UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE

Corso di Laurea Magistrale

Biologia marina

Ecologia trofica del sugarello mediterraneo, *Trachurus mediterraneus*, nel Mar Adriatico centrale: approfondimenti dall'analisi del contenuto stomacale e degli isotopi stabili.

Trophic ecology of the Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus*, in the Central Adriatic Sea: insights from stomach content and stable isotope analyses.

Tesi di Laurea Magistrale
di:
Mario Agostino

Relatore
Chiar.mo Prof.ssa.
Emanuela Fanelli

Sessione Autunnale

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

RIASSUNTO 3

ABSTRACT 5

1. INTRODUZIONE 6

1.1 Dinamiche di una rete trofica 6

1.2 Piccoli pesci pelagici 9

1.3 Minacce e declino 11

1.4 Importanza nel Mediterraneo per i piccoli pelagici 15

1.5 Trachurus mediterraneus 16

1.5.1 Classificazione 16

1.5.2 Distribuzione 17

1.5.3 Biologia e riproduzione 18

1.5.4 Status nel Mediterraneo 20

1.5.5 La dieta del **T. mediterraneus** 23

1.6 Uso di analisi dei contenuti stomacali (Stomach content analysis o SCA) e degli isotopi stabili (Stable isotops analysis o SIA) nello studio dell'ecologia trofica 23

2. SCOPO DELLA TESI 26

3. MATERIALI E METODI 28

3.1 Area di studio 28

3.2 Campionamento degli individui di **T. mediterraneus** 29

3.4.1 Indici utilizzati per l'analisi dei contenuti stomacali 40

3.5 Analisi degli isotopi stabili (SIA) 42

3.6 Analisi statistiche 44

4. RISULTATI 47

4.1 Distribuzione delle taglie di T. mediterraneus nell'area di studio e in accordo ai due campionamenti 47

4.2 Analisi dei contenuti stomacali 52

4.2.1 Fullness 52

4.2.2 Risultati dell'analisi dei contenuti stomacali 56

4.2.3 Indice di Shannon 67

4.3 Risultati dell'analisi degli siotopi stabili (SIA) 70

5. DISCUSSIONE 77

5.2 Variazioni ontogenetiche e temporali della fullness 78

5.3 Variazioni ontogenetiche e temporali nella dieta di T. mediterraneus 79

5.6 Variazioni ontogenetiche e temporali nella composizione isotopica di T. mediterraneus 86

6. CONCLUSIONI 90

8. BIBLIOGRAFIA 92

9. SITOGRAFIA 103

RIASSUNTO

Il presente studio esamina la dieta di *Trachurus mediterraneus* nel Mar Adriatico centrale, lungo la costa marchigiana. I campionamenti sono stati effettuati durante due campagne di indagini ambientali: una in primavera 2019 e l'altra in inverno 2023. L'analisi comparativa dei dati ha considerato le variabili di area, stagione e taglia degli esemplari. I risultati indicano che la dieta di *T. mediterraneus* è costituita principalmente da copepodi planctonici, larve decapodi e teleostei. Nel campionamento del 2023, i copepodi sono emersi come prede predominanti, mentre nel 2019 si è osservata una prevalenza di crostacei, con particolare rilevanza per la famiglia Mysidae. In linea con studi precedenti, si è riscontrato che la composizione della dieta di *T. mediterraneus* varia significativamente in funzione della stagione, delle dimensioni degli individui e dell'area di campionamento. I risultati inerenti alle analisi isotopiche mostrano valori di $\delta^{15}N$ più elevati e di $\delta^{13}C$ più positivi negli esemplari raccolti nel 2023 rispetto a quelli del 2019. Per quanto concerne la taglia, sia gli individui campionati nel 2019 che nel 2023 hanno mostrato una composizione isotopica differente tra individui di piccola e grande taglia. Questa ricerca contribuisce ad ampliare le conoscenze

sull'ecologia trofica di questa specie nel Mar Adriatico, fornendo importanti informazioni per la comprensione delle dinamiche trofiche nell'ecosistema marino della regione.

ABSTRACT

This study investigates the diet of *Trachurus mediterraneus* in the central Adriatic Sea along the Marche coast, Italy. Sampling was conducted during two environmental surveys: one in spring 2019 and another in winter 2023. Comparative data analysis considered variables such as location, seasonality, and specimen size. Results indicate that the diet of *T. mediterraneus* primarily consists of planktonic copepod, decapod larvae, and teleosts. In the 2023 sampling, copepods emerged as the predominant prey, while the 2019 sampling showed a prevalence of crustaceans, with particular significance for the Mysidae family. Consistent with previous studies, the dietary composition of *T. mediterraneus* was found to vary significantly based on season, individual size, and sampling area. The results related to SIA showed higher $\delta^{15}N$ and more positive $\delta^{13}C$ values in the specimens collected in 2023 compared to those of 2019. As regards size, both the individuals sampled in 2019 and 2023 showed a different isotopic composition between small and large individuals. Overall, this research contributes to expanding knowledge on the trophic ecology of this species in the Adriatic Sea, providing valuable insights into the trophic dynamics of the region's marine ecosystem.

Capitolo primo

1. INTRODUZIONE

1.1 Dinamiche di una rete trofica

Un ecosistema è un sistema complesso e interconnesso costituito da una comunità di organismi viventi (biocenosi) che interagiscono tra loro e con l'ambiente non vivente (biotopo) in cui vivono (Jax, 2007).

L'equilibrio di un ecosistema dipende dalle interazioni biologiche che si instaurano tra gli organismi animali e vegetali che ne fanno parte e le caratteristiche chimico-fisiche dell'ambiente che li circonda. L'energia attraversa l'ecosistema, partendo dai produttori primari fino ai predatori apicali (Ripple et al., 2016). Ad ogni passaggio, una parte dell'energia viene assorbita dagli organismi presenti nel livello trofico successivo, strutturando così una catena alimentare, mentre la maggior parte (circa il 90%) viene dispersa, sotto forma di calore. La catena alimentare o trofica è una semplificazione del complesso di relazioni tra organismi che avvengono in natura, meglio rappresentate da una rete trofica (Figura 1). In questo sistema, le specie che vivono in un determinato habitat interagiscono tra loro per mantenere l'equilibrio ecologico. Ogni organismo svolge

un ruolo fondamentale all'interno di questa rete, interagendo con altri attraverso la competizione e la predazione (Scotti et al., 2009). Gli organismi ai livelli trofici superiori, come i consumatori primari e secondari, esercitano un controllo di tipo biologico sull'abbondanza degli organismi dei livelli inferiori come gli erbivori o i produttori primari (effetto *top-down*), mentre gli organismi ai livelli trofici inferiori esercitano un controllo su quelli superiori (*bottom-up*) (Hunt & McKinnell, 2006). Esiste invece una categoria di organismi (livelli trofici intermedi) che esercitano un controllo sia sui livelli inferiori che superiori (*wasp-waist*). Questi complessi meccanismi di regolazione aiutano a mantenere l'equilibrio all'interno dell'ecosistema, garantendo la sua stabilità nel tempo (Hunt & McKinnell, 2006).

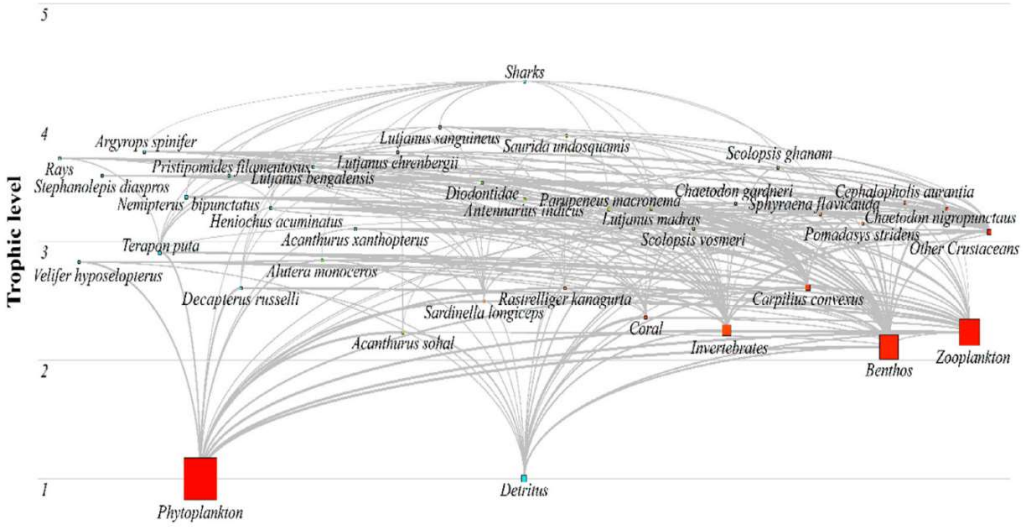


Figura 1. Schema generale di una rete trofica (Ismaili & Dutta, 2023).

Di rilevante importanza sono le specie che esercitano un impatto sproporzionato rispetto alla loro abbondanza, sulle popolazioni locali, e vengono chiamate "*keystone species*" (Sinclair, 2003). Un esempio è l'acciuga peruviana (*Engraulis ringens*), una specie molto importante a livello ecologico in quanto è preda di centinaia di specie dei livelli trofici superiori come grandi pesci, uccelli o mammiferi marini (Guadalupe & Zuta, 2000). L'acciuga peruviana vive nell'area centrale della costa peruviana caratterizzata dal passaggio della corrente di Humboldt, una corrente fredda che, insieme a fenomeni di *upwelling* costiero, rende quest'area una delle zone più produttive al mondo (IFFO, 2009). Questi processi ecologici sono disturbati però dal fenomeno di El Nino (ENSO) che interrompe i meccanismi di upwelling e provoca il riscaldamento delle acque alterando le caratteristiche fisiche e diminuendo drasticamente la produttività causando quindi un notevole impatto sulla popolazione dell'acciuga peruviana. La riduzione della loro popolazione modifica drasticamente la distribuzione verticale delle specie di livello trofico inferiore, andando a colpire gravemente, successivamente, i predatori come leoni marini e uccelli marini (UNDP & GEF, 2012). Ciò suggerisce che la rete alimentare dell'ecosistema abbia caratteristiche *bottom-up*, in quanto è fortemente dipendente dalle acciughe, la cui assenza non può essere compensata da nessuna specie autoctona o invasiva. Da queste

premesse si può facilmente intuire che la rimozione di un elemento della rete trofica avrà un determinato effetto a seconda del livello trofico di appartenenza e soprattutto se si tratta di una *keystone species* (Mills et al., 1993). In questo modo verrà compromessa anche la capacità da parte dell'ecosistema di fornire servizi essenziali, e la diminuzione delle specie ittiche potrebbe comportare ripercussioni negative sulla pesca e sull'economia (Chee, 2004).

1.2 Piccoli pesci pelagici

In molti ecosistemi marini altamente produttivi, e in particolare nelle regioni di *upwelling*, tende ad esserci un livello trofico intermedio, occupato da piccoli pesci pelagici, che è tipicamente dominato da una sola o al massimo da poche specie (nella maggior parte dei casi: acciughe *Engraulis* sp., sardine *Sardina* sp., sgombri *Scomber* sp. e sugarelli *Trachurus* sp.) che raggiungono grandi abbondanze (Bakun, 1996).

L'espressione "piccolo pesce pelagico" si riferisce più comunemente ai pesci epipelagici che formano banchi, caratterizzati da un'elevata mobilità orizzontale e verticale nelle zone costiere e che, da adulti, misurano in genere 10-30 cm di lunghezza.

Il "piccolo pesce pelagico" comprende specie come la sardina e l'acciuga che consumano fitoplancton e/o micro-meso-zooplancton, mentre il gruppo dei "pesci pelagici di medie dimensioni" comprende soprattutto specie di livelli trofici intermedi come sugarelli (*Trachurus* sp.), sgombri (*Scomber* sp.) e piccoli tonni costieri (*Thunnus* sp., *Sarda sarda*) (Fréon et al., 2005). Quando sono adulti predano principalmente macro-zooplancton, piccoli pesci e molluschi (Fréon et al., 2005). Questo gruppo di organismi è essenziale per l'ecosistema marino perchè, data la significativa biomassa che rappresentano ai livelli intermedi della rete alimentare, svolgono l'importante ruolo di trasferimento di energia dai livelli trofici inferiori a quelli superiori (*wasp-waist control*) (Cury et al., 2000). È stato dimostrato che cambiamenti nell'abbondanza di piccoli pesci pelagici possano avere effetti *top-down* sull'abbondanza e sulla struttura della comunità di zooplancton (Schwartzlose, 1999; Cury et al., 2000). Allo stesso tempo, esercitano anche un controllo importante sui loro predatori (*bottom-up*); uccelli marini, mammiferi marini e pesci di grandi dimensioni e rispondono direttamente alle variazioni di abbondanza dei pesci pelagici (Crawford and Dyer, 1995).

I piccoli pesci pelagici sono soggetti a notevoli fluttuazioni a causa della variabilità ambientale e del ciclo di vita relativamente breve (2-3 anni) (Palomera et al., 2007).

Studi sull'ecologia trofica delle specie appartenenti a questo livello trofico sono necessari per comprendere meglio sia l'ecologia delle specie che il funzionamento dell'ecosistema pelagico. Inoltre, possono rivelare potenziali variazioni ontogenetiche nella composizione della dieta in relazione a diversi parametri ambientali, quali temperatura, salinità, disponibilità di nutrienti o pressioni antropiche, quindi, sono essenziali per valutare la resilienza e la stabilità dell'ecosistema pelagico di fronte ai cambiamenti ambientali. La comprensione di queste dinamiche trofiche fornisce una base scientifica per implementare strategie di conservazione mirate ed efficaci, consentendo di intraprendere azioni adeguate a preservare la biodiversità e la funzionalità degli ecosistemi marini (Da Ros et al., 2023; Fanelli et al., 2023).

1.3 Minacce e declino

I piccoli pesci pelagici costituiscono il 25% della risorsa ittica marina sbarcata nel mondo (Hilborn et al., 2022). Gli sbarchi sono aumentati a partire dagli anni '60 grazie al miglioramento nell’efficienza degli attrezzi da pesca (Fortibuoni et al., 2017).

Gli sbarchi di piccoli pesci pelagici come acciughe, sardine e altri clupeidi non sono solo importanti per il consumo umano diretto, ma sono anche fondamentali per la produzione di farina di pesce e olio di pesce utilizzati nei mangimi agricoli o acquatici (FAO, 2016). Nonostante il loro valore commerciale sia generalmente basso, ovvero si aggiri attorno a 1,33 euro al kg all'ingrosso (https://sbt.astadelpesce.com/app/auction/status), i piccoli pesci pelagici rappresentano una fonte di reddito sostanziale per molti paesi in via di sviluppo, in particolare nelle quattro principali regioni di upwelling situate al confine orientale degli oceani Pacifico e Atlantico, grazie alla loro elevata abbondanza (Fréon et al., 2005). In queste regioni, alcune specie rappresentano la maggior parte della biomassa ittica totale. Molti esempi di collasso della pesca di piccoli pelagici si sono verificati nella seconda metà del XX secolo e, nella maggior parte dei casi, questi crolli sono stati chiaramente associati a un brusco declino della biomassa dello stock ittico corrispondente, con ritardi nella ripresa della pesca (Figura 2) (Fréon, 2005).

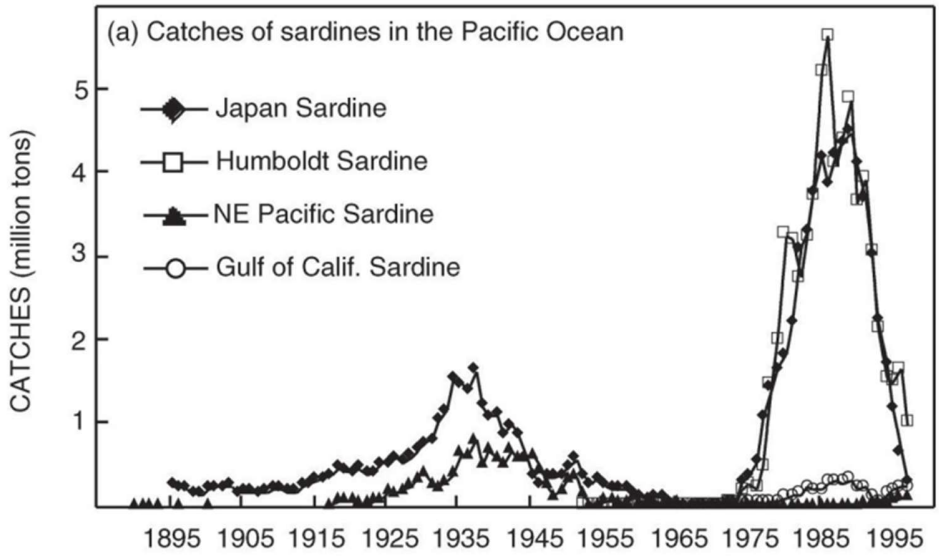


Figura 2. Fluttuazioni nelle catture di sardine nell'Oceano Pacifico (Fréon, 2005).

Una delle principali minacce è rappresentata dall'*overfishing*, ovvero la pesca su larga scala operata con attrezzature poco selettive (Shannon et al., 2007). L'*overfishing* si verifica quando le specie ittiche vengono catturate a un ritmo superiore alla loro capacità di riproduzione, causando a lungo termine una diminuzione delle popolazioni. Tra gli effetti provocati dall'*overfishing* troviamo la diminuzione della diversità, il declino del livello trofico medio (*Fishing down food web*) (Pauly et al., 1998) e lo *shift* nelle comunità marine (Shakouri et al., 2010). La pesca su larga scala provoca anche un eccessivo sfruttamento indiretto noto come *bycatch*, che consiste nella porzione di organismi (come squali, delfini,

tartarughe) che vengono catturati accidentalmente, assieme alla specie target, durante l'attività di pesca (Davies et al., 2009).

Un caso di collasso di uno stock ittico dovuto al sovrasfruttamento da parte delle attività di pesca è quello dell'acciuga peruviana (*E. ringens*) (Figura 3). Questo eccessivo sfruttamento dell'acciuga peruviana è divenuto ancor più pericoloso se associato anche al fenomeno di El Nino. Il crollo all'inizio degli anni '70 dimostra come un fenomeno naturale, insieme alla pesca eccessiva, può portare una risorsa fino all'esaurimento (Boerema & Gulland, 1973; Tsukuyama, 1983; Aranda, 2009).



*Figura 3. Pesca intensiva dell'acciuga peruviana (*E. ringens*). Credits: La Republica Peru. Fonte: http://larepublica.pe/turismo/rumbos-al-dia/756003-la-segunda-temporada-de-pesca-de-anchoveta-fue-un-error-segun-oceana*

Le dinamiche di popolazione dei piccoli pesci pelagici dipendono principalmente dalla velocità di crescita larvale e dal reclutamento (entrambi dipendenti dalla produttività dell'habitat) e dai cambiamenti nelle comunità planctoniche (Palomera et al., 2007). L'inquinamento, la distruzione e l'alterazione degli habitat e il cambiamento climatico giocano un ruolo significativo nel declino delle popolazioni (Dragičević et al., 2017).

1.4 Importanza nel Mediterraneo per i piccoli pelagici

Nel Mar Mediterraneo e nel Mar Nero i piccoli pesci pelagici sono le specie più importanti in termini di biomassa e interesse commerciale (FAO, 2018). Gli sbarchi sono dominati principalmente dall'acciuga europea (*Engraulis encrasicolus*) e dalla sardina (*Sardina pilchardus*), con, rispettivamente, 342 000 tonnellate e 141 400 tonnellate nel 2023 (FAO, 2023). Altri piccoli pesci pelagici come *Scomber* sp. e *Trachurus* sp. non sono un target per la maggior parte delle attività di pesca e rappresentano dal 4,5% nel Mediterraneo occidentale al 3,1% nel Mar Nero degli sbarchi (FAO, 2023). A livello Mediterraneo per queste specie sono disponibili pochi dati, nonostante rappresentino una risorsa economica cruciale per la pesca locale e su piccola scala (Da Ros et al., 2023).

1.5 Trachurus mediterraneus

1.5.1 Classificazione

Il sugarello mediterraneo, *Trachurus mediterraneus* (Steindachner 1868) (Figura 4), è un perciforme appartenente alla famiglia Carangidae (Rafinesque, 1815), che conta più di 140 specie in tutti i mari del mondo.



Figura 4. Trachurus mediterraneus.

https://www.colapisci.it/PescItalia/pisces/Carangiformes/Carangidae/SugarelloMaggiore.htm

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Superclass: Gnathostomata

Class: Actinopterygii

Order: Perciformes

Family: Carangidae

Genus: Trachurus

Species: *Trachurus mediterraneus*

1.5.2 Distribuzione

Questa specie è ampiamente distribuita nel Mar Nero, nel Mar di Marmara, nel Mediterraneo e nelle regioni centro-orientali e nord-orientali dell'Oceano Atlantico (Durrani & Seyhan, 2024) (Figura 5).

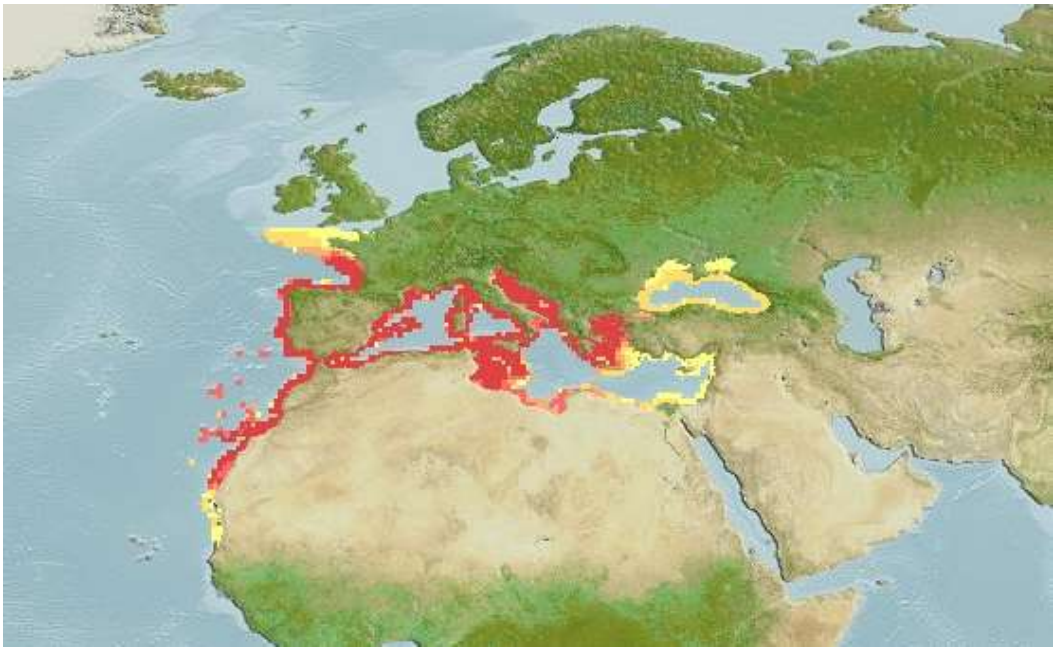


Figura 5. Distribuzione geografica del sugarello T. mediterraneus*. (da www.fishbase.se, ultimo accesso il 11.08.2024).*

1.5.3 Biologia e riproduzione

Il sugarello mediterraneo (Figura 6) presenta un corpo allungato, abbastanza compresso, una testa grande e la mascella inferiore sporgente. La parte superiore del corpo, così come quella della testa, ha un colore che varia dal nero al grigio al verde bluastro. Due terzi della parte ventrale, invece, sono solitamente più chiari, da biancastri ad argentei, con la pinna caudale giallastra. La lunghezza alla forca può raggiungere i 50 cm, anche se, comunemente, è compresa tra 10 e 30 cm (FAO, 2024).

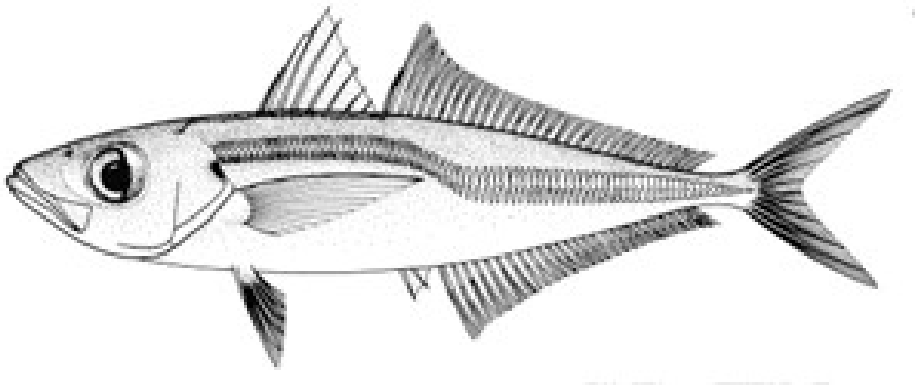


Figura 6. Morfologia di T. mediterraneus *(FAO 2024).*
(https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/2311/en)

Trachurus mediterraneus è una specie bentopelagica che occupa i livelli trofici intermedi nella catena alimentare e vive solitamente vicino al fondale, tra 5-250 m (FAO, 2024). Spesso si riunisce in banchi con altre specie dello stesso genere

(*T. trachurus* e *T. picturatus*) di solito in prossimità di fondali fangosi e sabbiosi (FAO, 2024; Ragonese et al., 2002). Si nutre principalmente di piccoli crostacei (copepodi), gamberetti e piccoli pesci (sardine, acciughe, ecc.); durante lo stadio giovanile si nutre principalmente di organismi zooplanctonici (Deudero e Morales-Nin, 2001; Šantić et al., 2004; Fernandez-Jover et al., 2007). È predato, a sua volta, da pesci più grandi come tonni (*Thunnus* sp.) o ricciole (*Seriola* sp.). Nel Mediterraneo, *T. mediterraneus* si riproduce durante la primavera e l'inizio dell'estate (Karlou-Riga, 2000; Raya e Sabatés, 2015).

Trachurus mediterraneus raggiunge la taglia di prima maturità sessuale L_{50} (lunghezza media alla quale il 50% degli individui di una popolazione raggiunge la maturità sessuale) tra circa 14,7 e 17,5 cm (Rodríguez-Castañeda et al., 2022), presenta una riproduzione gonocorica e manca di dimorfismo sessuale, deponendo le uova nel Mediterraneo durante la primavera e l'inizio dell'estate (Meléndez-Vallejo et al., 2017). Le uova sono pelagiche e quindi i giovanili possono essere trovati nell'ambiente pelagico in estate e all'inizio dell'autunno (FAO 2024; Mir-Arguimbau et al.,2019).

1.5.4 Status nel Mediterraneo

Negli ultimi anni questa specie ha ricevuto una certa attenzione per il suo ruolo ecologico nonostante non sia una delle principali specie target per la pesca nel Mediterraneo (Rumolo et al., 2017). Essendo i piccoli pelagici appartenenti ai livelli trofici intermedi, diversi autori hanno considerato l'influenza dei fattori ambientali (ad esempio, le zone di upwelling, la temperatura superficiale, il trasporto oceanico, la direzione del vento, la concentrazione di ossigeno) su aspetti bioecologici come il reclutamento, la distribuzione e la migrazione (Abaunza et al., 2008; Geist et al., 2014). Tuttavia, uno dei fattori principali che può influenzare il comportamento del sugherello potrebbe essere la disponibilità di cibo nel tempo e nello spazio, che a sua volta dipende dalle condizioni ambientali (Bayhan and Sever, 2009; Bode et al., 2006; Da Ros et al., 2023). Variazioni geografiche nella sua nicchia trofica possono verificarsi a causa dell'ampio sfruttamento dell'habitat (Bayhan and Sever, 2009; Bode et al., 2006).

Questa specie viene catturata principalmente tramite la pesca a strascico ma, essendo una specie bentopelagica, viene a contatto con altri settori della pesca, tra cui la pesca a circuizione e quella artigianale (Rumolo et al., 2017). Secondo i criteri delle 'Liste Rosse' dell'Unione Internazionale per la Conservazione della

Natura (IUCN, *International Union for Conservation of Nature*), questa specie è considerata come LC-*least concern,* poichè non vi è evidenza di un declino dello stato di conservazione della sua popolazione né di minacce specifiche sia a livello mediterraneo che globale (Relini & Lanteri, 2010; Smith-Vaniz et al., 2015), tuttavia, di solito viene sbarcato come categoria globale di *Trachurus* spp., di conseguenza c'è un'importante mancanza di dati biologici su questa specie (Rodríguez-Castañeda et al., 2022). Il contributo di *T. mediterraneus* alla pesca locale varia in base alla zona: esso rappresenta il 54% delle catture totali nel Mar Nero (2919 t), il 39% nel Mar di Marmara (562 t), il 4% nel Mar Egeo (247 t) e il 3% nel Mar Mediterraneo nord-orientale (272 t) (Turan, 2004). Le catture totali di *T. mediterraneus* sono drasticamente diminuite fino a quasi azzerarsi nel Mar Nero e nel Mar di Marmara nel 1988 a causa della pesca eccessiva degli anni precedenti (DIE, 2001). Nell'ultimo decennio, le catture di questa specie in Turchia hanno raggiunto il picco di 24.625 tonnellate nel 2012 e il minimo di 7495 tonnellate nel 2020. Tuttavia, si è registrato un aumento significativo nell'anno successivo, con le catture che hanno raggiunto le 19.590 tonnellate nel 2021 (FAO, 2023). Anche nell'Adriatico, uno dei mari del mondo caratterizzato dalla più alta pressione di pesca (Fanelli et al., 2023), *T. mediterraneus* è un importante risorsa oggetto di pesca, sia pelagica che demersale, con reti a circuizione, reti a strascico pelagiche

e demersali (Šantić et al., 2003), anche se c'è una grave mancanza di dati di sbarcato. La gestione della pesca di questa specie è praticamente assente. L'unica misura di gestione volta alla protezione della specie è il regolamento comunitario (Reg. CE 1967/2006) che stabilisce la taglia minima di cattura di 15 cm TL. Questa taglia è al di sotto della taglia di prima maturità sessuale; quindi, gli esemplari immaturi possono essere pescati legalmente. Lo stesso regolamento prevede dimensioni minime delle maglie per le reti da traino, che devono essere di 50 mm se quadrate o di 40 mm se romboidali, e una dimensione minima delle maglie per le reti a circuizione di 14 mm. Per i mari italiani, è prevista inoltre una normativa nazionale denominata "fermo pesca" (L. 19 luglio 1988, n. 278). Questo prevede un fermo annuale di circa un mese per diversi tipi di pesca professionale. Questo periodo varia a seconda delle zone, ma si verifica sempre nel periodo estivo, dalla seconda metà di luglio alla prima settimana di settembre. Pertanto, la riproduzione di *T. mediterraneus* è solo parzialmente protetta.

Finora questa specie è stata gestita come un unico stock, nonostante la presenza di più stock isolati nel Mediterraneo, nel Mar Nero e nelle regioni adiacenti (Durrani & Seyhan, 2024; Turan, 2021). Per un'efficace gestione della pesca e per l'attuazione di validi programmi di conservazione, è necessario approfondire la conoscenza del ruolo trofico della specie all'interno della rete trofica.

1.5.5 La dieta del T. mediterraneus

Da precedenti studi effettuati su analisi dei contenuti stomacali (SCA) di *T. mediterraneus* nel Mar Adriatico (Da Ros et al., 2023), è emerso che le prede più rappresentative sono copepodi pelagici (*Acartia* e *Euchaeta* spp.) nel nord e nel sud Adriatico e larve di *E. encrasicolus* nell'Adriatico centrale. Altre prede, come gli anfipodi, con alcuni taxa bentonici (Gammaridea) e pelagici (Hyperiidea), decapodi bentonici, come *Alpheus glaber* e *Philocheras bispinosus*, nonché misidiacei come *Siriella* sp. (soprattutto nell'Adriatico meridionale) sono anche presenti nella sua dieta. Prede di secondaria importanza sono invece piccoli bivalvi, gasteropodi, stomatopodi e alcuni Foraminiferi, probabilmnete ingeriti in modo accidentale insieme alle prede principali.

1.6 Uso di analisi dei contenuti stomacali (Stomach content analysis o SCA) e degli isotopi stabili (Stable isotops analysis o SIA) nello studio dell'ecologia trofica

Le relazioni trofiche e i rapporti preda-predatore negli ambienti marini sono sempre più studiati attraverso un approccio integrato che utilizza analisi degli isotopi stabili (SIA) e le analisi dei contenuti stomacali (SCA) (Caut et al., 2009;

Post et al., 2002; Vander Zanden et al., 1999). L'analisi dei contenuti stomacali riflette il cibo ingerito in un preciso punto nello spazio e in un tempo limitato, a causa dei rapidi tempi di digestione. Pertanto, fornisce solo un'istantanea delle abitudini alimentari della specie, mostrando l'ultimo cibo assunto e consentendo di conoscere quali prede sono state ingerite recentemente. Per questo motivo l'analisi SCA può offrire solo un'istantanea della dieta di un individuo in un tempo e in uno spazio precisi. L'analisi degli isotopi stabili (*Stable Isotope Analysis*, SIA) permette di ottenere informazioni sulla composizione della dieta e sull'origine della fonte di carbonio in un intervallo di tempo maggiore rispetto a SCA (mesi o anni) (Caut, 2009; Post 2002). Gli isotopi più frequentemente utilizzati per comprendere le dinamiche trofiche sono quelli del carbonio (^{13}C) e dell'azoto (^{15}N) (Vander Zanden e Rasmussen, 1999). Il valore dell'isotopo stabile dell'azoto ($\delta^{15}N$) fornisce informazioni integrate nel tempo, soprattutto se viene eseguito su tessuti a basso tasso di turn-over, come i muscoli (Caut, 2009; Post 2002). È un proxy del livello trofico di una specie, quindi può essere utilizzato per identificare la posizione di una specie all'interno della rete trofica (Post et al., 2002; Vander Zanden et al., 1999). Il valore dell'isotopo stabile del carbonio ($\delta^{13}C$) è più utile per determinare l'origine della fonte di carbonio di un organismo e per discriminare tra un'origine bentonica o pelagica, continentale o marina (Pinnegar

& Polunin, 2000; Vander Zanden et al., 1999). La differenza di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ tra i tessuti dei consumatori e la loro dieta è definita fattore di arricchimento trofico (TEF) e corrisponde a valori compresi tra 2,5 e 5‰ per il $\delta^{15}N$ e <1‰ per il $\delta^{13}C$ (Post et al., 2002; Vander Zanden et al., 1999). Per questo motivo, l'azoto è un proxy migliore per descrivere la posizione trofica di una specie rispetto al carbonio.

Con questo duplice approccio integrato, i meccanismi di ripartizione delle risorse, le relazioni preda-predatore e le dinamiche trofiche dei flussi energetici all'interno delle reti alimentari possono essere meglio compresi o addirittura completamente ribaltati.

Capitolo secondo

2. SCOPO DELLA TESI

Occupando i livelli trofici intermedi nella catena alimentare come già dimostrato (Albo-Puigserver et al., 2016; Da Ros et al., 2023), il ruolo trofico dei sugarelli ha un impatto significativo sull'equilibrio degli ecosistemi marini. Insieme a dati inerenti ai trend delle catture di questa specie negli ultimi anni, le informazioni sulla dieta dell'animale possono aiutarci a valutare misure di gestione di questa risorsa ittica che, nel futuro, potrebbe acquisire maggior valore commerciale nello scenario attuale dove le persone prestano sempre maggiore attenzione alla propria dieta scegliendo alimenti salutari, ed il pesce e gli altri prodotti della pesca, che sono ricchi di proteine e di acidi grassi insaturi, sono al primo posto tra questi alimenti. Diversi studi hanno evidenziato come *Trachurus* sp. contiene alti livelli di proteine e acidi grassi polinsaturi a catena lunga (n-3 PUFA) (Celik, 2008; Stolyhwo et al., 2006).

Considerato lo sfruttamento a fini commerciali di *T. mediterraneus* e il suo ruolo di mesopredatore nelle reti trofiche pelagiche, la presente tesi ha avuto come scopo quello di approfondire alcuni aspetti della sua ecologia trofica. In particolare, il presente studio, utilizzando un approccio integrato di analisi dei contenuti

stomacali (SCA) e degli isotopi stabili (SIA), ha analizzato le variazioni stagionali e ontogenetiche della dieta del sugarello mediterraneo (*T. mediterraneus*) nelle acque dell'Adriatico Centrale. In tale studio, inoltre, i campioni analizzati sono stati ottenuti da due diverse campagne di campionamento realizzate sia in periodi differenti dell'anno (primavera vs. inverno) e con due attrezzi diversi di campionamento (strascico pelagico vs. strascico di fondo), con lo scopo di analizzare l'intero range di taglia della specie, catturato dai due sistemi e nei due periodi.

Capitolo terzo

3. MATERIALI E METODI

3.1 Area di studio

Il Mare Adriatico è un bacino semichiuso all'interno del Mediterraneo che si estende dal Golfo di Trieste allo Stretto di Otranto e separa la penisola italiana dai Balcani (Russo & Artegiani, 1996). Circa il 74% del fondale del Mare Adriatico è costituito da una piattaforma continentale poco profonda (Danovaro & Boero, 2018). Ha una superficie di circa 138000 km^2 (Buljan e Zore-Armanda, 1976) e può esser suddiviso in sottobacini: settentrionale e centrale dove la profondità del fondale non supera, rispettivamente, i 75-100 metri ad eccezione della fossa di Pomo (200-260 m) nell'Adriatico centrale e Adriatico meridionale con profondità massima di 1223 metri. Il Mare Adriatico è una delle regioni più produttive dell'intero Mediterraneo grazie anche alla presenza di uno degli affluenti più importanti del Mediterraneo, il fiume Po, che influenza notevolmente la produttività dell'ecosistema marino adriatico, la struttura della rete trofica e la biomassa (Marini et al., 2008).

Questo studio è stato svolto nell'Adriatico settentrionale, ovvero nella *Geographic Sub-Area*- GSA – 17, secondo la suddivisione della GFCM (*General Fisheries Commission for the Mediterranean*) (Figura 7).

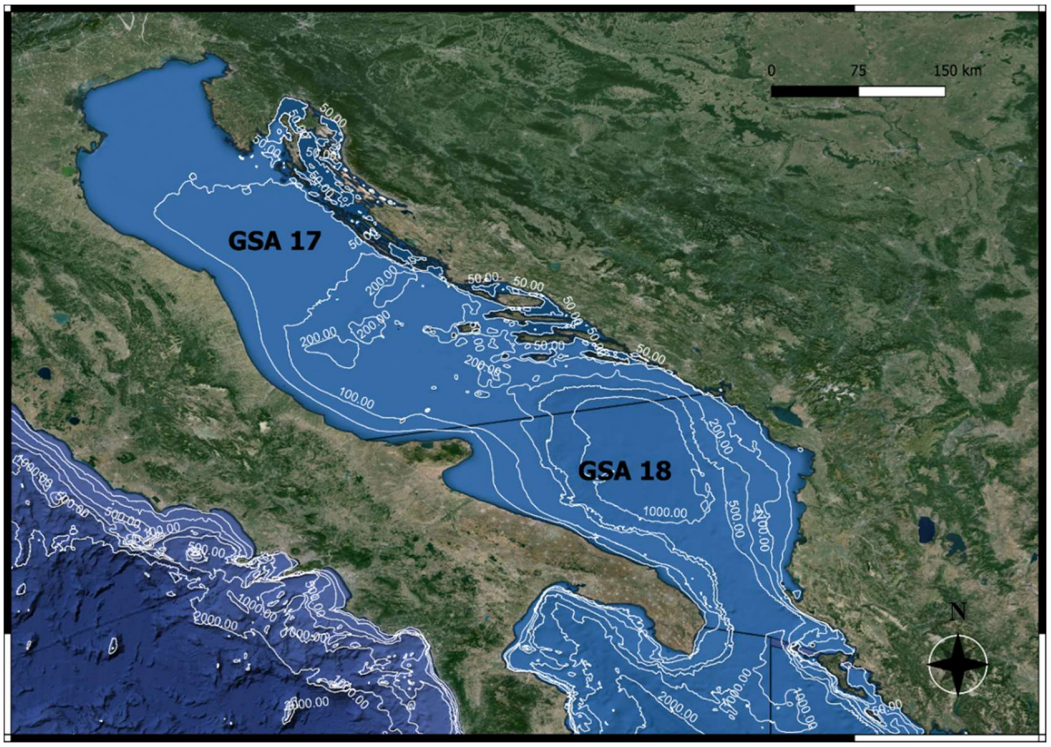


Figura 7. Mar Adriatico con batimetria e suddivisione GFCM in GSA 17 e GSA 18 (da QGIS).

3.2 Campionamento degli individui di T. mediterraneus

I campioni utilizzati in questo studio sono stati raccolti durante due campagne di campionamento.

La prima campagna è stata realizzata nel 2019, nell'ambito del progetto MEDIAS (Mediterranean International Acoustic Survey). Durante la campagna MEDIAS i rilievi nei settori occidentali italiani delle GSA 17 e 18 sono stati effettuati dal CNR-IRBIM di Ancona. Gli individui di *T. mediterraneus* utilizzati in questo studio sono stati raccolti in 3 cale (CA19, CA20, CA24) (Figura 8) svolte nell'area tra Pesaro e Portonovo, nella GSA 17, per poi essere analizzati e confrontati con la seconda campagna (ARPAM 2023).

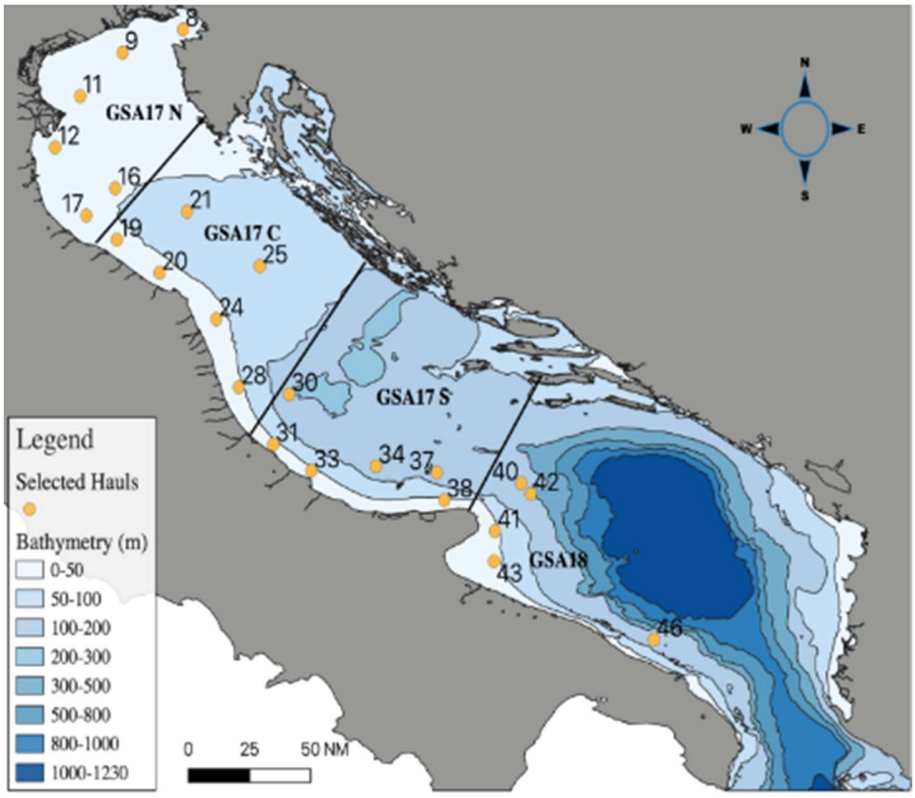


Figura 8. Subaree GSA 17 e 18 e relative cale svolte nell'ambito del progetto MEDIAS.

La velocità dell'imbarcazione durante la cala era di 8-10 nodi. Le cale, effettuate con rete a strascico pelagica con dimensione massima della maglia del sacco pari a 24 mm (lato della maglia pari a 12 mm), vengono precedute da rilievo acustico con ecoscandaglio a 38 kHz (http://www.medias-project.eu/medias/website/). I dati acustici sono stati raccolti seguendo un disegno di campionamento lungo una traiettoria di transetti paralleli, perpendicolari alla linea di costa, che partono da 10-15 metri di profondità e terminano a 200 metri di profondità o all'altezza dell'Adriatico per le aree meno profonde (Figura 9) (MEDIAS, 2019).

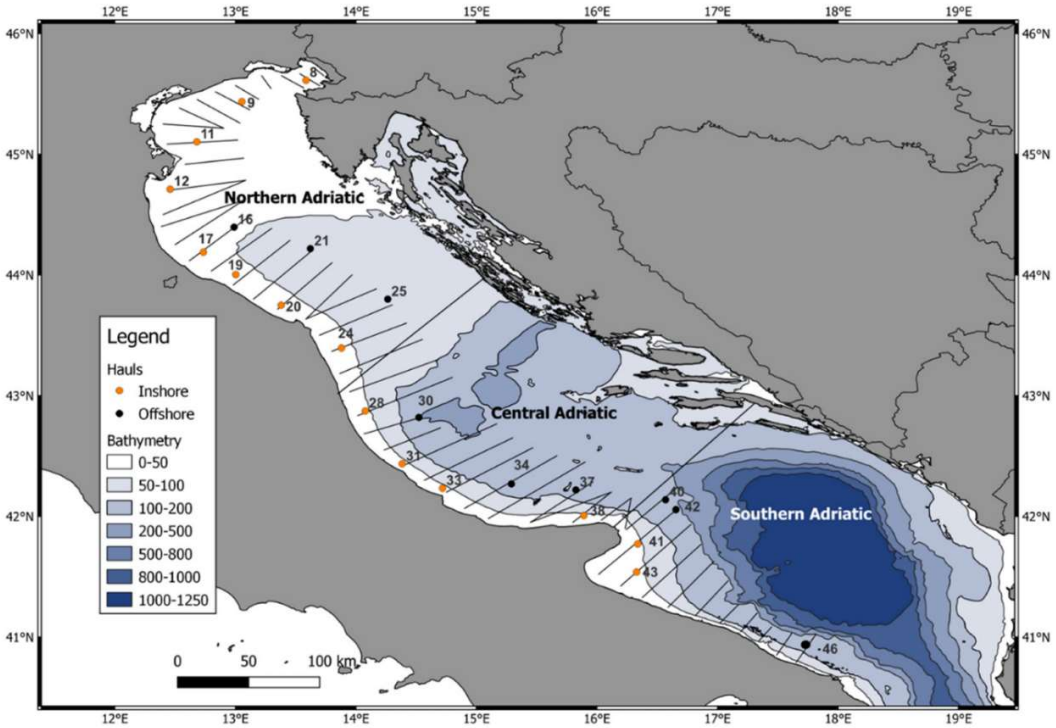


Figura 9. Numero di cale effettuate nella GSA 17 e 18 nell'ambito del progetto MEDIAS. Le linee nere rappresentano i transetti svolti per il campionamento acustico (Da Ros et al., 2023).

Il totale delle catture di ogni retata è stato pesato, misurato, diviso per specie e congelato immediatamente a bordo a -20°. Da questo campionamento sono stati ottenuti i 37 individui di *T. mediterraneus* impiegati in questo studio.

La seconda campagna si è svolta nel 2023, nell'ambito di una indagine più ampia realizzata presso le acque territoriali prospicienti la Regione Marche in applicazione dell'art. 11 del D.Lgs 190/10 (Marine Strategy Framework Directive, MSFD). Durante questa campagna sono state realizzate 18 cale con peschereccio professionale a strascico in 2 aree (5 Km x 5 Km) prospicienti il litorale anconetano e nello specifico, una prima area di fronte Ancona (AI_1 ANCONA) (AN) e la seconda di fronte Portonovo (AI_2 PORTONOVO) (PN) (Figura 10).

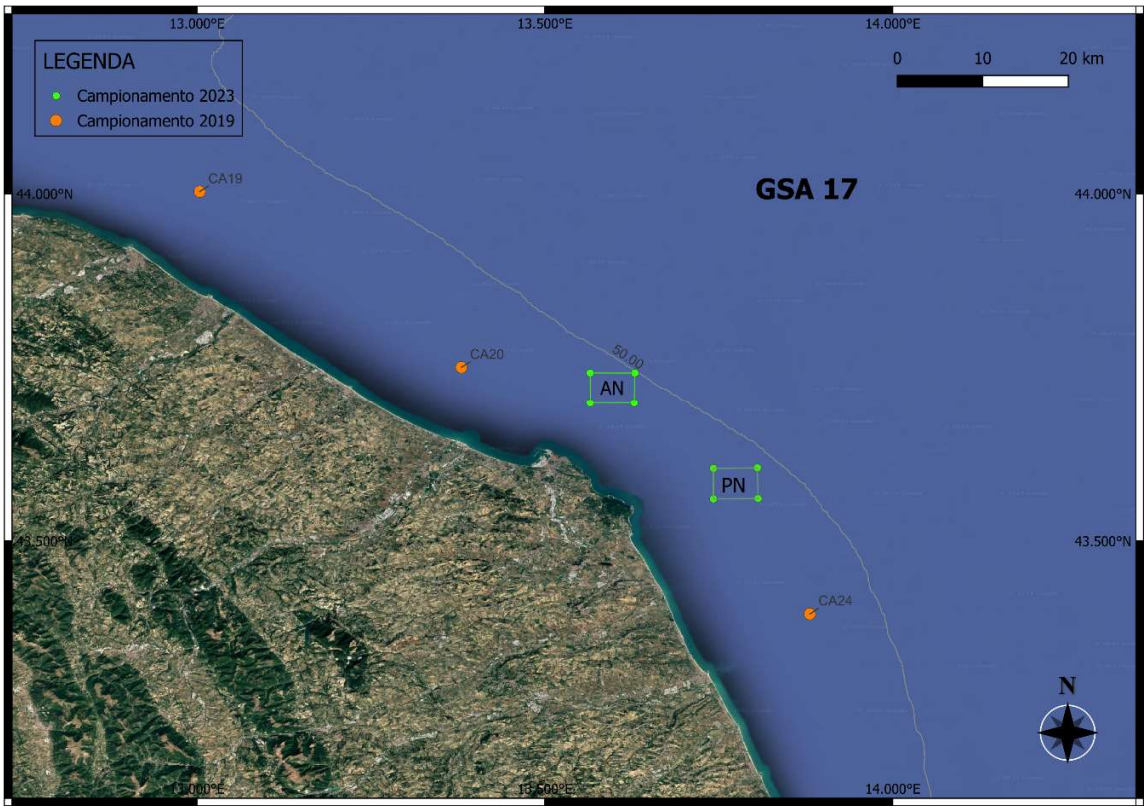
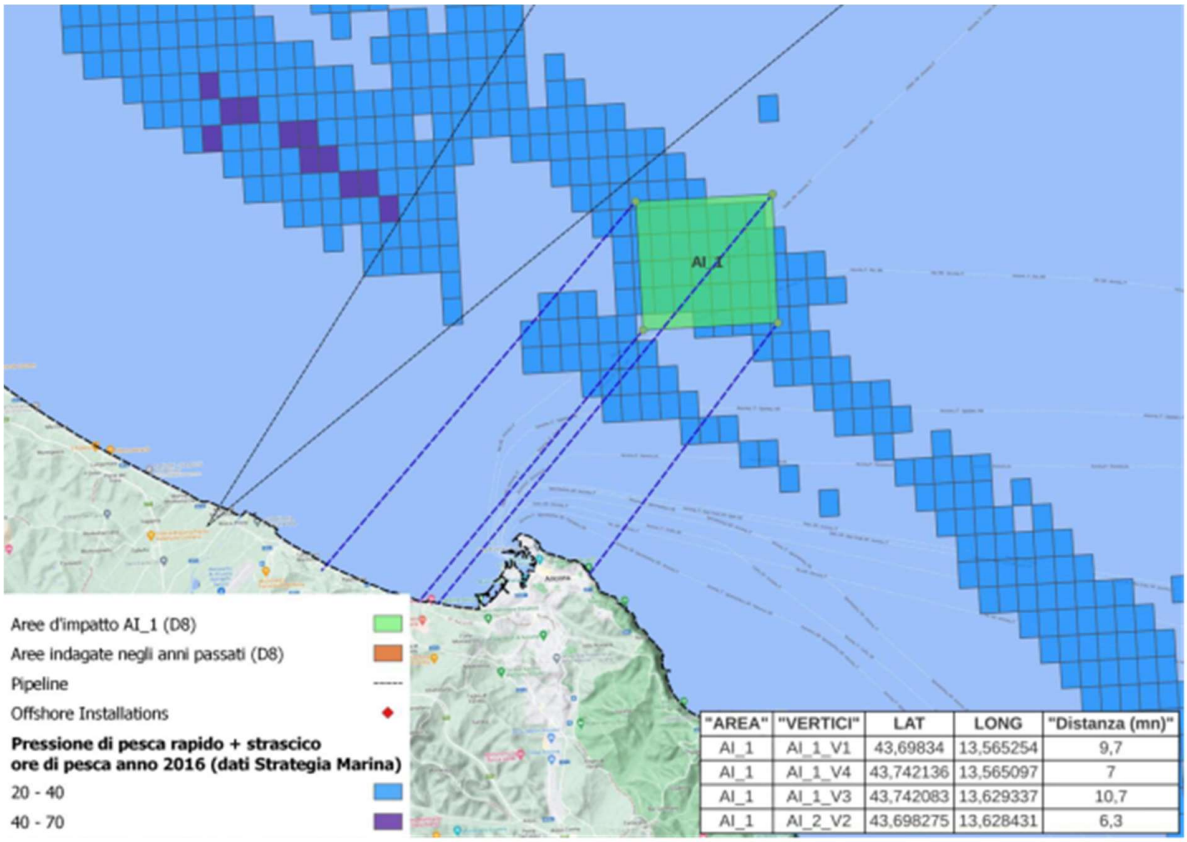


Figura 10. Mappa delle cale del campionamento 2019 e 2023 (da QGIS).

L'area AI_1 ANCONA (AN) è situata al largo del porto di Ancona mentre la seconda area di indagine è localizzata a largo di Portonovo (PN). Entrambe le aree sono caratterizzate da un'alta-media attività di pesca (Figura 11 e 12).



"AREA"	"VERTICI"	LAT	LONG	"Distanza (mn)"
AI_1	AI_1_V1	43,69834	13,565254	9,7
AI_1	AI_1_V4	43,742136	13,565097	7
AI_1	AI_1_V3	43,742083	13,629337	10,7
AI_1	AI_2_V2	43,698275	13,628431	6,3

Figura 11. Mappa della pressione di pesca nell'area di indagine AI_1 ANCONA.

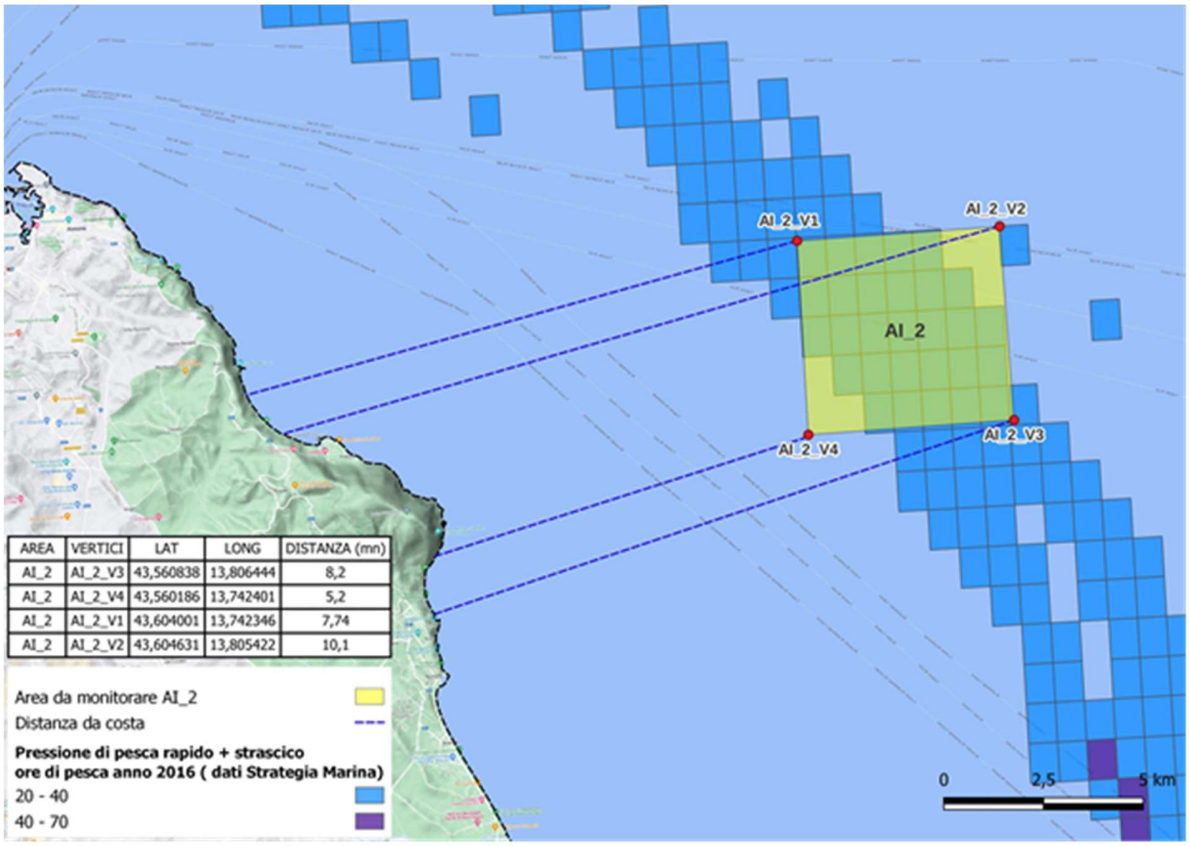


Figura 12. Mappa della pressione di pesca nell'area di indagine AI_2 PORTONOVO.

Il campionamento di *Trachurus* e di epimegabenthos (oggetto della campagna dell'ARPAM, non inserito in questa tesi) è stato eseguito con rete a strascico demersale a divergenti con sacco a maglia a losanga di 50 mm (25 mm di lato) (Fig. 9), a bordo del M/P Airone Bianco II di Lunghezza Fuori Tutto (LFT) pari a 25 m, larghezza pari a 7 m, di stanza ad Ancona (Figura 13). Ogni calata è stata effettuata ad una velocità massima di 3/4 nodi con durata di 30 minuti.

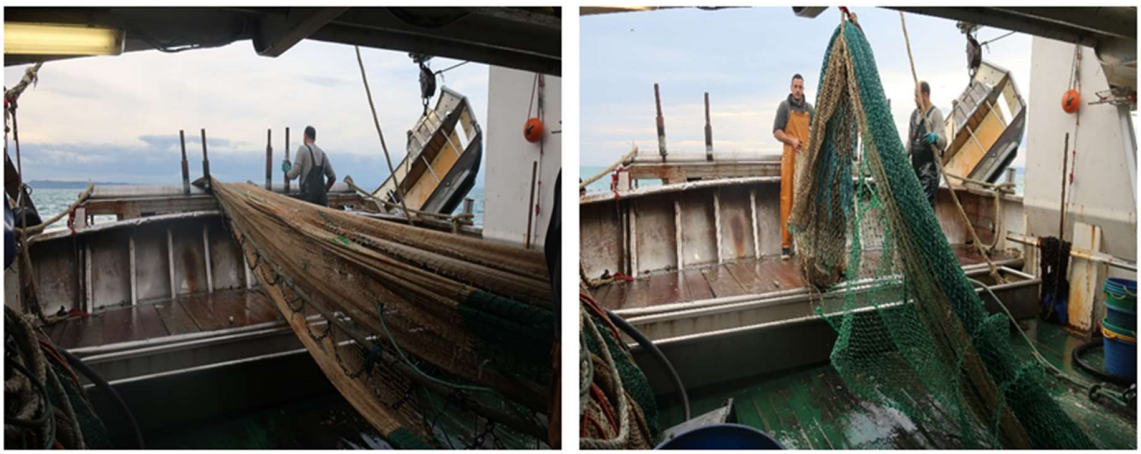


Figura 13. Campionamento con la rete a strascico demersale.

Il materiale prelevato ad ogni calata è stato diviso in varie coffe (peso della tara: 1 Kg) (Figura 14), ognuna delle quali è stata pesata con un dinamometro; le singole masse sono poi state sommate per ottenere il peso della cattura totale. Il materiale così raccolto è stato riversato su un bancone da lavoro ed è stato separato in due frazioni: “scarto” (epimegabenthos) e “commerciale”.



Figura 14. Nelle due immagini in alto vengono riportate la calata AN 03 (peso totale 34 Kg) (a sinistra) e calata AN 09 (peso totale 35 Kg) (a destra) condotte all'interno dell'area AI_1 ANCONA. Nelle due immagini in basso la calata PN 08 (peso totale 52,5 Kg) (a sinistra) e calata PN 09 (peso totale 53 Kg) (a destra) condotte all'interno dell'area AI_2 PORTONOVO.

I campioni di specie commerciali e di epimegabenthos così raccolti sono stati conservati in una camera refrigerata posta presso l'Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, a -20 °C, fino all'inizio delle analisi in laboratorio.

Dalla frazione commerciale, sono stati ottenuti un totale di 190 individui di *T. mediterraneus*, 160 provenienti dalla stazione di Ancona e 30 da quella di Portonovo.

3.3 Analisi dei dati: distribuzione di frequenza delle lunghezze

L'analisi della distribuzione di frequenza delle lunghezze (*length-frequency distribution*) è stata condotta tenendo in considerazione la lunghezza totale (TL) degli individui catturati al fine di valutare la distribuzione per taglie degli esemplari totali ottenuti in entrambi i campionamenti del 2019-2023. Successivamente, questa analisi è stata effettuata separatamente per i due campionamenti, ovvero quello del 2019 e del 2023 e nelle diverse aree campionate nel 2023, Ancona e Portonovo.

3.4 Analisi dei contenuti stomacali (SCA)

Le analisi SCA sono state eseguite su un totale di 129 individui (37 da MEDIAS2019 e 92 da ARPAM2023).

In particolare, per il campionamento del 2023 sono stati analizzati 62 individui dall'area di Ancona e 30 da Portonovo.

Lo stomaco di ogni esemplare è stato pesato (g) e, successivamente, svuotato; il contenuto è stato riversato su una Petri.

La parete dello stomaco è stata pesata e il peso del contenuto dello stomaco è stato ottenuto sottraendo il peso della parete da quello totale, successivamente è stato utilizzato per calcolare la fullness con la seguente formula:

$$\%FULLNESS = \frac{stomach\ content\ weight}{body\ \ weight} * 100$$

Le prede trovate in ogni stomaco sono state accuratamente separate, pesate e identificate al più basso livello tassonomico possibile con l'aiuto di uno stereomicroscopio ZEISS "Stemi 305" interfacciato con fotocamera Axion 208 (Figura 15) e con l'utilizzo dei seguenti manuali e siti:

- Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, *72*(S1), 7-198.

- D. L. Williamson (1957) Crustacea, Decapoda: Larvae. Conseil International Pour l'Exploration de la Mer.

-AFORO (Shape Analysis of Fish Otoliths) http://aforo.cmima.csic.es/

-WORMS (World Register of Marine Species) https://www.marinespecies.org/



Figura 15. Stereomicroscopio ZEISS "Stemi 305" con fotocamera axion 208

Gli individui di ogni taxon identificato sono stati contati. Ogni volta che sono stati trovati dei frammenti, il numero di individui è stato registrato come il numero più piccolo per non sovrastimare la presenza di prede. Quando non è stato possibile pesare separatamente tutte le prede trovate, la percentuale di volume dei contenuti stomacali è stata stimata utilizzando il metodo soggettivo dei punti (Swynnerton & Worthington, 1940) per le diverse specie di prede o gruppi di prede

3.4.1 Indici utilizzati per l'analisi dei contenuti stomacali

Al termine dell'analisi del contenuto stomacale sono stati utilizzati i seguenti indici per esprimere quantitativamente l'importanza delle diverse prede nella dieta:

1. Percentuale di peso della preda (%W)

$$\%W = \frac{Weight\ of\ prey\ i}{Total\ weight\ of\ all\ prey} X100$$

2. Percentuale dell'abbondanza numerica della preda (%N)

$$\%N = \frac{Number\ of\ prey\ i}{Total\ number\ of\ prey} X100$$

3. Frequenza della preda (%F)

$$\%F = \frac{Weight\ of\ prey\ i}{Total\ weight\ of\ all\ prey} X100$$

Questi tre indici vengono utilizzati per calcolare l'indice di importanza relativa (% IRI) per ogni gruppo di prede e utilizzato per valutare quelle preferite nella dieta secondo la seguente formula (Pinkas et al., 1971):

IRI = (%N + % W)* %F

Questo indice viene espresso come:

$$\% IRI = \left(\frac{IRI}{\Sigma IRI}\right) * 100$$

È stato calcolato anche l'indice di diversità trofica utilizzando l'equazione di Shannon-Wiener (H') (Shannon & Weaver, 1949):

$$H' = \sum p_i \log p_i$$

dove pi è la proporzione di una specifica categoria di preda per le n categorie di prede elencate.

3.5 Analisi degli isotopi stabili (SIA)

Le analisi SIA sono state eseguite su un totale di 45 individui, 15 dal campionamento MEDIAS 2019, 30 dal campionamento ARPAM 2023 selezionati casualmente tra quelli appartenenti alle due classi di taglia (piccoli e grandi – di cui 20 dal campione di Ancona e 10 da quello di Portonovo).

Per ogni individuo selezionato sono stati prelevati circa 5 mg di tessuto dal muscolo dorsale. Inizialmente i campioni sono stati conservati in camera fredda a -20°C. Successivamente sono stati scongelati, inseriti in Eppendorf e lasciati essiccare per circa 24 ore in una stufa (marca Reciterm) a 60°C. I campioni così seccati sono stati macinati fino a polvere fine utilizzando un mortaio e 0.9-1,2 mg sono stati inseriti in apposite capsule di stagno (Elemental Microanalysis D1002)

e pesati tramite una bilancia analitica (Radwag Wagi Elektroniczne, modello AS 60/220/C/2) (Figura 16).

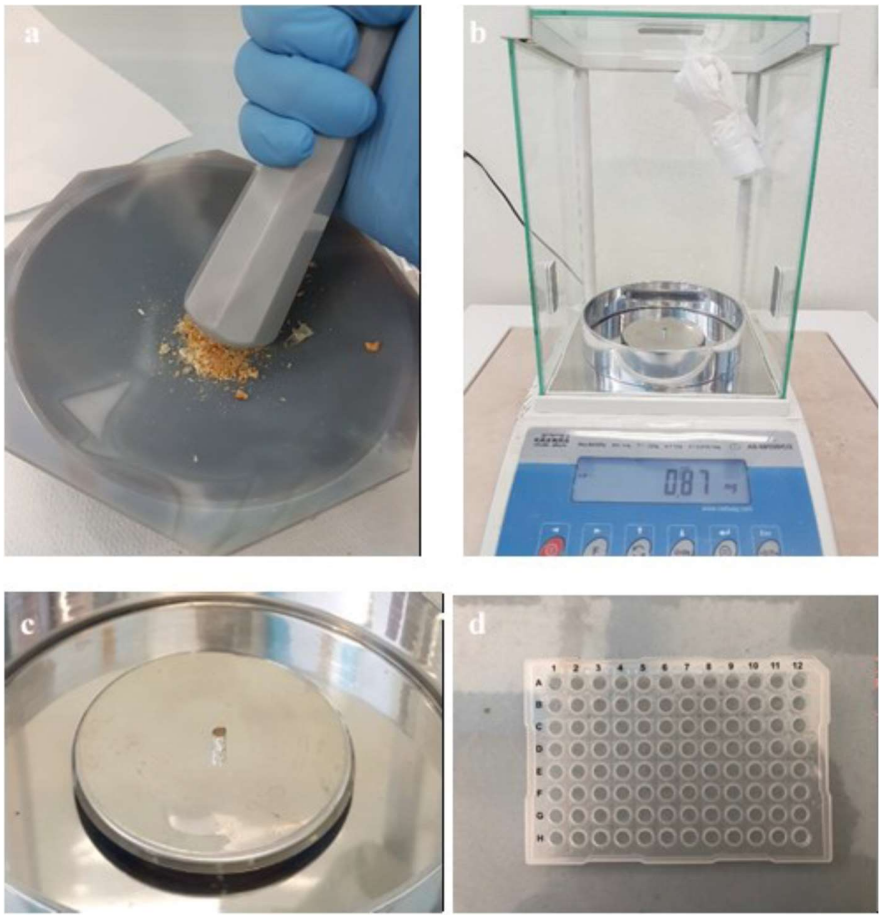


Figura 16. Preparazione campione per analisi isotopiche: a) porzione di muscolo nel mortaio; b) bilancia analitica; c) capsula in stagno dove viene inserito il campione; d) rastrelliera numerata contenente le capsule in stagno.

I valori di $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ sono stati ottenuti in parti per mille (‰) relativi agli standard Vienna Pee Dee Belemnite (vPDB) e N2 atmosferico, rispettivamente, secondo la seguente formula:

$\delta^{13}C$ o $\delta^{15}N$: $[(R_{campione}/R_{standard}) -1)]10^3$, dove R = $^{13}C/^{12}C$ o $^{15}N/^{14}N$

3.6 Analisi statistiche

I dati ottenuti dal presente studio condotto sulla specie *T. mediterraneus* sono stati analizzati mediante analisi univariate e multivariate.

Prima sono stati analizzati i dati provenienti dal campionamento più recente e successivamente sono stati integrati con i dati del campionamento del 2019 per il loro confronto.

Sia per il primo set di dati (campionamento 2023), che per il secondo (campionamento 2019), il disegno statistico utilizzato sulle analisi univariate e multivariate è stato un disegno a due fattori fissi: taglia con due livelli (piccoli e grandi) e area con due livelli (Ancona e Portonovo). L'analisi univariata PERMANOVA (Anderson et al., 2008) è stata condotta sui valori di fullness trasformati tramite funzione arcsine, e sull'indice di Shannon utilizzando, in entrambi i casi, una matrice di distanza Euclidea ed il metodo "Permutation of residuals under a reduced model" per la permutazione. Le analisi multivariate condotte sui contenuti stomacali (preventivamente trasformati con radice quarta) sono state effettuate sulla matrice di dissimilarità ottenuta con la distanza Bray-Curtis. La trasformazione con radice quarta è considerata la più appropriata per i dati di biomassa (Clarke e Warwick, 1995; Anderson *et al.*, 2008) perché riduce

l'eccessivo contributo di specie altamente abbondanti. I taxa meno rappresentati (%W < 1%) sono stati accorpati a taxa di livello tassonomico più alto e sono stati trasformati tramite funzione.

È stata condotta un nMDS (ridimensionamento multidimensionale non metrico), che rappresenta i campioni come punti nello spazio; più vicini sono i punti, maggiore sarà la loro similarità, mentre punti distanti indicano che i campioni sono diversi (Gorley, 2006). È stata poi eseguita l'Analisi Canonica delle Coordinate Principali (CAP, Anderson *et al.*, 2008), sul fattore risultante significativo dai risultati della PERMANOVA, al fine di visualizzare la separazione tra i campioni sulla base di fattori putativi (lungo i due assi). Successivamente, è stata condotta un'analisi SIMPER, mediante l'indice di similarità di Bray-Curtis, per determinare i taxa che maggiormente hanno contribuito alla similarità e alla dissimilarità della dieta tra diversi livelli dei fattori descritti sopra. Per i dati isotopici, la PERMANOVA è stata condotta utilizzando una matrice di distanza Euclidea calcolata tenendo conto dei dati non trasformati.

Sia per le analisi univariate che multivariate è stato applicato il metodo di Monte Carlo per il calcolo del p-value. Le differenze sono state valutate come significative per valori di $P<0,05$. I valori P sono stati ottenuti utilizzando un numero di permutazioni uguale a 9999. Quando tramite il test principale

PERMANOVA, uno o più fattori risultavano essere significativi, si è proceduto con il confronto a coppie (pairwise) per approfondire la significatività delle differenze tra i valori.

Successivamente, sono stati confrontati i dati del 2023 con quelli del 2019, relativi a fullness, analisi dei contenuti stomacali e analisi degli isotopi stabili, tenendo in considerazione il fatto che i due campionamenti sono stati condotti in due stagioni differenti. In questo caso è stato utilizzato un disegno costruito con fattore fisso, ovvero il fattore stagione/campionamento con 2 livelli (inverno e primavera, corrispodnenti anche a strascico di fondo vs. strascico pelagico). In questo caso è stata considerata la matrice di dissimilarità di Bray-Curtis ed è stato utilizzato l'"Unrestricted permutation of raw data" come metodo di permutazione.

Tutte le analisi statistiche (univariate e multivariate) sono state eseguite con il software PRIMER6 e PERMANOVA+ (Clarke e Warwick, 2001; Anderson *et al.*, 2008).

Capitolo quarto

4. RISULTATI

4.1 Distribuzione delle taglie di T. mediterraneus nell'area di studio e in accordo ai due campionamenti

L'analisi della distribuzione di frequenza delle lunghezze sulle taglie di tutti gli individui di *T. mediterraneus* (129 individui totali) considerati in questo studio ha mostrato che circa la metà degli animali ha una taglia compresa tra 19 e 20 cm (Figura 17).

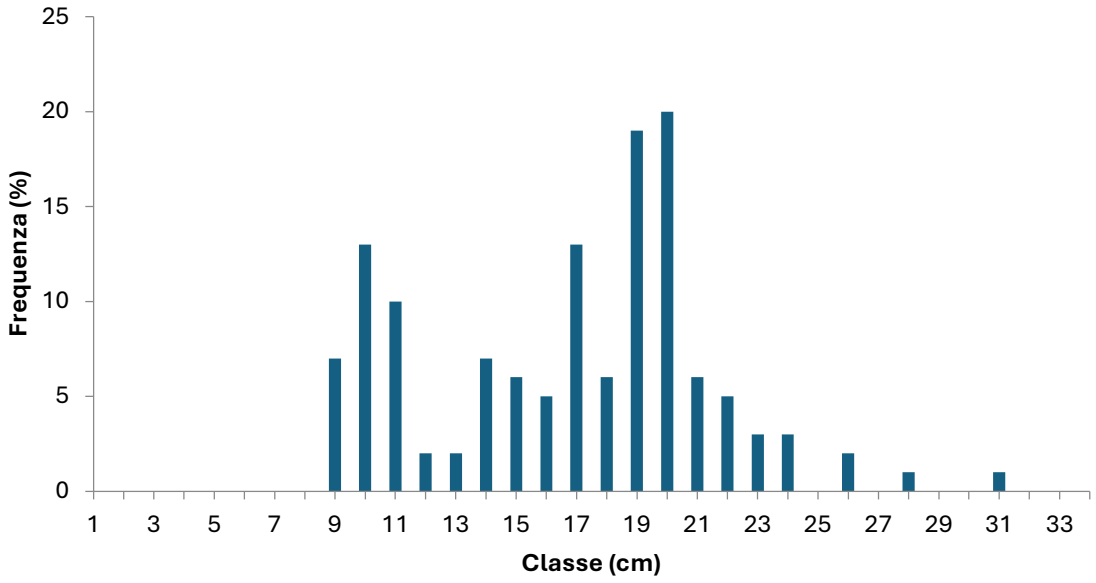


Figura 17. Distribuzione delle taglie dei 129 individui totali provenienti dai campionamenti 2019-2023.

Questa analisi ha permesso di suddividere gli esemplari raccolti in due classi di taglia: piccola (TL ≤ 17.3 cm) e grande (TL>17.3 cm).

Considerando gli organismi campionati nel 2023 (92 individui), le classi di taglia più rappresentate sono quella di 10 cm tra gli individui di taglia piccola e 19-20 cm tra quelli di taglia grande (Figura 18).

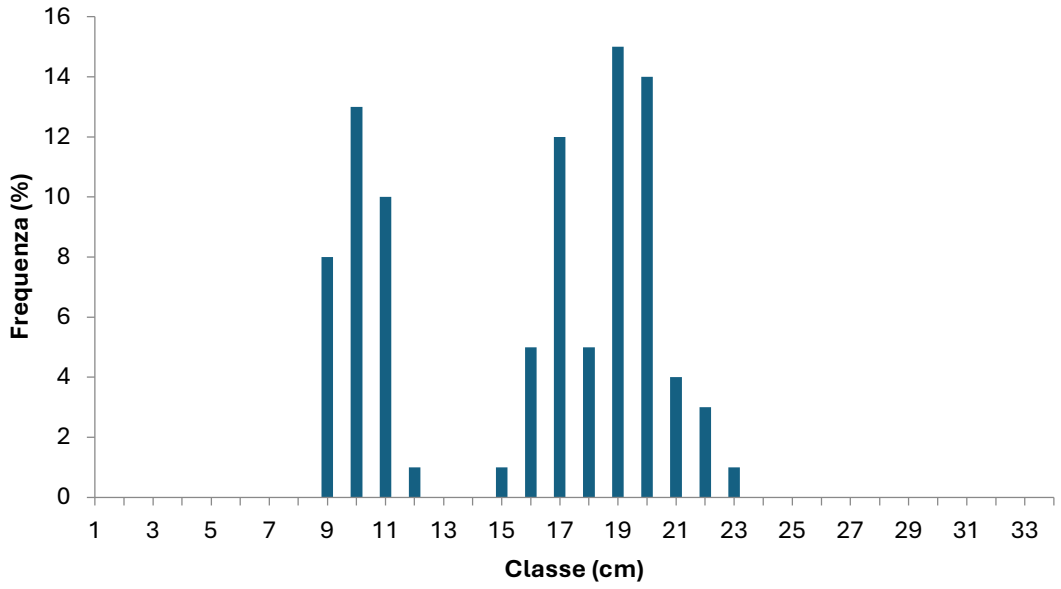


Figura 18. Distribuzione delle taglie dei 92 individui provenienti dal campionamento del 2023.

Considerando gli organismi campionati nel 2019 (37 individui), le classi di taglia maggiormente rappresentate sono di 14 cm tra gli individui di taglia piccola e 20 cm tra quelli di taglia grande (Figura 19).

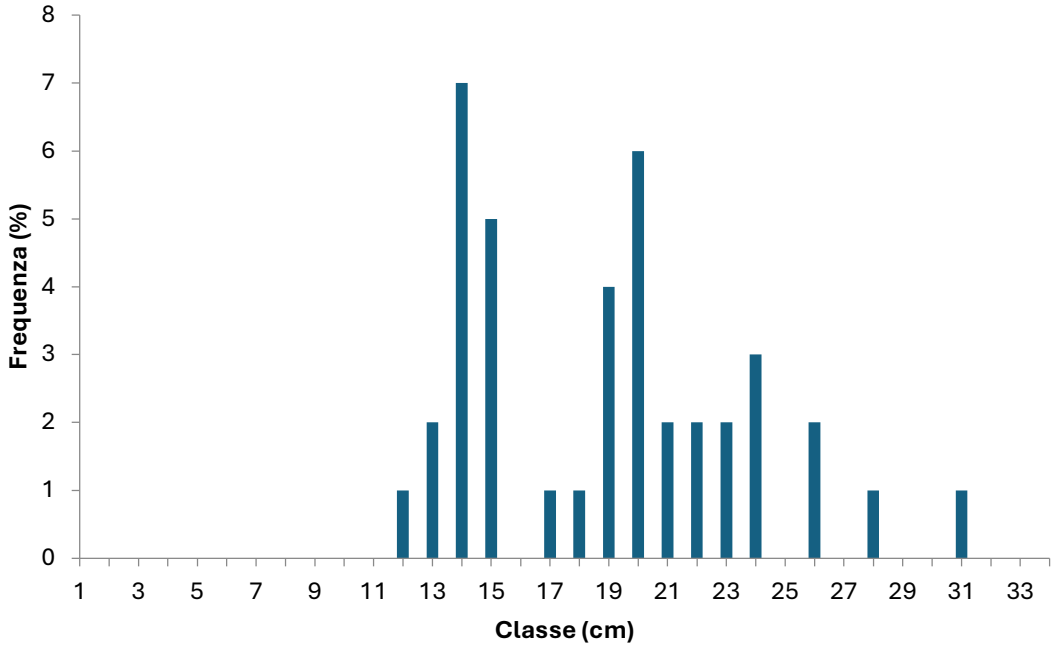


Figura 19. Distribuzione delle taglie dei 37 individui provenienti dal campionamento del 2019.

Tra i 62 individui campionati nell'area di Ancona nel 2023 notiamo una prevalenza di individui di taglia piccola in cui la classe di taglia maggiormente rappresentata è quella di 10 cm (Figura 20).

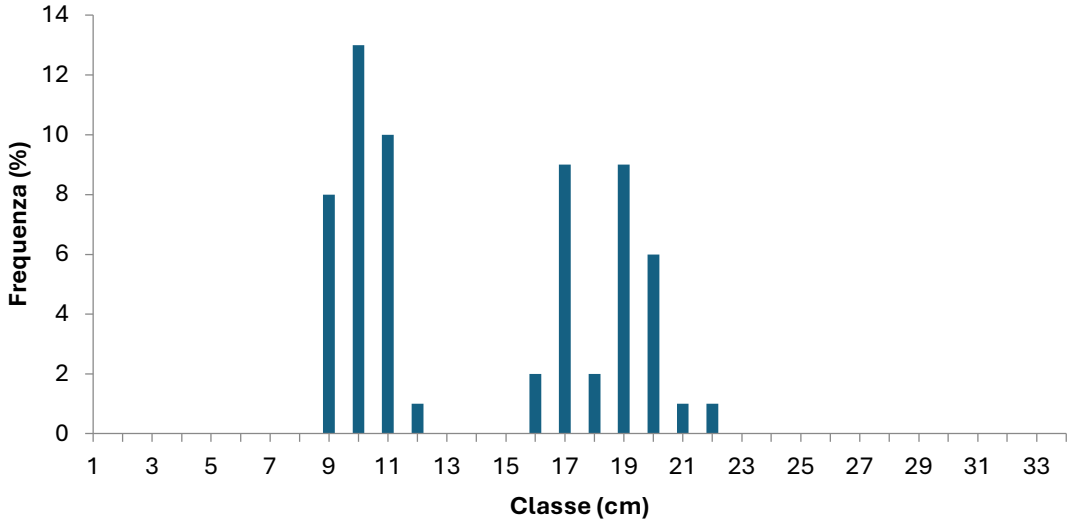


Figura 20. Distribuzione delle taglie dei 62 individui catturati nell'area di campionamento di Ancona 2023.

Tra i 30 individui campionati nell'area di Portonovo nel 2023 notiamo quasi esclusivamente individui di taglia grande in cui la classe di taglia maggiormente rappresentata di 20 cm (Figura 21).

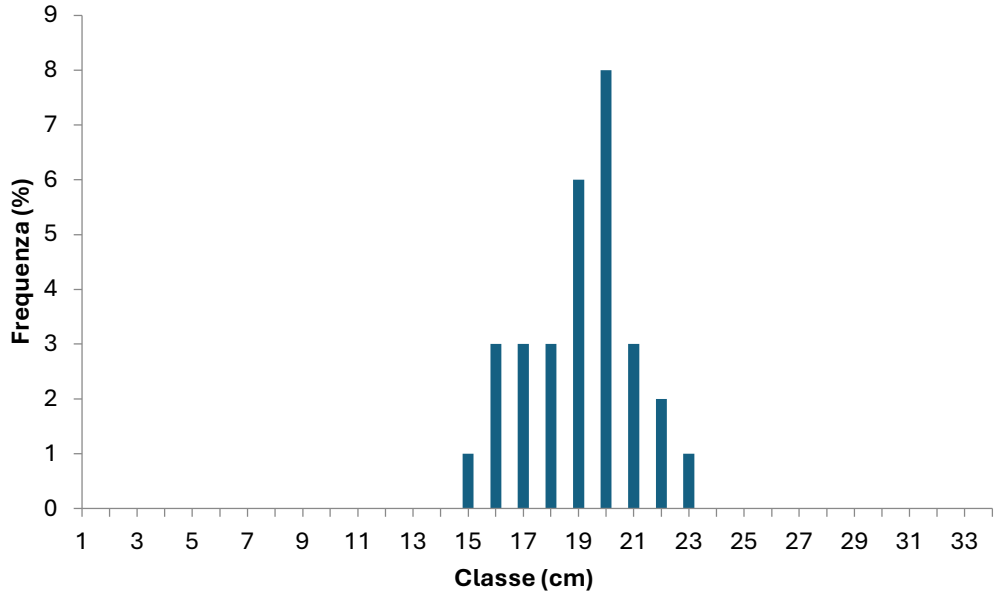


Figura 21. Distribuzione delle taglie dei 30 individui catturati nell'area di campionamento di Portonovo 2023.

L'analisi della distribuzione dimensionale degli organismi campionati nel 2023 nelle due aree considerate ha rivelato una predominanza di individui appartenenti al range di taglia più piccolo, ovvero TL ≤ 17.3 cm, nell'area di Ancona. L'area di Portonovo invece mostra una prevalenza di individui di taglia grande con TL>17.3 cm.

4.2 Analisi dei contenuti stomacali

4.2.1 Fullness

Nel campionamento del 2023 si osservano valori maggiori della fullness negli individui di taglia piccola (Figura 22). La fullness media nei piccoli è 1.6±2,221907, mentre nei grandi è 0.6±0,6.

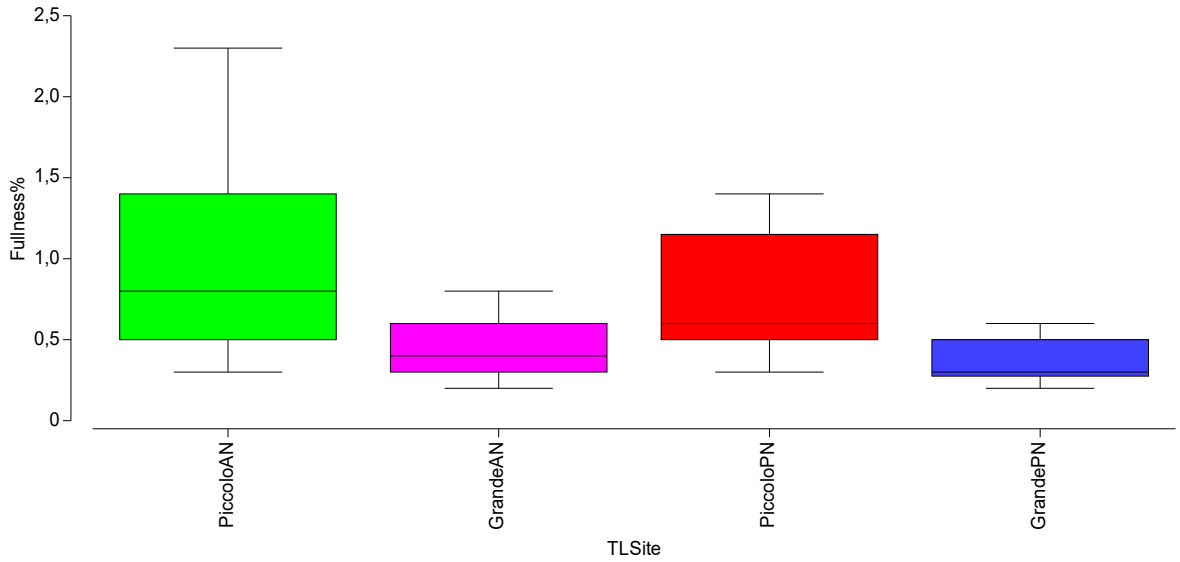


Figura 22. Valori della fullness negli individui del campionamento 2023 catturati nelle diverse aree considerando le diverse fasce di taglia.

Il PERMANOVA main test condotto sui valori di fullness dei campioni 2023 ha mostrato significatività per il fattore TL ($P<0.05$), con gli individui di piccola

taglia aventi una fullness maggiore di quelli di taglia grande, mentre non ha mostrato significatività per il fattore Area e per l'incrocio tra i due fattori. Il pairwise test ha mostrato differenze significative per l'interazione tra i fattori area e taglia tra i valori di fullness degli individui piccoli e grandi catturati nell'area di Ancona (Tabella 1 a-b-c).

*Tabella 1. Risultati PERMANOVA: a) main test per la fullness nei campioni del 2023. Pairwise comparison per fullness analizzando i fattori taglia e area combinati: b)individui di Ancona-AN; c) individui di Portonovo-PN. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.01 = **, P<0.01 = ***, n.s. = non significativo.*

a)Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	2.83	95.55	**
Area	1	0.17	0.58	n.s.
TLxArea	1	0.58	19.56	n.s.
Residui	81	0.29		
Totale	84			

b) Groups AN	t	P(MC)
Grande, Piccolo	25.59	***

c) Groups PN	t	P(MC)
Grande, Piccolo	0.30	n.s.

Nel campionamento del 2019 si osservano valori maggiori della fullness negli individui di taglia piccola nell'area di Ancona e di taglia grande in quella di Portonovo (Figura 23). Questi risultati potrebbero però essere influenzati dal basso numero di individui piccoli (2 individui) nel sito di Portonovo. La fullness media nei piccoli è 0,28±0,22, mentre nei grandi è 0,26± 0,26.

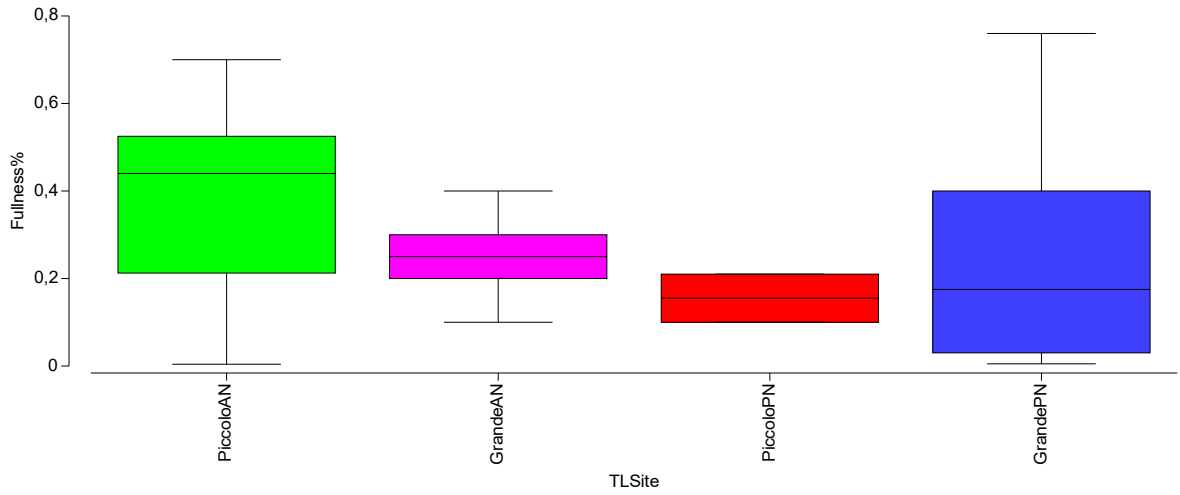


Figura 23. Valori della fullness negli individui del campionamento 2019 catturati nelle diverse aree considerando le diverse fasce di taglia.

Il PERMANOVA main test condotto sui valori della fullness 2019 non ha mostrato differenze significative per i fattori testati (Tabella 2).

Tabella 2. Risultati PERMANOVA main test per la fullness nei campioni del 2019. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. n.s.=non significativo

Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	241.73	0.73	n.s.
Area	1	249.84	0.76	n.s.
TLxArea	1	234.95	0.71	n.s.
Residui	26	328.07		
Totale	29			

I dati relativi alla fullness degli organismi catturati da entrambi i campionamenti 2019-2023 hanno mostrato valori maggiori della fullness durante la stagione invernale (Figura 24). Il valore medio della fullness dei campioni raccolti durante

la stagione invernale è 1,1±1,76, mentre per i campioni raccolti durante la stagione estiva è 0,26±0,24.

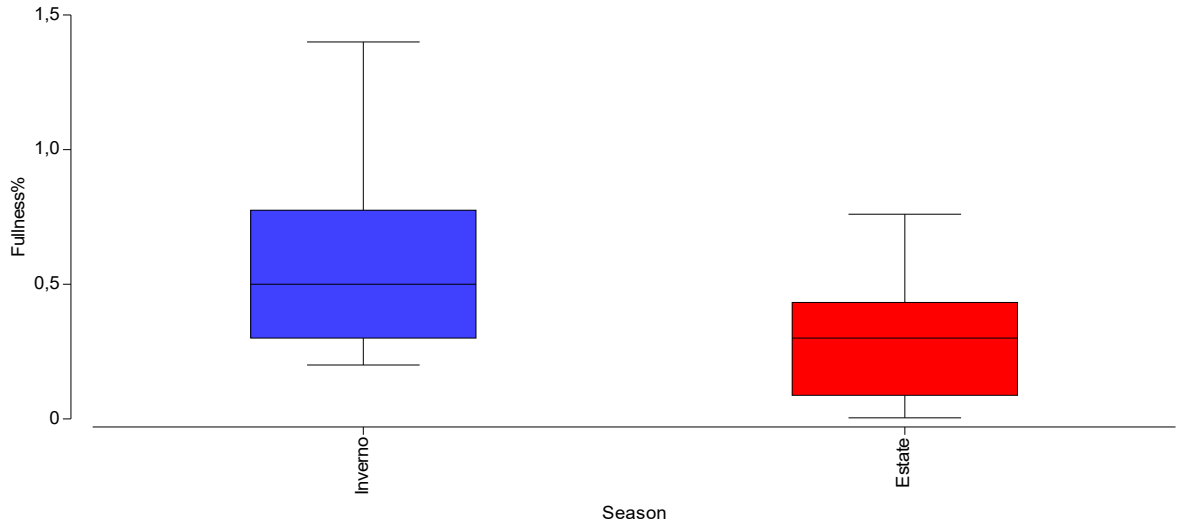


Figura 24. Valori della fullness negli individui totali dei campionamenti 2019-2023 considerando le diverse stagioni.

Il main test dell'analisi PERMANOVA condotto sulla fullness considerando gli organismi catturati da entrambi i campionamenti 2019-2023 ha mostrato una differenza significativa per il fattore stagione (P<0.001) (Tabella 3).

*Tabella 3. Risultati PERMANOVA main test per la fullness nei campioni del 2019-2023. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.001=***, n.s.=non significativo*

Source	df	MS	F	P(MC)
Stagione	1	78.08	15.76	***
Residui	117	0.49		
Totale	118			

4.2.2 Risultati dell'analisi dei contenuti stomacali

L'analisi dei contenuti stomacali (SCA) è stata condotta su un totale di 132 esemplari di *T. mediterraneus*, di cui 92 provenienti dal campionamento effettuato nel 2023 e 37 dal campionamento del 2019. Nel gruppo del 2023, 15 individui presentavano esclusivamente materiale digerito non identificabile, di cui 11 provenienti dalla stazione di Ancona e 4 da quella di Portonovo.

L'analisi della composizione della dieta di *T. mediterraneus* nel campionamento del 2023 ha rivelato differenze tra le classi di taglia. In entrambe le classi dimensionali, il gruppo Copepoda emerge come il taxon dominante nella dieta, sebbene con proporzioni differenti. Negli individui di taglia minore (TL ≤ 17.3 cm), i Copepoda costituiscono l'86% della dieta in termini di Indice di Importanza Relativa percentuale (%IRI), mentre nelle classi di taglia maggiore (TL>17,3 cm) rappresentano il 67.1%. Le larve di Decapoda si configurano come la seconda componente più abbondante in entrambe le classi di taglia, contribuendo alla dieta negli individui più piccoli per il 13.6%, e per l'11.3% in quelli più grandi. Si nota inoltre un aumento di Teleostei nella dieta degli individui di taglia grande, che arrivano a costituire il 13.4% dell'IRI e prede di importanza secondaria come

Gastropoda, Annelida, Nematoda e Trematoda con percentuali di IRI inferiori (Figura 25).

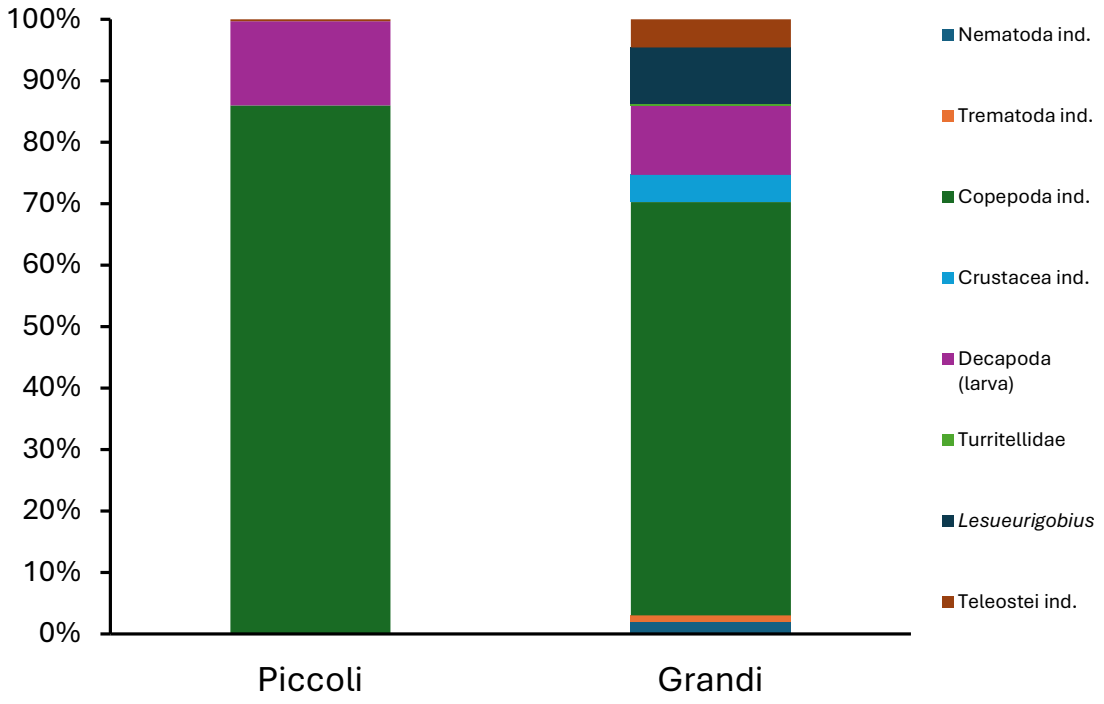


Figura 25. Composizione della dieta in termini di %IRI degli individui di T. mediterraneus *di fascia di taglia piccola e grande catturati nel 2023.*

L'analisi del contenuto stomacale degli esemplari di *T. mediterraneus* campionati nel 2019 ha rivelato una variazione nella composizione della dieta in relazione alle classi di taglia. Negli individui di taglia minore (TL ≤ 17.3 cm), i Copepoda emergono come gruppo dominante, rappresentando l'81,6% della dieta in termini di Indice di Importanza Relativa percentuale (%IRI). In questo gruppo

dimensionale, i Gastropoda costituiscono una componente secondaria, con un %IRI del 6%. Al contrario, negli esemplari di taglia maggiore (TL>17.3 cm), si osserva una netta predominanza dei Mysidae, che costituiscono il 57.1% della dieta e prede di importanza secondaria che includono altri taxa appartenenti alla classe Malacostraca, Teleostei e Foraminifera, sebbene con valori di %IRI inferiori (Figura 26).

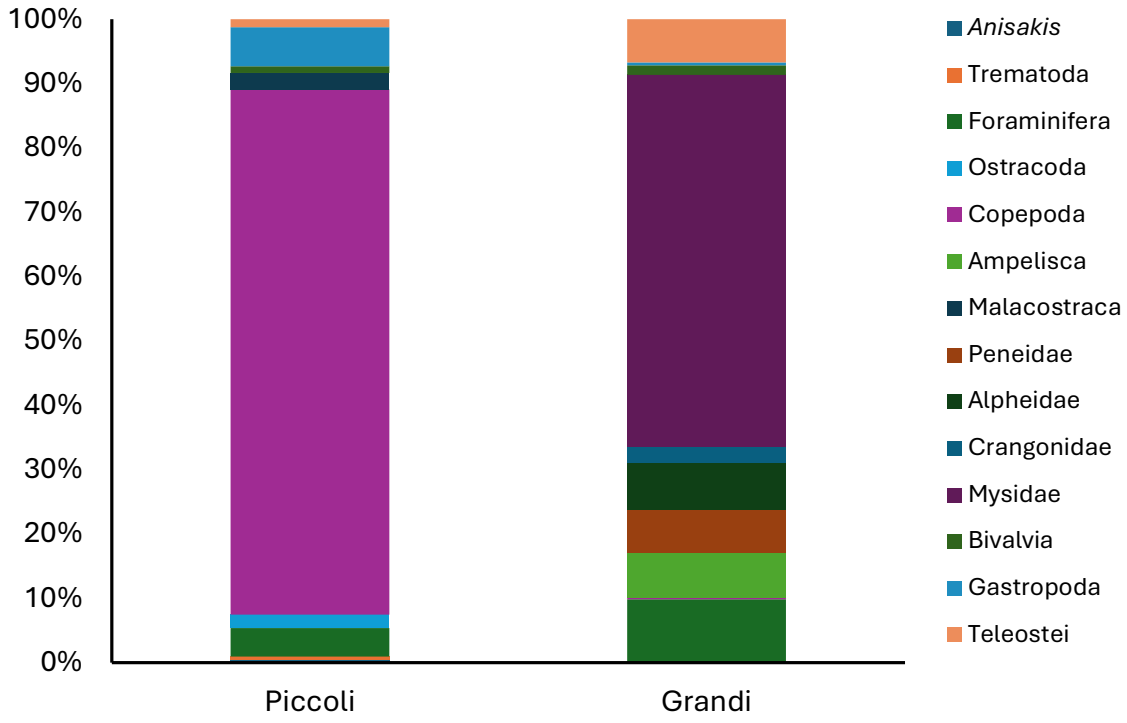


Figura 26. Composizione della dieta in termini di % IRI degli individui di T. mediterraneus *di fascia di taglia piccola e grande catturati nel 2019.*

Tra i contenuti stomacali identificati frequentemente negli stomaci degli animali campionati nel 2023 troviamo *Anilocra physodes*, un ectoparassita di pesci ossei, *Centropages typicus*, un copepode pelagico appartenente allo zooplancton marino, larve di decapodi, organismi pelagici appartenenti allo zooplancton marino, *Lesueurigobius* sp., un pesce osseo che vive generalmente su fondali fangosi (Figura 27a-d).

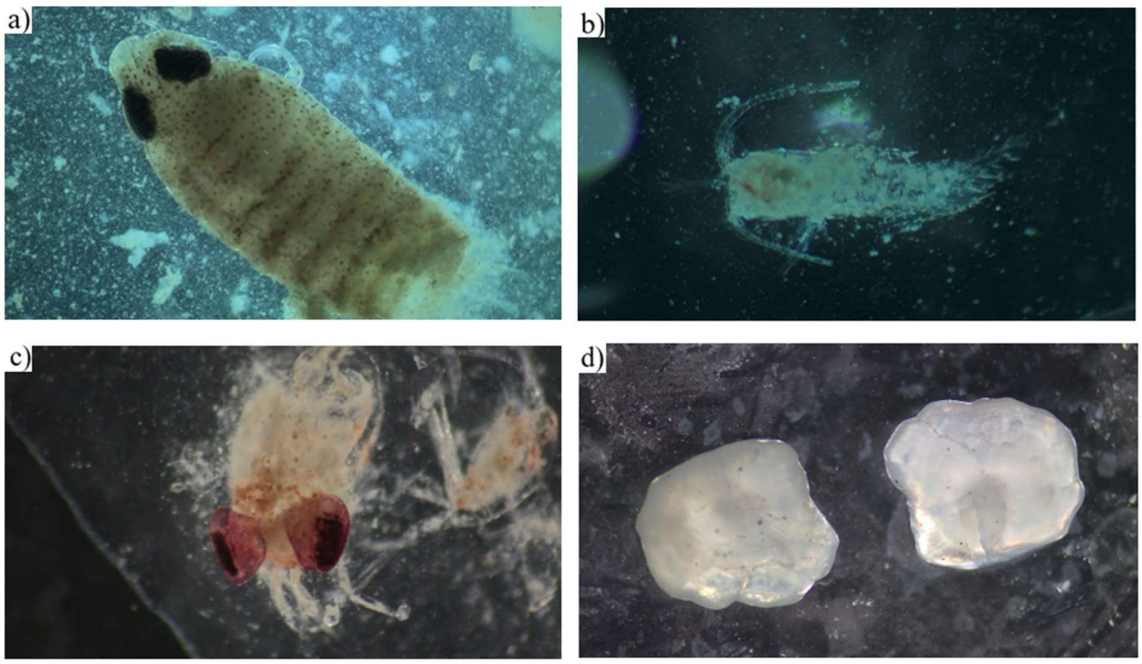


Figura 27. a) Esemplare di Anilocra physodes*, crostaceo appartenente all'ordine degli Isopodi; b) Esemplare di* Centropages typicus*, crostaceo appartenente alla classe Copepoda; c) Stadio larvale di un crostaceo decapode, appartenente alla classe Malacostraca; d) Otoliti di* Lesueurigobius *sp., genere di pesci ossei appartenente alla famiglia Gobidae.*

La nMDS ha evidenziato una separazione della dieta degli individui raccolti nel campionamento del 2023 in base alla taglia e all'area (Figura 28).

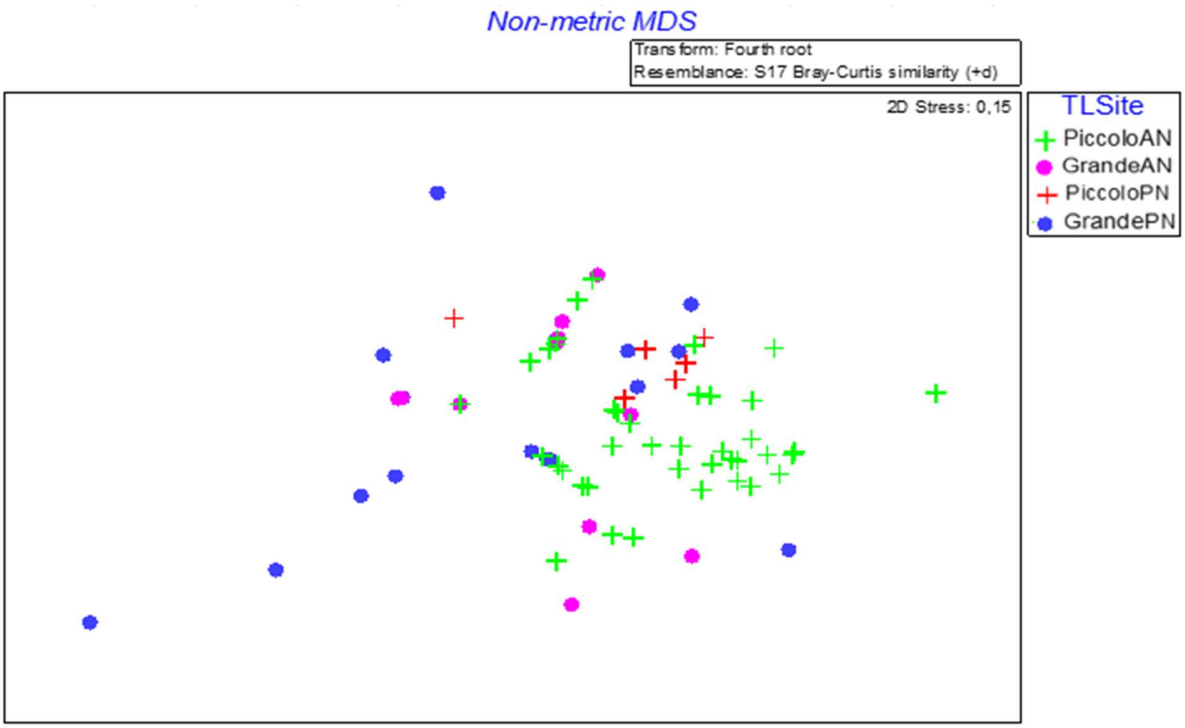


Figura 28. Grafico dell'analisi di ordinamento MDS non metrico per taglia e area del campionamento 2023.

Il main test dell'analisi PERMANOVA condotto sulla composizione dei contenuti stomacali (in termini di %W) degli organismi campionati nel 2023 ha mostrato una differenza significativa per il fattore taglia ($P<0.001$). Il pairwise test ha mostrato differenze significative per il fattore taglia sia nell'area di Ancona ($P<0.001$) che di Portonovo ($P<0.05$) (Tabella 4 a-b-c).

*Tabella 4. Risultati PERMANOVA a) main test analisi SCA tra i due siti di campionamento AN e PN del 2023. Pairwise test analizzando i fattori taglia e area combinati: b) individui di Ancona; c) individui di Portonovo. df = gradi di libertà;MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.05 = *, P<0.,001=***, n.s.= non significativo*

a)Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	4288.8	84.14	***
Area	1	813.15	15.95	n.s.
TLxArea	1	1238.2	24.29	n.s.
Residui	88	509.7		
Totale	91			

b)Groups AN	t	P(MC)
Grande, Piccolo	36.36	*

c)Groups PN	t	P(MC)
Grande, Piccolo	14.36	***

L'analisi SIMPER ha mostrato negli SCA del campionamento 2023 un forte contributo dei Copepoda e della classe Malacostraca alla similarità della dieta tra campioni di taglie diverse considerate singolarmente (piccoli e grandi) (Tabella 5).

Tabella 5. Percentuale di similarità della dieta degli organismi campionati nel 2023 di taglia a) piccoli e b) grandi. Av. Abund= abbondanza media; Av. Sim= similarità media; Contrib %= percentuale di varianza spiegata dalle variabili esplicative; Cum %= percentuale cumulativa di varianza spiegata dalle variabili esplicative.

Group Piccolo		Average similarity: 39,94			
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Copepoda	0.38	19.18	1.01	48.02	48.02
Malacostraca	0.29	14.09	0.87	35.29	83.30

Group Grande		Average similarity: 9.54			
Species	Av.Abund	Av.Sim	Sim/SD	Contrib%	Cum.%
Malacostraca	0.13	3.90	0.27	40.92	40.92
Copepoda	0.14	3.74	0.30	39.23	80.15

La nMDS mostra una chiara separazione tra i contenuti stomacali degli individui raccolti nel campionamento del 2019 tra le aree AN e PN (Figura 29).

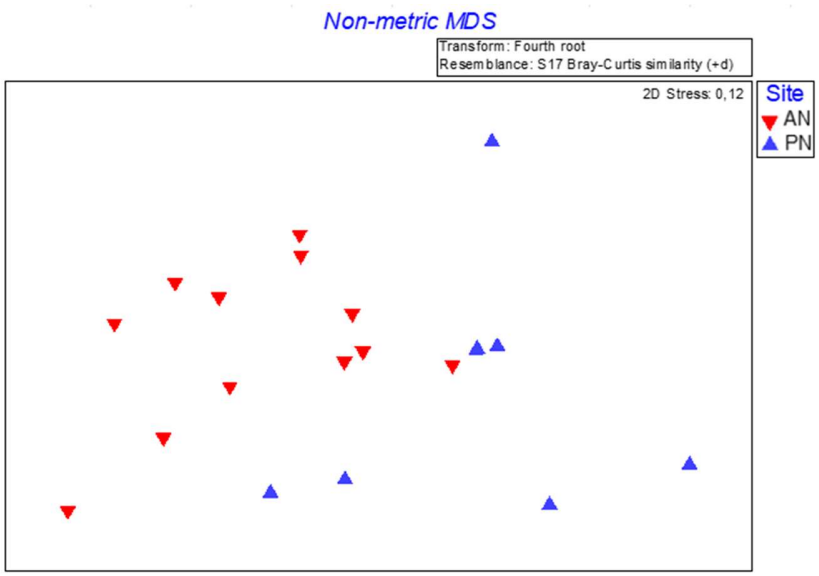


Figura 29. Grafico dell'analisi di ordinamento MDS non metric per area del campionamento 2019.

Il main test dell'analisi PERMANOVA condotto sulla composizione dei contenuti stomacali (in termini di %W) degli organismi campionati nel 2019 ha mostrato una differenza significativa per il fattore area (P<0.001) (Tabella 6).

*Tabella 6. PERMANOVA main test analisi SCA tra le due aree di campionamento AN e PN del 2019. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.001=***; n.s.= non significativo*

Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	262	0.68	n.s.
Area	1	1422.2	36.99	***
TLxArea	1	341.32	0.88	n.s.
Residui	17	384.45		
Totale	20			

L'analisi SIMPER ha mostrato un forte contributo del taxon Crustacea negli SCA degli organismi dell'area di Ancona, tra cui, il gruppo più rappresentato sono i Mysidae, mentre nel gruppo di Portonovo l'analisi ha mostrato un forte contributo di teleostei alla similarità della dieta tra campioni di siti diversi considerati singolarmente (Tabella 7 a-b).

Tabella 7. Percentuale di similarità tra le prede nelle aree di campionamento. a) Ancona e b) Portonovo. Av. Abund= abbondanza media; Av. Sim= similarità media; Contrib %= percentuale di varianza spiegata dalle variabili esplicative; Cum %= percentuale cumulativa di varianza spiegata dalle variabili esplicative.

a)Group AN		Average similarity: 33.79		
Species	Av.Abund	Av.Sim	Contrib%	Cum.%
Crustacea	0.14	19.89	58.87	58.87
Mysidae	0.19	5.28	15.63	74.50
b)Group PN		Average similarity: 19.28		
Species	Av.Abund	Av.Sim	Contrib%	Cum.%
Teleostei	0.19	14.37	74.53	74.53

La nMDS mostra una netta separazione tra i contenuti stomacali degli esemplari ottenuti dal campionamento del 2019 e quelli del 2023 suddivisi in base alla stagione: Inverno e Primavera (Figura 30).

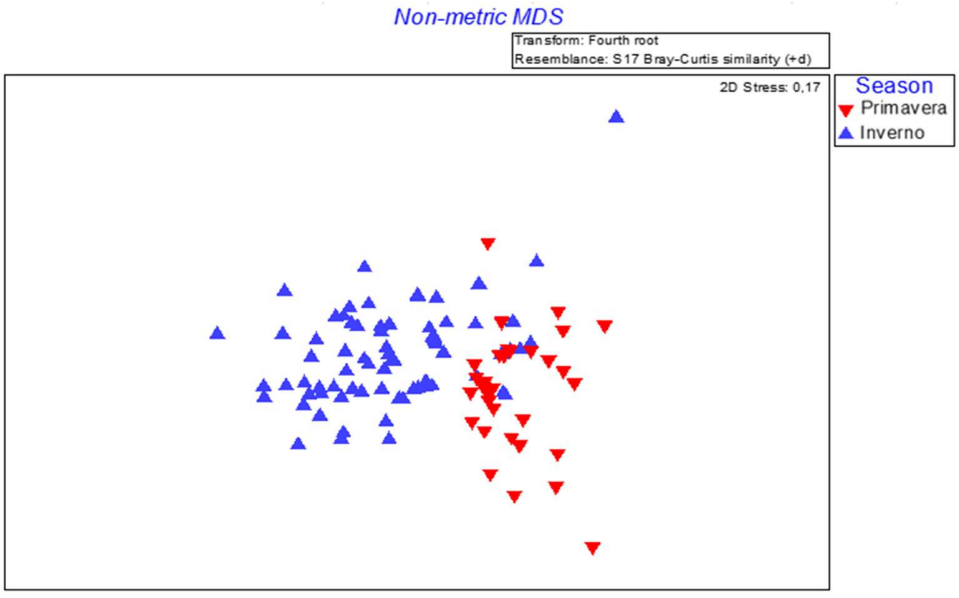


Figura 30. Grafico dell'analisi di ordinamento MDS non metrico per stagione nell'analisi combinata 2019-2023.

Il main test dell'analisi PERMANOVA condotto sulla composizione dei contenuti stomacali (in termini di %W) considerando gli organismi catturati da entrambi i campionamenti 2019-2023 ha mostrato una differenza significativa per il fattore stagione (P<0,001) (Tabella 8).

*Tabella 8. PERMANOVA main test analisi SCA campionamenti 2019-2023 con fattore fisso stagione "Stagione". df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.001=****

Source	df	MS	F	P(MC)
Stagione	1	14672	22.93	***
Residui	127	639.78		
Totale	128			

La nMDS mostra anche un buon grado di separazione tra i contenuti stomacali degli esemplari ottenuti dal campionamento del 2019 e quelli del 2023 in base ai fattori stagione e taglia (Figura 31).

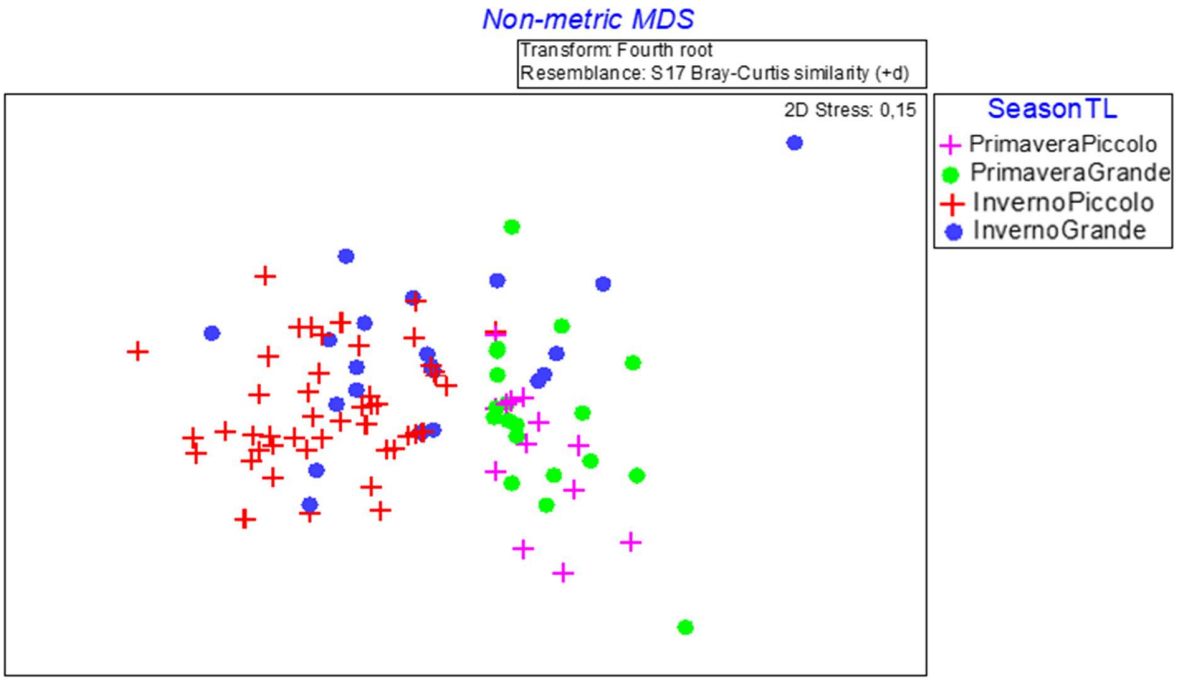


Figura 31. Grafico dell'analisi di ordinamento MDS non metrico per taglia, sito e stagione nell'analisi combinata 2019-2023.

Il main test della PERMANOVA condotto sui risultati della SCA considerando gli organismi catturati in entrambi i campionamenti 2019-2023, mostra differenze significative per entrambi i fattori considerati e per la loro interazione (stagione e taglia) (Tabella 9).

*Tabella 9. Risultati PERMANOVA pairwise test analisi combinata SCA campionamenti 2019-2023 con fattori fissi stagione e taglia. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.001=****

Source	df	MS	F	P(MC)
Stagione	1	12008	23.75	***
TL	1	3281.5	64.90	***
StagionexTL	1	3310	65.46	***
Residui	125	505.59		
Totale	128			

4.2.3 Indice di Shannon

Nel campionamento del 2023 si osservano valori maggiori dell'indice di Shannon negli individui di taglia piccola (Fgura 32).

Il valore medio dell'indice di Shannon (H') negli individui di taglia piccola del campionamento 2023 è 0.90±0,58 mentre negli individui di taglia grande è 0.46±0,51.

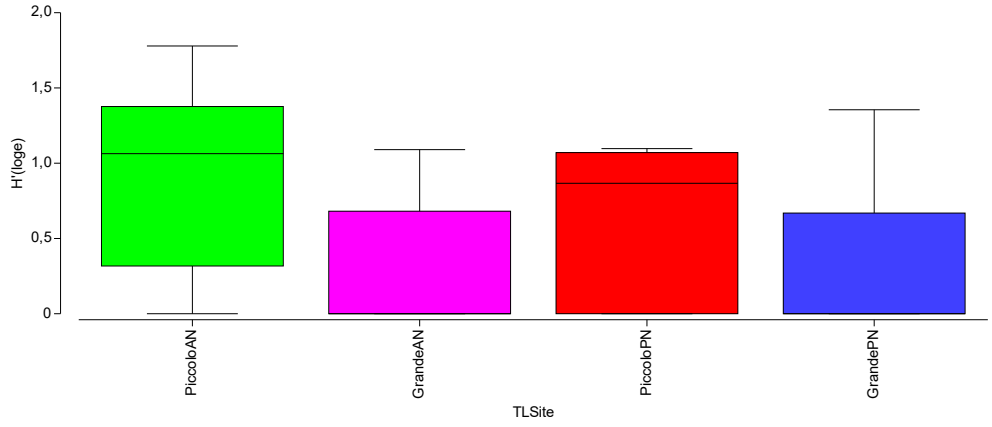


Figura 32. Variazione dei valori dell'indice di Shannon negli individui del campionamento 2023 nelle aree di Ancona e Portonovo e tra le diverse fasce di taglia.

I valori dell'indice di Shannon degli individui catturati nel campionamento del 2023 hanno mostrato differenze significative nel PERMANOVA main test in base al fattore taglia (P<0.01). Il PERMANOVA pairwise test ha mostrato differenze significative per i fattori taglia e area nell'area di Ancona (P<0.001) (Tabella 10 a-b-c).

b)Groups AN	t	P(MC)
Grande, Piccolo	41.85	***

c)Groups PN	t	P(MC)
Grande, Piccolo	12.13	n.s.

*Tabella 10. Risultati PERMANOVA a) main test analisi indice di Shannon nel campionamento del 2023 con fattori fissi taglia e sito. Pairwise test tra taglia e sito: b) Ancona e c) Portonovo. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.01=**; P<0.001=***; n.s.= non significativo*

a)Source	df	MS	Pseudo-F	P(MC)
TL	1	34.16	11.25	**
Area	1	0.08	0.29	n.s.
TLxArea	1	0.64	2.11	n.s.
Residui	88	0.30		
Totale	91			

Nel campionamento del 2019 si osservano valori maggiori dell'indice di Shannon negli individui di taglia piccola nell'area di Ancona e nei grandi nell'area di Portonovo (Figura 33). Anche questi risultati potrebbero essere influenzati dal basso numero di individui piccoli (2 individui) nel sito di Portonovo.

Il valore medio dell'indice di Shannon (H') negli individui di taglia piccola del campionamento 2019 è 0,23± 0,29 mentre negli individui di taglia grande è 0,33± 0,32.

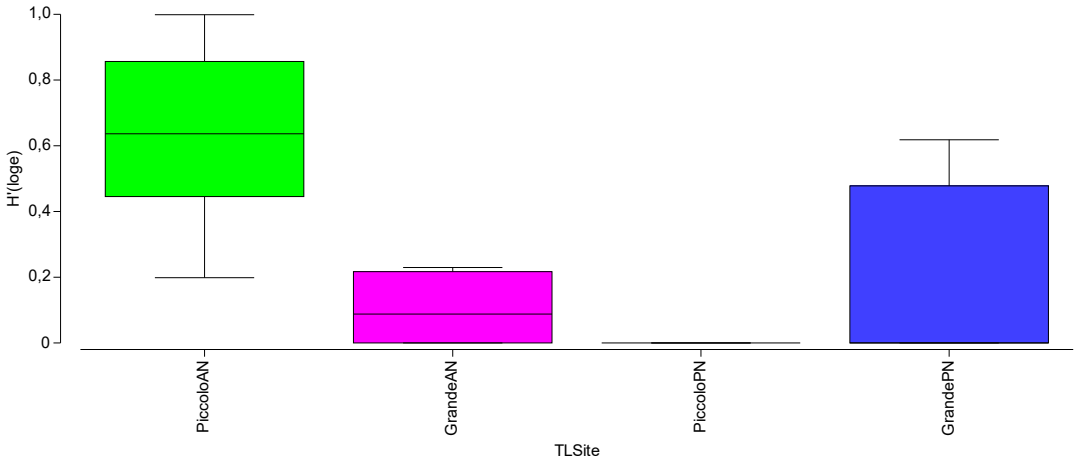


Figura 33. Variazione dei valori dell'indice di Shannon negli individui del campionamento 2019 nelle aree di Ancona e Portonovo e tra le diverse fasce di taglia.

Il PERMANOVA main test condotto sui valori dell'indice di Shannon calcolato sui campioni del 2019 non ha mostrato differenze significative per i fattori testati (Tabella 11).

Tabella 11. Risultati PERMANOVA main test per l'indice di Shannon nei campioni del 2019. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. n.s.=non significativo

Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	0.02	0.35	n.s.
Area	1	0.25	3.34	n.s.
TLxArea	1	0.28	37.52	n.s.
Residui	17	0.08		
Totale	20			

4.3 Risultati dell'analisi degli siotopi stabili (SIA)

I valori medi di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ dei muscoli analizzati nel campionamento del 2023 sono rispettivamente 12.6±0.7‰ e -16.8±0.6‰. Nelle singole aree di Ancona e Portonovo i valori medi di $\delta^{15}N$ sono rispettivamente 12.4±0.8‰ e 12.9±0.5‰. Il valore di $\delta^{13}C$ è -16.9±0.7‰ nell'area di Ancona e -16.4±0.36‰ in quella di Portonovo. Nel campionamento del 2019 i valori medi di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ sono rispettivamente 10.5±1.2‰ e -18.2±0.5‰ (Tabella 12).

Tabella 12. Valori medi di $\delta^{15}N$, $\delta^{13}C$ ± deviazione standard (DEV. ST.) dei muscoli di T. mediterraneus *per i due campionamenti 2023 e 2019, per le diverse aree (Ancona e Portonovo) e per le diverse classi di taglia (piccoli e grandi).*

			$\delta^{15}N$ (‰)		$\delta^{13}C$ (‰)	
			MEDIA	DEV. ST.	MEDIA	DEV. ST.
2023	AN	PICCOLI	12.3	0.9	-17.2	0.8
		GRANDI	12.7	0.3	-16.6	0.2
		TOTALI	12.4	0.8	-17	0.7
	PN	GRANDI	12.9	0.5	-16.4	0.4
		TOTALI	12.9	0.4	-16.4	0.4
	TOTALI		12.6	0.7	-16.8	0.6
2019	PICCOLI		9.5	0.6	-18.7	0.2
	GRANDI		11.3	0.9	-17.9	0.4
	TOTALI		10.6	1.2	-18.2	0.5

Lo scatterplot mostra una separazione tra i valori isotopici ottenuti dai campioni catturati nel 2023 in base al fattore taglia (Figura 34).

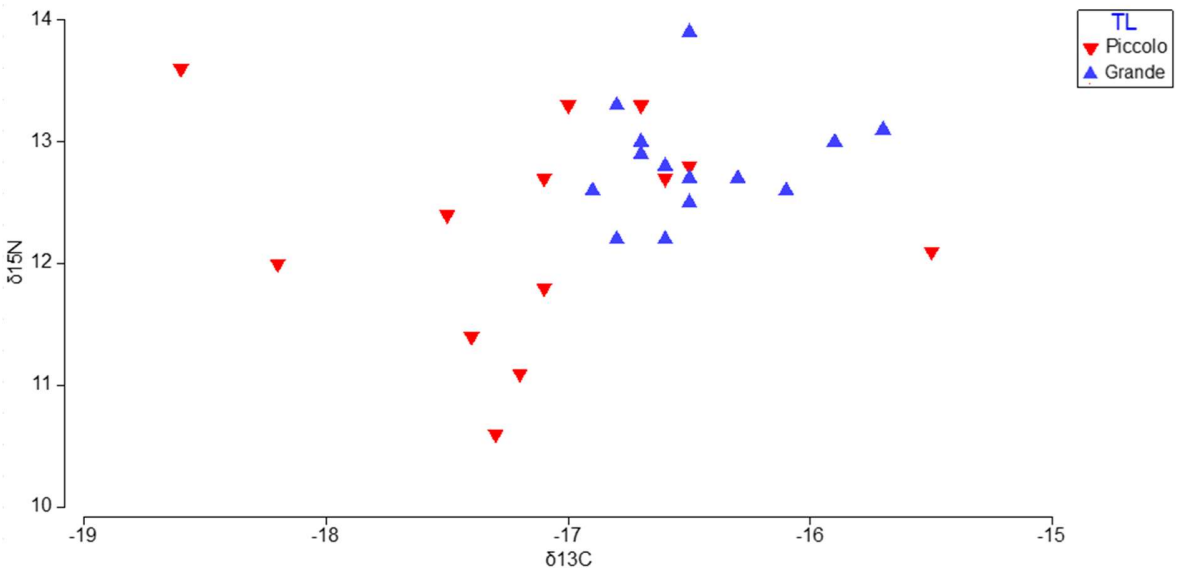


Figura 35. Scatterplot dei valori isotopici per taglia nell'analisi combinata di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ del 2023.

I risultati relativi alle analisi SIA condotte sui muscoli degli individui del campionamento 2023 hanno mostrato differenze significative nel PERMANOVA main test in base al fattore taglia (P<0.05). Entrambi i test PERMANOVA condotto sui valori di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$, separatamente e insieme, mostrano risultati significativi per il fattore taglia (P<0.05) (Tabella 13 a-b-c).

Tabella 13. Risultati PERMANOVA a) main test analisi SIA 2023 relativo a $\delta^{15}N$, b) main test analisi SIA 2023 relativo a $\delta^{13}C$, main test analisi SIA 2023 relativo a $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.5=; P<0.01 = ***

a)Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	1.86	41.76	*
Residui	28	0.44		
Totale	29			
b)Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	30.98	99.31	**
Residui	28	0.31		
Totale	29			
c)Source	df	MS	F	P(MC)
TL	1	49.52	65.5	**
Residui	28	0.76		
Totale	29			

Lo scatterplot mostra una separazione tra i valori isotopici ottenuti dai campioni catturati nel 2019 in base al fattore taglia (Figura 35).

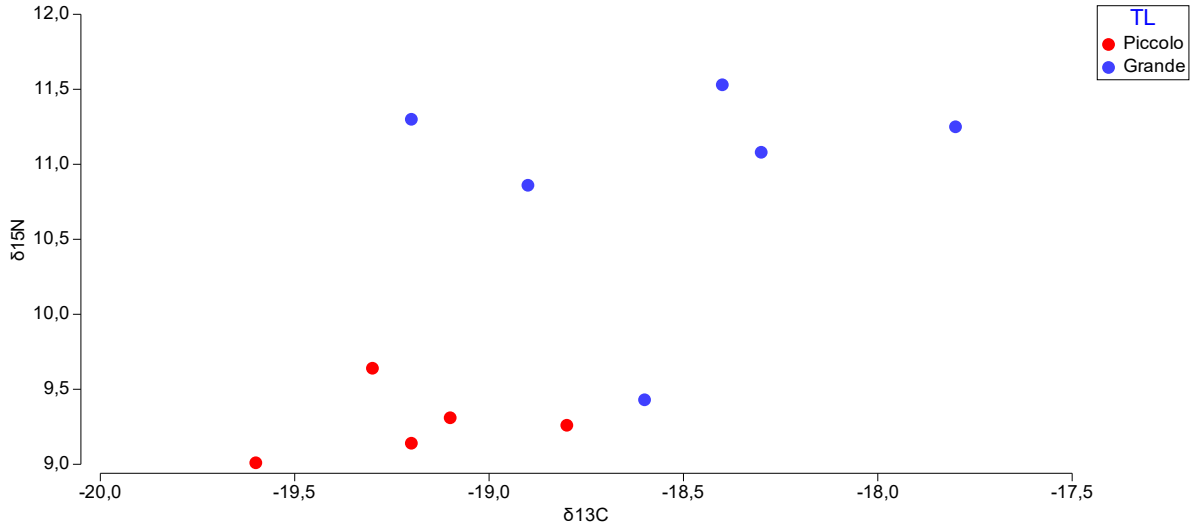


Figura 35. Scatterplot dei valori isotopici per taglia nell'analisi combinata di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ del 2019.

I risultati relativi alle analisi SIA condotte sui muscoli degli individui del campionamento 2019 hanno mostrato differenze significative nel PERMANOVA main test per il fattore taglia ($P<0.05$), sia considerando solo i valori di $\delta^{15}N$ che di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ insieme (Tabella 14 a-b), mostra risultati significativi per il fattore taglia ($P<0.01$), mentre quello condotto su $\delta^{13}C$ non mostra risultati significativi ($P>0.005$).

*Tabella 14. Risultati PERMANOVA a) main test analisi SIA 2019 relativo a $\delta^{15}N$, b) main test analisi SIA 2019 relativo a $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.01 = **; n.s. = non significativo*

a)Source	df	MS	Pseudo-F	P(MC)
TL	1	57.14	15.2	**
Area	1	0.26	0.68	n.s.
TLxArea	1	0.2	0.53	n.s.
Residui	7	0.38		
Totale	10			

b)Source	df	MS	Pseudo-F	P(MC)
TL	1	64.74	10.97	**
Area	1	0.29	0.49	n.s.
TLxArea	1	0.2	0.34	n.s.
Residui	7	0.59		
Totale	10			

Lo scatterplot mostra una separazione tra i valori isotopici ottenuti dai campioni di entrambi i campionamenti 2019-2023 in base al fattore stagione (Figura 36).

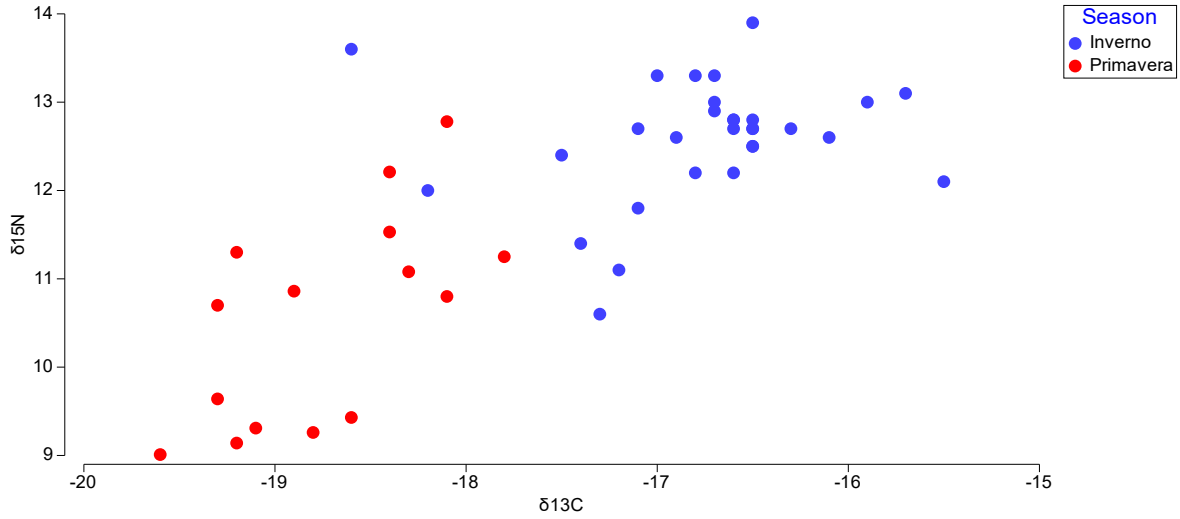


Figura 36. Scatterplot dei valori isotopici per taglia nell'analisi combinata di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$ dei campionamenti 2019-2023.

I risultati relativi alle analisi SIA condotte sui muscoli degli individui di entrambi i campionamenti 2019-2023 hanno mostrato differenze significative nel PERMANOVA main test in base al fattore stagione (P<0,001), sia per i valori di $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$, analizzati separatamente e insieme (Tabella 15 a-b-c).

*Tabella 15. Risultati PERMANOVA a) main test analisi SIA 2019-2023 relativo a $\delta^{15}N$; b) main test analisi SIA 2019-2023 relativo a $\delta^{13}C$; c) main test analisi SIA 2019-2023 relativo a $\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$. df = gradi di libertà; MS = media quadratica; Pseudo-F = valore di F; P(MC) = livello di probabilità ottenuto con Monte Carlo test. P<0.001=****

a)Source	df	MS	F	P(MC)
Stagione	1	40.94	51.56	***
Residui	43	0.79		
Totale	44			

b)Source	df	MS	F	P(MC)
Stagione	1	39.07	105.5	***
Residui	43	0.37		
Totale	44			

c)Source	df	MS	F	P(MC)
Stagione	1	80.01	68.72	***
Residui	43	11.64		
Totale	44			

Capitolo quinto

5. DISCUSSIONE

5.1 Variazioni stagionali della taglia di T. mediterraneus

La LFD degli individui catturati nei campionamenti 2019-2023 ha permesso di suddividere gli esemplari raccolti in due classi di taglia, piccoli (X≤17,3) e grandi (X>17,3). In questa specie, la taglia di prima maturità sessuale viene raggiunta ad una lunghezza compresa tra i 14,7 e 17,5 cm a seconda delle aree (Rodríguez-Castañeda et al., 2022). Nel campionamento del 2023, nell'area di Ancona si osserva una predominanza di individui appartenenti alla classe dimensionale "piccolo" suggerendo una maggiore presenza di esemplari immaturi. L'area di Portonovo invece mostra una prevalenza di individui appartenenti alla classe dimensionale "grande", implicando una struttura di popolazione più matura. Questo potrebbe dipendere dalle differenze di pressioni di pesca tra le due aree. L'area di Ancona mostra una pressione di pesca leggermente maggiore rispetto a quella di Portonovo, di conseguenza questo potrebbe spiegare la prevalenza di classi di taglia di dimensioni minori favorite dall'impatto della pesca a strascico su quelle di taglia maggiore (Rodríguez-Castañeda et al., 2024).

5.2 Variazioni ontogenetiche e temporali della fullness

Nel campionamento del 2023 la fullness, un proxy dell'intensità di alimentazione, risulta essere superiore negli individui di taglia piccola. Questo potrebbe essere spiegato dal fatto che gli individui di taglia piccola, dovendo mangiare per sostenere la crescita, potrebbero tendere ad alimentarsi con maggiore frequenza (Grove & Crawford 1980). Considerando che le prede principalmente ingerite dagli animali di piccola taglia considerati in questo studio, ovvero i copepodi, vengono digerite più velocemente di quelle che si trovano nella dieta dei pesci di grandi dimensioni (Chapman et al, 1988), gli alti valori di fullness riscontrati negli animali di piccola taglia confermano che questi ultimi mangiano molto di più e molto frequentemente durante il nuoto, probabilmente ingerendo continuamente le prede che trovano in colonna d'acqua. *Trachurus* spp. è un gruppo di organismi planctivori noto per nutrirsi preferenzialmente di copepodi (Deudero, 2001), tuttavia in altri studi non sono stati trovati copepodi nella dieta di *Trachurus* spp., perciò, queste variazioni di prede tra le diverse località possono suggerire che la dieta di *T. mediterraneus* possa essere modificata in risposta alla disponibilità di prede e che quindi i copepodi siano una risorsa ampiamente disponibile nelle aree dove sono stati effettuati i campionamenti relativi a questo studio (Bayhan & Sever, 2009; Hure et al., 1980).

È stata riscontrata una variazione nei valori medi della fullness anche in relazione alle stagioni di campionamento diverse. I valori maggiori relativi alla fullness sono stati riscontrati nel campionamento effettuato durante il periodo invernale 2023. Questo è probabilmente spiegato dal fatto che in autunno, o all'inizio della stagione invernale, il sugarello accumula elevate quantità di grassi corporei (Stoikov 1978; Zlatev 1986), questo accumulo è necessario per sopravvivere durante i mesi invernali, un periodo caratterizzato da basse temperature, ridotta abbondanza di prede, tassi di predazione minimi e bassa attività fisiologica (Georgieva et al., 2019).

5.3 Variazioni ontogenetiche e temporali nella dieta di T. mediterraneus

I risultati ottenuti riguardo la dieta di *T. mediterraneus* sono in accordo con i precedenti studi. Per quanto riguarda gli individui giovanili, studi precedenti (Santic et al., 2013) indicano che essi hanno una dieta prevalentemente zooplanctofaga che consiste principalmente in piccoli crostacei dello zooplancton. Nel nostro studio le prede più rappresentative della dieta di *T. mediterraneus* sono risultate essere principalmente copepodi del genere *Centropages* sp. e *Temora* sp., larve di decapodi e teleostei. Nel campionamento del 2019 invece emergono come

prede più rappresentative crostacei della famiglia Mysidae, larve di decapodi, gasteropodi, ecc. in accordo con quanto riportato da uno studio condotto in 3 aree del mar Adriatico centro-settentrionale lungo la costa balcanica (Zorica et al., 2021).

La composizione dei contenuti stomacali degli individui nel presente studio riflette i dati di distribuzione sul campo di diverse specie di copepodi. I copepodi sono organismi planctonici di piccole dimensioni, molto abbondanti soprattutto negli strati superficiali del mare (Gamulin, 1979), il che spiega l'importante contributo di questi crostacei nello stomaco di *T. mediterraneus* e suggerisce che gli esemplari di questa specie si alimentino, perlomeno durante lo stadio giovanile, negli strati più superficiali della colonna d'acqua. Inoltre, le due principali specie riportate *Centropages* sp. e *Temora* sp. risultano appartenere a comunità zooplanctoniche di tipo costiere, in accordo a diversi studi condotti in Adriatico (Hure et al., 1980; Fanelli et al., 2023). Questo suggerisce un'alimentazione *inshore* piuttosto che *offshore* e ciò corrisponde alle caratteristiche delle aree di campionamento di *T. mediterraneus* di entrambi i surveys del 2019 e del 2023.

Il fatto che il contenuto stomacale di queste specie mostri solo stadi planctonici di crostacei e di altri organismi sembra essere legato alle piccole dimensioni

dell'apertura della bocca (Ross, 1978; Stoner, 1980). Con la crescita dell'animale le dimensioni della bocca aumentano. Questo permette di catturare prede più grandi come è stato più volte riportato in letteratura (Ware, 1972; Ross, 1977; Stoner & Livingston, 1984). Ciò è stato confermato anche per questa specie, sia nell'Adriatico (Lipskaja, 1966), che in altre aree del Mediterraneo (Ben-Salem, 1988; Stoner & Livingston, 1984) e in Mar Nero (Yankova, 1988). Ad esempio, in Adriatico, gli esemplari più grandi di *T. mediterraneus* consumano soprattutto teleostei, decapodi bentonici e cefalopodi (Škrok, 2008). Anche nel nostro studio, l'analisi dei contenuti stomacali degli individui di dimensioni maggiori ha mostrato come le prede più rappresentative risultino essere teleostei, tra cui *Lesueurigobius* sp., lo stesso *T. mediterraneus*, e crostacei della classe Malacostraca, seguiti da copepodi, gasteropodi, anellidi e foraminiferi. Questo tipo di dieta suggerisce una strategia di alimentazione degli individui adulti più specializzata nella predazione di organismi appartenenti al comparto bentonico.

Nonostante alcuni autori definiscano il genere *Trachurus* sp. come gruppo di individui carnivori pelagici, i nostri risultati concordano maggiormente con uno studio della dieta in Mar Nero (Georgieva et al., 2019) e con uno sulla dieta della specie nell'intera area adriatica (Da Ros et al., 2023), che hanno classificato *T. mediterraneus* come un pesce con una dieta mista di zooplancton, benthos e pesce,

analogamante a quanto osservato nel co-generico *T. trachurus* (Rumolo et al., 2017). Questa dieta potrebbe variare con le stagioni a seconda di diversi fattori. Un aspetto interessante è che in altre aree come la GSA 18 le prede bentoniche erano assenti nei contenuti stomacali e questo è probabilmente dovuto alle più alte profondità di questa zona che limitano la ricerca di cibo ai livelli superiori della colonna d'acqua (Da Ros et al., 2023).

L'analisi della composizione della dieta di *T. mediterraneus* ha rivelato variazioni significative correlate alla stagionalità del campionamento. Durante il periodo invernale, i copepodi emergono come componente predominante della dieta, mentre nella stagione primaverile si osserva una prevalenza di crostacei appartenenti alla classe Malacostraca. Questa fluttuazione stagionale potrebbe essere attribuita ai cicli di abbondanza annuale dei copepodi, che tipicamente in Adriatico raggiungono il picco di abbondanza durante i mesi più caldi, dalla primavera all'autunno (Regner, 1985). Questa tipologia di prede di dimensioni più ridotte, potrebbero rappresentare una percentuale della dieta così importante per l'alta percentuale di incontri, la maggiore abbondanza rispetto alle prede bentoniche e un'alta probabilità di cattura (Georgieva et al., 2019; Scharf et al., 2000). Questo tipo di strategia di alimentazione mista significa che i sugarelli mediterranei sfruttano in modo efficiente le risorse trofiche più facilmente

disponibili e abbondanti. La dieta di questa specie, infatti, riflette la composizione stagionale delle comunità nelle prede nell'ecosistema (Georgieva et al., 2019; Stevens et al., 2007). Alla luce di questo fatto è importante considerare che tali dinamiche trofiche potrebbero essere state ulteriormente influenzate da fattori ambientali straordinari. In particolare, si evidenzia l'occorrenza di un evento climatico estremo verificatosi sei mesi prima del campionamento effettuato per questo studio: l'alluvione in Emilia-Romagna del maggio 2023, classificata come evento estremo secondo i parametri di Copernicus (https://nhess.copernicus.org). Tale fenomeno ha presumibilmente determinato un incremento sostanziale dell'apporto fluviale, potenzialmente innescando un aumento della biomassa fitoplanctonica e, conseguentemente, della popolazione zooplanctonica.

Questo evento è anche evidenziato dai dati relativi al parametro ambientale della clorofilla a, proxy per la stima della produttività primaria (Lyngsgaard et al., 2017). I dati riguardanti la clorofilla a sono stati raccolti dai satelliti NASA e riportati sul sito NASA Giovanni, evidenziano un picco nel mese di maggio correlato probabilmente all'evento climatico estremo verificatosi in Emilia-Romagna (Figura 37).

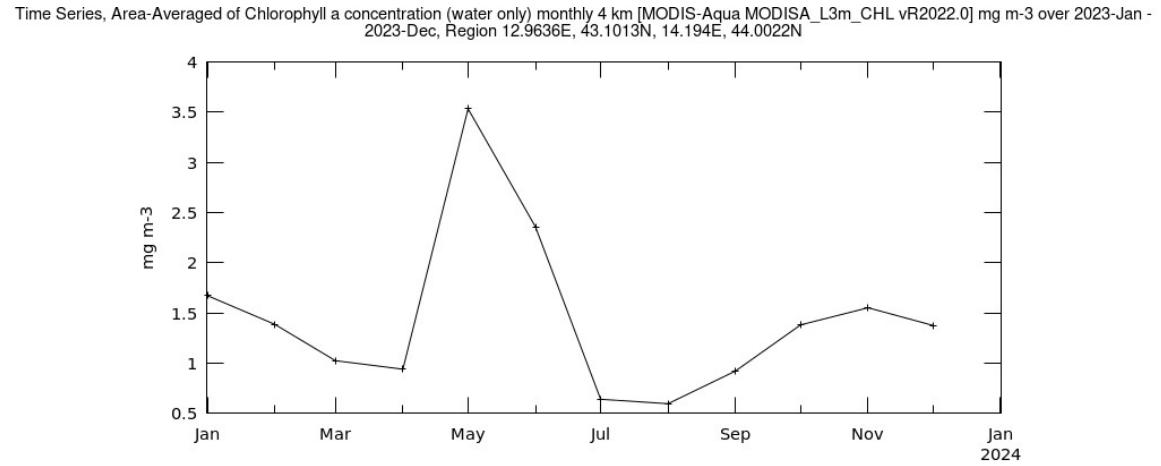


Figura 37. Dati della variazione mensile della clorofilla a nell'area di indagine nel 2023. Fonte: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/

L'aumento della produttività primaria potrebbe aver favorito un aumento nelle abbondanze delle comunità zooplanctoniche e potrebbe spiegare così la predominanza di copepodi nella dieta di *T. mediterraneus* prolungata anche all'inizio della stagione invernale del 2023. Durante il campionamento nella primavera 2019 i dati relativi al parametro ambientale della clorofilla a risultano essere simili all'anno del 2023 ma il campionamento è stato effettuato subito dopo i mesi con livelli di clorofilla molto più bassi rispetto al 2023 (Figura 38).

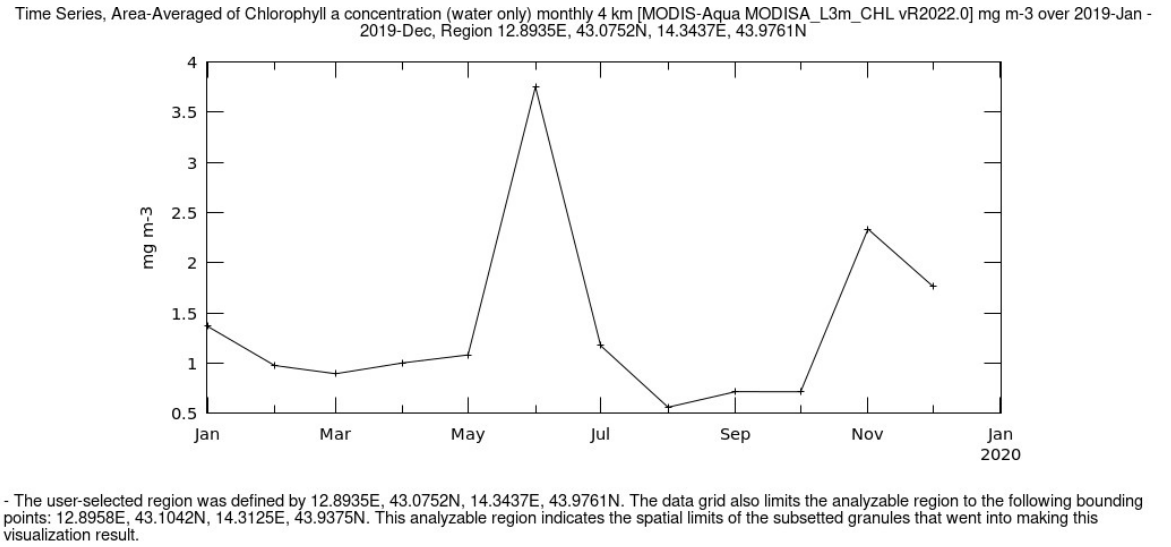


Figura 38. Dati della variazione mensile della clorofilla a nell'area di indagine del 2019. Fonte: https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/

È inoltre fondamentale ricordare le caratteristiche del ciclo riproduttivo di *T. mediterraneus*. La primavera rappresenta il periodo che precede la fase riproduttiva (*spawning*). Durante questa stagione gli individui potrebbero manifestare una preferenza per prede a maggior contenuto energetico. Questa ipotesi potrebbe spiegare la presenza più cospicua, nella dieta primaverile, di crostacei di dimensioni maggiori, come le larve dei decapodi, rispetto ai copepodi.

La diversità trofica, misurata con l'indice di Shannon mostra una variazione significativa in base alla taglia, e risulta essere maggiore negli individui di taglia piccola. Questo suggerisce una dieta più generalista negli stadi giovanili e più

specializzata negli esemplari di taglia maggiore. Questi risultati potrebbero essere spiegati dalle caratteristiche morfologiche degli esemplari giovanili il cui apparato boccale di dimensioni ridotte, come già spiegato in precedenza, impone vincoli fisici sulla selezione delle prede. Tali limitazioni potrebbero indurre un comportamento alimentare meno selettivo, portando all'ingestione di una gamma più ampia di organismi di piccole dimensioni disponibili nell'ambiente pelagico (Šantić et al., 2004). Gli individui di taglia maggiore invece mostrano un indice di Shannon inferiore, indicativo di una strategia trofica più specializzata (Zorica et al., 2021). Questo può essere attribuito allo sviluppo di capacità predatorie più avanzate, con un apparato boccale di maggiori dimensioni che se da un lato amplia lo spettro delle potenziali prede catturabili, dall'altro permette all'animale di essere maggiormente selettivo nella scelta delle risorse alimentari.

5.6 Variazioni ontogenetiche e temporali nella composizione isotopica di T. mediterraneus

L'analisi dei valori isotopici dell'azoto ($\delta^{15}N$) in *T. mediterraneus* rivela una variazione significativa in relazione alle classi di taglia. L'incremento nei valori di $\delta^{15}N$ è associato all'aumento delle dimensioni corporee, questo suggerisce uno spostamento verso il consumo di prede appartenenti a livelli trofici superiori negli

individui di maggiori dimensioni. Questa interpretazione trova riscontro nei risultati dell'analisi dei contenuti stomacali (SCA), che ha evidenziato una preponderanza di pesci ossei nella dieta degli esemplari più grandi, in contrasto con la predominanza di organismi zooplanctonici negli individui di taglia inferiore.

Si osserva inoltre una variazione nei valori del $\delta^{13}C$ in correlazione alla taglia. L'arricchimento in $\delta^{13}C$ negli individui di maggiori dimensioni può essere indicativo di uno spostamento dell'attività predatoria verso risorse bentoniche. Nei sistemi marini, infatti, l'arricchimento in $\delta^{13}C$ è frequentemente associato alle catene trofiche bentoniche, caratteristica che li distingue da quelle pelagiche.

Il confronto tra i valori degli isotopi stabili degli individui del campionamento 2023 e quelli del 2019 mostrano una differenza in base alla stagione di campionamento. Negli individui del campionamento del 2019 i valori isotopici medi risultano essere più bassi sia per $\delta^{15}N$ (10.5±1.2‰) che per $\delta^{13}C$ (-18.2±0.5‰) rispetto a quelli del 2023 di $\delta^{15}N$ (12.6±0.7‰) e $\delta^{13}C$ (-16.8±0.6‰). I valori isotopici medi, più alti negli individui campionati nel 2023, potrebbero essere spiegati sempre dall'evento climatico estremo, precedentemente citato, avvenuto a maggio 2023 che potrebbe aver provocato un aumento di azoto

nell’ambiente e di conseguenza anche un maggior accumulo negli organismi presenti nell’area.

I risultati delle analisi isotopiche, in sinergia con i dati derivanti dall'analisi dei contenuti stomacali, supportano l'ipotesi che *T. mediterraneus* adotti una strategia alimentare che integra risorse sia del comparto pelagico che di quello bentonico. Tale plasticità trofica suggerisce che la specie possa essere classificata come un predatore generalista, capace di sfruttare diverse nicchie ecologiche all'interno dell'ecosistema marino. Queste evidenze collocano *T. mediterraneus* ad una posizione trofica intermedia all'interno dell'ecosistema marino mediterraneo. Questa specie occupa un livello trofico superiore rispetto ai consumatori primari, quali i piccoli pelagici come *S. pilchardus* e *E. encrasicolus*, ma inferiore a quello dei mesopredatori di maggiori dimensioni, come il gattuccio (*Scyliorhinus canicula*) o scombridi del genere *Thunnus* sp.

Grazie ai valori isotopici medi di *T. mediterraneus*, comparati con quelli delle sue principali prede dello zooplancton e del benthos (Fanelli et al., 2009; Fanelli et al., 2022) e con altri mesopredatori di livelli trofici superiori presenti nell’ecosistema dell’Adriatico come il gattuccio (Finotto et al., 2023) e la verdesca (*Prionace glauca*), questi ultimi ottenuti da campioni provenienti dal sud Adriatico

(TL=151±24cm) e analizzati all'Università Politecnica delle Marche, è stato possibile rappresentare un esempio di rete trofica del Mar Adriatico centrale, evidenziando così la posizione di *T. mediterraneus* come mesopredatore (Figura 39).

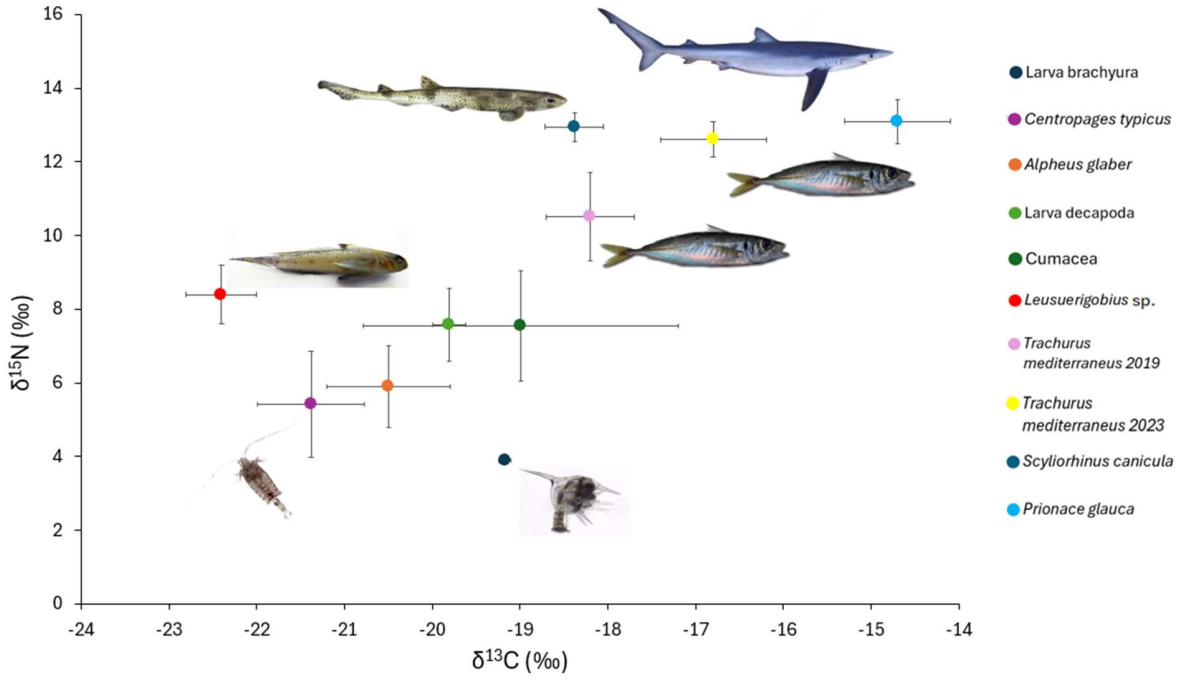


Figura 39. Livello trofico di T. mediterraneus *nell'ecosistema del Mar Adriatico centrale.*

Questa posizione intermedia nella rete trofica marina evidenzia il ruolo ecologico cruciale di *T. mediterraneus* che svolge una funzione chiave nel mediare il trasferimento di energia e nutrienti attraverso la catena alimentare.

6. CONCLUSIONI

Il presente studio ha significativamente ampliato le conoscenze sull'ecologia trofica di *T. mediterraneus* nel Mar Adriatico centrale. L'analisi dei contenuti stomacali ha confermato la strategia alimentare generalista di questa specie con predominanza di copepodi planctonici nella dieta degli esemplari di quest'area geografica. Questi risultati sono stati ulteriormente confermati dall'analisi degli isotopi stabili, che ha permesso di definire con maggiore precisione il ruolo di *T. mediterraneus* come mesopredatore nell'ecosistema pelagico adriatico. La ricerca ha evidenziato l'importanza ecologica e commerciale di *T. mediterraneus* nelle reti trofiche pelagiche del Mar Adriatico centrale, stabilendo una baseline di riferimento essenziale per futuri studi comparativi a lungo termine. Questi dati saranno fondamentali per valutare potenziali modifiche nella ripartizione delle risorse trofiche con specie che occupano lo stesso livello trofico (quali ad es., la specie co-generica *T. trachurus* e gli sgombri *Scomber* spp.) in risposta ai cambiamenti climatici in corso, al conseguente riscaldamento delle acque del Mediterraneo e all'incremento della pressione di pesca. Considerando il ruolo ecologico cruciale di *T. mediterraneus* e la sua vulnerabilità allo sfruttamento eccessivo, emerge la necessità di implementare strategie di monitoraggio più

intensive e misure di conservazione più efficaci per la salvaguardia degli stock di questa importante risorsa ittica nel Mar Adriatico.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abaunza P., Gordo L.S., Garcia Santamaria M.T., Iversen S.A, Murta A.G., Gallo E., (2008). Life history parameters as basis for the initial recognition of stock management units in horse mackerel (Trachurus trachurus). Fish Res 89: 167–180.
- Al Ismaili, S., & Dutta, S. (2023). Ecosystem Characteristics and Trophic Model of the Artificial Reef Ecosystem in the Sea of Oman, Sultanate of Oman. Sustainability, 15(24), 16574.
- Albo-Puigserver, M., Navarro, J., Coll, M., Layman, C. A., & Palomera, I. (2016). Trophic structure of pelagic species in the northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Sea Research*, *117*, 27-35.
- Altukhov, Y. P. (1981). The stock concept from the viewpoint of population genetics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *38*(12), 1523-1538.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N. & Clarke, K. R. (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods. Plymouth: PRIMER-E.
- Aranda, M. (2009). Evolution and state of the art of fishing capacity management in Peru: The case of the anchoveta fishery. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, *4*(2), 146-153.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. University of California Sea Grant, San Diego, California, USA, in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas de Noroeste, La Paz, Baja California Sur, Mexico. 323 pp.
- Bas, C., J. J. Castro, and J. M. Lorenzo, eds. 1995. Int. Symp. Middle-sized Pelagic Fish, Las Palmas de Gran Canaria, Gran Canaria, Canary Islands (Spain). Sci. Mar. 59: 3–4.
- Begg, G. A., Friedland, K. D., & Pearce, J. B. (1999). Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview. *Fisheries research*, *43*(1-3), 1-8.

- Boerema, L. K., Gulland, J. A. 1973. Stock assessment of the Peruvian anchoveta (Engraulis ringens) and management of the fishery. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 30: 2226-2235.
- Buljan M. and Zore-Armanda M. (1976) Oceanographic properties of the Adriatic Sea. Oceanogr. Mar. Biol., 14: 11-98.
- CABANA, G., AND J. B. RASMUSSEN. 1996. Comparison of aquatic food chains using nitrogen isotopes. Ecology 93:10844–10847.
- Carvalho, G. R., & Hauser, L. (1994). Molecular genetics and the stock concept in fisheries. *Reviews in fish biology and fisheries*, *4*, 326-350.
- Caut, S., Angulo, E., Courchamp, F., 2009. Variation in discrimination factors (ΔN and ΔC): the effect of diet isotopic values and applications for diet reconstruction. J Appl Ecol 46, 443–453.
- Celik, M. (2008). Seasonal changes in the proximate chemical compositions and fatty acids of chub mackerel (Scomber japonicus) and horse mackerel (Trachurus trachurus) from the north eastern Mediterranean Sea. *International journal of food science & technology*, *43*(5), 933-938.
- Chapman L.J., Mackay W.C. & Wilkinson C.W. 1988. Feeding flexibility in northeren pike (Esox lucius): Fish versus invertebrate prey. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science, 46: 666-669.
- Chee Y. E. (2004). An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. Biological Conservation, 120(4), 549–565. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.028
- Clarke, K. R. & Warwick, R. M. (1995). Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth: Natural Environmental Research Council.
- Crawford, R.J.M. and Dyer, B.M. (1995) Responses by four seabirds to a fluctuating availability of Cape anchovy Engraulis capensis off South Africa. Ibis, 137: 329-339.
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R. J., Jarre, A., Quinones, R. A., Shannon, L. J., & Verheye, H. M. (2000). Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems. ICES Journal of Marine Science, 57(3), 603-618.

- Da Ros, Z., Fanelli, E., Cassatella, S., Biagiotti, I., Canduci, G., Menicucci, S., ... & Leonori, I. (2023). Resource partitioning among “ancillary” pelagic fishes (Scomber spp., Trachurus spp.) in the Adriatic Sea. *Biology*, *12*(2), 272.
- Danovaro, R., & Boero, F. (2018). Italian seas. In World Seas: An Environmental Evaluation Volume I: Europe, the Americas and West Africa (pp. 283–306). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00060-7
- Davies R. W. D., Cripps S. J., Nickson, A., & Porter G. (2009). Defining and estimating global marine fisheries bycatch. Marine Policy, 33(4), 661–672. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2009.01.003
- Deudero, S., & Morales-Nin, B. (2001). Prey selectivity in planktivorous juvenile fishes associated with floating objects in the western Mediterranean. *Aquaculture Research*, *32*(6), 481-490.
- DIE, 2001. The State Institute of Statistics, Fishery Statistics, Ankara, Turkey, 158 pp.
- Dragičević, B., S. Matić-Skoko & J. Dulčić (2017): Trends in Fisheries and Aquatic Animal Health. Chapter I. Fish and fisheries of the Eastern Adriatic Sea in the light of climate change. Bentham science. 1-22.
- Dulvy N. K., Pacoureau N., Rigby C. L., Pollom R. A., Jabado R. W., Ebert D. A., Finucci B., Pollock C. M., Cheok J., Derrick D. H., Herman K. B., Sherman C. S., VanderWright W. J., Lawson J. M., Walls R. H. L., Carlson J. K., Charvet P., Bineesh K. K., Fernando D., Simpfendorfer C. A. (2021). Overfishing drives over one-third of all sharks and rays toward a global extinction crisis. Current Biology, 31(21), 4773-4787.e8. https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.062
- Dürrani, Ö., & Seyhan, K. (2024). Stock identification of the Mediterranean horse mackerel (Carangidae: Trachurus mediterraneus) in the Marmara and Black Seas using body and otolith shape analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *299*, 108687.
- Fanelli, E., Cartes, J. E., Rumolo, P., & Sprovieri, M. (2009). Food-web structure and trophodynamics of mesopelagic–suprabenthic bathyal

macrofauna of the Algerian Basin based on stable isotopes of carbon and nitrogen. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, *56*(9), 1504-1520.

- Fanelli, E., Da Ros, Z., Menicucci, S. *et al.* The pelagic food web of the Western Adriatic Sea: a focus on the role of small pelagics. *Sci Rep* **13**, 14554 (2023). https://doi.org/10.1038/s41598-023-40665-w
- Fanelli, E., Menicucci, S., Malavolti, S., De Felice, A., & Leonori, I. (2022). Spatial changes in community composition and food web structure of mesozooplankton across the Adriatic basin (Mediterranean Sea). *Biogeosciences*, *19*(6), 1833-1851.
- FAO 2016. The State of World Fisheries and Aquaculture 2016 Contributing to food security and nutrition for all, Rome (2016), p. 200
- FAO 2017. Global Capture Production database updated to 2015 - Summary information. Retrieved from, FAO (2017) http://www.fao.org/3/a-br186e.pdf
- FAO (2018): The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. 172 pp.
- FAO (2020). The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries 2020. https://doi.org/10.4060/cb2429en
- FAO 2023. The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries 2023 – Special edition. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. https://doi.org/10.4060/cc8888en
- FAO 2024. Trachurus mediterraneus Steindachner,1868. *In: Fisheries and Aquaculture*. Rome.
- Fernandez-Jover, D., Jimenez, J. A. L., Sanchez-Jerez, P., Bayle-Sempere, J., Casalduero, F. G., Lopez, F. J. M., & Dempster, T. (2007). Changes in body condition and fatty acid composition of wild Mediterranean horse mackerel (Trachurus mediterraneus, Steindachner, 1868) associated to sea cage fish farms. *Marine Environmental Research*, *63*(1), 1-18.
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., & Roy, C. (2005). Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of marine science*, *76*(2), 385-462.

- Fortibuoni, T., O. Giovanardi, F. Pranovi, S. Raicevich, C. Solidoro & S. Libralato (2017): Analysis of Long-Term Changes in a Mediterranean Marine Ecosystem Based on Fishery Landings. Front. Mar. Sci. 4:33.
- Gamulin T. 1979. Zooplankton from the eastern coast of Adriatic Sea. Acta Biologica, 8: 177-270.
- Geist, S.J., Kunzmann, A., Verheye, H.M., Eggert, A., Schukat, A., Ekau, W., 2014. Distribution, feeding behaviour, and condition of ape horse mackerel early life stages, Trachurus capensis, under different environmental conditions in the northern Benguela upwelling ecosystem. ICES J Mar Sci http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsu087.
- Georgieva, Y. G., Daskalov, G. M., Klayn, S. L., Stefanova, K. B., & Stefanova, E. S. (2019). Seasonal diet and feeding strategy of horse mackerel trachurus mediterraneus (Steindachner, 1868)(Perciformes: Carangidae) in the South-Western Black Sea. Acta Zool. Bulg, 71, 201.
- Gorley, C. &, 2006: PRIMER v6: User Manual/Tutorial.
- Grimes C. B., Johnson A. G., Faber W. A.. Kumpf H. E., Vaught R. N., Nakamura E. L. (1987). Delineation of king mackerel (Scomberomorus cavalla) stocks along the US east coast and in the Gulf of Mexico, Proceedings of Stock Identification Workshop (pg. 186-187) Technical Memorandum NMFS-SEFC-199. 223 pp
- Grove, D. J., & Crawford, C. (1980). Correlation between digestion rate and feeding frequency in the stomachless teleost, Blennius pholis L. *Journal of Fish Biology*, *16*(3), 235-247.
- Guadalupe, R., & Zuta, S. (2000). THE 1997-98 EL NINO AND ITS EFFECTS ON THE COASTAL MARINE ECOSYSTEM OFF PERU. Retrieved November 22, 2016
- Hilborn, R., Buratti, C. C., Díaz Acuña, E., Hively, D., Kolding, J., Kurota, H., ... & Melnychuk, M. C. (2022). Recent trends in abundance and fishing pressure of agency-assessed small pelagic fish stocks. *Fish and Fisheries*, *23*(6), 1313-1331.
- Hunt G. L., & McKinnell S. (2006). Interplay between top-down, bottom-up, and wasp-waist control in marine ecosystems. Progress in

Oceanography, 68(2–4), 115–124. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.02.008

- Hure, J., Ianora, A., & di Carlo, B. S. (1980). Spatial and temporal distribution of copepod communities in the Adriatic Sea. Journal of Plankton Research, 2(4), 295-316.
- IFFO. (2009, July). The Production of Fishmeal and Fish Oil from Peruvian Anchovy. Retrieved November 24, 2016
- Jackson, A.L., Inger, R., Parnell, A.C., Bearhop, S., 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - stable Isotope Bayesian Ellipses in R. J. Anim. Ecol. 80, 595–602. https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x.
- Jax K. (2007). Can we define ecosystems? On the confusion between definition and description of ecological concepts. In Acta Biotheoretica (Vol. 55, Issue 4, pp. 341–355). https://doi.org/10.1007/s10441-007-9024-7
- Karlou-Riga, C. (2000). Otolith morphology and age and growth of Trachurus mediterraneus (Steindachner) in the Eastern Mediterranean. Fisheries research, 46(1-3), 69-82.
- Layman, C.A., Quattrochi, J.P., Peyer, C.M., Allgeier, J.E., 2007. Niche width collapse in a resilient top predator following ecosystem fragmentation. Ecological Letters 10, 937–944. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01087.x.
- Lipskaja N.J. 1966. Pitanie stavridy (Trachurus mediterraneus Steind.) v Adriatičeskom i Černom morjah. Issledovania planktona južnyh morej. Nauka, 210: 109-114.
- Lyngsgaard, M. M., Markager, S., Richardson, K., Møller, E. F., & Jakobsen, H. H. (2017). How well does chlorophyll explain the seasonal variation in phytoplankton activity?. Estuaries and Coasts, 40, 1263-1275.
- Marini, M., Jones, B. H., Campanelli, A., Grilli, F., & Lee, C. M. (2008). Seasonal variability and Po River plume influence on biochemical properties along western Adriatic coast. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *113*(C5).
- MEDIAS. (2019). Common protocol for the Pan-MEDiterranean Acoustic

Survey (MEDIAS), MEDIAS handbook (April 2019). www.mediasproject.eu/medias/website.

- Meléndez-Vallejo, M. J., Torres, P., González-Valderrama, F., Giráldez, A., González, M., Pérez-Gil, J. L., ... & Báez, J. C. (2017, May). Primer registro de anomalía intersexual gonadal de Trachurus mediterraneus (Steindachner, 1868) desde el mar de Alborán. In *Anales de Biología* (No. 39, pp. 89-92). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia.
- Mills L. S., Soule M. E., & Doak D. F. (1993). Keystone-Specie Concept i n Ecology and Conservation Management and policy must explicitly consider the complexity of interactions in natural systems.
- MINAGAWA, M., AND E. WADA. 1984. Stepwise enrichment of 15N along food chains: Further evidence and the relation between 15N and animal age. Geochimica et Cosmochimica Acta 48:1135–1140
- Mir-Arguimbau, J., Sabatés, A., & Tilves, U. (2019). Trophic ecology of Trachurus mediterraneus juveniles associated with the jellyfish Rhizostoma pulmo and Cotylorhiza tuberculata. *Journal of Sea Research*, *147*, 28-36.
- Palomera, I., Olivar, M. P., Salat, J., Sabatés, A., Coll, M., García, A., & Morales-Nin, B. (2007). Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea: an ecological review. *Progress in Oceanography*, *74*(2-3), 377-396.
- Parnell, A.C., 2021. Simmr: A Stable Isotope Mixing Model. R package version 0.4.5. http s://CRAN.R-project.org/package=simmr.
- Post, D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. Ecology 83, 703–718.
- Ragonese, S., Fiorentino, F., Garofalo, G., Gristina, M., Levi, D., Gancitano, S., ... & Zarrad, R. (2003). Distribution, abundance and biological features of picarel (Spicara flexuosa), Mediterranean (Trachurus mediterraneus) and Atlantic (T. trachurus) horse mackerel based on experimental bottom-trawl data (MEDITS, 1994–2002) in the Strait of Sicily. *MedSudMed Technical Documents*, *5*(100-114), 92.
- Raya, V., & Sabatés, A. (2015). Diversity and distribution of early life stages of carangid fishes in the northwestern Mediterranean: responses to environmental drivers. *Fisheries Oceanography*, *24*(2), 118-134.

- Regner D. 1985. Seasonal and multiannual dynamics of copepods in the middle Adriatic. Acta Adriatica, 26: 11-99.
- Relini, G., & L. Lanteri. (2010), *Osteichthyes* Biol. Mar. Mediterr. n.(Suppl. 1) pp. 649-674
- Ripple W. J., Estes J. A., Schmitz O. J., Constant V., Kaylor M. J., Lenz A., Motley J. L., Self K. E., Taylor D. S., & Wolf C. (2016). What is a Trophic Cascade? In Trends in Ecology and Evolution (Vol. 31, Issue 11, pp. 842–849). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.08.010
- Rodríguez-Castañeda, J. C., Ventero, A., García-Márquez, M. G., & Iglesias, M. (2022). Spatial and temporal analysis (2009–2020) of the biological parameters, abundance and distribution of Trachurus mediterraneus (Steindachner, 1868) in the Western Mediterranean. *Fisheries Research*, *256*, 106483.
- Rodríguez-Castañeda, J. C., Ventero, A., & Iglesias, M. (2024). Analysis of the state of conservation of Trachurus trachurus in the Western Mediterranean Sea based on the interannual (2009–2020) changes in their life history traits. *Marine Biology*, *171*(1), 34.
- Ross S.T. 1977. Patterns of resource partitioning in sea robins, (Pisces: Triglidae). Copeia, 1977: 561-571.
- Rumolo, P., Basilone, G., Fanelli, E., Barra, M., Calabrò, M., Genovese, S., ... & Bonanno, A. (2017). Linking spatial distribution and feeding behavior of Atlantic horse mackerel (Trachurus trachurus) in the Strait of Sicily (Central Mediterranean Sea). *Journal of Sea Research*, *121*, 47-58.
- Russo, A., & Artegiani, A. (1996). Adriatic Sea hydrography. Scientia Marina, 60(SUPPL. 2).
- Šantić, M., Jardas, I., & Pallaoro, A. (2003). Feeding habits of mediterranean horse mackerel, Trachurus mediterraneus (Carangidae), in the central Adriatic Sea. Cybium, 27(4).
- Šantić, M., Jardas, I., & Pallaoro, A. (2004). Diet composition and feeding intensity of Mediterranean horse mackerel, Trachurus mediterraneus (Osteichthyes: Carangidae), in the central Adriatic Sea. *Acta adriatica*, *45*(1), 43-50.

- Šantić, M., Rada, B., & Pallaoro, A. (2013). Diet of juveniles Mediterranean horse mackerel, Trachurus mediterraneus and horse mackerel, Trachurus trachurus (Carangidae), from the eastern central Adriatic. Cah. Biol. Mar, 54, 41-48.
- Scharf F., Juanes F. & Rountree R. 2000. Predator size - prey size relationships of marine fish predators: interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. Marine Ecology Progress Series 208: 229–248.
- Scotti M., Bondavalli C., Bodini A., & Allesina S. (2009). Using trophic hierarchy to understand food web structure. Oikos, 118(11), 1695–1702. https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17073.x
- Shakouri B., Khoshnevis Yazdi S., & Fashandi A. (2010). Overfishing. In 2010 2nd international conference on chemical, biological and environmental engineering (pp. 229-234). IEEE.
- Shannon, L. J., Coll, M., Neira, S., Cury, P. M., & Roux, J. P. (2007). Role of small pelagic fish on the ecosystem. *Climate change and small pelagic fish. Cambridge University Press, Cambridge*.
- Sinclair A. R. E. 2003Mammal population regulation, keystone processes and ecosystem dynamicsPhil. Trans. R. Soc. Lond. B3581729–1740 http://doi.org/10.1098/rstb.2003.1359
- Smith, P. J., Francis, R. I. C. C., & McVeagh, M. (1991). Loss of genetic diversity due to fishing pressure. *Fisheries Research*, *10*(3-4), 309-316.
- Smith-Vaniz, W. F., Sidibe, A., Nunoo, F., Lindeman, K., Williams, A. B., Quartey, R., ... & Sagna, A. (2015). Trachurus trachurus. *IUCN red list of threatened species Version 2015: e. T198647A43157137*, 2015-4.
- Stergiou, K. I. and Karpouzi, V. (2002) Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 11: 217–254.
- Stevens M., Maes J. & Ollevier F. 2007.Taking potluck: trophic guild structure and feeding strategy of an intertidal fish assemblage. http://agris.fao.org/
- Stoikov S. T. 1978. The food of the scad (Trachurus mediterraneus ponticus Aleev) during the 1978 fishing season. Fish industry 7: 4-5.

- Stolyhwo, A., Kolodziejska, I. & Sikorski, Z.E. (2006). Long chain polyunsaturated fatty acids in smoked Atlantic mackerel and Baltic sprats. Food Chemistry, 94, 589–595.
- Stoner A. W. & Livingston R.J. 1984. Ontogenetic patterns in diet and feeding morphology in sympatric sparid fishes from sea-grass meadows. Copeia, 1984: 174-178.
- Tilley, A., Lopez-Angarita, J., Turner, J.R., 2013. Diet reconstruction and resource partitioning of a Caribbean marine mesopredator using stable isotope Bayesian modelling. PLoS One 8, e79560. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079560.
- Tsukayama, I., 1983. Recursos pelágicos y sus pesquerías en Perú. Revista Comisión Permanente del Pacífico Sur, 13: 25–63.
- Turan, C. (2004). Stock identification of Mediterranean horse mackerel (Trachurus mediterraneus) using morphometric and meristic characters. *ICES Journal of Marine Science*, *61*(5), 774-781.
- Turan, C. (2021). Data-limited stock assessment of two horse mackerel species (Trachurus mediterraneus and T. trachurus) from the Mediterranean coast of Turkey. *Regional Studies in Marine Science*, *44*, 101732.
- UNDP & GEF. (2012). FRONTLINE OBSERVATIONS ON CLIMATE CHANGE AND SUSTAINABILITY OF LARGE MARINE ECOSYSTEMS. Retrieved November 22, 2016
- Vander Zanden, M. J., & Rasmussen, J. B. (1999). Primary consumer δ 13 C and δ 15 N and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology*, 1395-1404.
- Ware D. 1972. Predation by rainbow trout (Salmo gairdneri) the influence of hunger, prey density and prey size. Journal of Fisheries Research Board of Canada, 29: 1193-1201.
- Yankova M.H., Raykov V.S. & Frateva P.B. 2008. Diet composition of Horse mackerel, Trachurus mediterraneus ponticus Aleev, 1956 (Osteichthyes: Carangidae) in the Bulgarian Black Sea Waters. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 8: 321-327.

- Zlatev E. 1986. Migration, distribution and feeding of the Black Sea horse mackerel Trachurus mediterraneus ponticus form the Western Black Sea.
- Zorica, B., Ezgeta-Balić, D., Vidjak, O., Vuletin, V., Šestanović, M., Isajlović, I., ... & Harrod, C. (2021). Diet Composition and isotopic analysis of nine important fisheries resources in the Eastern Adriatic Sea (Mediterranean). Frontiers in marine science, 8, 609432.

9. SITOGRAFIA

- http://larepublica.pe/turismo/rumbos-al-dia/756003-la-segunda-temporada-de-pesca-de-anchoveta-fue-un-error-segun-oceana
- https://sbt.astadelpesce.com/app/auction/status
- https://www.colapisci.it/PescItalia/pisces/Carangiformes/Carangidae/SugarelloMaggiore.htm
- https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/2311/en
- http://aforo.cmima.csic.es/
- https://www.marinespecies.org/
- https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN154
- https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/