst. Mar. Res. Lysekil, Ser. Biol. Rep., Fish. Bd Sweden, 14, pp. 64.
- Hastie TJ, Tibshirani RJ 1990. Generalized additive models. Monographs on Statistics and Applied Probability 43. Chapman e Hall/CRC eds. ISBN 9780412343902
- Hilborn R, Walters CJ 1992. Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. Chapman and Hall, New York. pp. 570. doi: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3598-0>
- Hislop JRG 1984. A comparison of the reproductive tactics and strategies of cod, haddock, whiting and Norway pout in the North Sea. In: G. W. Potts & R. J. Wottem (eds.), Fish reproduction: strategies and tactics. Academic Press, London, pp. 311-329.

Hislop JRG, Robb AP, Bell MA, Armstrong DW 1991. The diet and food consumption of whiting (*Merlangus merlangus*) in the North Sea. ICES J. Mar. Sci., 48, pp. 139-156.

IGFA https://igfa.org/igfa-world-records-search/?search_type=ScientificName&search_term_1=Merlangius&search_term_2=merlangus

Jereb P, Ragonese S, Von Boletzky S 1991. Squid Age determination Using Stotoliths. Proceedings of the International Workshop held in the Istituto di Tecnologia della Pesca e del Pescato (ITTP-CNR), Mazara del Vallo, Italy, 9-14 october 1989. N.T.R.- I.T.P.P. Special Publications, no 1: pp. 128.

Kraus R, Grilli F, Supić N, Janeković I, Brailo M, Cara M, Cetinić AB, Campanelli A, Cozzi S, D'Adamo R, Djakovac T, Dutour-Sikirić M, Flander-Putrlje V, Francé J, Joksimović D, Klun K, Kolutari J, Kralj M, Kušpilić G, Marini M, Matić F, Mikuš J, Ninčević-Gladan Ž, Pansera M, Pećarević M, Precali R, Prusina I, Relitti F, Santucci A, Specchiulli A, Škalic D 2019. Oceanographic characteristics of the Adriatic Sea – Support to secondary HAOP spread through natural dispersal. Marine Pollution Bulletin 147, pp. 59–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.062>

Lynam CP, Brierley AS 2007. Enhanced survival of 0-group gadoid fish under jellyfish umbrellas. Mar Biol 150, pp. 1397–1401. doi: <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0429-7>

Mergardt N, Temming A 1997. Diel pattern of food intake in whiting (*Merlangius merlangus*) investigated from the weight of partly digested food particles in the stomach and laboratory determined particle decay functions. ICES J. of Marine Science, 54(2), pp. 226-242.

Microsoft Corporation 2018. *Microsoft Excel*, Available at: <https://office.microsoft.com/excel>.

Milić D, Kraljević M 2010. Biometry analysis of the whiting, *Merlangius merlangus* (Linnaeus, 1758) from the northern Adriatic Sea 12.

- Mulazzani L, Manrique R, Trevisan G, Malorgio G 2015. Fish market integration and demand analysis: a Mediterranean case study. *Agricultural Economics* 46, pp. 39–52. doi: <https://doi.org/10.1111/agec.12139>
- Muus BJ, Nielsen JG 1999. Sea fish. *Scandinavian Fishing Year Book*, Hedehusene, Denmark. 340 p.
- Nespoli G 1988. Eutrophication of the Coastal Waters of the North Adriatic Sea. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 534, pp. 946-949. doi:[10.1111/j.1749-6632.1988.tb30186.x](https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1988.tb30186.x)
- Pedersen EJ 2019. Hierarchical generalized additive models in ecology: an introduction with mgcv 42.
- Pedersen J, 2000. Food consumption and daily feeding periodicity: comparison between pelagic and demersal whiting in the North Sea. *J. Fish Biology*, 57(2), pp. 402-416.
- Piccinetti C, Manfredi C 2020. Programma nazionale italiano per la raccolta di dati alieutici anno 2019. Campagne di ricerca in mare Sezione G. MEDITS GSA17. Rapporto tecnico ed analisi finale. Laboratorio di Biologia Marina e Pesca di Fano - Dipartimento BiGeA, Università degli Studi di Bologna, Italia: pp 48)
- Piccinetti C, Vrgoč N, Marčeta B, Manfredi C 2012. Recent state of demersal resources in the Adriatic Sea. *Acta Adriatica. Monograph Series*. 5, pp. 220
- QGIS.org 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Rassweiler A, Costello C, Hilborn R, Siegel DA 2014. Integrating scientific guidance into marine spatial planning. *Proc. R. Soc. B*. 281, 20132252. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2252>
- Ross SD, Nielsen JR, Gislason H, Nielsen A, Andersen NG 2018. Growth and food consumption of whiting *MERLANGIUS MERLANGUS*. *J Fish Biol* 93, pp. 334–343. doi: <https://doi.org/10.1111/jfb.13763>

- RStudio Team 2020. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Saemudsson B 1925. On the age and growth of the haddock (*Gadus aeglefinus*) and whiting (*Gadus merlangus*) in Icelandic waters. Medd. Komm. Havundersog, Ser. Fisk. 8 (1), pp. 26.
- Sager G, Berner M, Sammler R 1990. Investigations of growth in length and weight, growth increase and weight-length relationship of the whiting *Merlangius merlangus* in the North Sea and the Irish Sea after data series from Vasiljeva/Timoshenko/Souplet and Avrilla/Hillis., in: Fischerei-Forschung, 28 (3), pp. 20-24.
- Şalcıoğlu A, Gubili C, Krey G, Sönmez AY, Bilgin R 2020. Phylogeography and population dynamics of the Eastern Mediterranean whiting (*Merlangius merlangus*) from the Black Sea, the Turkish Straits System, and the North Aegean Sea. Fisheries Research 229, 105614. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105614>
- Seyhan K, Grove DJ, King J 1998. Feeding behaviour of whiting, *Merlangius merlangus*, in captivity. Fisheries Research, 34 (1), pp. 39-45.
- Smith D, Bangs E, Oakleaf J, Mack C, Fontaine J, Boyd D, Jimenez M, Pletscher D, Niemeyer C, Meier T, Stahler DR, Holyan J, Asher VJ, Murray D 2010. Survival of Colonizing Wolves in the Northern Rocky Mountains of the United States, 1982–2004. The Journal of Wildlife Management. 74. 620 - 634. 10.2193/2008-584.
- Spedicato MT, Massutí E, Mérigot B, Tserpes G, Jadaud A, Relini G 2020. The MEDITS trawl survey specifications in an ecosystem approach to fishery management. Sci. Mar. 83, pp.9. doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.04915.11X>
- Staniland IJ, Hart PJ, Bromley PJ 2001. The regurgitation of stomach contents in trawl caught whiting, evidence of predator size effect. J. Fish Biol., 59 (5), pp 1430-1432.
- Svetovidov AN 1986. Gadidae. In: P.J.P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese Fishes of the north-eastern Atlantic and the Mediterranean eds.. UNESCO, Paris. vol. 2.

- Swain DP, Benoît HP, Hammill MO 2015. Spatial distribution of fishes in a Northwest Atlantic ecosystem in relation to risk of predation by a marine mammal. *J Anim Ecol* 84, pp. 1286–1298. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12391>
- Thorson JT, Jannot J, Somers K 2017. Using spatio-temporal models of population growth and movement to monitor overlap between human impacts and fish populations. *J Appl Ecol* 54, pp. 577–587. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12664>
- Tingley MW, Monahan WB, Beissinger SR, Moritz C 2009. Birds track their Grinnellian niche through a century of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, pp. 19637–19643. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0901562106>
- Tortonese E 1975. *Fauna d'Italia, Pesci ossei, Vol XI*. Bologna: Calderini.
- Turner W 2006. Interactions Among Spatial Scales Constrain Species Distributions in Fragmented Urban Landscapes. *Ecology and Society*. 11 (2). doi:[10.5751/ES-01742-110206](https://doi.org/10.5751/ES-01742-110206)
- Underwood AJ, Chapman MG, Connell SD 2000. Observations in ecology: you can't make progress on processes without understanding the patterns. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 250, pp. 97–115. doi: [10.1016/S0022-0981\(00\)00181-7](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00181-7)
- UNEP/MAP-RAC/SPA 2015. *Adriatic Sea: Description of the ecology and identification of the areas that may deserve to be protected*. By Cerrano, C. Edited by Cebrian, D. and Requena, S., RAC/SPA, Tunis; pp. 92
- Ungaro N, Marano G, Piccinetti C 1995. Adriatic, Black Sea: the whiting doubt. *Cybiurn* 19(3): 311-315
- Vallisneri M, Scapolatempo M, Tommasini S 2006. Reproductive biology of *Merlangius merlangus* L. (Osteichthyes, Gadidae) in the northern Adriatic Sea. *ACTA ADRIATICA* 7, pp. 159-164.

Vrgoč N, Arneri E, Jukiü-Peladiü S, Krstuloviü Šifner S, Mannini P, Marčeta B, Osmani K, Piccinetti C, Ungaro N 2004. Review of current knowledge on demersal shared stock of the Adriatic Sea, AdriaMed Technical Documents (12).

Wood SN 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 73(1), pp3-36.

Wood SN 2017. *Generalized Additive Models: An introduction with R*, CRC Press.

11 APPENDICE

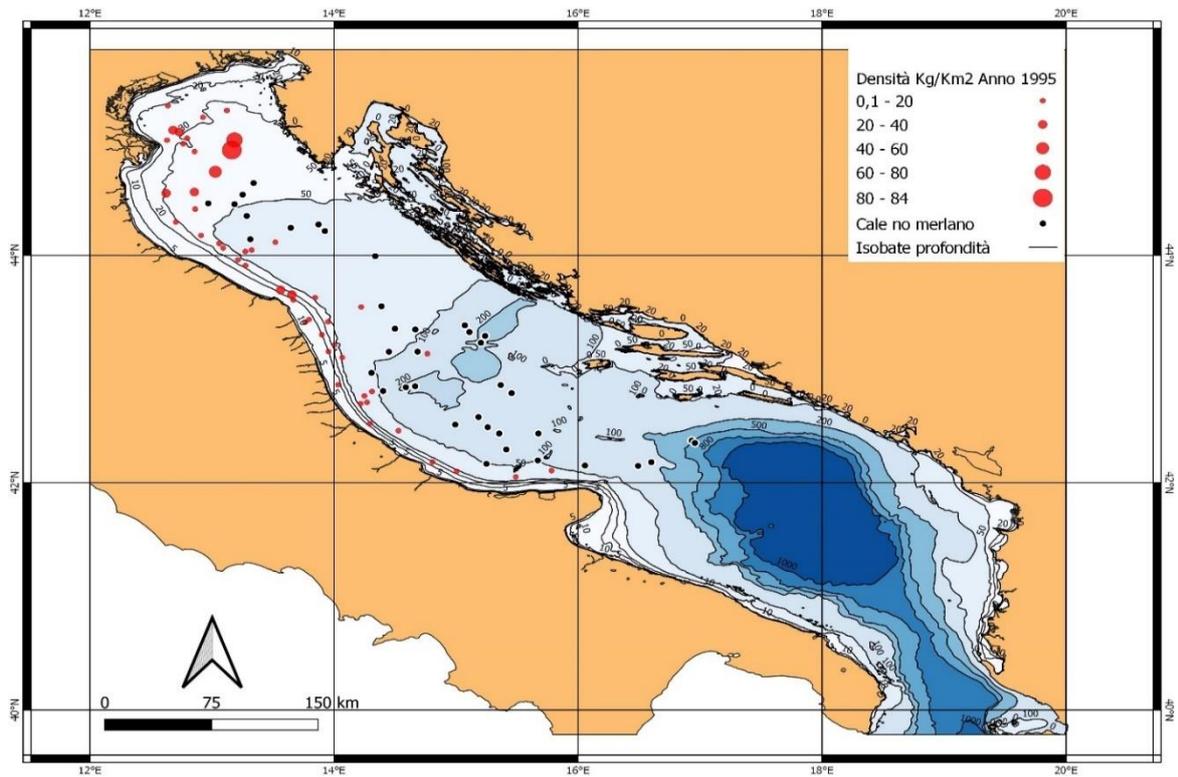


Figura I. Esiti cale1995. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*.

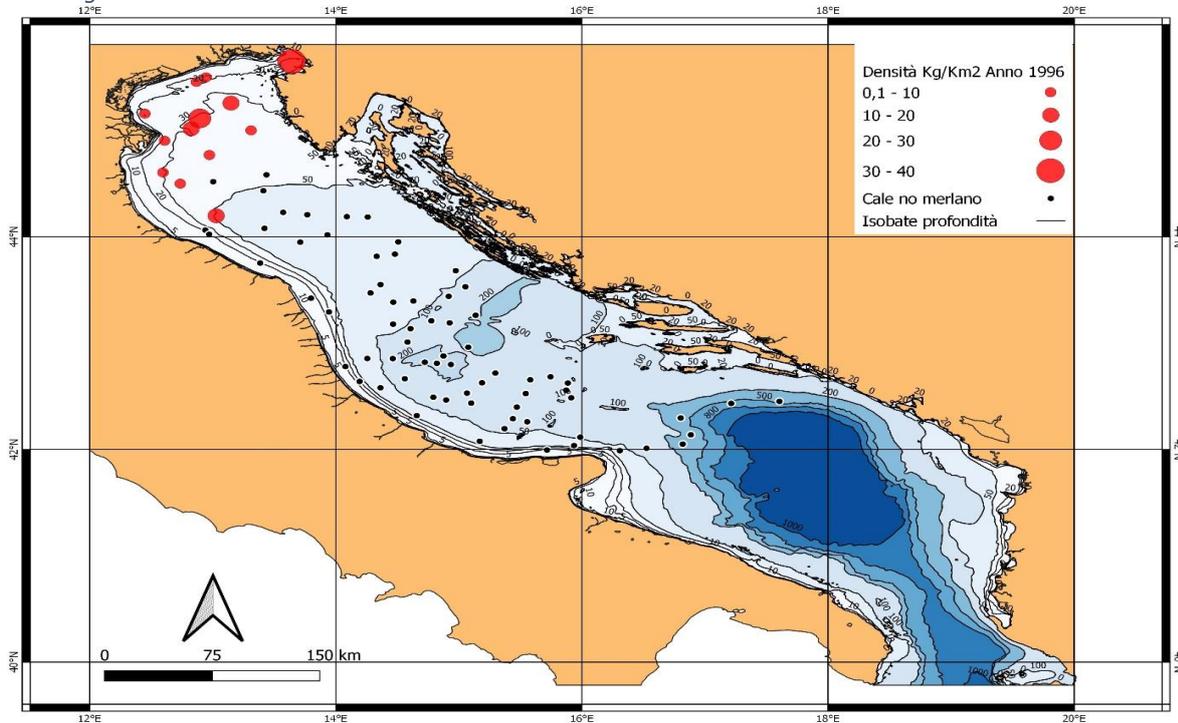


Figura II. Esiti cale1996. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*.

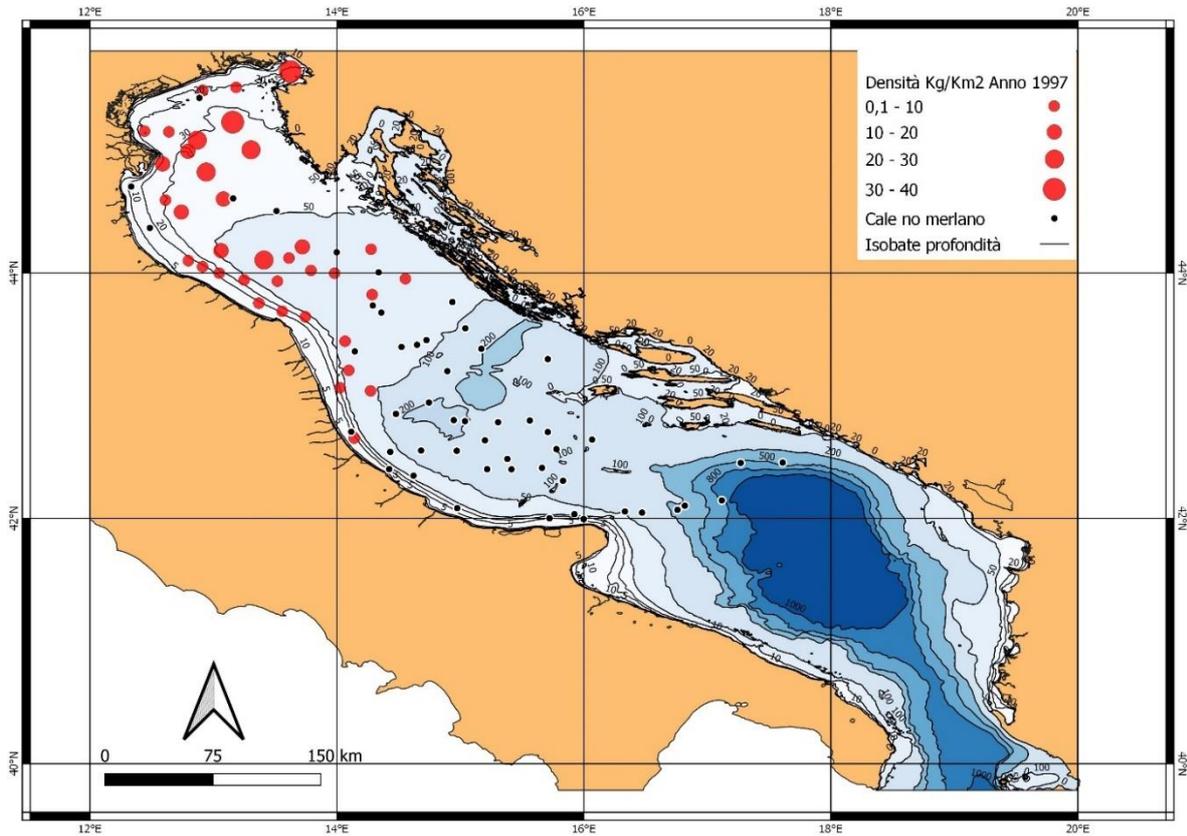


Figura III. Esiti cale 1997. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

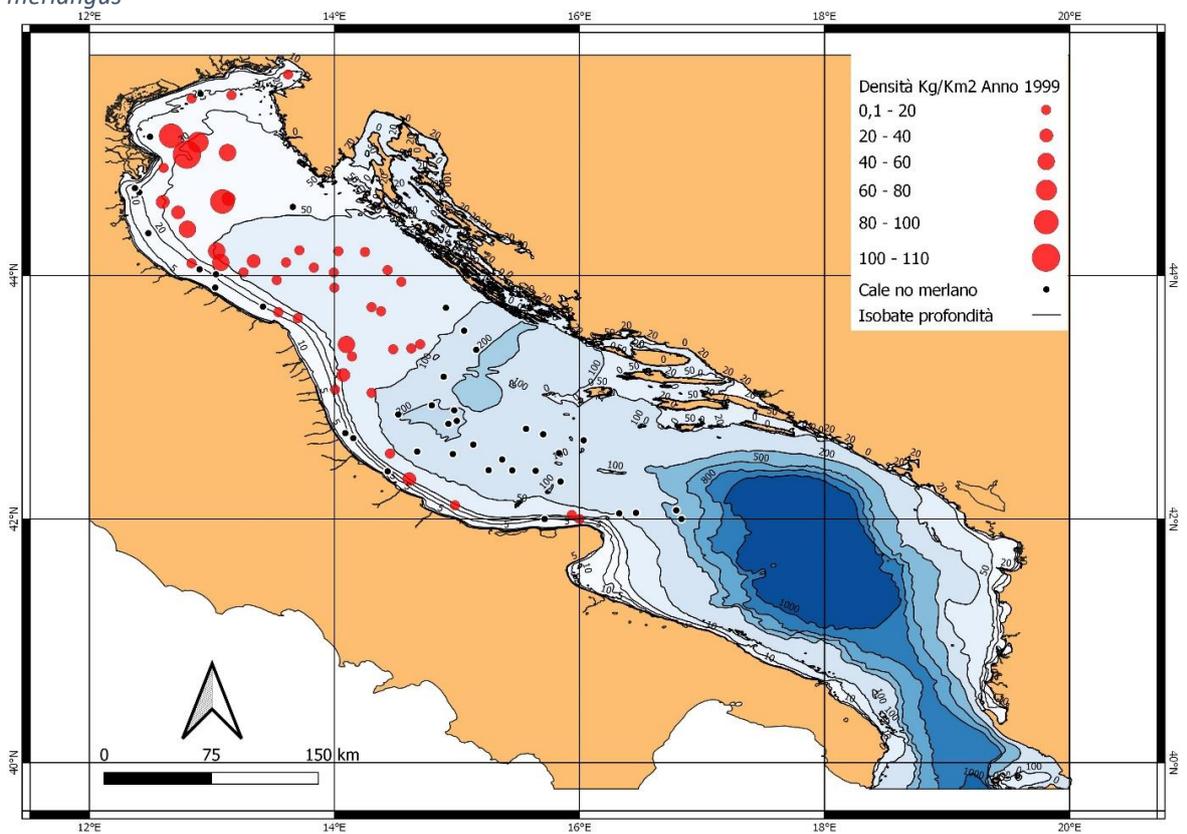


Figura IV. Esiti cale 1999. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

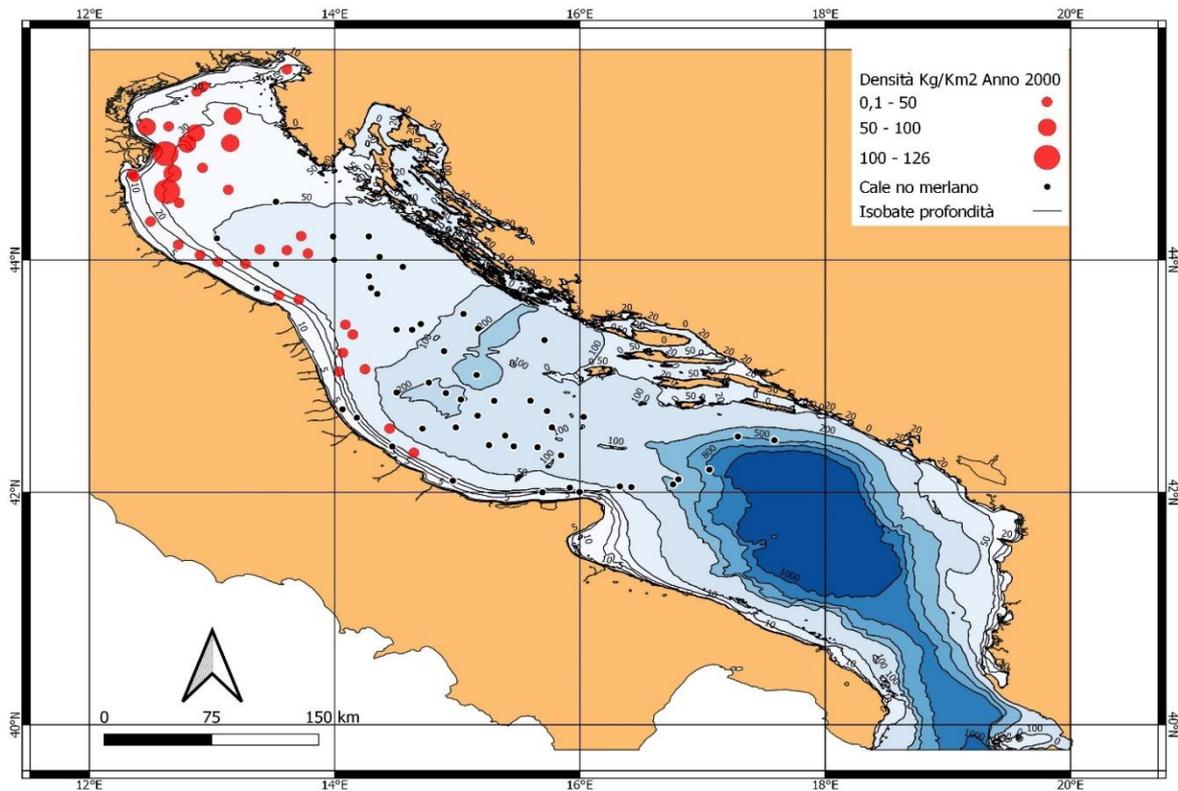


Figura V. Esiti cale 2000. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

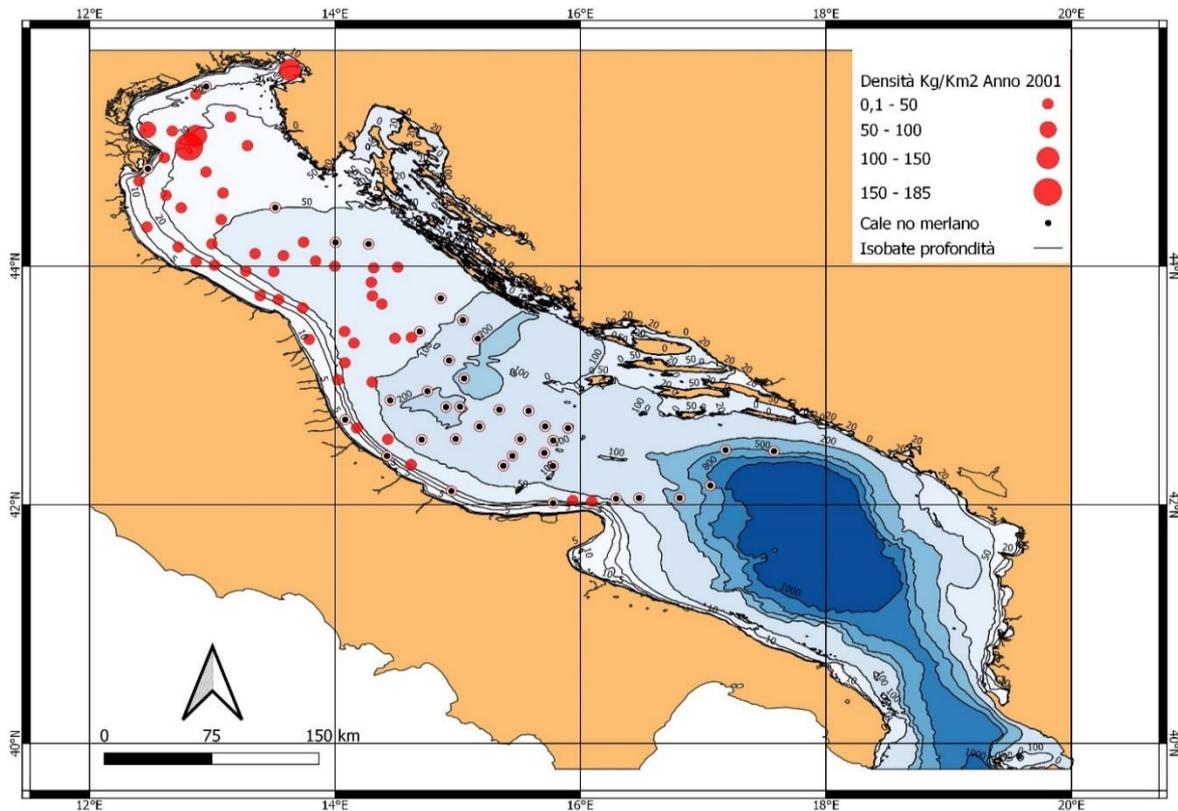


Figura VI. Esiti cale 2001. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

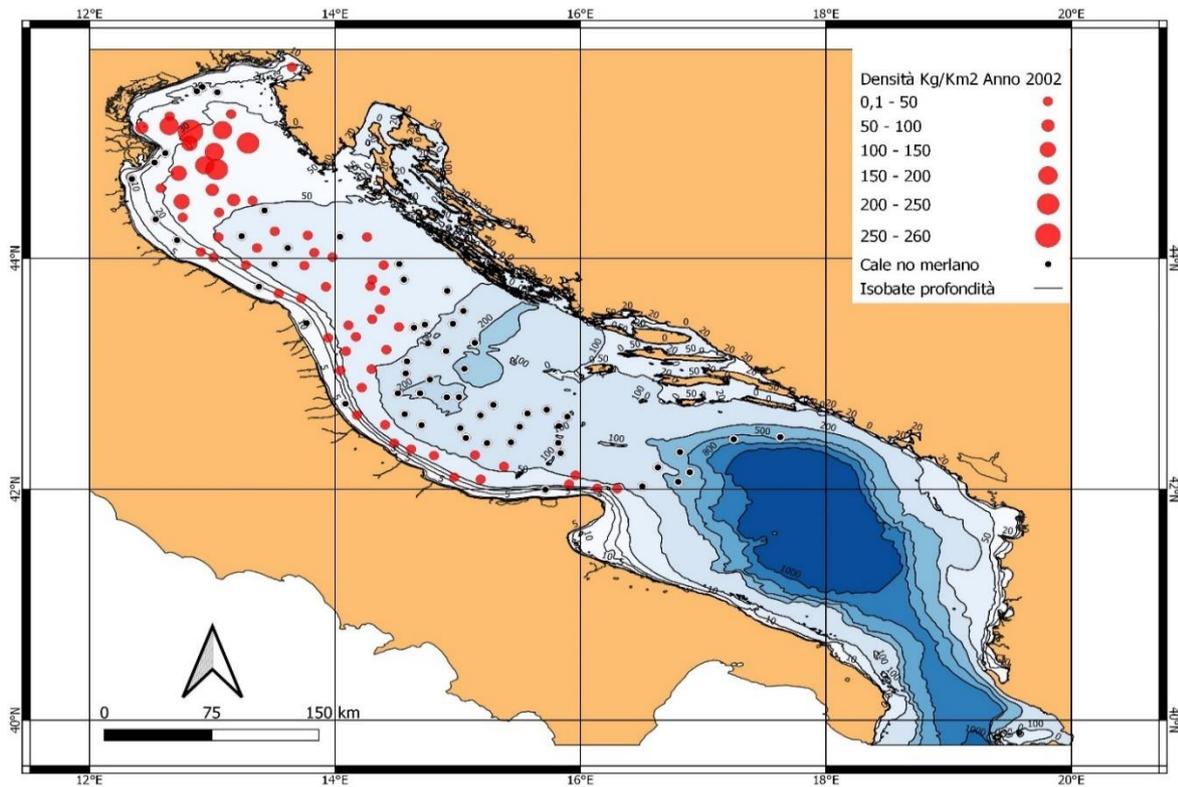


Figura VII. Esiti cale 2002. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

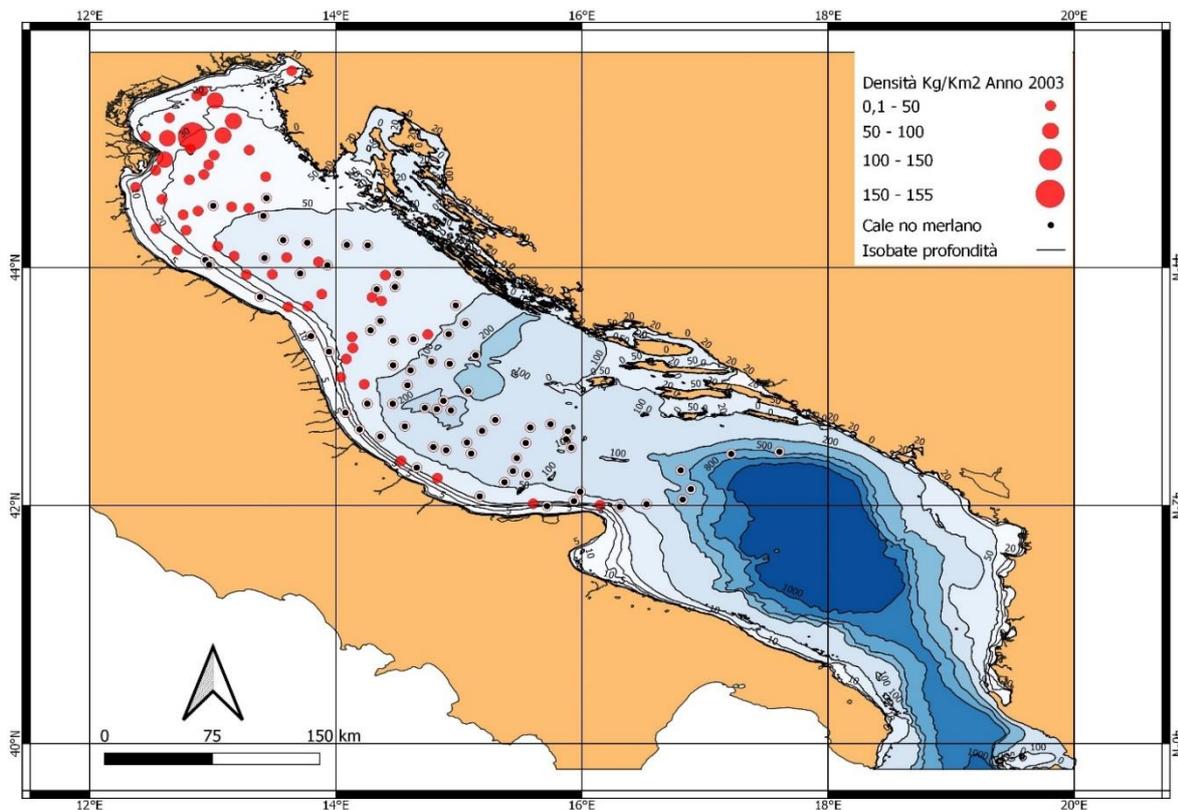


Figura VIII. Esiti cale 2003. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

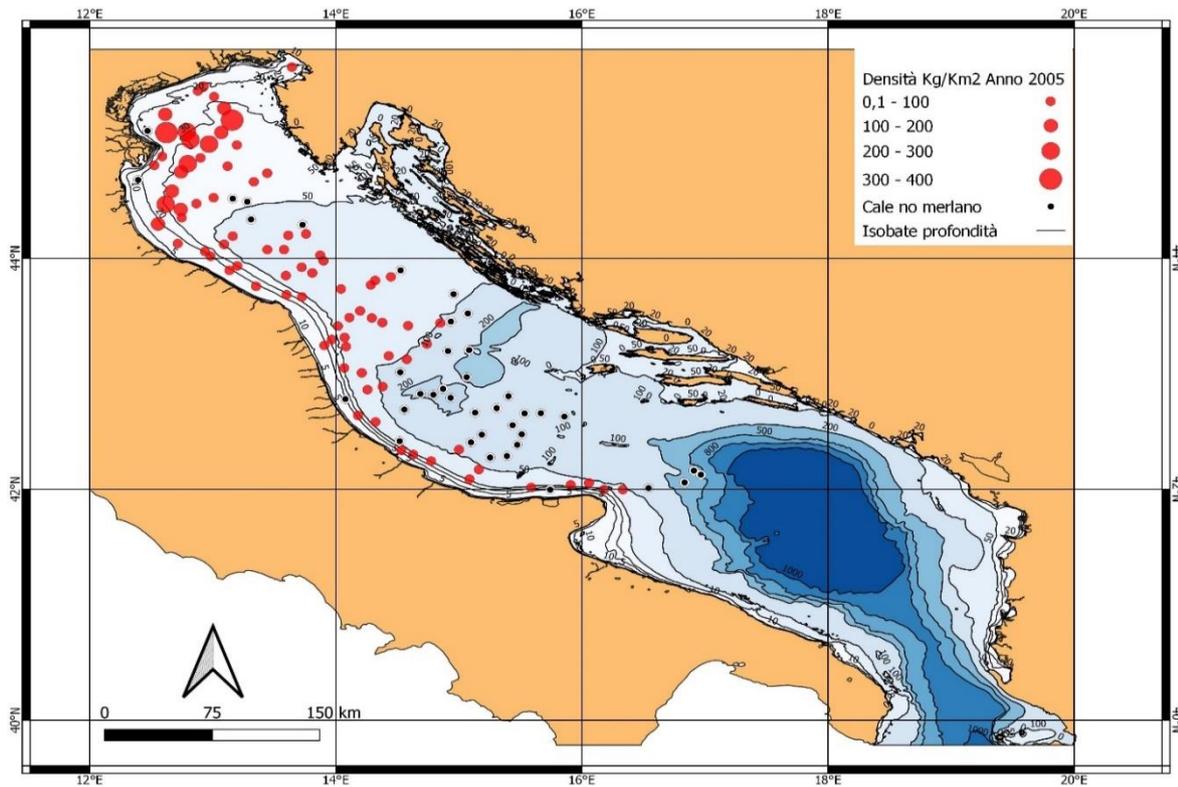


Figura IX. Esiti cale 2005. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

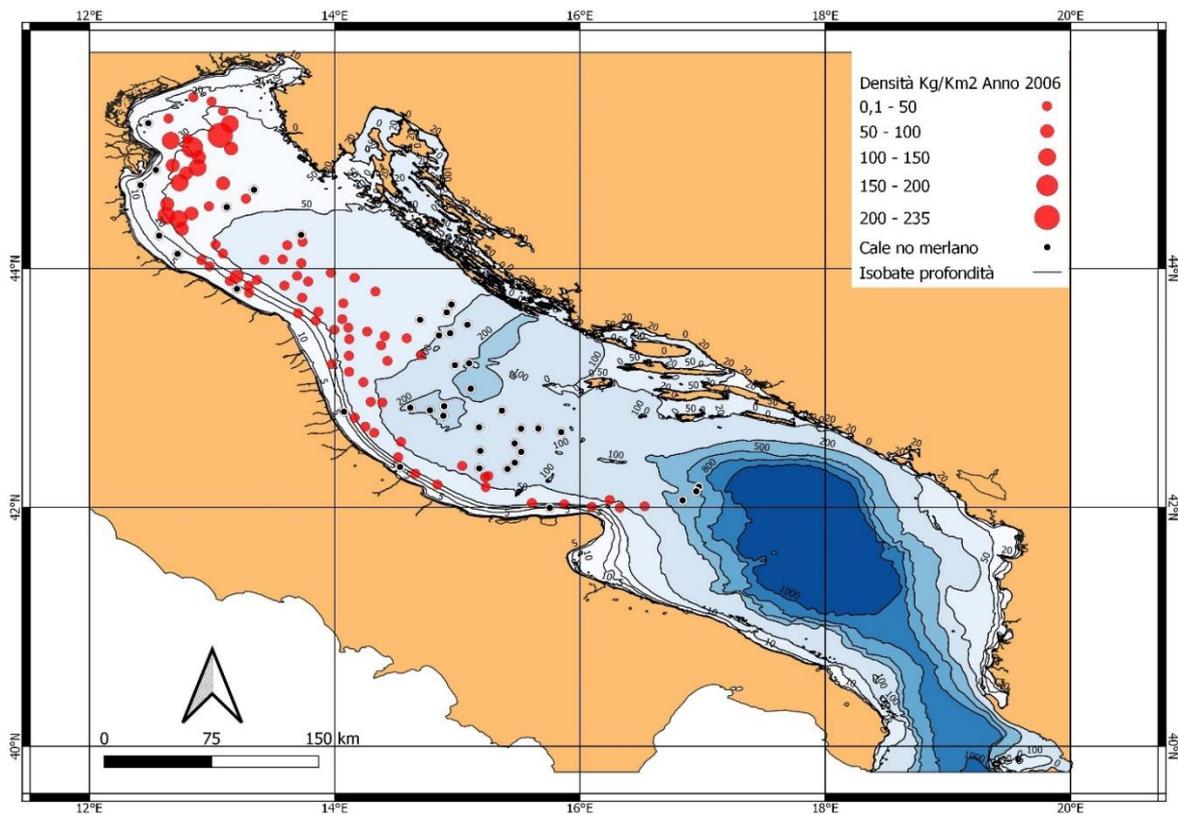


Figura X. Esiti cale 2006. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

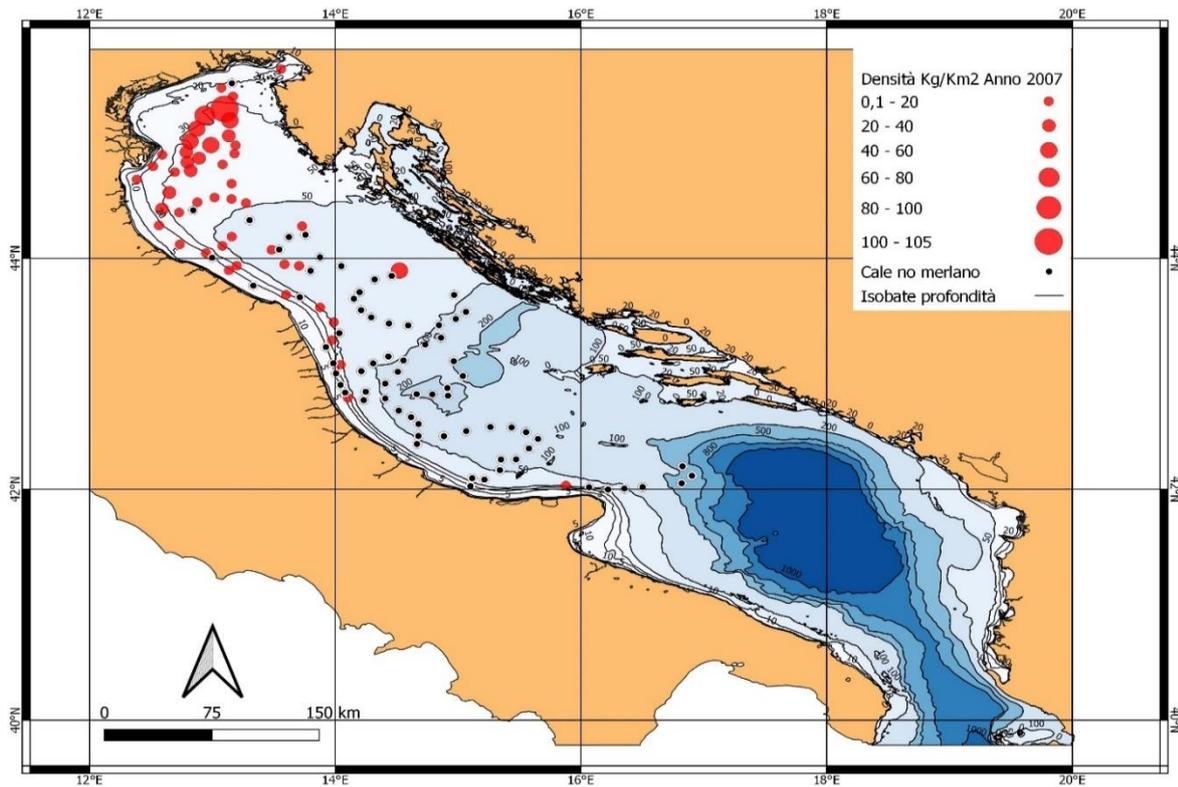


Figura XI. Esiti cale 2007. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

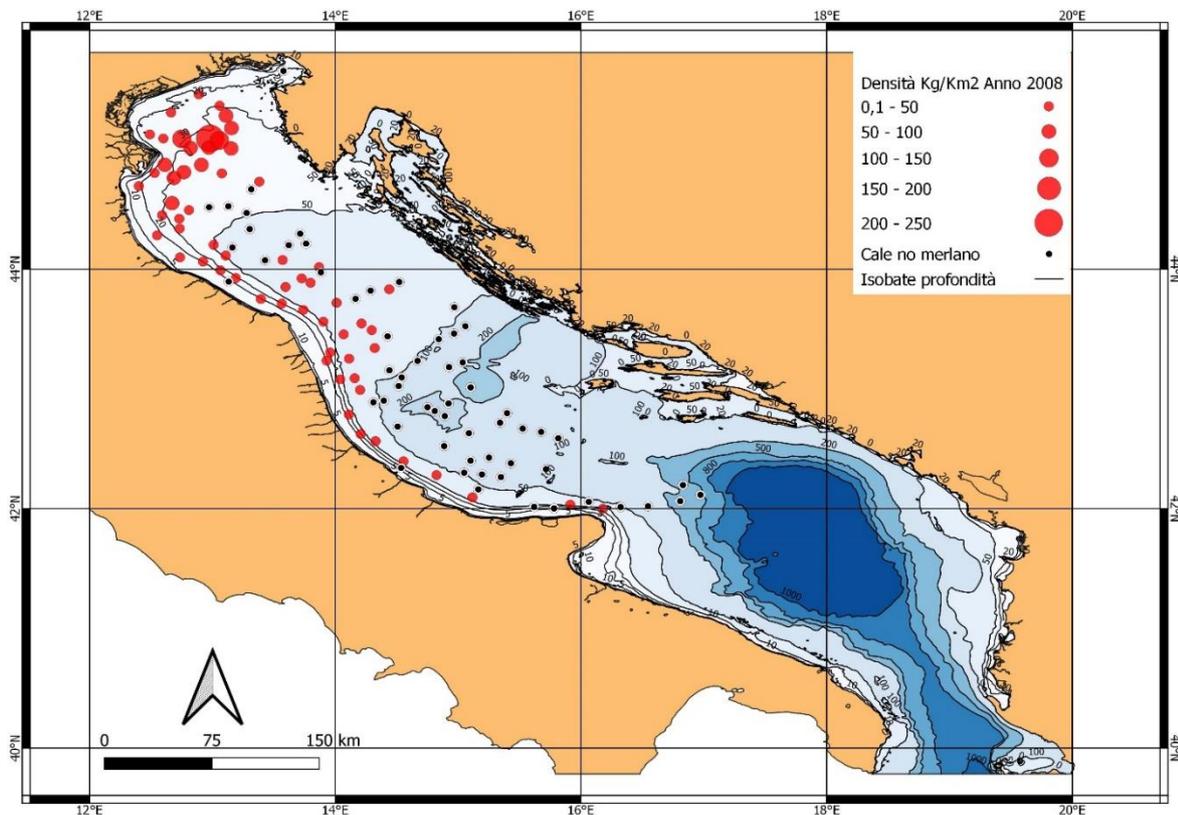


Figura XII. Esiti cale 2008. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

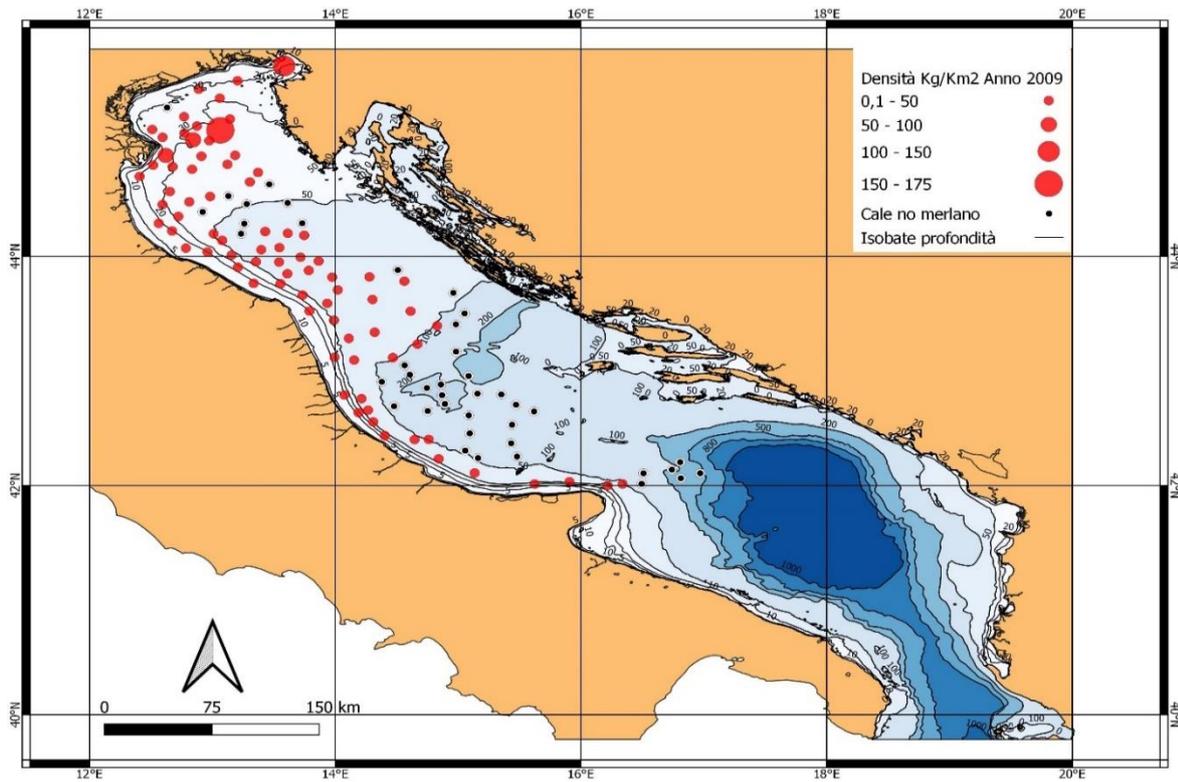


Figura XIII. Esiti cale 2009. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

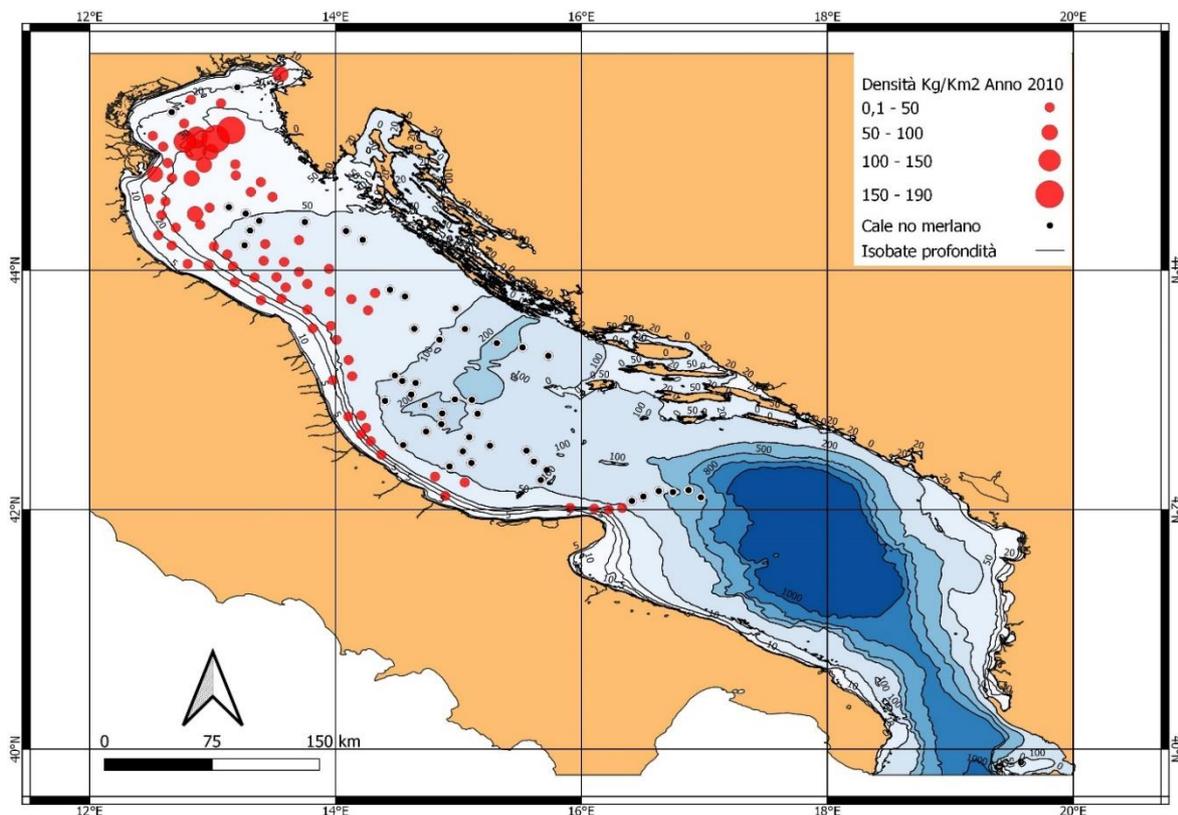


Figura XIV. Esiti cale 2010. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

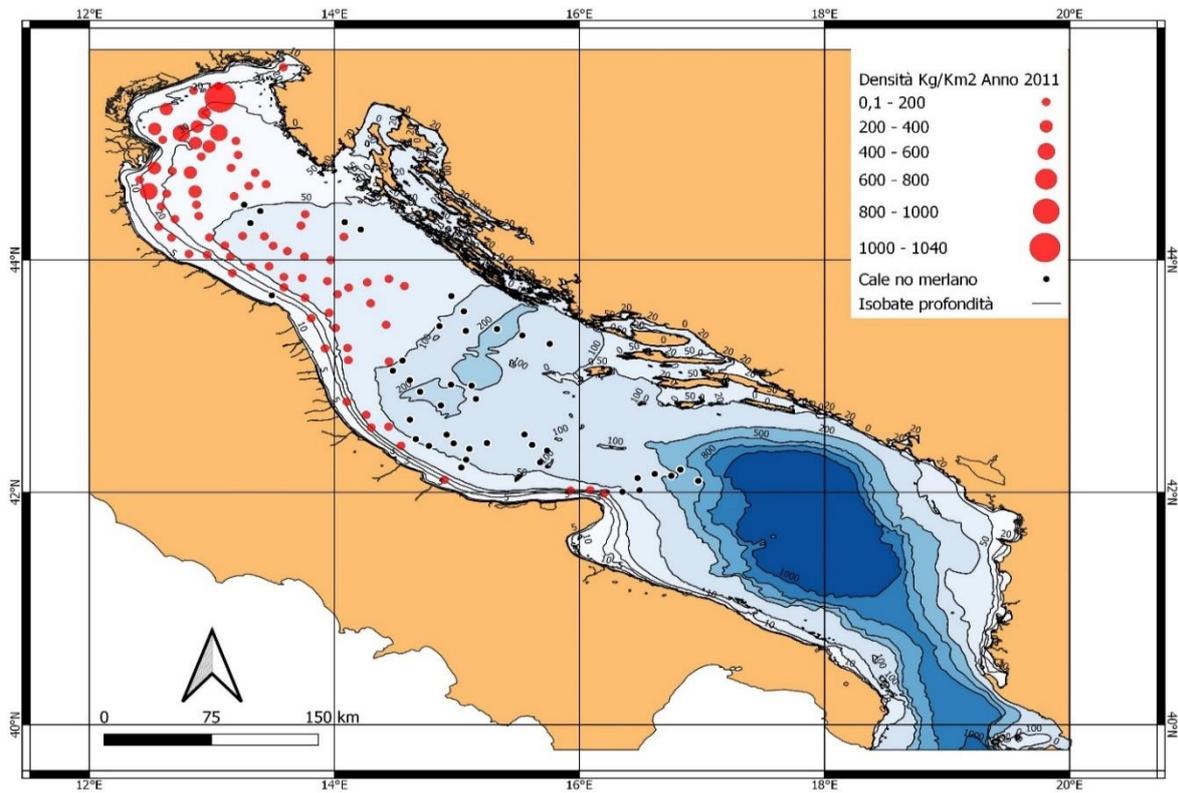


Figura I I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

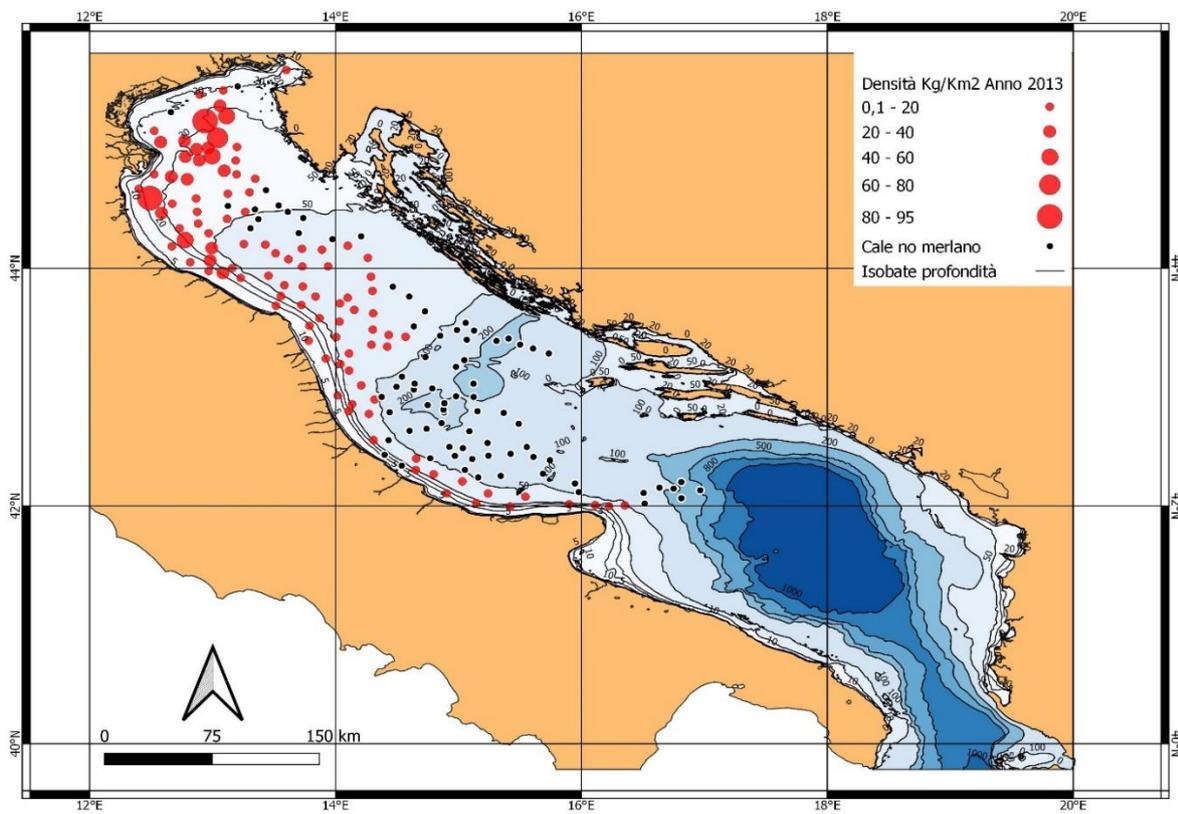


Figura II I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

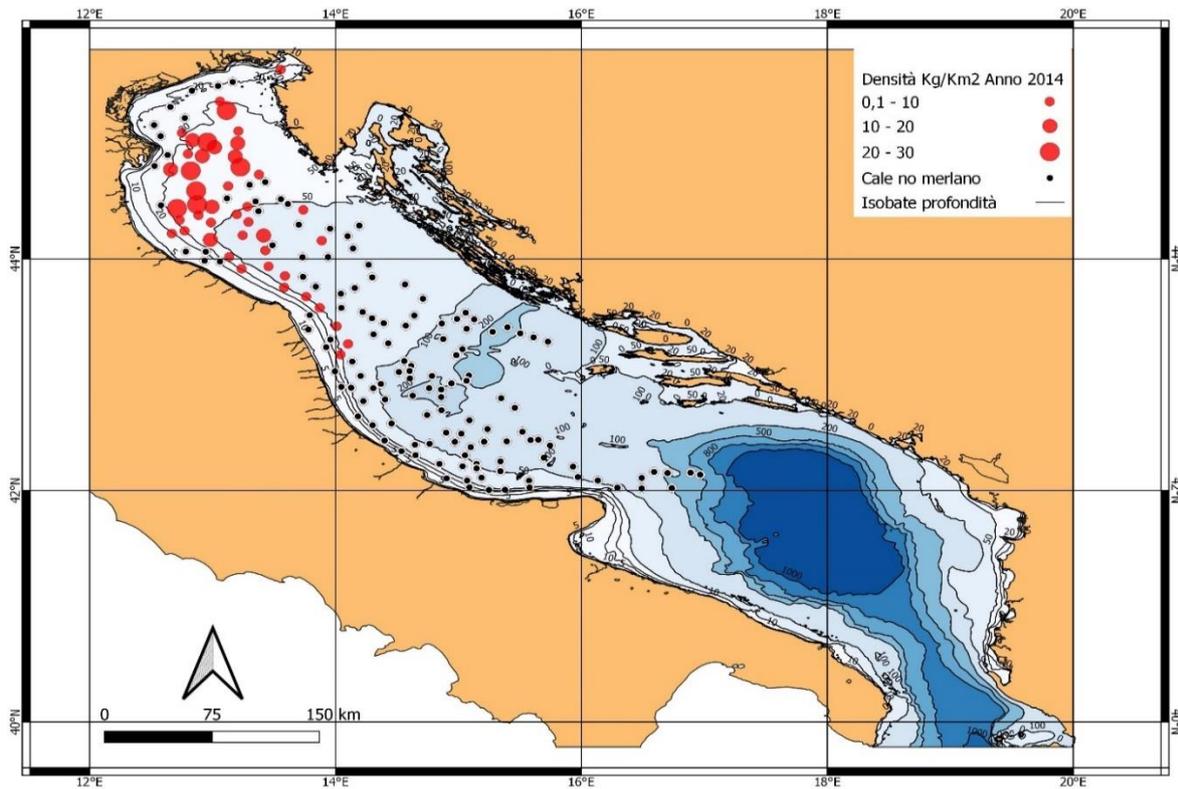


Figura III I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

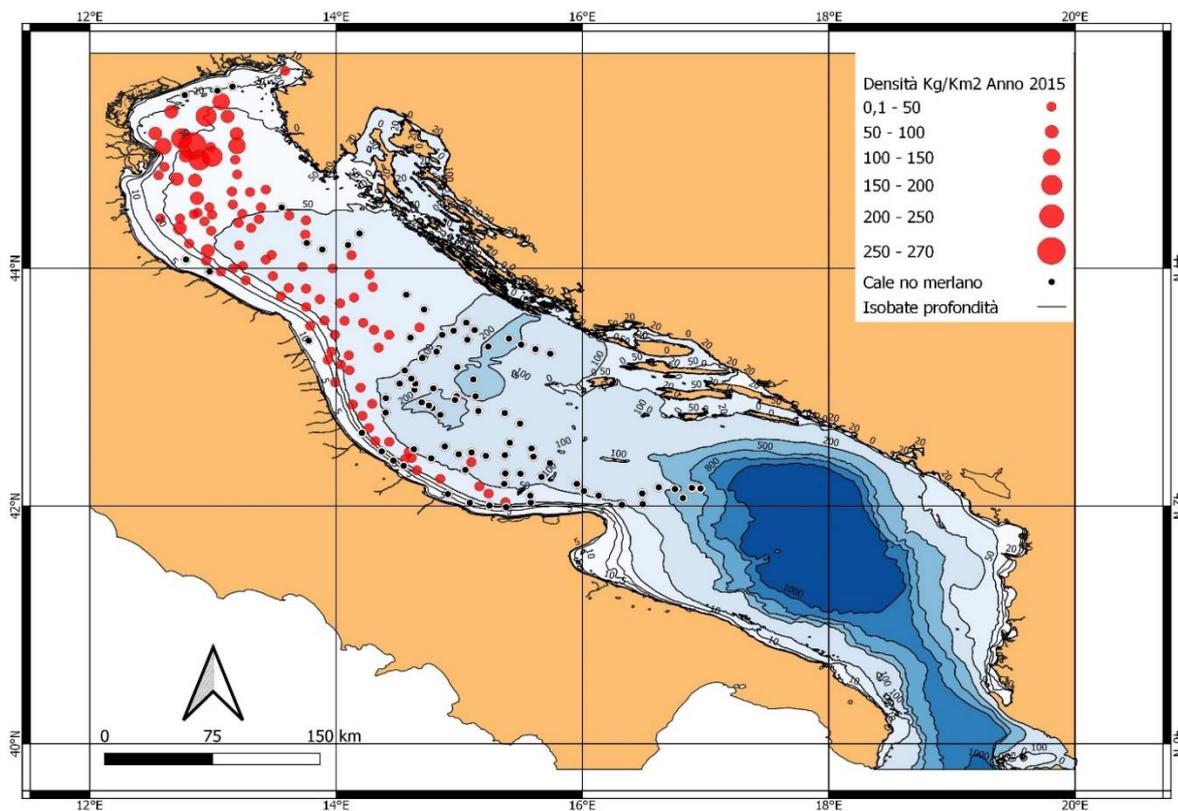


Figura IV I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

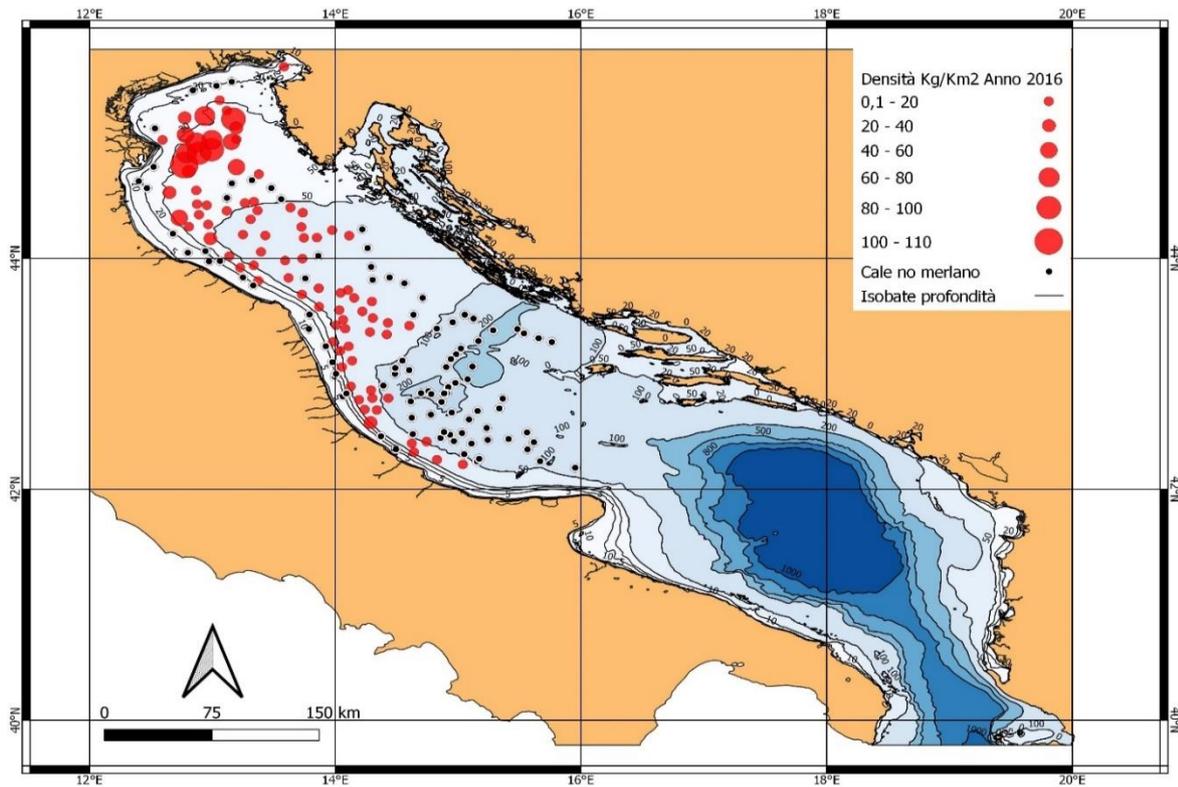


Figura V I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

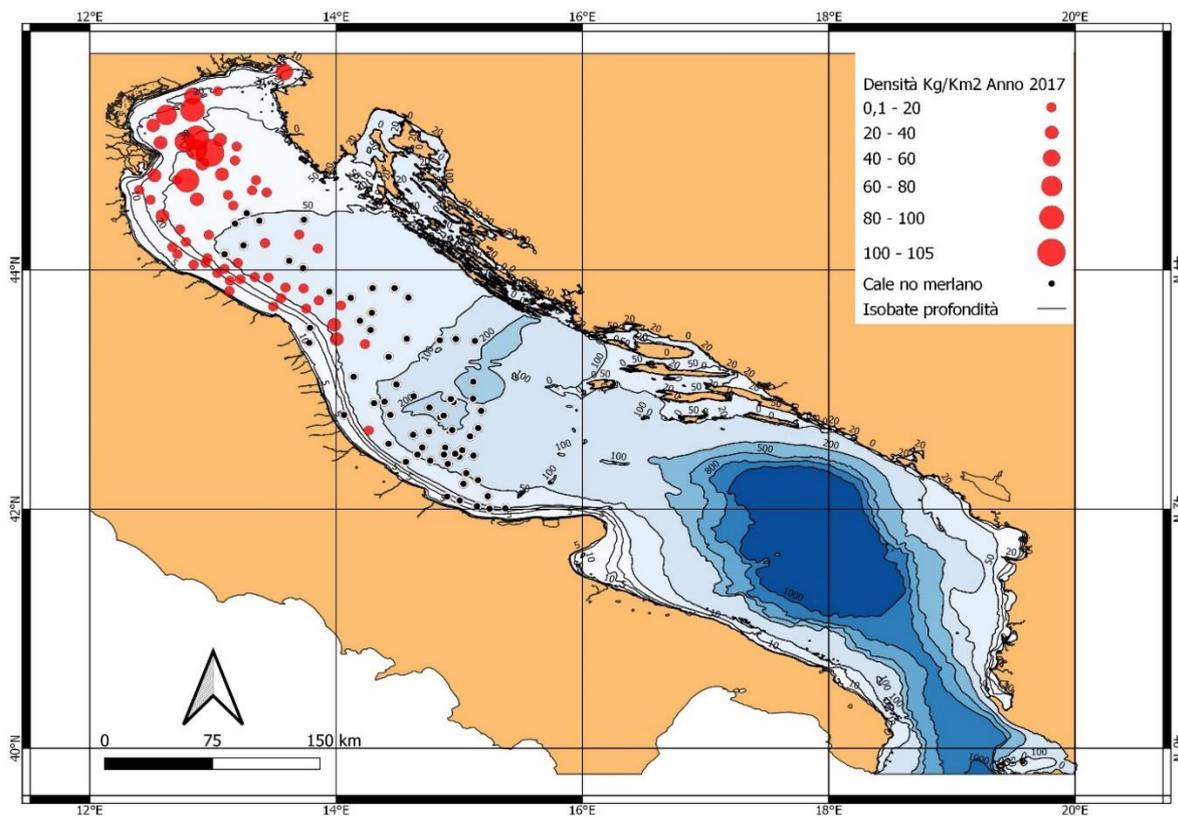


Figura VI. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

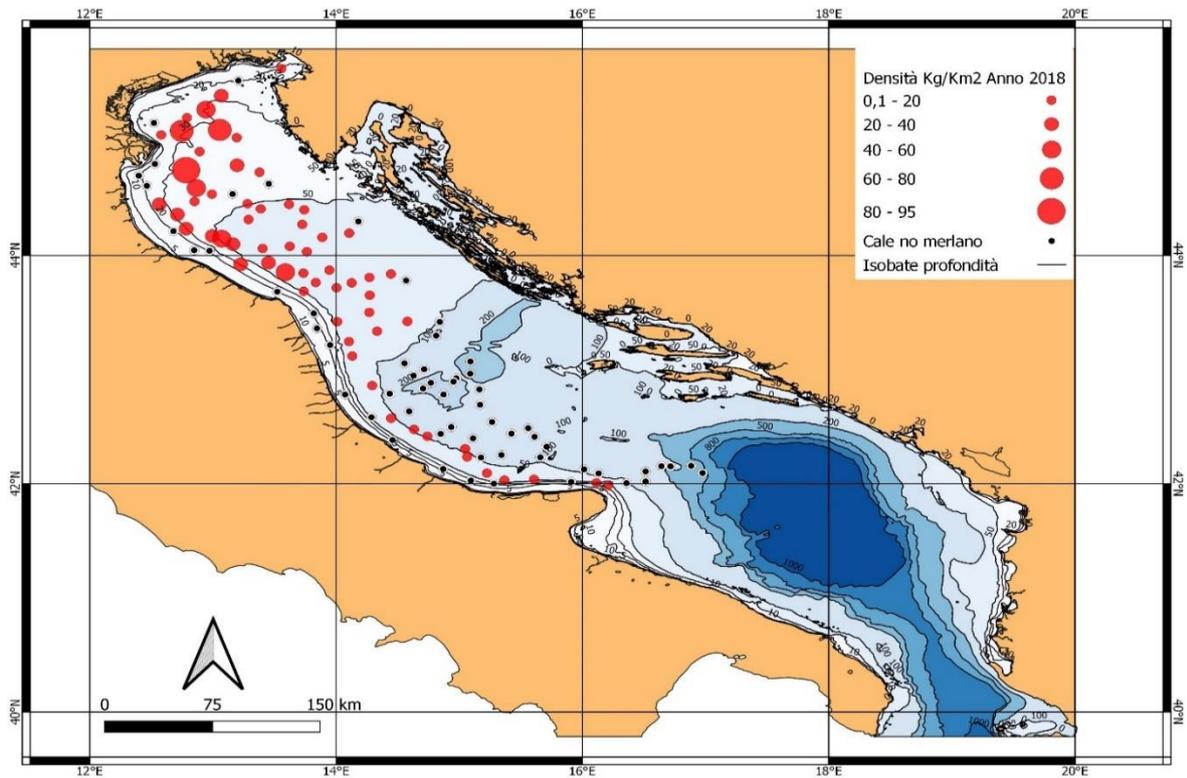


Figura XXI. Esiti cale 2018. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

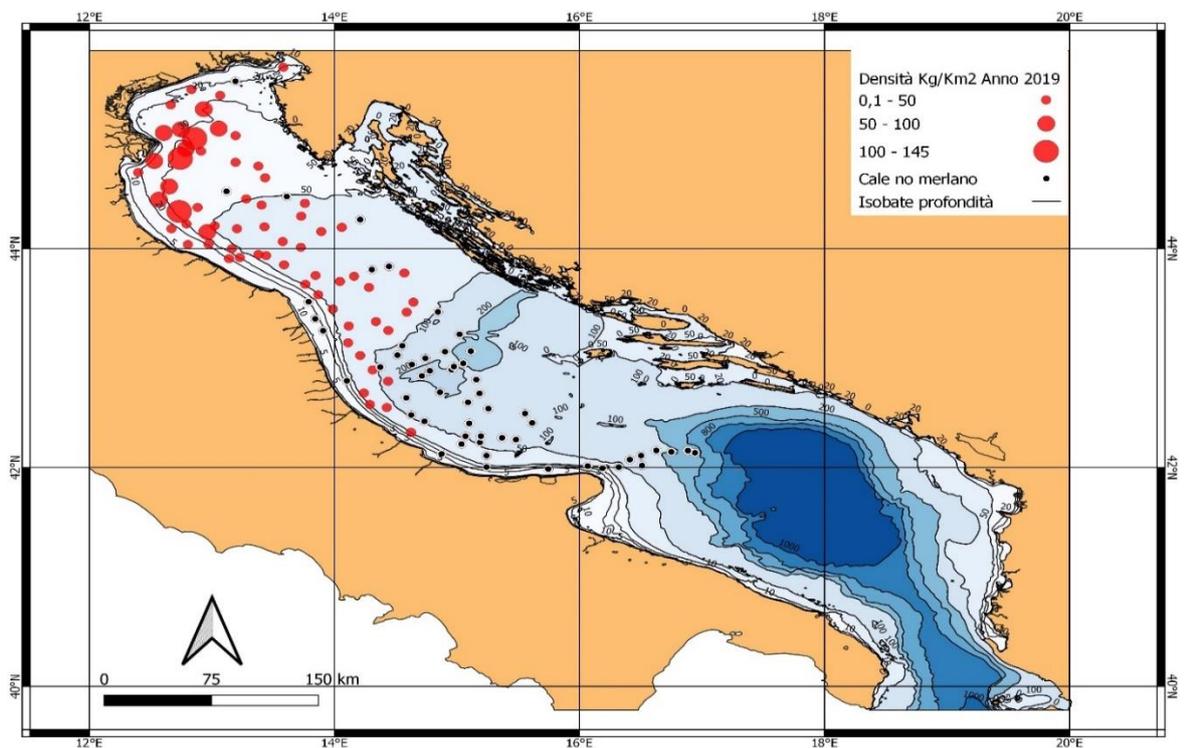


Figura XXII. Esiti cale 2019. I cerchi in rosso sono categorizzati in modo tale da essere dimensionalmente più grandi a valori di densità di *M. merlangus* maggiori. I cerchi neri indicano cale in cui non è stato catturato *M. merlangus*

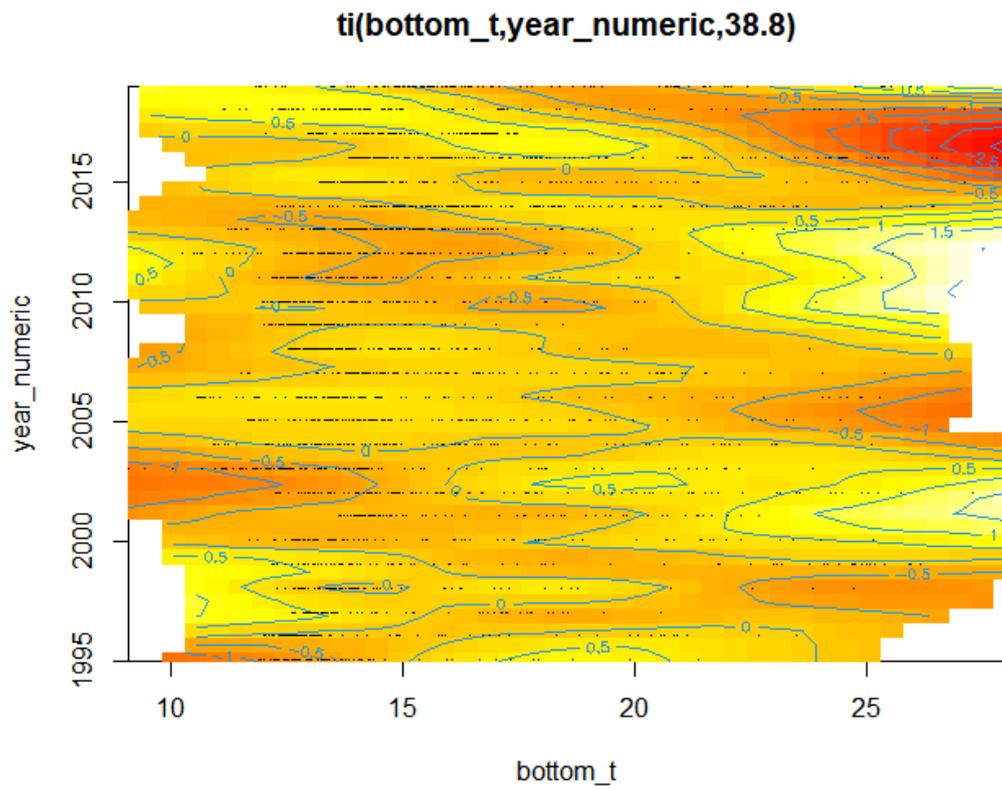


Figura XXIII Interazione fra anno e temperatura.

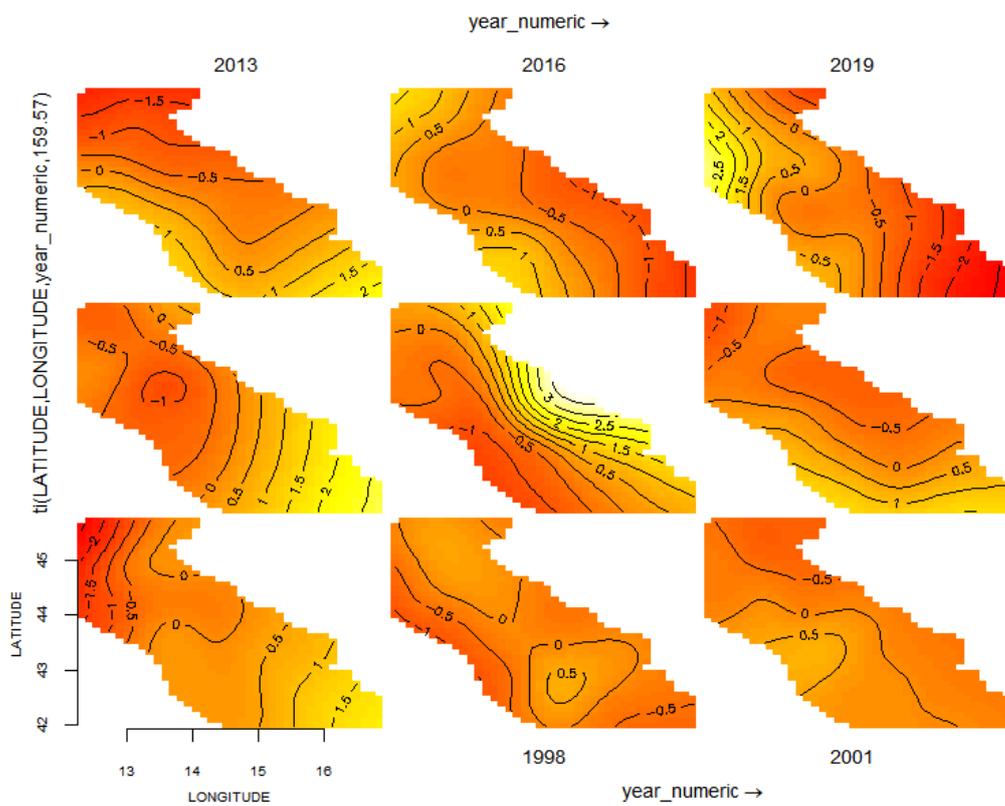


Figura XXIV Interazione fra spazio ed anni.

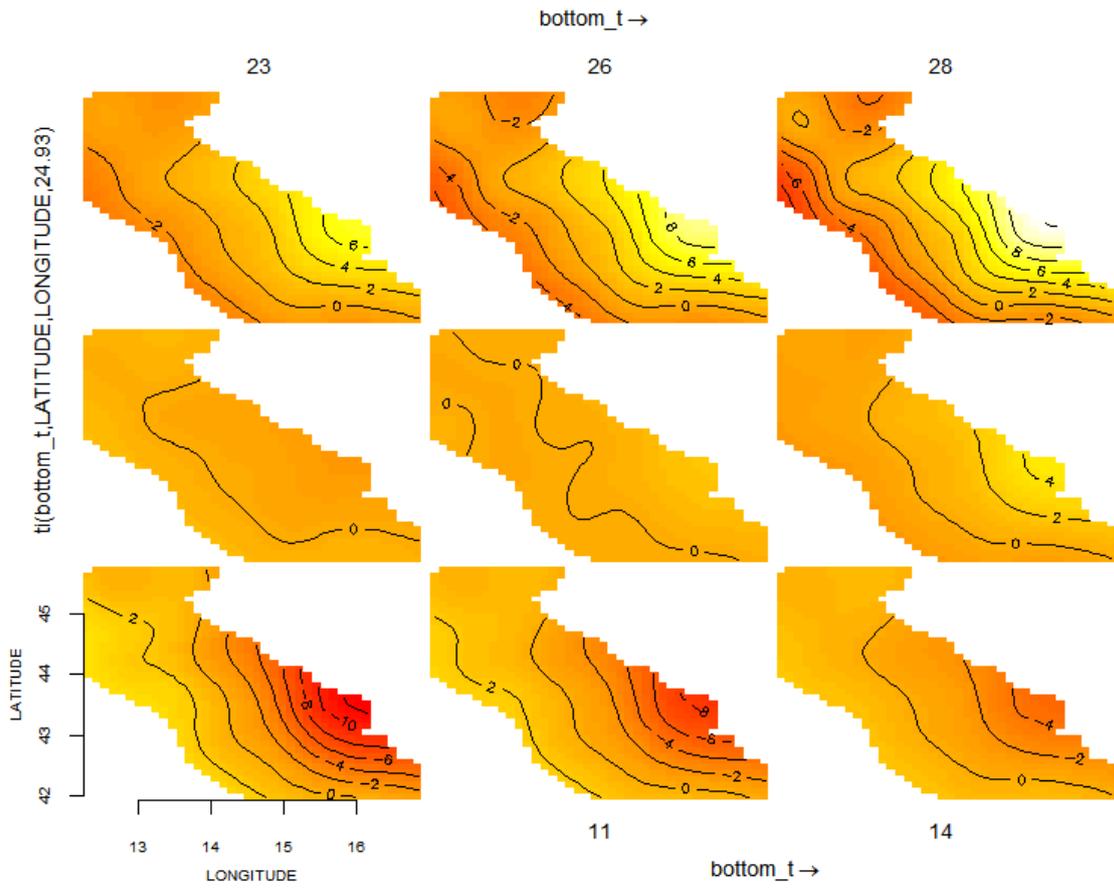


Figura XXV. Interazione fra spazio e temperatura