



mipaaf
ministero delle politiche
agricole alimentari e forestali



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**

FONDO EUROPEO PER GLI AFFARI MARITTIMI E LA PESCA

Priorità n. 1 – Promuovere la pesca sostenibile sotto il profilo ambientale, efficiente in termini di risorse, innovativa, competitiva e basata sulle conoscenze

Relazione finale del progetto, con riferimento alla scheda progettuale (Modulo 02)

Misura 1.40

Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi marini e dei regimi di compensazione nell'ambito di attività di pesca sostenibili

Art. 40, par. 1, lett. a), b), c), d), e), f), g), i) del Reg. (UE) n. 508/2014

2020



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**

FEAMP-21 - PO FEAMP (2014-2020) Misura 1.40

“Protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi marini e dei regimi di compensazione nell’ambito di attività di pesca sostenibili”

Sostenibilità dello sfruttamento delle comunità bivalvi del Friuli Venezia Giulia: caratteristiche ambientali e produttività

Cod. progetto 072/RBC/20

CUP: D98D20001830009



	<i>Contrattore nome:</i>	Regione FVG
	<i>Contrattore Progetto No.:</i>	Cod. progetto 072/RBC/20
	<i>Data</i>	17/10/2023
		<i>Pagine:</i> 342



mipaaf
ministero delle politiche
agricole alimentari e forestali



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**





FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Questa attività di Ricerca è stata finanziata dalla Regione FVG nell'ambito FEAMP e condotta e coordinata da Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale OGS, con la collaborazione di:
Area Marina Protetta di Miramare, ARPA-FVG, Shoreline, Università di Trieste, Cooperativa Pescatori di Grado, Cooperativa Pescatori San Vito di Marano Lagunare, CO.GE.MO., Lega COOP FVG, ISPRA



Responsabile scientifico

Cosimo Solidoro [OGS]

Coordinamento attività e capitoli specifici

Davide Agnetta, Rocco Auriemma, Vinko Bandelj, Diego Borme, Marina Cabrini, Donata Melaku Canu, Cinzia De Vittor, Michele Giani, Simone Libralato, Monia Renzi (UniTS), Maurizio Spoto (AMP Miramare)

Partecipanti

per OGS: Damiano Baldan, Laura Baldassarre, Matteo Bazzaro, Federica Camisa, Igor Celić, Tamara Cibic, Alessandra Davanzo, Alessandra de Olazabal, Nessim Douss, Daniela Fornasaro, Fabrizio Gianni, Alenka Goruppi, Martina Kralj, Federica Nasi, Federica Relitti, Tommaso Scarpa, Valentina Tirelli, Ariana Turković, Serena Zunino

per UniTS: Manuela Piccardo, Verdiana Vellani

per ARPA-FVG: Alessandro Acquavita, Nicola Bettoso, Massimo Celio, Lisa Faresi, Claudia Orlandi

per AMP-Miramare: Lorenzo Castelletto

per Shoreline: Saul Ciriaco, Carlo Franzosini, Marco Segarich,

per Coop. Pescatori Grado: Luca Corbatto, Rudi Corbatto

per Coop. S.Vito: Sandro Marra, Riccardo Milocco, Claudio Moratto

per Co.Ge.Mo. Rita Regeni

per Lega COOP FVG: Giorgia Polli, Gaetano Zanutti

per ISPRA: Daniela Berto, Claudia Gion, Federico Rampazzo

Ringraziamenti:

Si ringraziano inoltre il Sig. Stefano Caressa per il supporto nelle attività di campionamento e tutti i pescatori che hanno contribuito in vario modo allo svolgimento delle attività progettuali e di campionamento.



SOMMARIO

INTRODUZIONE	8
WP 1. Ricostruzione della storia dello sfruttamento della risorsa	10
1.1 Caratterizzazione dell'attività di pesca con le draghe idrauliche in Friuli Venezia Giulia	11
1.1.1 Capacità di pesca.....	15
1.1.2 Catture per unità di sforzo	16
1.2 Caratterizzazione socio-economica-ecologica attraverso indagine diretta (Traditional Ecological Knowledge)	19
1.2.1 Piano di gestione.....	21
1.2.2 La pesca dei Fasolari nel compartimento marittimo di Monfalcone, ed interazioni con referenti degli operatori	23
1.2.3 Incontri bilaterali.....	25
1.2.4 Criticità	27
1.2.5 Questionari	33
1.2.6 CALLISTA CHIONE	33
1.2.7 CHAMELEA GALLINA	38
1.2.8 RUDITAPES PHILIPPINARUM	40
1.2.9 Analisi SWOT	43
WP 2. Ricostruzione storica degli input di nutrienti e dello stato ambientale	46
2.1 Serie storiche della portata dei fiumi e della concentrazione dei nutrienti.....	47
2.1.1 Portate e carichi di nutrienti	47
2.1.2 Particellato sospeso fluviale.....	62
2.2 Evoluzione temporale della concentrazione dei nutrienti nelle acque costiere.....	64
2.2.1 Analisi delle serie temporali.....	72
2.2.2 Evoluzione spazio-temporale dei parametri chimico-fisici	85
WP 3. Mappatura e stato della risorsa fasolari	93
3.1 Mappatura dei fasolari su ampia scala	94
3.2 Mappatura dei fasolari giovanili	100
3.3 Censimento del macrobenthos associato	108
3.4 Biometrie dei fasolari giovanili.....	117
3.5 Indice di condizione dei fasolari.....	128
3.6 Descrizione dello stato delle risorse e documentazione videografica	133
WP 4. Mappatura e stato della risorsa vongola di laguna	146



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**

4.1 Mappatura delle vongole di laguna su ampia scala	147
4.2 Mappatura delle vongole giovanili.....	152
4.3 Censimento del macrobenthos associato	154
4.4 Biometrie delle vongole giovanili.....	158
4.5 Indice di condizione delle vongole di laguna	161
WP 5. Mappatura e stato della risorsa pettinidi	166
5.1 Mappatura dei pettinidi su ampia scala.....	167
5.2 Censimento del macrobenthos associato	173
5.3 Biometrie dei pettinidi	178
WP 6. Caratterizzazione ambientale delle aree a fasolari	183
6.1 Caratterizzazione dei sedimenti delle aree a fasolari	183
6.1.1 Caratterizzazione granulometrica	185
6.1.2 Caratterizzazione della sostanza organica nei sedimenti	187
6.2 Caratteristiche fisico-chimiche e trofiche delle aree a fasolari.....	194
6.2.1 Caratteristiche idrologiche delle acque di fondo (area fasolari-stazioni “Faro”).....	195
6.2.2 Caratteristiche dei sedimenti.....	209
6.2.3 Popolamenti planctonici presenti nelle aree a fasolari (area fasolari-stazioni “Faro”)	213
6.2.4 Isotopi stabili del carbonio ed azoto nel plancton (area fasolari-stazioni “Faro”).....	217
6.3 Caratterizzazione del benthos nelle aree a fasolari	221
6.3.1 Caratterizzazione del benthos	221
6.3.2 Caratterizzazione isotopica del popolamento microbentonico	230
WP 7. Dieta e livello trofico dei fasolari.....	233
7.1 Descrizione della dieta tramite analisi degli isotopi.....	234
7.2 Descrizione della dieta tramite analisi dei contenuti stomacali	242
WP 8. Modelli di vocazione sulla distribuzione dei fasolari	248
8.1 Integrazione dei dati e produzione di mappe	249
8.2 Modelli vocazionali	256
WP 9. Esperimenti di rideposizione dei fasolari	275
9.1 Prelievo, marcatura e rideposizione dei fasolari.....	276
WP 10. Analisi ecotossicologiche sui fasolari	281
10.1 Analisi dei biomarkers sui fasolari.....	282
WP 11. Condivisione, facilitazione, divulgazione, comunicazione dei risultati.....	289
11.1 Attività di condivisione e facilitazione	290



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

11.2 Attività di divulgazione.....	293
BIBLIOGRAFIA	297
APPENDICE.....	309

INTRODUZIONE

I settori produttivi che comprendono la pesca e l'acquacoltura dei molluschi bivalvi sono elementi essenziali dell'economia ittica e dell'occupazione nel Friuli Venezia Giulia. Nel corso degli anni 2015/2019 si è riscontrata una importante contrazione produttiva, con dati di produzione dimezzati del 50% nel quinquennio.

La struttura dello sforzo di pesca si è mantenuta pressoché simile, ma la presenza di Capelunghe (*Ensis minor*) e soprattutto di Vongole (*Chamelea gallina*) in mare è estremamente ridotta, per cui le imbarcazioni del Friuli Venezia Giulia che operano con il sistema di pesca "draga idraulica" (40 unità) insistono attualmente in modo quasi esclusivo sulla risorsa Fasolari (*Callista chione*).

Molteplici sono i fattori che concorrono a determinare lo stato delle popolazioni di bivalvi e, fra questi, va sicuramente considerato anche il fattore ambientale, inteso come l'insieme delle caratteristiche fisico chimiche della colonna d'acqua - quali temperatura, salinità, disponibilità di ossigeno disciolto e delle caratteristiche trofiche dell'acqua. I bivalvi sono infatti organismi filtratori la cui crescita è vincolata dalla disponibilità di particolato organico sospeso nella colonna d'acqua, dal quale traggono l'energia necessaria per l'accrescimento, il mantenimento delle funzioni vitali e la riproduzione. Non va peraltro dimenticata l'esistenza di processi di predazione e di competizione per le risorse, nell'ultimo periodo sicuramente amplificati dalla presenza massiva di specie invasive quali il granchio blu (*Callinectes sapidus*) e la noce di mare (*Mnemiopsis leidyi*). Inoltre, fattori di stress potenzialmente legati ai cambiamenti climatici, o alla presenza di contaminanti, o altri elementi di perturbazione, possono avere un ruolo diretto o indiretto nella destabilizzazione delle popolazioni di bivalvi. Naturalmente anche un eccessivo prelievo è sicuramente in grado di danneggiare la sostenibilità di uno stock, soprattutto se questo risulta già indebolito da forzanti ambientali avverse.

In questo contesto, è utile ricordare che nell'ultimo decennio è stata riportata, oltre alla presenza di *Mnemiopsis leidyi* e *Callinectes sapidus* e all'aumento di temperatura e acidità, anche una diminuzione marcata della concentrazione di clorofilla nell'acqua, potenzialmente indice di una minore disponibilità di energia per tutti gli organismi eterotrofi, inclusi i bivalvi filtratori.

Nell'ottica dell'interesse collettivo, e con il fine del beneficio collettivo, il presente progetto - nato su specifica richiesta di un insieme ampio e rappresentativo di operatori del settore - si propone di migliorare la conoscenza dello stato della risorsa e delle caratteristiche ambientali che supportano la produttività dei bivalvi, anche con il fine di contribuire ad individuare strumenti e procedure capaci di favorire la definizione e l'implementazione di piani di protezione e di gestione sostenibile delle risorse disponibili, con particolare riferimento ai fasolari (*Callista chione*) e alle vongole di laguna (*Ruditapes philippinarum*).

Più nel dettaglio, gli obiettivi del progetto sono:

- valutazione della capacità trofica delle acque costiere del Friuli Venezia Giulia, anche in relazione agli apporti di nutrienti, e con riferimento alle aree ove si esercita l'attività di pesca dei molluschi bivalvi con particolare riferimento agli stock di fasolari;



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**

- valutazione della consistenza degli stock di fasolari e messa a punto della conoscenza di base necessaria alla predisposizione di un piano di gestione della risorsa che promuova la pesca sostenibile e la conservazione della specie;
- analisi delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche dei sedimenti, anche per valutare le caratteristiche che facilitano la crescita dei fasolari e l'identificazione di modelli di vocazione;
- esperimenti di marcatura e spostamento di fasolari.

Nella piena consapevolezza che l'analisi di questi fattori non può prescindere da una relazione dialogante con il sistema produttivo, è stata intenzione del soggetto beneficiario instaurare da subito un processo fortemente condiviso e partecipato con tutti gli operatori del settore, molti dei quali, oltre a supportare il progetto, hanno assicurato il loro coinvolgimento in termini operativi all'esecuzione delle attività. Sono stati inoltre istituiti rapporti collaborativi con altre importanti realtà scientifiche e tecniche del territorio, quali l'università di Trieste, l'ARPA FVG, la cooperativa Shoreline e l'Area Marina Protetta di Miramare.

WP 1. Ricostruzione della storia dello sfruttamento della risorsa



1.1 Caratterizzazione dell'attività di pesca con le draghe idrauliche in Friuli Venezia Giulia

L'attività di pesca del fasolaro con la draga idraulica è una pratica relativamente recente, poiché l'introduzione di tale attrezzo da pesca in Adriatico risale agli anni '60. Tuttavia, la draga idraulica principalmente utilizzata per pescare il fasolaro (*Callista chione*) e la vongola lupino (*Chamelea gallina*) ha avuto uno sviluppo che ha caratterizzato tutta la parte costiera occidentale dell'Adriatico, interessando le marinerie dal golfo di Molfetta fino al golfo di Trieste. Ad oggi la pesca di questi bivalvi con la pesca idraulica rappresenta una marineria molto importante in Adriatico per numero di imbarcazioni attive (circa 700), quantità di pescato (oltre 16000 tonnellate, pari all'11% dell'intero sbarcato; dati FAO 2022) e soprattutto per valore economico (lupino: 49 milioni di USD equivalenti; fasolaro: 5 milioni di USD equivalenti; dati FAO 2022).

In Friuli Venezia Giulia questo attrezzo viene utilizzato quasi esclusivamente ad ovest della foce del Timavo ed è utilizzato in prevalenza per la raccolta del fasolaro. L'evoluzione dello sbarcato, della capacità di pesca e degli indicatori di catture per unità di pesca negli ultimi decenni permette di caratterizzare l'attività di pesca del fasolaro con le draghe idrauliche in Friuli Venezia Giulia. In particolare, l'obiettivo dell'analisi di questa sezione è valutare le dinamiche dell'attività di pesca per desumere l'andamento e lo stato del settore. Poiché la pesca del fasolaro risulta essere esercitata principalmente nelle regioni nord Adriatiche del Veneto e del Friuli Venezia Giulia ed il mercato di vongole e fasolari in alto Adriatico è condiviso e coordinato tra Veneto e Friuli Venezia Giulia, il confronto con le dinamiche della regione vicina è necessario per capire sia il coordinamento gestionale sia l'estensione delle criticità del settore.

Il confronto degli andamenti annuali di sbarcato nelle diverse stagioni consente non solo di capire la stagionalità della produzione ma anche la significatività delle dinamiche pluriennali. I dati di capacità di pesca consentono di valutare l'attrattività di questo tipo di pesca e la dinamicità del settore. Infine capacità e sbarcato consentono di determinare le catture per unità di capacità di pesca, un utile indicatore per determinare lo stato di criticità o meno del settore.

Materiali e Metodi

Per caratterizzare la pesca del fasolaro sono stati utilizzati dati ufficiali, raccolti da organismi e istituzioni addette o coinvolte nella raccolta dati, e coprono la finestra temporale dal 2002 al 2021. In particolare il dato di sbarcato mensile da cui è determinato lo sbarcato annuale è stato ottenuto in parte dai dataset dell'ex IREPA ONLUS. Questi dati sono stati integrati con dati dell'Osservatorio Socio Economico della Pesca e dell'Acquacoltura di Veneto Agricoltura, del Consorzio Gestione Vongole (CO.GE.VO.) e del Consorzio Gestione Pesca compartimento Monfalcone (CO.GE.MO.) per ottenere una serie di sbarcato dal 2002 al 2021. La capacità di pesca è descritta attraverso queste fonti e dalle informazioni ottenute dagli osservatori piuttosto che dal Fleet register (https://webgate.ec.europa.eu/fleet-europa/search_en), in quanto le dichiarazioni di primo e secondo attrezzo non sempre coincidono con l'attrezzo effettivamente utilizzato. I dati di pescato per unità di imbarcazione (LPUC: landings per unit of capacity) sono calcolati dal rapporto annuale tra catture e

capacità e sono anche stati confrontati con dati logbook provenienti dalla raccolta dati (Mably Scarl). La base dei dati presentati è stata raccolta in parte nel progetto FAIRSEA (FAIRSEA, 2021) successivamente integrata con dati disponibili dalle fonti originarie ed integrati con dati pubblicati (Grazioli et al., 2022).

Risultati e Discussione

Sbarcato - Nel periodo dal 2002 al 2021 le maggiori catture sono osservate nel Veneto, tra le 1350 nel 2005 tonnellate e le 540 nel 2020 (Figura 1.1.1). Nello stesso periodo lo sbarcato del fasolaro del Friuli Venezia Giulia era minore, aggirandosi tra 900 tonnellate (nel 2003) e 350 (nel 2020). Quantità minori di fasolari sono osservate anche nelle regioni della Puglia (fino a 15 tonnellate all'anno) e marginali nelle Marche e l'Emilia Romagna (qualche chilogrammo raccolto): ad indicare una focalizzazione nord-adriatica della produzione di questa risorsa ittica commerciale. In entrambe le regioni nord-adriatiche si è osservata una diminuzione dello sbarcato, che aveva il suo massimo nel periodo 2004-06 in Veneto e nel 2003-04 in Friuli Venezia Giulia.

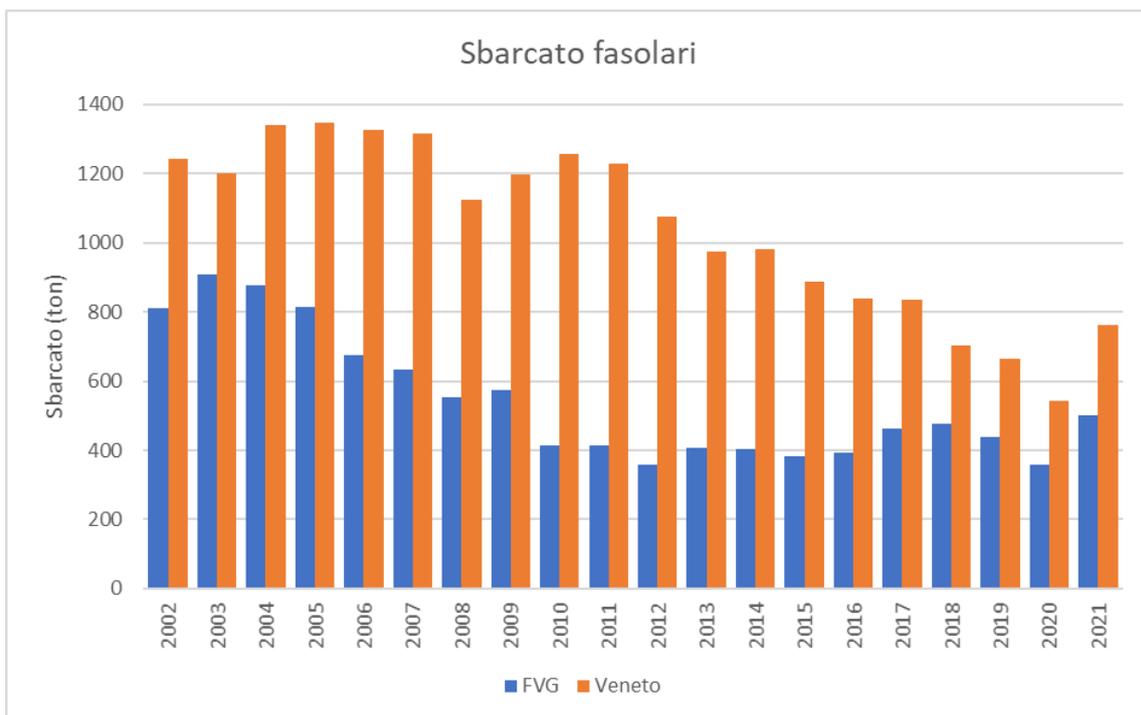


Figura 1.1.1. Andamento storico dello sbarcato dei fasolari nelle regioni Friuli Venezia Giulia e Veneto.

La riduzione complessiva dello sbarcato nei due decenni rispetto al massimo è stata molto simile nelle due regioni e pari a circa 55% rispetto al massimo (si veda riduzione anni 2020-21; Figura 1.1.2). Tuttavia in Friuli Venezia Giulia la riduzione è avvenuta principalmente nel periodo 2003 - 2010 (Figura 1.1.2) e successivamente lo sbarcato si è stabilizzato oscillando tra le 350 e le 500 tonnellate all'anno (Figura 1.1.1). In Veneto la

riduzione è stata più graduale ed ha interessato tutto il periodo considerato raggiungendo 500-600 tonnellate negli ultimi anni del periodo considerato (Figura 1.1.2).

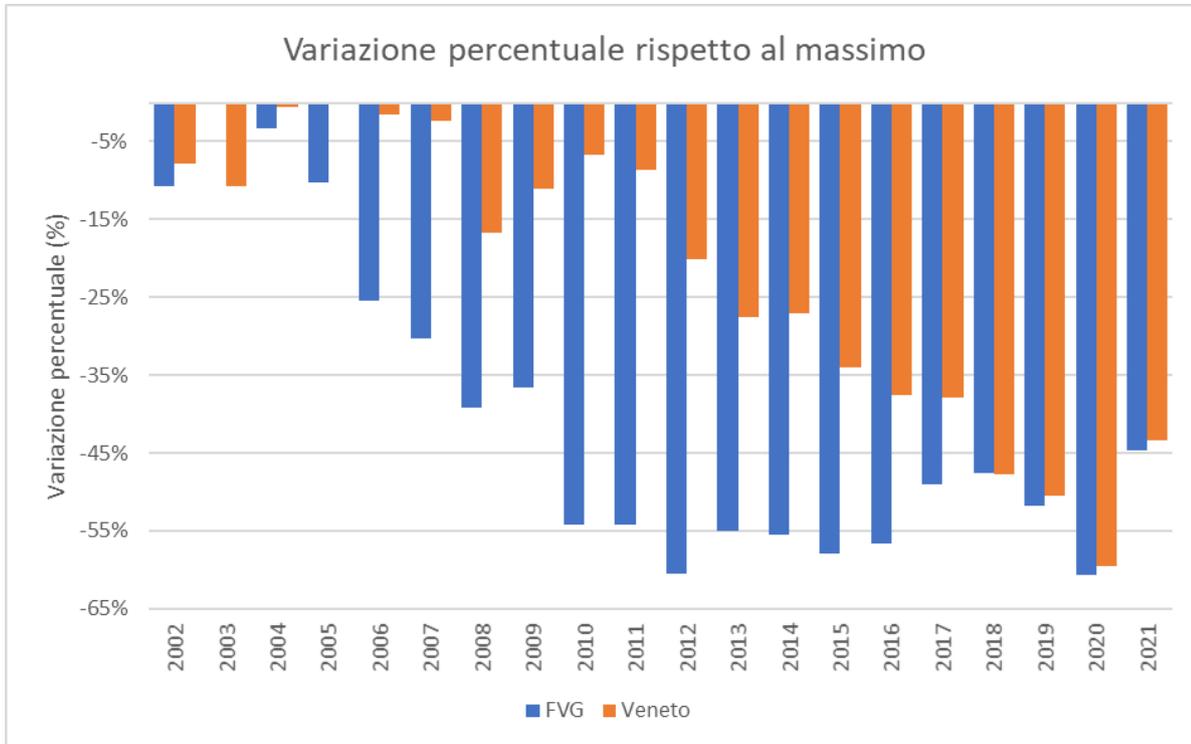


Figura 1.1.2. Andamento della variazione dello sbarcato nel Friuli Venezia Giulia e nel Veneto nel tempo rispetto allo sbarcato massimo osservato nel periodo 2002-21. Le barre indicano il grado di diminuzione percentuale.

Raggruppando i dati di sbarcato nel periodo 2002-19 in stagioni si può osservare una discreta stagionalità della pesca del fasolaro (Figura 1.1.3). La stagione meno produttiva è l’inverno (mesi di gennaio-marzo), seguita da un aumento progressivo passando dalla primavera (aprile-giugno) all’autunno (ottobre-dicembre). L’aumento della produzione nel periodo autunnale è principalmente dato dall’aumento della pesca a ridosso delle feste natalizie (a dicembre).

Inoltre, l’andamento dello sbarcato stagionale mantiene una certa regolarità, però lo sbarcato del fasolaro è guidato molto dalla domanda del mercato e dal turismo (Figura 1.1.4). Occasionalmente alcune stagioni risultano rompere lo schema (Figura 1.1.4) e si possono osservare picchi di produzione inusuali.

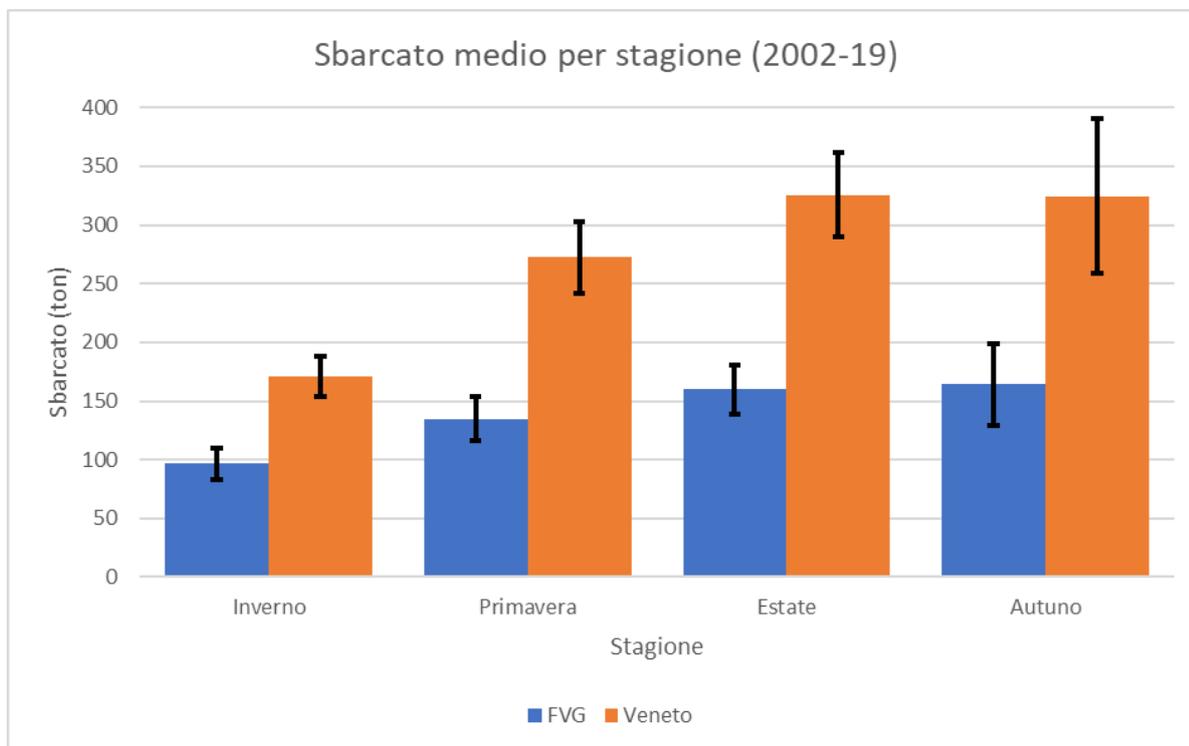


Figura 1.1.3. Stagionalità dello sbarcato dei fasolari nel Friuli Venezia Giulia e nel Veneto. Le barre indicano il valore medio di sbarcato nel periodo 2002-19, con associata la deviazione standard. Le stagioni rappresentano: inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) ed autunno (ottobre-dicembre).

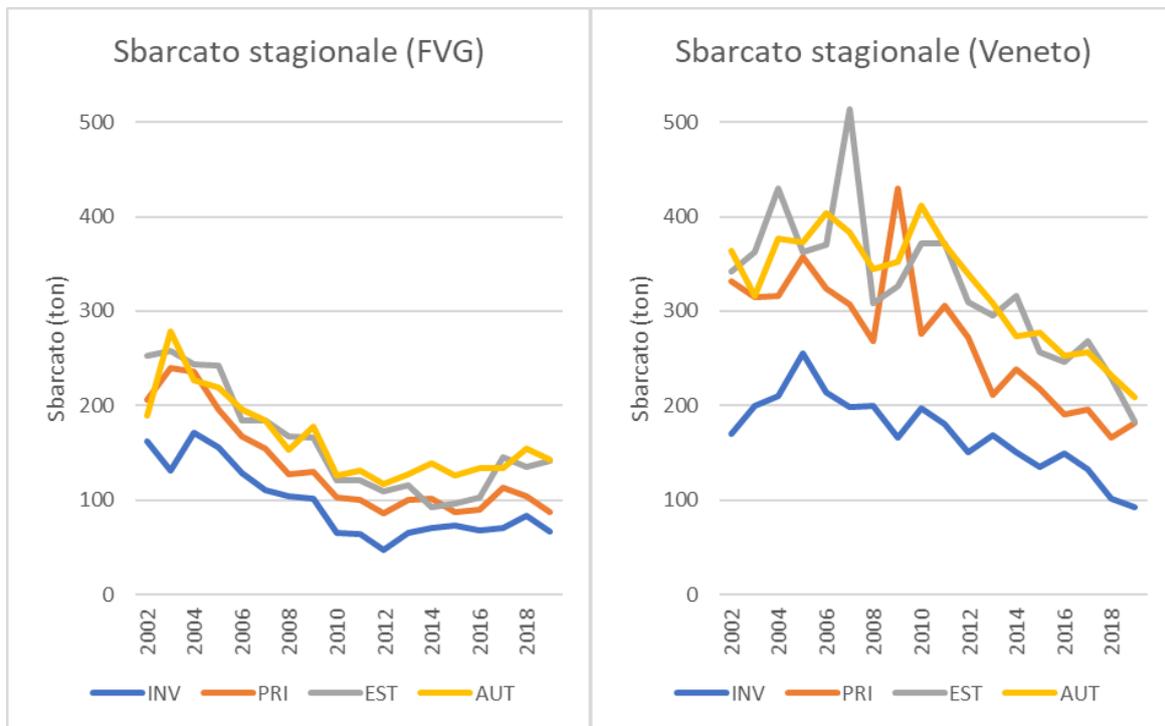


Figura 1.1.4. Andamento di lungo periodo dello sbarcato stagionale di fasolari nel Friuli Venezia Giulia (pannello di sinistra) e nel Veneto (destra). Le stagioni rappresentano: inverno (gennaio-marzo), primavera (aprile-giugno), estate (luglio-settembre) ed autunno (ottobre-dicembre).

1.1.1 Capacità di pesca

La flotta di draghe idrauliche attrezzate per la pesca del fasolario risulta essere maggiore nel Veneto nel corso del periodo considerato, ma gli ultimi due anni evidenziano una convergenza del numero di draghe idrauliche nelle due regioni (Figura 1.1.5). In Veneto tra gli anni 2002 e 2009 la flotta oscilla tra le 38 e 44 unità, per poi aumentare a 60 unità nel 2010, e dal 2012 a ridursi fino a 46 unità nel 2020. D'altro canto la flotta del Friuli Venezia Giulia è più piccola e ha una tendenza stabile nel tempo. Dati dettagliati per il FVG disponibili indicano 22 unità dal 2011, e da un confronto con dati IREPA che contano 41-42 draghe idrauliche (sia pescherecci per vongole che fasolari) nel FVG, è verosimile che la flotta sia stata simile anche dal 2002 al 2010. Nel FVG, dal 2015 c'è stato un aumento di pescherecci adibiti alla pesca del fasolario che risultano dalla conversione delle draghe idrauliche che precedentemente pescavano la vongola lupino (*C. gallina*), di fatto non modificando il numero delle draghe idrauliche totali. Nel FVG, dal 2019 tutte le 40 imbarcazioni (draghe idrauliche) pescano fasolari a rotazione per un totale di 29 quote effettive.

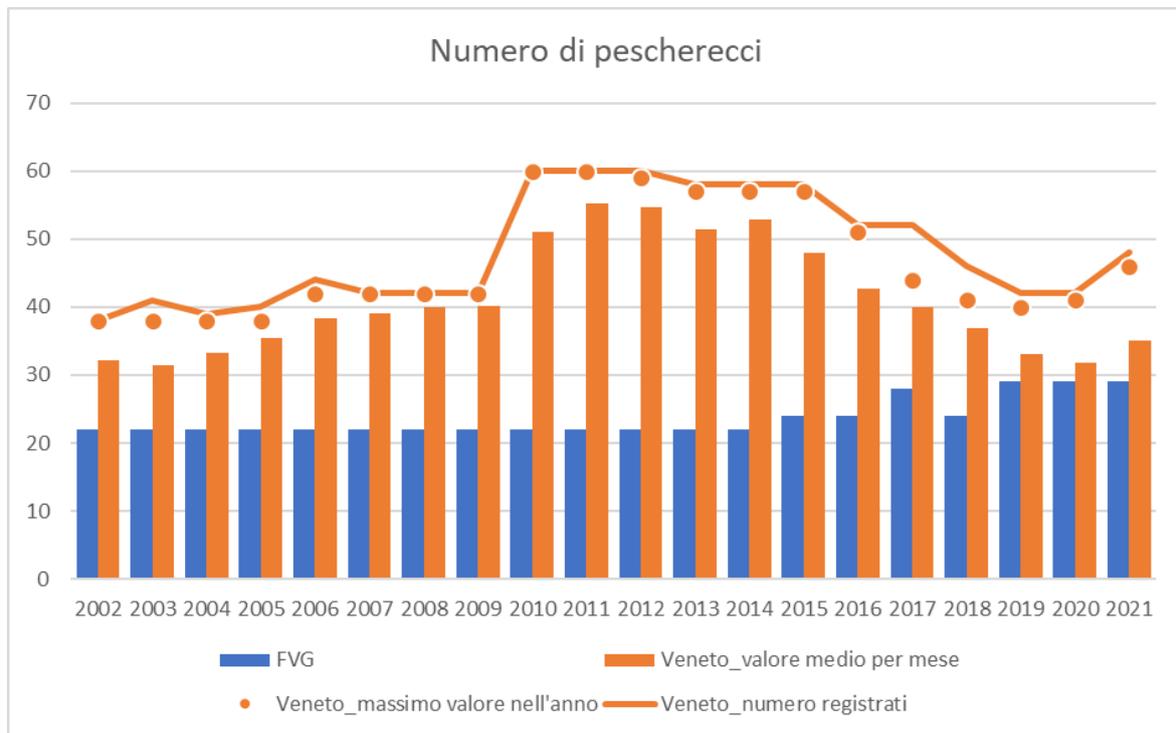


Figura 1.1.5. Andamento storico della flotta peschereccia di draghe idrauliche attrezzate per fasolari nel Friuli Venezia Giulia e nel Veneto. I dati del Friuli Venezia Giulia (azzurro) riportano il numero di draghe idrauliche attive (Osservatorio per la pesca). I dati del Veneto dell'Osservatorio per la pesca dettagliano il numero medio di pescherecci che ha lavorato ogni mese (barre), il massimo numero di pescherecci che ha lavorato in un mese (punti) e il numero di pescherecci abilitati alla pesca al fasolario (linea continua).

1.1.2 Catture per unità di sforzo

L'indicatore dello sbarcato per peschereccio mostra andamento e valori molto simili nelle due regioni valutate. La dinamica mostra un picco di catture di 40 tonnellate per barca tra il 2002-2003 che successivamente diminuisce fino a raggiungere poco meno di 20 tonnellate per barca nel periodo 2010-2011 (Figura 1.1.6). Tale quantitativo annuale per barca è successivamente mantenuto stabilmente negli ultimi 10 anni della serie storica, a parte nel 2020 che ha visto una leggera inflessione delle catture a causa dell'interruzione della pesca e alle difficoltà dei mercati dovuti alla pandemia COVID-19. In generale, a fronte di dinamiche diverse per le due regioni sia di sbarcato che di capacità di pesca, emerge una dinamica molto coerente di catture per unità di barca, mettendo in risalto un controllo trans-regionale sulle catture. E' infatti noto che il settore della pesca con la draga idraulica da tempo stabilisce delle pseudo-quote definite in modo coordinato e autogestito (Grazioli et al., 2022) che risulta quindi evidenti nei dati di cattura per unità di barca (Figura 1.1.6).

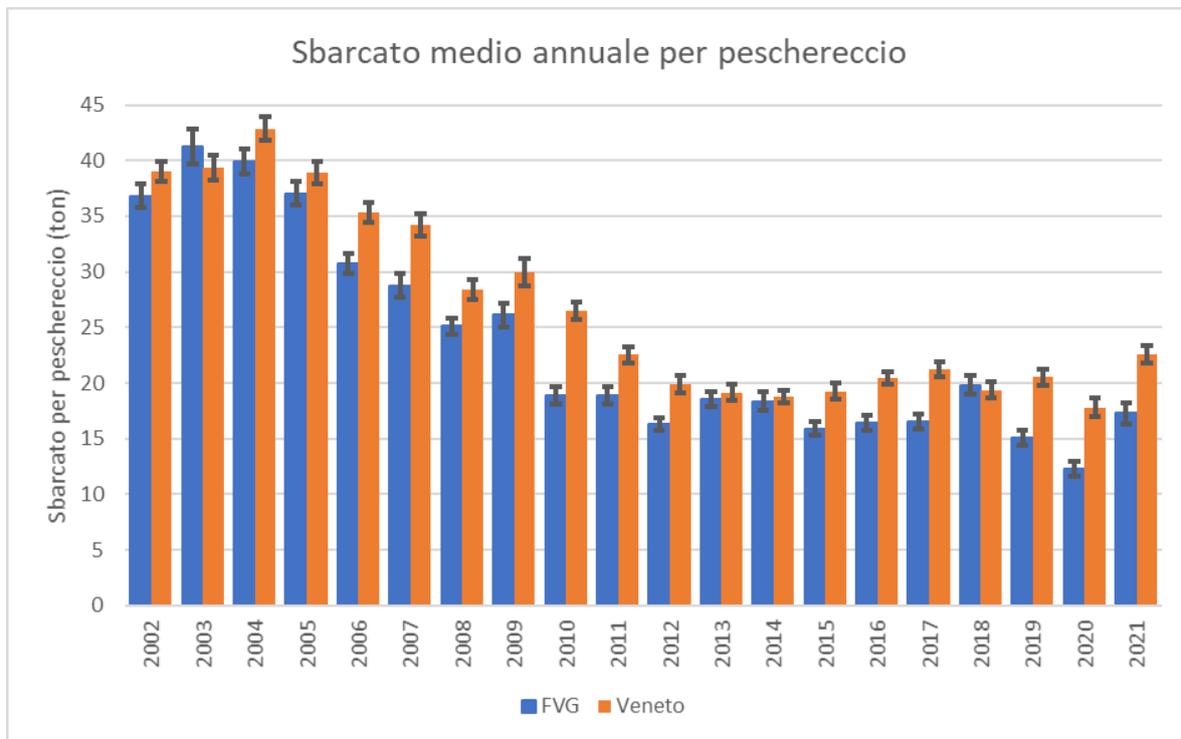


Figura 1.1.6. Andamento del tempo dello sbarcato medio annuale per peschereccio. Le barre indicano il valore medio rilevato e le linee nere la deviazione standard.

Andando in un ulteriore dettaglio e analizzando i dati di cattura per giorno di pesca disponibili per il Veneto (Figura 1.1.7) si nota come le quote giornaliere per peschereccio siano rimaste relativamente stabili tra circa 260 e 410 kg per peschereccio nel corso di tutto il periodo 2002-2021. I dati ricavati per gli anni 2014-2016 per il Friuli Venezia Giulia (circa 260-320 kg al giorno), mettono in evidenza una grande coerenza di catture per unità di sforzo tra le due regioni.

Questo dato indica come l'approccio alla gestione del fasolario sia stato affrontato mantenendo invariata la cattura per giornata di pesca per tutto il periodo analizzato (2002-2021) e l'intervento gestionale è consistito nel regolare il numero delle giornate di pesca e/o il numero delle draghe attive. Questo tipo di approccio gestionale appare ampiamente sensato considerando che la riduzione dell'attività consente di ridurre contemporaneamente costi e benefici della pesca. Viceversa, la riduzione della quota avrebbe comportato una riduzione dei soli profitti, rendendo la flotta potenzialmente esposta ad una attività economicamente insostenibile con possibile uscita dei pescherecci della flotta.

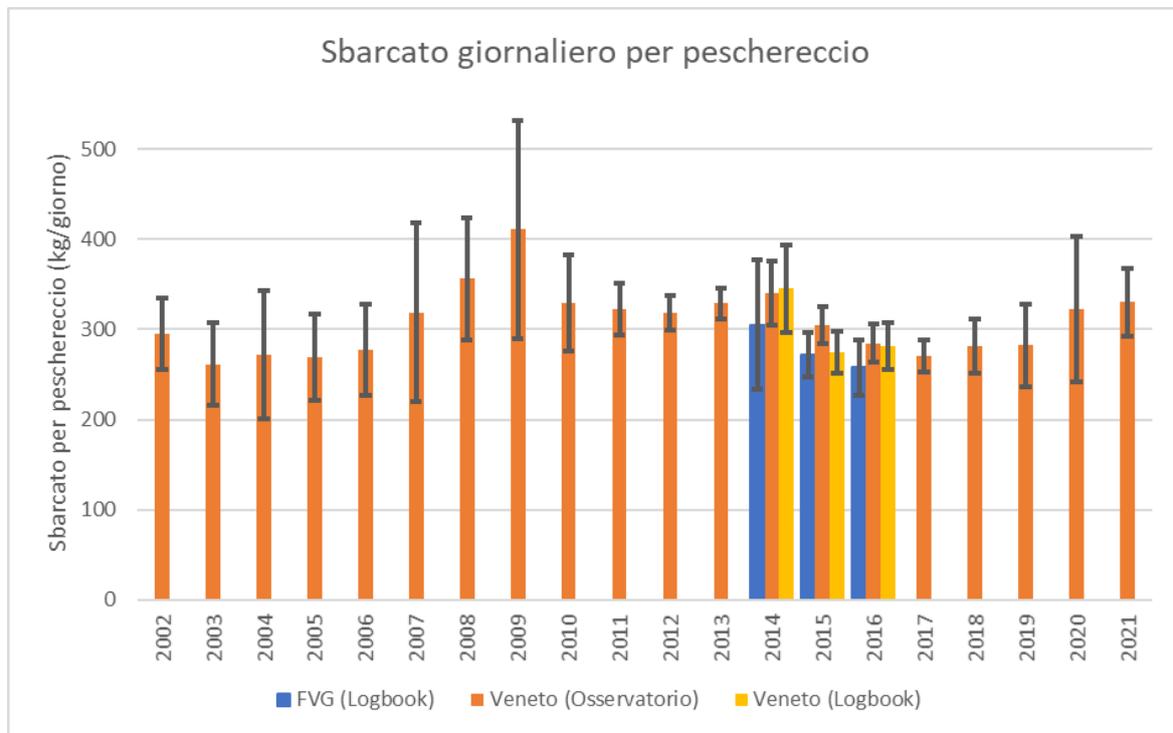


Figura 1.1.7. Andamento dello sbarcato medio giornaliero per peschereccio. I dati riportano valori rilevati dai diari di bordo elettronici (“logbook”) per entrambe le regioni nel periodo 2014-2016, dall’Osservatorio per la Pesca per la sola regione Veneto per il periodo 2002-21. Le barre indicano il valore medio rilevato e le linee nere la deviazione standard.

1.2 Caratterizzazione socio-economica-ecologica attraverso indagine diretta (Traditional Ecological Knowledge)

Materiali e Metodi

In questa sezione sono presentati i risultati dell'analisi condotta per caratterizzare il sistema socio-economico-ecologico attraverso l'interazione diretta con gli operatori. L'analisi è stata effettuata sulla base dei dati e delle informazioni raccolte mediante incontri bilaterali con referenti di consorzi e cooperative, attraverso i questionari distribuiti durante incontri con i pescatori, utilizzando testimonianze indirette e attraverso il confronto con alcuni documenti di gestione (Agriteco 2020, Piano di gestione della pesca in mare Friuli Venezia Giulia, 2012).

Le informazioni sono state raccolte grazie alle interazioni con il Consorzio Co.Ge.Mo che si occupa della attività di coordinamento e di organizzazione delle imprese di pesca dei molluschi bivalvi nel compartimento marittimo di Monfalcone a partire dal 1996.

L'intento è quello di affiancare all'analisi oggettiva, basata sull'acquisizione diretta delle informazioni economiche ed ecologiche, un'analisi soggettiva, basata sull'esperienza e le osservazioni di esperti e operatori del settore con un'attenzione particolare all'evoluzione della pesca di fasolari (*Challista chione*), vongola di mare (*Chamelea gallina*) e vongola filippina (*Ruditapes philippinarum*), nonché ai cambiamenti di cui sono stati testimoni e attori, nelle precedenti esperienze di gestione e di co-gestione.

L'obiettivo finale è fornire un contributo alla conoscenza relativa allo stato delle risorse e alle dinamiche passate del sistema socio-ecologico per supportare l'identificazione di strategie di mitigazione e adattamento ai cambiamenti in corso nell'ecosistema.

Riconoscere, valutare e sfruttare una vasta gamma di conoscenze e meccanismi di apprendimento sono principi fondamentali della scienza della sostenibilità. In questo contesto, l'analisi delle conoscenze ecologiche tradizionali della Local Ecological Knowledge (Huntington, 2000) assume un ruolo cruciale nel garantire la rappresentazione di diverse prospettive (Berkes et al., 2000, Melaku-Canu et al., 2011). I benefici di tale approccio si sono rivelati vantaggiosi per la gestione delle risorse naturali e di fondamentale importanza nello sviluppo di strategie di co-gestione (Lee et al., 2019, Narchi et al., 2014). Coloro che lavorano a stretto contatto con l'ecosistema naturale da diverse generazioni, infatti, hanno accumulato un patrimonio di conoscenze e pratiche che, in alcuni casi, hanno permesso di preservare la biodiversità nel tempo, mantenendo i propri mezzi di sussistenza.

L'area di studio copre il Compartimento Marittimo di Monfalcone, ovvero le aree marine interessate dall'attività di pesca e di allevamento di fasolari (*Challista chione*), e vongola di mare (*Chamelea gallina*) e le aree lagunari interessate dalla pesca della vongola filippina (*Ruditapes philippinarum*) (Fig. 1.2.2).

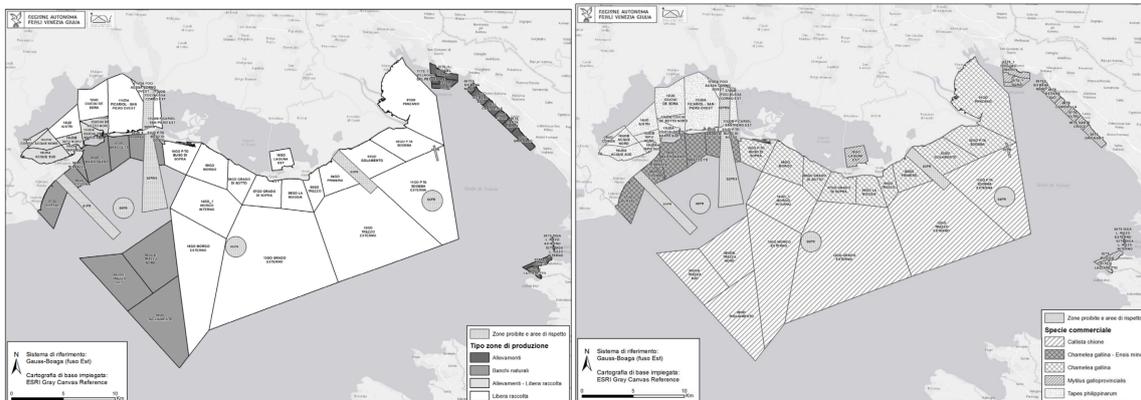


Figura 1.2.1. Area di studio e dettaglio delle aree di pesca nel comparto di Monfalcone e nella Laguna di Grado Marano suddivise per A) tipo di zone di produzione; B) prevalenza di specie di interesse commerciale (fonte: Allegato alla Delibera Regione FVG 816, 2016).

Le prime interviste sono state effettuate a tre operatori che hanno o hanno avuto un ruolo centrale dal punto di vista produttivo, organizzativo, e scientifico in relazione alle attività di molluschicoltura con la draga idraulica nel Friuli Venezia Giulia. Questo ha fornito una prima analisi esplorativa relative allo stato delle attività di raccolta di bivalvi. Sono stati inoltre consultati alcuni documenti tecnici (Agriteco, 2022; Zentilin, 1986) e sono state svolte successive interazioni con i referenti del consorzio Co.Ge.Mo.

Sulla base delle informazioni raccolte durante gli incontri bilaterali sono stati individuati gli elementi più rilevanti su cui incentrare le domande dei questionari, ovvero: gli aspetti legati alla storia personale dell'attività del singolo operatore, la ricostruzione qualitativa della dinamica di crescita e della produzione e la caratterizzazione dell'attività attuale attraverso la localizzazione dei prelievi, la loro frequenza, la produttività delle aree. È stata inoltre inserita una scheda per raccogliere informazioni aggiuntive, relative alla presenza di altre specie chiave che potrebbero avere un ruolo antagonista, sinergico o sostitutivo rispetto alle attività target. I questionari, distinti per specie pescata, sono stati sviluppati e poi testati nel gruppo di lavoro e sono stati somministrati agli operatori il 20/3/2023 durante un incontro presso la sede della O.P. San Vito, cooperativa pescatori di Marano Lagunare.

Sulla base delle informazioni acquisite, successivamente, è stato sviluppato un modello concettuale al fine di illustrare tutte le variabili che compongono il sistema della pesca con la draga in FVG e come queste influenzano, con feedback positivi o negativi, il sistema stesso.

È stato impostato un modello di rete ecologico-sociale-economico (ESE) in cui sono stati inclusi i principali portatori d'interesse (stakeholders) che partecipano, direttamente o indirettamente, alla definizione e allo sviluppo del sistema e che quindi hanno un ruolo chiave nella sua gestione e nella sua sostenibilità.

Infine è stata prodotta un'analisi SWOT per evidenziare i punti di forza, debolezza, opportunità e minacce del sistema, come sono state rappresentate e descritte dagli operatori.

La risposta ai questionari è stata molto bassa, nonostante i ripetuti inviti effettuate tramite i referenti del Consorzio Co.Ge. MO. Sono stati restituiti infatti 12 questionari da pescatori di Fasolari, pari al 15% degli



operatori, 9 da pescatori di vongola di mare (*C. gallina*) e 11 da pescatori di vongola di laguna (*R. philippinarum*).

Risultati

Di seguito è riportato l'inquadramento del sistema relativo alla pesca con draga idraulica nel Friuli Venezia Giulia - compartimento di Monfalcone, ottenuto tramite revisione della normativa esistente, incontri bilaterali con esperti del settore e analisi delle risposte ai questionari distribuiti ai pescatori.

1.2.1 Piano di gestione

Sulla base della direttiva comunitaria CE 1967/2006, nel 2019, è stata redatta l'ultima versione del Piano di Gestione Nazionale per regolamentare le attività di pesca con draghe idrauliche e rastrelli da natante, approvato con un Decreto Ministeriale datato 17 giugno 2019 (adottato la prima volta nel 2010). Sempre nel 2019 e aggiornato nel 2023, è stato redatto il Piano di Gestione Nazionale Rigetti per la risorsa Vongola (*Chamelea gallina*) ed è stata estesa la proroga della taglia minima di commercializzazione della *C. gallina* a 22 mm fino alla fine del 2025 (Decreto piano nazionale gestione rigetti, 2023).

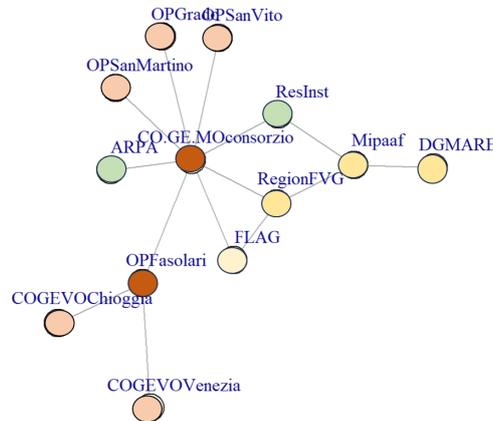
Il nuovo Piano di Gestione Nazionale draga idraulica (redatto ai sensi dell'articolo 19 del regolamento (CE) n.1967/2006 nonché degli artt.7, 9 e 10 del Regolamento (UE) N.1380/2013 relativo alla Politica Comune della Pesca), riporta gli obblighi e i divieti comunitari. In particolare, il piano vieta, come nelle precedenti edizioni, l'uso di draghe idrauliche sulle praterie di *Posidonia oceanica* o di altre fanerogame marine, su habitat coralligeni e letti di maërl. Inoltre, il Piano vieta l'uso di draghe tirate da natanti e draghe idrauliche entro una distanza di 0,3 miglia nautiche dalla costa. La conseguenza a quest'ultima norma, in Friuli Venezia Giulia, è stata la riduzione dell'areale di pesca del 35.9% dal momento della prima adozione del piano, nel 2010. Inoltre, il Piano fissa la larghezza massima consentita per le draghe a 3 m. Inoltre, già a partire dal 2010 con il DM 22/12/2000 art. 6, veniva vietata la pesca delle telline, dei tartufi e delle vongole veraci con la draga idraulica.

L'attuale sistema di gestione è la risultante di un lungo percorso normativo che ha coinvolto l'Amministrazione centrale, le Amministrazioni regionali e gli operatori locali. In particolare, la gestione della pesca dei molluschi bivalvi è affidata ai singoli Consorzi di gestione istituiti e riconosciuti ai sensi dei decreti n. 44/1995 e n. 515/1998 che hanno poteri di autogestione a livello di compartimenti marittimi, e conseguentemente devono gestire sostenibilmente i prelievi in relazione alle reali capacità produttive del mare attraverso concrete iniziative per la salvaguardia di tale risorsa con semina, ripopolamento, controllo delle catture, costituzione di aree di riposo biologico e turnazione dell'attività di pesca delle unità al fine di garantire l'equilibrio economico e sociale del comparto rappresentato.

Per il costante e capillare monitoraggio, al fine di disporre di dati aggiornati sulla consistenza della risorsa molluschi bivalvi nell'ambito di ciascun Compartimento marittimo, il locale Consorzio di gestione e tutela dei molluschi bivalvi è tenuto ad affidare l'incarico ad un Istituto scientifico riconosciuto dal Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali.

La gestione della raccolta dei molluschi bivalvi è stata rinnovata con autorizzazione ministeriale del 03.02.2021 ai Consorzi di Gestione della Pesca dei Molluschi Bivalvi (Co.Ge.Vo.) con opzione triennale fino al 2023 (2021-2023). I Co.Ge.Vo. hanno mantenuto una politica gestionale basata principalmente sul sistema a numero

chiuso di motopesca e sul divieto di aumentare il numero di battelli che possono raccogliere i bivalvi per ogni Compartimento Marittimo.



Tipo	Nome	Funzione
Mercato	OP Cooperativa pescatori San Vito di Marano Lagunare	Organizzazione di produttori -scopo di aggregare e commercializzare il prodotto dei propri soci.
	OP Cooperativa pescatori di Grado	"
	OP Cooperativa San Martino di Marano Lagunare	"
Gestione e sostenibilità del prodotto compartimentale	CO.GE.MO Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi nel Compartimento Marittimo di Monfalcone	gestione sostenibile dei raccolti grazie alla capacità produttiva: semina, ripopolamento, controllo delle catture, creazione di aree di riposo biologico e rotazione dell'attività di pesca delle unità
	CO.GE.VO Chioggia	
	CO.GE.VO Venezia	
Gestione e sostenibilità del prodotto sovra compartimentale	OP Fasolari	O.P. Fasolari ed il Co.Ge.Mo. determinano in tempo reale le giornate di pesca, le quantità giornaliere di pescato per peschereccio, le aree e la qualità del pescato, sviluppando anche iniziative per il miglioramento della qualità del prodotto (desabbiatura) e campagne promozionali per incrementarne il consumo.
Enti con compiti di gestione	Regione Friuli Venezia Giulia	amministrazioni che gestiscono interventi nel settore, comprese alcune linee di intervento dei fondi comunitari (FEAMP) e collaborano con l'Amministrazione Nazionale e con i singoli Consorzi per quanto attiene l'applicazione del piano di gestione.
	Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle forest (Mipaaf)	approvazione dei consorzi, identificazione Istituti monitoraggio, valutazione piani gestionali dei consorzi (inviati dalle Regioni)
	Direzione Generale Mare – Affari marittimi e pesca della Commissione Europe Maritime Affairs and Fisheries	Legislazione pesca comunitaria
Istituzione di gestione di medio livello	FLAG GAC FVG Fisheries Local Action Group	Gruppo di Azione Costiera Friuli Venezia Giulia scopo di implementare un Piano di Sviluppo a beneficio del settore della pesca e dell'acquacoltura. Finanziato dal FEAMP Fondo Europeo Affari Marittimi e Pesca 2014-2020.
Ricerca e monitoraggio	ARPA	Monitoraggio ambientale
	Enti di ricerca	

Figura. 1.2.2. Rappresentazione schematica dei principali attori del settore, loro descrizione e rappresentazione delle principali interazioni.

A livello locale, i tre Consorzi di Gestione dell'Alto Adriatico hanno inoltrato richieste relative alla sperimentazione della pesca della specie *Chamelea gallina* in alcune aree dei Compartimenti Marittimi di Chioggia, Venezia e Monfalcone. Nel compartimento di Monfalcone opera Co.Ge.Mo (Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi) che regola le quantità di prodotto pescabile, i fermi pesca, e le aree



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

di raccolta e collabora in accordo con la O.P. I Fasolari per l'organizzazione della vendita del prodotto, insieme ai consorzi di Chioggia e Venezia (Fig. 1.2.2). Come riportato in Agriteco 2020, attualmente la formulazione della proposta gestionale e la scelta dei mestieri per le imprese dedite alla pesca dei molluschi bivalvi nell'Alto Adriatico sono stati il risultato di un processo partecipato che ha coinvolto gli organi amministrativi dei Consorzi di Gestione, le Associazioni di Categoria e le autorità competenti, come l'Autorità Marittima e il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. La proposta gestionale ambisce alla sostenibilità e alla condivisione delle scelte e della gestione. Un elemento innovativo della proposta gestionale è l'introduzione della 'scelta del mestiere' che prevede che per un triennio il pescatore si dedichi all'attività di pesca prescelta in modo da garantire una migliore pianificazione e una migliore formazione del pescatore stesso. Gli accordi tra i consorzi dell'Alto Adriatico includono la scelta e il mantenimento del mestiere per il periodo, e nel caso dell'ultima opzione triennale 2021-2023, il mantenimento per il solo Consorzio di Monfalcone, delle 29 quote di prelievo dei fasolari per l'intero periodo 2021-2023, con una rotazione tra tutte le 40 imbarcazioni appartenenti al Consorzio, con l'obbligo di conferire i fasolari pescati alla struttura commerciale O.P. I Fasolari assieme ai consorzi di Venezia e Chioggia. Il Co.Ge.Mo. applicando il criterio di rotazione di tutte e 40 le imbarcazioni per la pesca dei fasolari, con un massimo di 29 imbarcazioni per ogni periodo e un limite di cattura complessivo che non può superare le 29 quote, ha garantito una forma di solidarietà interna con suddivisione del reddito annuale delle imprese coinvolte, questa azione è stata applicata considerando la crisi produttiva della specie *Chamelea gallina* nell'area di Monfalcone che ha visto la sospensione dalla attività di pesca dal 2018. Nel 2022 è stato presentato al Ministero un piano di gestione per la ripresa della pratica dell'attività di pesca della risorsa *C. gallina* in alcuni ambiti del compartimento di Monfalcone a seguito dei progetti di riattivazione produttiva. I Consorzi di gestione dell'Alto Adriatico hanno pertanto presentato richiesta di rinnovo congiuntamente al Ministero per l'autorizzazione alla pesca in alcune aree entro le 0,3 miglia nautiche per la specie *C. gallina*.

1.2.2 La pesca dei Fasolari nel compartimento marittimo di Monfalcone, ed interazioni con referenti degli operatori

Co.Ge.Mo gestisce i banchi del compartimento marittimo di Monfalcone ed è uno dei tre consorzi dell'Alto Adriatico che insieme a Co.Ge.Vo. (del compartimento marittimo di Venezia) e Co.Ge.Vo (del compartimento marittimo di Chioggia) costituisce l'O.P. Organizzazione dei Produttori Fasolari dell'Alto Adriatico, società cooperativa, che è stata riconosciuta ai fini del Regolamento (CE) n. 104/2000 e n. 2318/2001 con DM 27 marzo 2003. In particolare, l'adesione alla OP fasolari determina un coordinamento sovra compartimentale della risorsa che comprende la totalità dei motopesca operanti su questa risorsa, della Regione Friuli Venezia Giulia e Veneto (Fig. 1.2.3).

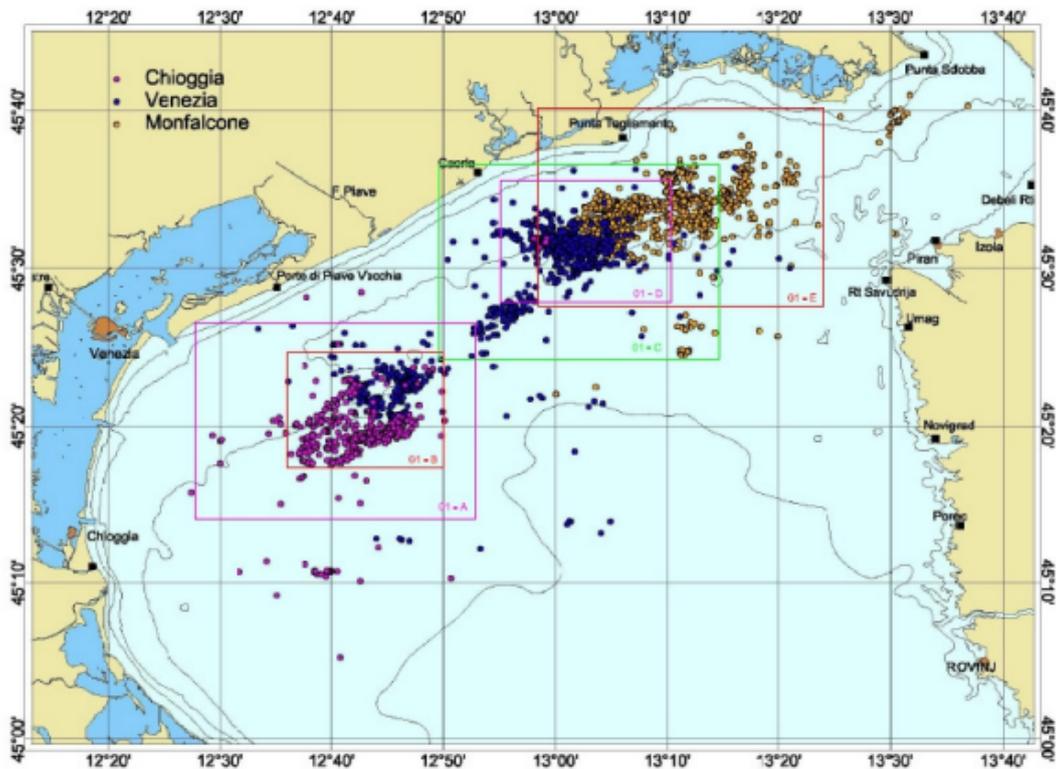


Figura 1.2.3: Mappatura zone di pesca dei fasolari – Fonte O.P I Fasolari 2006

La pesca dei fasolari praticata dai pescatori locali è gestita anche attraverso il prezioso supporto e la collaborazione del servizio offerto agli associati delle O.P. Cooperative pescatori di Grado e Marano, che smistano il prodotto sbarcato dal pescatore già insacchettato e pulito e lo preparano in bancali per il successivo trasporto alla O.P. I Fasolari per la destinazione alla vendita. In base alle richieste del mercato, la O.P. Organizzazione dei Produttori I Fasolari, definisce e comunica al Co.Ge.Mo ogni sera, l'orario necessario al rientro e i quantitativi da pescare che possono essere inferiori a quanto stabilito dal Piano Nazionale per ogni motopesca (500 kg massimi al giorno- 1500 kg a settimana).

Il Co.Ge.Mo., come anche da Decreto Regionale 192 del 13.01.2021, comunica giornalmente alle Autorità competenti (Regione-Capitanerie) e al pescatore consorziato, il quantitativo di pesca richiesto e il massimo da prelevare, e le aree di pesca sulle quali effettuare la battuta di pesca del giorno successivo. Attualmente la O.P. I Fasolari raccoglie dai conferitori circa 3-4 quintali al giorno di prodotto per un massimo di 12-15 quintali a settimana per barca. Questo sistema di cooperazione assicura che, in assenza di irregolarità e sanzioni, tutte le imprese raggiungono alla fine dell'anno gli stessi redditi e quantità di raccolta. L'obiettivo è garantire la stabilità e l'uguaglianza tra i soci e fornire un servizio di alta qualità al mercato preservando l'ambiente e la risorsa.

Orari e Frequenza di Pesca: I pescatori di fasolari escono in mare solitamente con partenza alle ore 1.00 dal porto, e con attività di pesca per una media di 3-4 ore, a seconda della richiesta del mercato. In media, effettuano circa 40-45 uscite all'anno. Questo programma è stabilito in modo cooperativo per garantire un reddito equo a tutti i pescatori della regione. Si pesca infatti solo sul venduto.



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Zona di Pesca: La pesca dei fasolari avviene tutto l'anno tra le 4 e le 8 miglia dalla costa nell'Alto Adriatico.

Modalità di Pesca: I fasolari vengono pescati utilizzando una tecnica che coinvolge una gabbia turbo-soffiante collegata a una barca. L'ancora viene gettata, e la barca avanza lentamente lungo un cavo d'acciaio di circa 300 metri. La gabbia turbo-soffiante soffia acqua sul cesto per disperdere la sabbia e raccogliere i fasolari e altri molluschi in modo pulito.

Taglia e Confezionamento: I fasolari vengono classificati in base alla taglia e al mercato di destinazione, come grandi, medi o di piccola taglia. Ogni barca pesca in media 3-4 quintali a uscita, e ogni sacco di fasolari pesa 18 kg. (anno 2023 10 kg/sacco)

Destinazione del Prodotto: I fasolari raccolti a Marano Lagunare vengono poi trasportati al centro di raccolta della zona. Da qui, i sacchi di fasolari vengono collocati su pallet e trasportati via camion allo smistamento di Chioggia, Veneto e distribuiti sul territorio nazionale.

Depurazione: I fasolari vengono pescati nella zona A, caratterizzata da acque pure, possono essere consumati crudi senza bisogno di stabilizzazione.

Controllo di Qualità: Sono effettuati controlli costanti da parte del consorzio coordinati con l'azienda sanitaria locale e con il Cti in autocontrollo, con analisi microbiologiche, analisi sulla qualità dell'acqua e dei sedimenti nelle zone di pesca per garantire la sicurezza alimentare e la massima salubrità ambientale.

La cooperazione tra i pescatori locali e le misure di controllo sono fondamentali per garantire la sicurezza alimentare e la qualità del prodotto, e la sostenibilità della pesca dei fasolari in questa regione costiera, contribuendo anche a mantenere un reddito equo per i pescatori coinvolti.

1.2.3 Incontri bilaterali

Dagli incontri bilaterali è emersa un'evoluzione nel tipo di pesca con la draga, che ha visto un cambiamento nelle specie target in base, primariamente, alla disponibilità della risorsa, e secondariamente alla domanda. La gestione della pesca tramite draga idraulica è attualmente regolata a livello comunitario, nazionale e regionale e tramite il DM 44/1995 è co-gestita dagli operatori del settore tramite l'istituzione di consorzi.

Nello specifico, dalle interviste il Dott. Zentilin, il Prof. Orel e la Prof.ssa Del Piero è stata descritta l'origine dell'attività di pesca con la draga, che si fa risalire al 1956 ad opera del signor Raugna. Le prime draghe idrauliche avevano braccia rigide, limitando l'operatività a profondità inferiori a 10 metri. Tuttavia, l'introduzione di braccia tubolari morbide in gomma o plastica ha consentito di spingersi in acque più profonde per sfruttare al meglio le risorse, i dondoli (*V. verrucosa*) in particolare.

Le prime specie interessate da questo tipo di pesca sono state la peverassa o vongola (*Chamelea gallina*), con rese, attorno al 1970, sui 600 kg/gg a barca, e successivamente le capelonghe/cannolicchi (*Ensis minor*), con rese di 350 kg/gg. Inoltre, è stato riportato che le rese di queste ultime erano massime nei mesi invernali, in particolare Dicembre, come testimonia il fatto che la specie caratterizzava i piatti delle festività natalizie della



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

regione Friuli Venezia-Giulia. Prima dell'avvento della draga, la pesca avveniva a mano dagli ultimi giorni di settembre fino al periodo natalizio ed avveniva durante le basse maree sigiziali sui banchi sabbiosi del Golfo di Trieste. Durante gli altri periodi dell'anno, nel corso delle maree di quadratura, veniva pescato il *Solen marginatus* o capadeferro, considerata meno pregiata, tramite un arnese detto "pilotin" (Zentilin, 1986). Questo tipo di pesca, che permetteva la sussistenza dei pescatori durante il periodo invernale, quando la laguna si svuotava, veniva svolta sia da uomini che da donne.

Ogni anno 20-30 motopesca venivano autorizzati alla pesca dei cannicchi, riducendo in tal modo la pressione di pesca sulla risorsa *C. gallina* (ISPRA, 2008). La risorsa cannicchi (*Ensis minor*, Chenu, 1843 e *Solen marginatus*, Pulteney, 1799) rappresentava storicamente uno dei prodotti di pesca tipici delle marinerie venete e del Friuli Venezia Giulia e consentiva agli Enti Gestori di rimodulare lo sforzo di pesca tra vari mestieri nel periodo invernale (ottobre-marzo, periodo in cui questa tipologia di pesca era autorizzata). Dal 1° giugno 2010, con l'entrata in vigore del Regolamento CE 1967/2006, la pesca delle cappelunghe ha risentito fortemente della limitazione spaziale nelle 0.3 miglia.

Intorno al 1976/1980, la pesca si concentrava sui dondoli (*Venus verrucosa*), insieme ai quali venivano catturati anche i fasolari (*Callista chione*) considerati catture accessorie (by-catch).

Tutti i tipi di pesca sono iniziati sotto costa, ma col procedere delle raccolte i siti diventavano meno produttivi determinando uno spostamento della raccolta verso largo. Dalla tesi di Zentilin pubblicata nel 1986 si riportano alcuni fatti del tempo, che suggeriscono che il progressivo sfruttamento di zone a largo fosse determinato primariamente dal ritirarsi delle fanerogame (*Cymodocea nodosa*) e, secondariamente, dalla perdita di *C. gallina*, in seguito a un estremo evento di moria 1977 che interessò l'intero Nord Adriatico.

Nella pesca ai dondoli (*V. verrucosa*) non erano previste quote e nei primi anni le rese erano sui 90-100 kg al giorno per singola imbarcazione, fino al crollo avvenuto intorno al 1990 che ha determinato il passaggio definitivo da pesca con draga a raccolta manuale tramite rastrelli. A partire da questo momento, la pesca dei fasolari (*C. chione*) è diventata predominante (Fig. 1.2.4).

Nel 1996 si verificò una forte mortalità di *C. gallina*, primariamente nel comparto di Venezia ed in minor misura nel Golfo di Trieste. Le testimonianze riportano che le cause furono attribuite sia a fenomeni di anossia a causa di un prolungato periodo di mare calmo, sia alle forti precipitazioni associate al vento di Scirocco, che probabilmente bloccarono sotto costa la circolazione dell'acqua reflua con un'elevata carica batterica. Fu quindi ipotizzata un'infezione a carico di un protozoo (Berrilli et al., 2000). Questa moria rappresentò una grossa crisi per il settore, che nonostante i ristori messi a disposizione dal governo e le operazioni di restocking, vide un elevato numero di imbarcazioni dismesse. A peggiorare le crisi del settore, seguì la moria di *E. minor* e la possibile causa fu attribuita ad anossie nel sedimento.

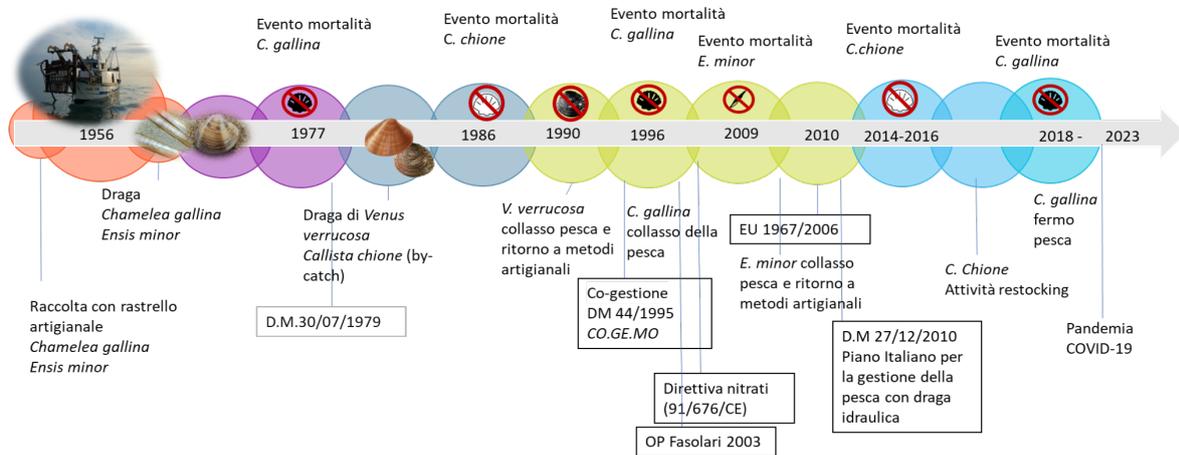


Figura 1.2.4. Principali evoluzioni nel settore della draga idraulica nel comparto di Monfalcone come ricostruito tramite LEK con l’ausilio di interviste e questionari. I cerchi rossi riportano i principali eventi di moria. I rettangoli segnalano l’entrata in vigore di legislazioni rilevanti per la gestione della pesca con draga idraulica in Italia.

La gestione di *C. chione* da parte del consorzio Co.Ge.Mo, è stata improntata al mantenimento della risorsa e al controllo del mercato, e già prima della costituzione della OP fasolari (2003), i fasolari che rischiavano di rimanere invenduti e abbassare il prezzo del prodotto, venivano usati per effettuare ripopolamenti (restocking) in banchi sabbiosi vicini alla costa. Per far fronte alle crisi nel 2003 è stata costituita l’OP Fasolari.

1.3.4 Criticità

Dalle interviste emerge che a partire dal 2010, ed in particolare negli anni 2010 e 2016, la filiera dei fasolari è stata attraversata da elementi di criticità di natura gestionale/commerciale e biologica, mentre non sono emerse criticità legate a pressioni di sovrapesca, essendo la gestione già regolamentata attraverso Co.Ge.Mo. A dimostrazione di questo, le taglie dei fasolari sembrano essersi mantenute relativamente stabili nel tempo e la variabilità della produzione è stata influenzata piuttosto dalla variabilità della distribuzione dei banchi e dei dossi di sabbia dove le azioni di pesca avevano luogo.

La crisi commerciale, che da sempre accompagna la raccolta del fasolaro, è stata attribuita alla bassa domanda di mercato, (nonostante i forti investimenti effettuati per la sua promozione) e alla sforzo di pesca che richiede uno spostamento più a largo rispetto ad altre tipologie di pesca, con conseguente aggravio sui costi di esercizio, e alla necessità di adottare attrezzature specifiche che non possono essere usate per altre specie (es. Il cesto o rastrello è differente per la pesca della vongola del fasolaro, Fig. 1.2.5).



Figura 1.2.5. A) *Callista chione fasolaro*. B) A lato il peschereccio dotato del cesto o rastrello detto fasolara. Una volta identificato il banco sabbioso dove sono presenti i fasolari, l'operatore immerge in acqua la fasolara, aziona la turbosoffiante e inizia il trascinamento della fasolara sul fondale per alcune centinaia di metri (fonte <https://www.fasolari.it/ciclo-produttivo/>).

I segnali di crisi biologica di *C. chione*, con i primi riportati nel 1986 e gli ultimi avvenuti tra il 2014-2016, si sono ripetuti nel tempo, ma sembrano in peggioramento negli ultimi anni. La crisi biologica, in particolare in passato, è stata causata principalmente dalle anossie che si verificavano in zone più o meno estese durante l'estate e che hanno portato a estese morie di organismi di interesse commerciale. Alcuni studi hanno però evidenziato, anche in *C. chione*, la presenza di protozoi (Canestri-Trotti et al., 2000).

Viene inoltre sottolineato nelle interviste l'impatto ambientale della pesca con draga idraulica che ha comportato, originariamente, la distruzione delle matte (rizomi-subfossili) di *Posidonia oceanica*, riducendo la complessità dei fondali e l'habitat per molte specie bentoniche. Tuttavia, viene anche evidenziato come l'eliminazione delle concrezioni e dei massi di roccia, a causa dell'azione meccanica della draga sul fondo, abbia favorito la formazione di substrati più idonei per i fasolari, contribuendo, in una certa misura, all'aumento della produzione di questa specie nel tempo.

D'altra parte, i pescatori osservano una competizione delle attività di pesca di vongole e cannolicchi con le vegetazioni che si estendono sulle aree più costiere quando esse vengono lasciate a riposo. Secondo le testimonianze, quando l'attività di dragaggio viene interrotta per stagioni intere, le aree vengono colonizzate da fanerogame marine, determinando la riduzione progressiva delle zone pescabili.

Inoltre, sempre per quanto riguarda le vongole, e per quanto riguarda l'idoneità del substrato e le sue modifiche, durante le riattivazioni produttive venivano programmate delle giornate per ossigenare il terreno e prepararlo alla imminente semina facendo dei passaggi a vuoto sui siti ricevitori, ma se per vari motivi meteo o burocratici l'immissione ritardava di qualche settimana, il substrato diventava meno adatto alla produzione.

Le interviste infine riportano l'impatto significativo sui banchi naturali, in particolare di *C. gallina*, conseguente ai due eventi calamitosi avvenuti nel 2018, la tempesta Vaia, e nel 2019, e le forti ventate di scirocco.

Esiste inoltre un problema di **pesca illegale**, praticato sotto costa, che interessa alcune risorse, quali vongole, cannolicchi, telline, che con le basse maree sono i prodotti più facili da essere raccolti. Dichiarato come

autoconsumo, il prodotto viene inserito illegalmente nel mercato ed è ritenuto un problema molto importante poiché ritarda il ripristino del buono stato della risorsa e conseguentemente ne impedisce la raccolta a scala commerciale da parte dei pescatori afferenti a Co.Ge.Mo.

Nel 2020, infine, il settore della pesca dei molluschi bivalvi del Nord Adriatico ha affrontato le sfide legate alla pandemia da COVID-19, con la chiusura dei mercati che ha influenzato negativamente la domanda e l'offerta (Agriteco, 2020). Nel frattempo, sono state intraprese misure per regolare la pesca della *C. gallina*, inclusa la proroga della taglia minima di commercializzazione, che è stata approvata dal Parlamento europeo e dal Consiglio fino al 31.12.2022 e prorogata.

Inoltre, è forte il malcontento da parte degli operatori e dei referenti legato alla perdita dell'area di pesca entro le 0.3 miglia. Viene evidenziato che per la naturale morfologia del compartimento di Monfalcone le aree dei banchi naturali si sviluppano esclusivamente entro le 0,3 miglia dalla costa, e che pertanto la maggior parte delle attività di restocking di *C. gallina* finanziate e supportate da Regione e Ministero finalizzate al ripopolamento di una risorsa fortemente in crisi sono state fatte in questa area dove i banchi naturali si sviluppano. Ora, secondo gli operatori soltanto attraverso un'azione di attività di pesca gestita sui banchi si potrebbero innescare delle azioni di ossigenazione del fondale con conseguente ripristino naturale della risorsa stessa.

I dati di Co.Ge.Mo.

In generale, nel periodo compreso tra il 1999 e il 2022 il consorzio Co.Ge.Mo. è stato interessato da una progressiva diminuzione nella produzione complessiva di bivalvi, come mostrato nelle Figure 6, con un dimezzamento della produzione di *C. chione*, imputabile a vari fattori, tra cui cambiamenti ambientali e, dopo il 2003, con l'istituzione della O.P. I Fasolari, con le misure di controllo atte a mantenere la sostenibilità della risorsa. Gli studi riportano inoltre che i monitoraggi effettuati nel 2017-2018 nel Compartimento Marittimo di Monfalcone hanno evidenziato una fase di reclutamento, con la presenza diffusa di molti giovanili, testimoni di una fase di ripresa del ciclo biologico.

Nelle figure 1.2.8-11 si osservano inoltre un crollo per *C. gallina* nel 2010, e per *Cerastoderma glaucum* nel 2008, fluttuazioni importanti per *Ensis minor*, ed un declino consistente negli ultimi anni per *R. philippinarum*.

Prezzo al pescatore del fasolario: Tra il 2013 e il 2022 il prezzo medio annuo al pescatore si è mantenuto pressoché costante, tra 4.41 euro/Kg nel 2014 e 4.98 euro/Kg nel 2021. Non sono disponibili dati precedenti. Può comunque variare a seconda del periodo dell'anno, con punte che raggiungono i 7.00 euro al chilogrammo durante i periodi di maggior richiesta, Natale e agosto.

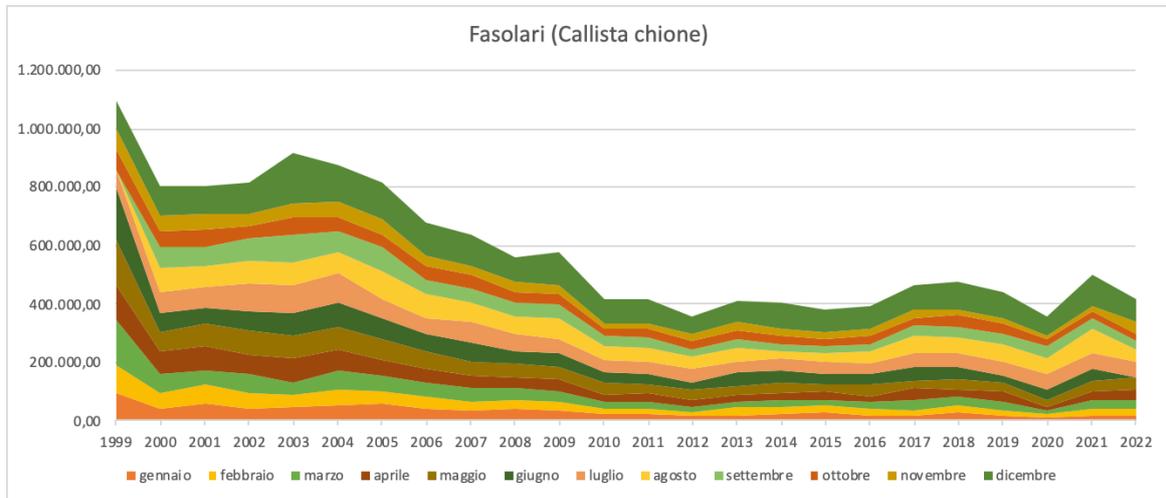


Figura 1.2.6. Andamento della produzione mensile e annuale di Callista chione (Co.Ge.Mo.)

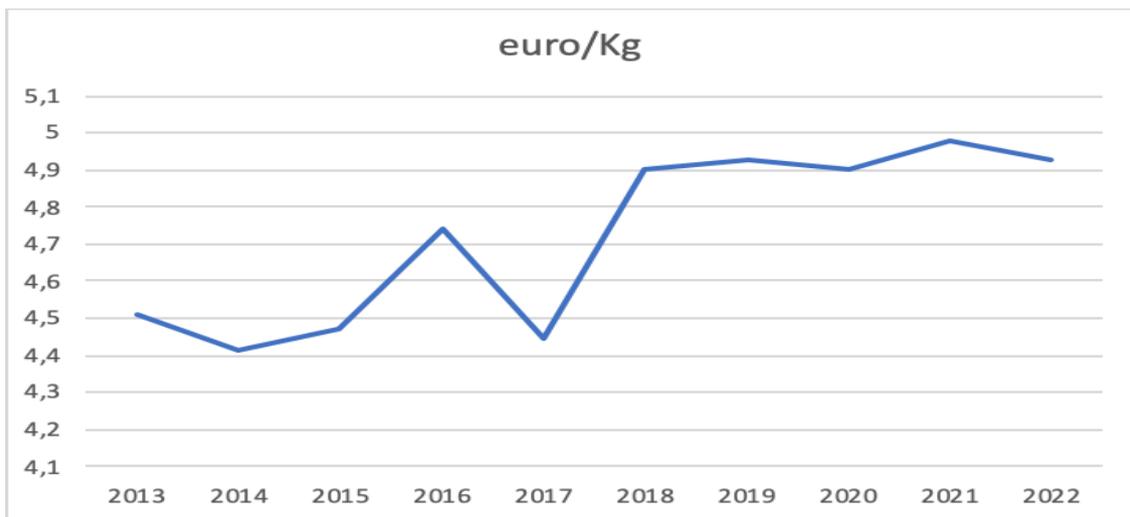


Figura 1.2.7. Andamento del prezzo medio mensile di Callista Chione pagato al pescatore dal 2013 al 2022

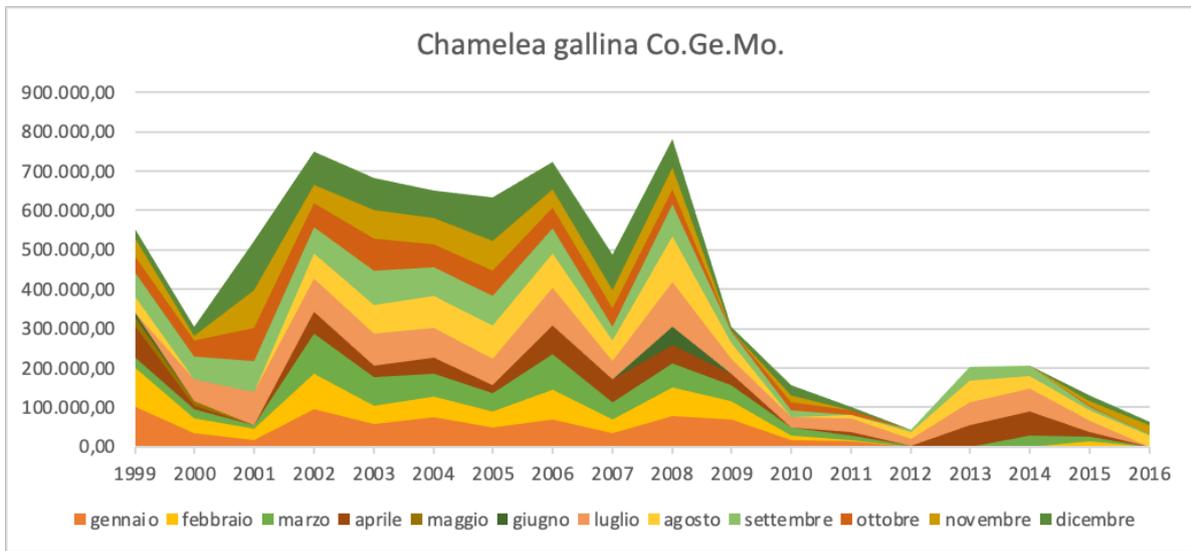


Figura 1.2.8. Andamento della produzione mensile e annuale di Vongole o Lupini (*Chamelea gallina*) (Co.Ge.Mo.)

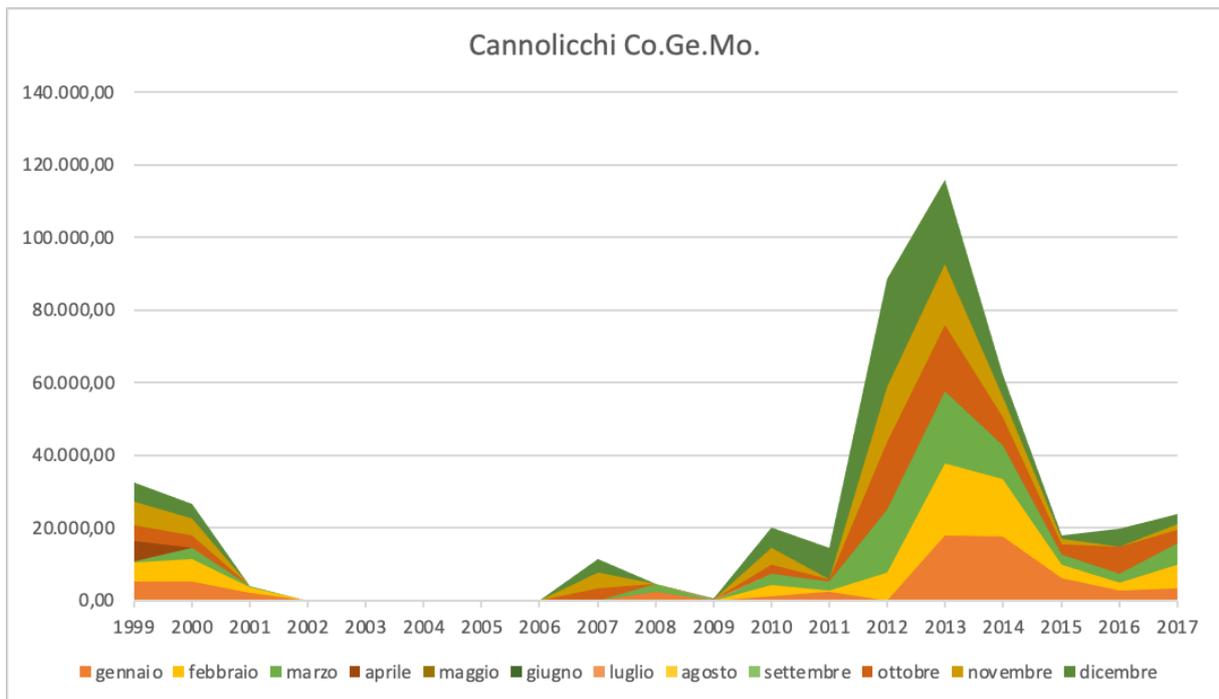


Figura 1.2.9. Andamento della produzione mensile e annuale di Cannolicchi (*Ernis minor*) (Co.Ge.Mo.)

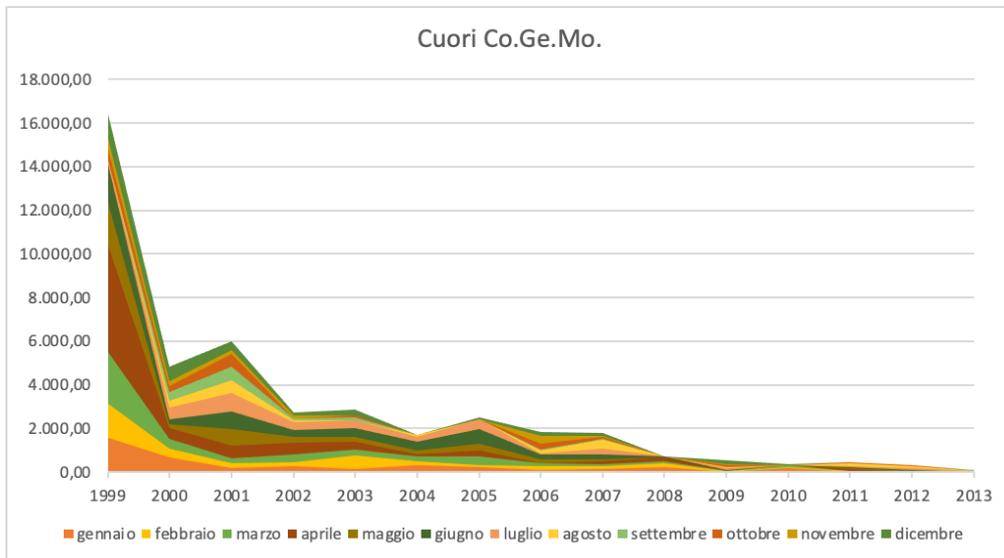


Figura 1.2.10. Andamento della produzione mensile e annuale di Cuori (*Cerastoderma glaucum*) (Co.Ge.Mo.)

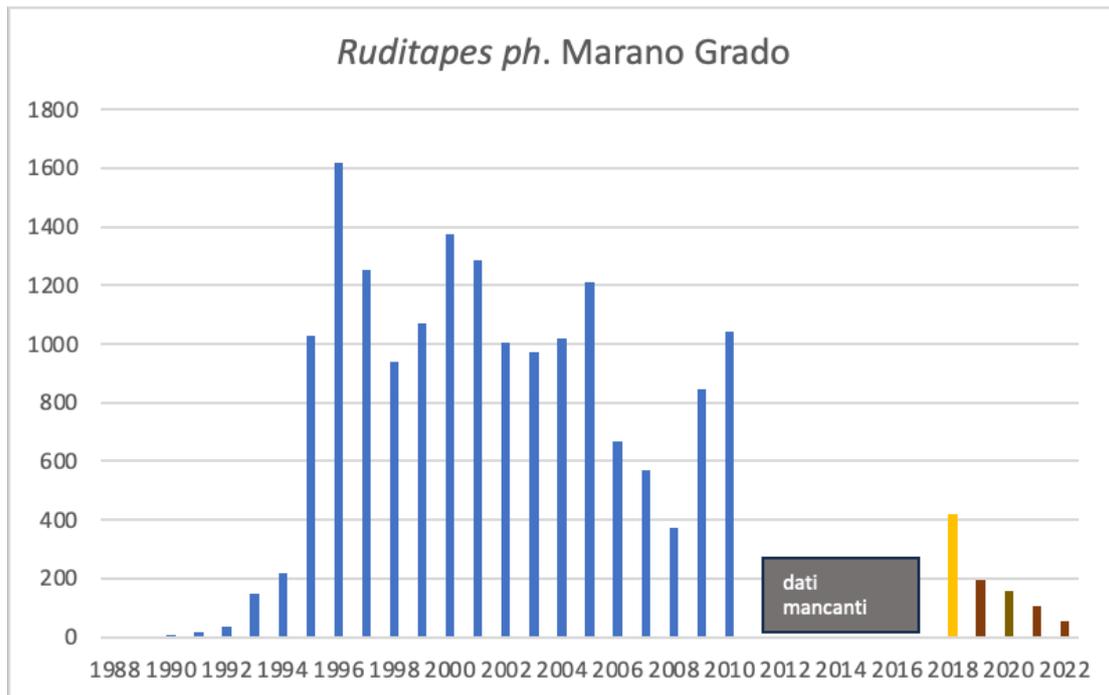


Figura 1.2.11. Andamento della produzione annuale di *Tapes ph.* da Melaku Canu et al. 2011 (fino al 2010) e da cooperative (in marrone, dati dal 2019 al 2022) e stimato su informazioni incrociate (in arancio).

1.2.5 Questionari

I questionari compilati relativi alla pesca di *C.chione* (12), *C.gallina* (9) e *T.philippinarum* (11), sono stati compilati 32 volte, in alcuni casi dallo stesso operatore che si occupa di più specie.

Gli operatori che hanno partecipato al questionario sono tutti uomini la cui età media è di 51 anni con una media di 32 anni nel settore pesca. L'80% degli intervistati ha dichiarato di aver ereditato l'attività da un familiare, principalmente il padre (Figura 1.2. 12).

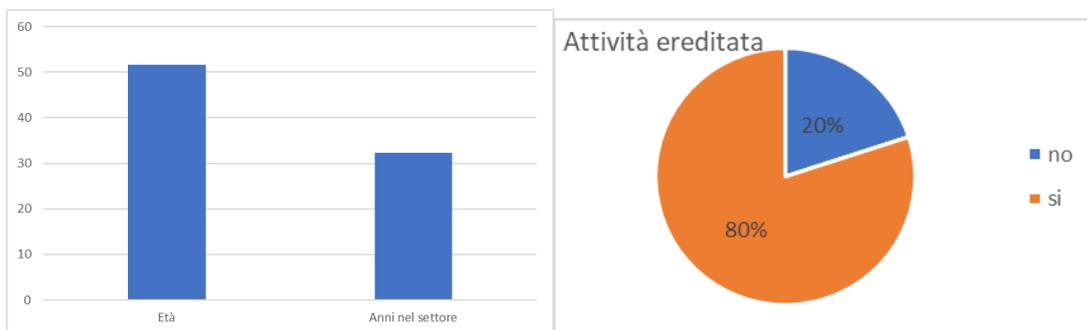


Figura 1.2.12. A) I grafici riportano l'età media degli operatori e la media di anni in cui sono impegnati nel settore. B) Il grafico a torta rappresenta la percentuale di operatori che hanno ereditato l'attività da un parente (in arancione).

Comparto #	Età	Anni nel settore	Attività ereditata	Tipologia pesca	Stato	Sistema gestione	Altre tipologie attuali	Metodi usati in passato	Crescita risorsa	Stato risorsa	Crisi osservata	Morie osservate	Aree di pesca	
Fasolari	12	57	40	9/12	Draga	Attiva	Consortio	1 pesca seppie	reti da posta, cestelli, nasse, strascico, rapidi	più lenta (50%)	/	2014	si	cambiate nel tempo
Vongola mare	9	54	33	9/10	Draga	Sospesa	Consortio	Reti da posta/nasse	nasse	più lenta (100%)	/	2004-2008-2009/2010	si	tutte (vedi mappa)
Vongola laguna	11	43	26	6/11	A mano	Attiva	Quota massima Nazionale	Pesca (1 allevamento)	rampone maranese	/	Pessima	2016/2017	si	cambiate nel tempo

Tabella 1.2.1. Sintesi dei dati relativi ai 3 questionari.

1.2.6 CALLISTA CHIONE

Sono stati compilati in tutto 12 questionari raccolti durante l'incontro del 20 marzo e successivamente tramite i referenti delle cooperative. Gli intervistati appartengono al consorzio Co.Ge.Mo (Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi nel Compartimento Marittimo di Monfalcone). Secondo la legislazione italiana infatti, l'attività di pesca con le draghe idrauliche è permessa solo se gestita e regolamentata da un consorzio (DM 44/1995).

Relativamente alla pesca al fasolario, l'attività mediamente è svolta da 40 anni e l'età media degli operatori è 57 anni (Tab. 1.2.1). Per quanto riguarda le tecniche di pesca, nel caso della raccolta di *C. chione*, l'83% degli

intervistati dichiara di usare/aver usato esclusivamente la draga idraulica durante le attività di pesca, mentre il restante 17% pesca anche in laguna. In passato, gli operatori hanno dichiarato di aver usato prevalentemente reti da posta (67%), in un caso nasse (11%) e in un caso strascico (11%).

Tramite la pesca con la draga, il 38% dichiara di pescare oggi, oltre ai fasolari, anche caruse (o murice - *Bolinus brandaris*), capesante (*Pecten jacobaeus*), ricci, cappelunghe (*E. minor* o *S. marginatus*) e vermi da esca (*Sipunculus nudus*), mentre in passato il 58% dei rispondenti pescava anche cappelunghe (*E. minor*) e vongole (*C. gallina*). Il 50% degli operatori ha interrotto da anni la pesca alle cappelunghe (*E. minor*).

In merito alla crescita di *C. chione*, sei operatori ritengono che crescano più lentamente rispetto al passato, due attribuiscono questa variazione alle zone di pesca. Tuttavia, altri 5 operatori non ritengono vera questa affermazione.

La pesca dei fasolari si svolge principalmente durante tutto l'anno (50%), ma alcuni pescatori dichiarano di pescarne di più ad agosto (28%) o dicembre (29%, quando la richiesta del mercato è maggiore). Mediamente le uscite per la raccolta sono 45 l'anno.

Durante la somministrazione del questionario è stato richiesto ai pescatori di identificare sulla mappa le aree di pesca pertinente a ciascuno e di indicare come sono cambiate nel corso degli anni.

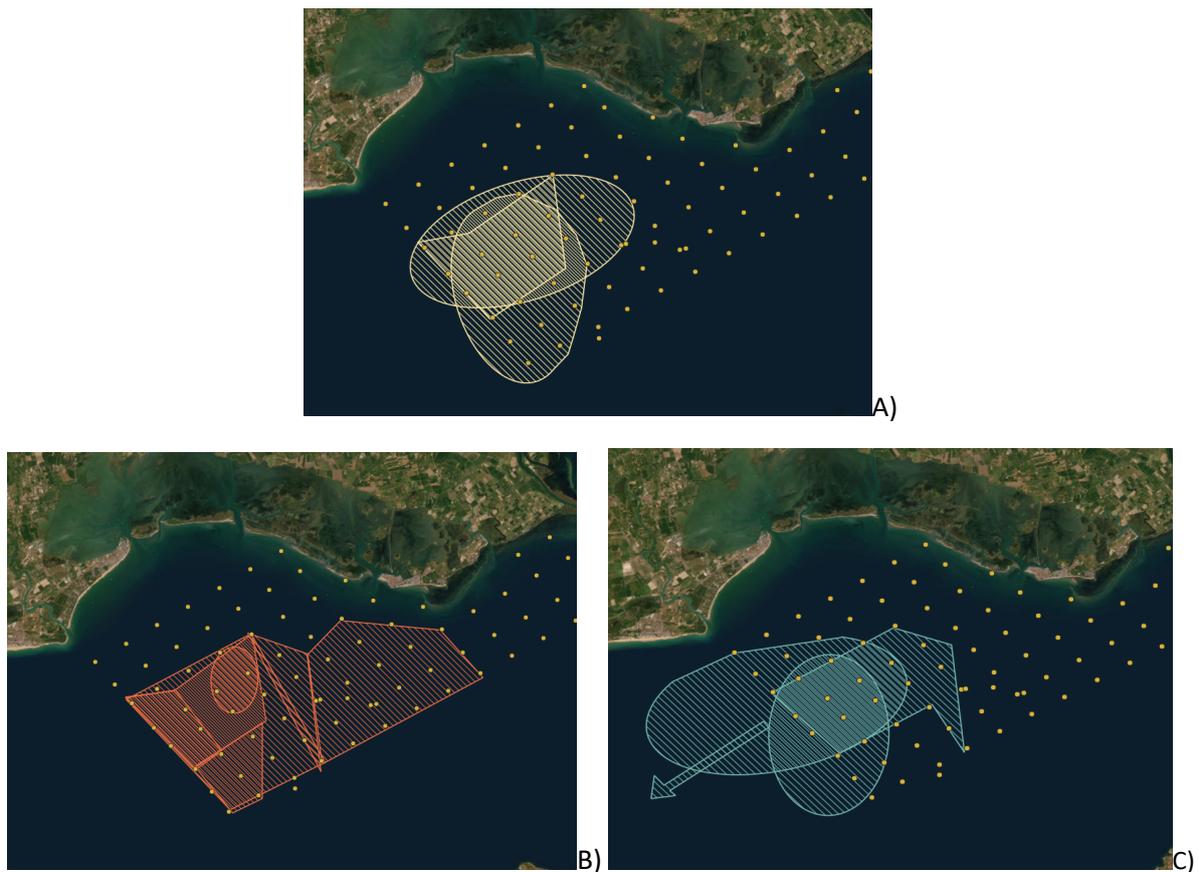


Figura 1.2.13. Rappresentazione delle aree da pesca del fasolaro indicate dagli operatori nel questionario A) Aree di pesca rimaste costanti da circa 1980 ad oggi; B) Aree di pesca dal 1970 al 2010; C) Aree da pesca dal 2010 ad oggi. La freccia indica lo spostamento dell'attività nel comparto di Venezia (04M001).

Per quanto riguarda le zone di pesca, la maggior parte dei pescatori (64%) ha dichiarato di aver mantenuto le stesse zone dall'inizio dell'attività. Alcuni pescatori hanno utilizzato le stesse zone di pesca fin dal 1980 (3 casi) o dal 1990 (1 caso) (Fig. 1.2.13).

L'analisi delle aree di pesca evidenzia una presenza fissa dello sforzo di raccolta nei comparti 08AUD, 08BUD e soprattutto 09UD che rappresentano le zone dei banchi naturali di *C. chione*, vedi mappa della Regione FVG (Fig. 1.2.1). Tuttavia si riporta uno spostamento dello sforzo da est verso ovest con l'abbandono delle aree 13GO e 15GO e in un paio di casi uno spostamento al comparto Veneto (04M001).

Inoltre, gli operatori hanno riportato episodi di morie di *C. chione*. In particolare, coloro che operano nel settore da almeno 35 anni hanno identificato una prima moria di *C. chione* nel periodo agosto-settembre del 1986/1987, che si è protratta per tutto l'anno successivo e ha interessato quasi interamente l'area di pesca considerata (si veda l'immagine in Fig. 1.2.1). Tuttavia, la maggioranza degli operatori ha riferito di una moria più recente nel 2014, segnalando varie zone con diversi livelli di impatto o indicando l'intera area del Golfo di Trieste come interessata da tale fenomeno. L'episodio di mortalità è iniziato durante l'estate, approssimativamente attorno a luglio, e si è protratto per un periodo compreso tra 1 e 2 anni.

Relativamente alla pesca di *C. chione*, la metà degli operatori hanno notato una diminuzione nella biomassa dei fasolari rispetto all'inizio dell'attività di circa il 49%. Infatti, se prima del 2014 la resa per cala era di circa 56 kg (± 27) di fasolari di taglia medio, medio/grande (non è stato riportato un dato quantitativo, ma la taglia massima è di 9 cm), in seguito la resa per cala è stata di 27.9 kg (± 6.5) di fasolari di taglia piccola, medio/piccola (4.5 cm) (Fig. 1.2.14), mentre non è stata riscontrata una diminuzione dei metri di cala, che è mediamente di 263 metri.

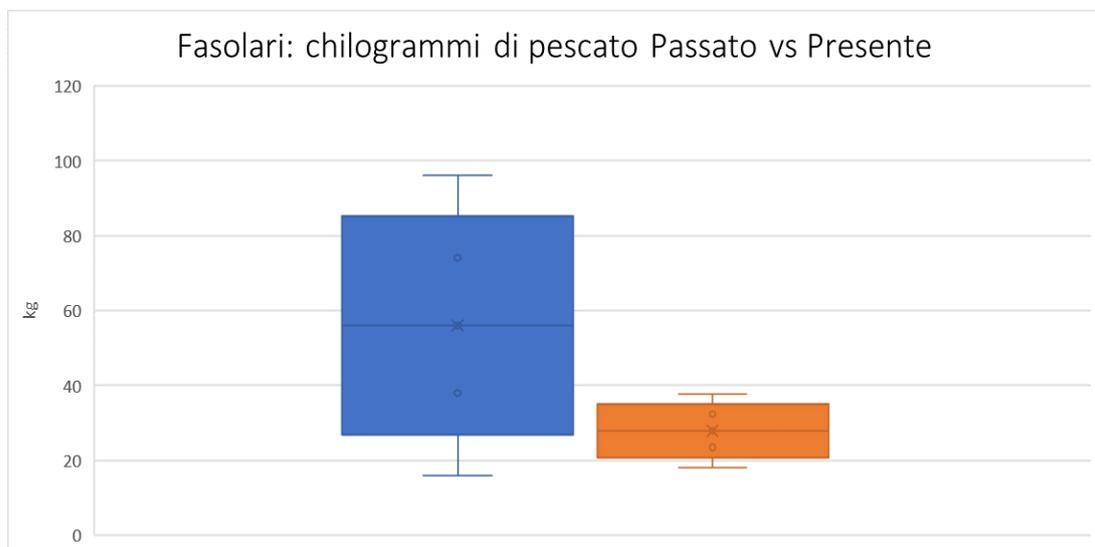


Figura 1.2.14. Boxplot rappresentante la variazione dei chilogrammi di pescato dichiarati dagli operatori al presente (in arancione) e prima del 2014 (in blu).

Inoltre gli operatori riportano, tra le motivazioni che adducono per la riduzione della produttività delle aree a fasolari, la convinzione diffusa che i frequenti passaggi degli attrezzi sul fondale contribuiscano al mantenimento di un substrato adatto alla produzione del fasolario: le pause forzate degli ultimi anni avrebbero quindi portato il sedimento ad un nuovo equilibrio meno adatto alla produzione.

Relativamente alla presenza di altre specie chiave che potrebbero avere un ruolo antagonista, sinergico o sostitutivo rispetto alle attività target di pesca di *C.chione*, i pescatori evidenziano mediamente una diminuzione di tutte le specie di seguito elencate: *Acanthocardia* spp., *Glycymeris* spp., *Venus verrucosa*, *Laevicardium* spp., *Pinna nobilis*, *Tonna galea*, *Hexaplex trunculus*, *Rapana venosa*. In particolare, *Hexaplex trunculus* ha ottenuto l'92% di risposte indicanti una diminuzione, seguito da *Bolinus brandaris* (75%) per il quale c'è anche un 16% di risposte indicanti un aumento (2 persone). Risposte indicanti una diminuzione di specie chiave riguardano anche *Acanthocardia* spp. (75%) e *Laevicardium* spp. (67%), vedi Fig. 1.2.15.

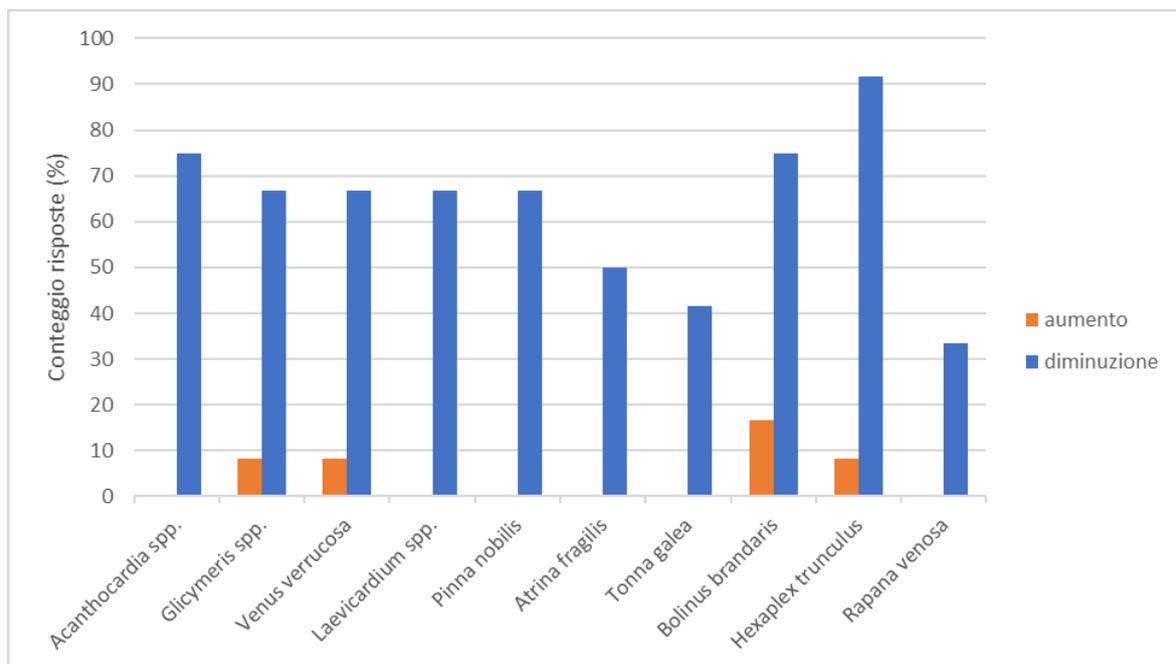


Figura 1.2.15. Nel grafico sono mostrate le risposte (in %) che indicano un aumento (arancione) o una diminuzione (blu) delle specie chiave per il settore fasolario illustrate nelle immagini sopra: A) *Acanthocardia* spp.; B) *Glycymeris* spp.; C)

Venus verrucosa; D) Laevicardium spp.; E) Pinna nobilis; F) Atrina fragilis; G) Tonna galea; H) Bolinus brandaris; I) Hexaplex trunculus; L) Rapana venosa; M) Holothuria spp.; N) Astropecten spp.

Per concludere l'analisi, le informazioni raccolte sono state ulteriormente sintetizzate nel seguente modello concettuale che riporta le variabili chiave del sistema ecologico-socio-economico dell'attività di pesca con la draga della specie *C. chione* (Fig. 16).

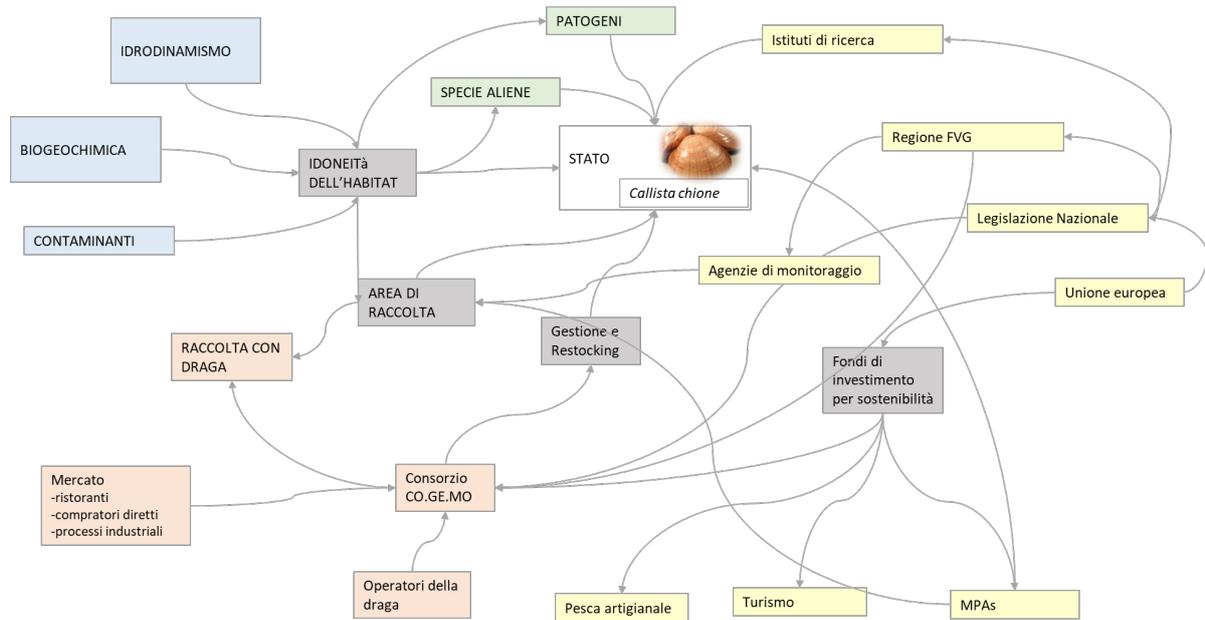


Figura 1.2.16. Modello concettuale che illustra le variabili chiave sia dell'ecosistema ecologico che del sistema socio-economico, individuate da esperti e operatori, che influenzano o sono influenzati dai settori di raccolta dei bivalvi. Dal grafico è possibile osservare come le componenti ecologiche, biogeochimiche e idrodinamiche, siano riconosciute come fondamentali, secondo le informazioni raccolte tramite LEK, per la determinazione dell'habitat suitability e conseguentemente per il mantenimento di un buono stato della risorsa *C. chione*. E' riconosciuto l'impatto dei contaminanti sia per quanto riguarda le aree di pesca che le procedure igienico-sanitarie necessarie per poter commercializzare il prodotto. Inoltre, le testimonianze dirette e acquisite riportano come la maggior parte degli eventi di mortalità siano riconducibili alla presenza di patogeni o anossie nell'area d'interesse. Il grafico mostra inoltre il ruolo centrale del consorzio di gestione Co.Ge.Mo che si occupa di monitorare lo stato della risorsa, attraverso la collaborazione con enti preposti al monitoraggio, e a gestire la quantità e le aree di raccolta in base alle domande del mercato. Sono inoltre illustrati tutti gli organi amministrativi che si occupano di gestire il settore pesca con draga e i principali fondi d'investimento che sostengono l'attività e la transazione sostenibile verso altre tipologie di attività in grado di supportare gli operatori nei periodi di crisi

1.2.7 CHAMELEA GALLINA

Gli operatori che hanno risposto a questo questionario (9) hanno un'età media di 54 anni e hanno operato nel settore per 33 anni (min 18, max 55).

Relativamente alla raccolta di *C. gallina*, gli operatori riportano che le rese maggiori avvenivano prima del 2000 periodo in cui, con calate di circa 250 metri, raccoglievano mediamente 17 kg di vongole di circa 27 mm di diametro. In seguito, attorno all'anno 2009, a causa dell'estesa moria che colpì la specie, il settore relativo a *C. gallina* è definitivamente andato in crisi, l'attività si è interrotta per la maggior parte degli operatori e la flotta è stata dismessa. Attualmente, nel compartimento di Monfalcone, la raccolta di *C. gallina* è stata sospesa, a partire dall'ultima moria del 2018, dal consorzio Co.Ge.Mo al fine di permettere alla risorsa di stabilizzarsi. Si noti infatti che 7 su 9 operatori che hanno risposto al questionario sono ora impegnati nella raccolta del fasolaro.

Gli operatori affermano che per loro percezione le vongole crescono più lentamente rispetto a 10 anni fa e che a partire dal 2009/2010 le rese sono calate drasticamente. Alcuni riportano un calo già a partire dal 2004 (1 risposta) o dal 2008 (1 risposta). Gli anni in cui veniva pescata più *C. gallina* sono riconducibili tutti a prima del 2000. Mediamente con una calata di circa 275 metri erano raccolti 18 kg di vongole di taglia tra i 25 e i 30 cm. Oggi gli operatori in possesso di licenza per *C. gallina* partecipano alle attività di raccolta *C. chione* in seguito all'attuazione di una strategia di solidarietà messa in atto da Co.Ge.Mo.

Durante la compilazione dei questionari, sono emerse ulteriori osservazioni ed elementi, di seguito riportati. Ad esempio, i pescatori riportano una variazione nella tipologia di sedimento in alcune aree, con diminuzione della frazione sabbiosa nel sedimento (zona di Primiero, FVG), una diminuzione della torbidità e l'arretramento dei canneti. Inoltre, segnalano la variazione delle specie comuni con un aumento di spugne, anemoni, salpe e orate, mentre riscontrano una diminuzione degli organismi filtratori quali vongola, vongola filippina e fasolaro (Tab. 1.2.1).

In particolare, attribuiscono queste variazioni alla riduzione degli apporti di nutrienti legati sia all'applicazione della Direttiva Nitrati, che alla riduzione degli apporti dovuti alla riduzione delle piogge e del dilavamento dei bacini scolanti (Tab. 1.2.2).

Cambiamenti osservati dai pescatori	incremento /decremento	Possibili cause
Composizione sedimento: frazione fine	diminuzione	idrodinamismo
Arretramento canneti	diminuzione	diminuzione portate fiumi
Spugne	aumento	
Anemoni	aumento	
Pesci erbivori: <i>Salpa sarpa</i>	aumento	

Pesci onnivori: orate	aumento	
Specie filtratrici - R. philippinarum	diminuzione	diminuzione nutrienti presenza eccessiva vegetazione lagunare tempesta Vaia
Specie filtratrici - C. gallina	diminuzione	diminuzione nutrienti cambiamento substrato pause attività dragaggio
Specie filtratrici - C. chione	diminuzione	diminuzione nutrienti cambiamento substrato

Tab. 1.2.2. Sintesi dei principali cambiamenti osservati dai pescatori nel corso della loro attività e possibile causa ad essi associati

Relativamente alla presenza di altre specie chiave che potrebbero avere un ruolo antagonista, sinergico o sostitutivo rispetto alle attività target di pesca di *C.gallina*, i pescatori evidenziano mediamente una diminuzione di *Donax trunculus* (89% risposte), *Acanthocardia* spp. (77%), e *Astropecten* spp. (56%). È indicato un aumento di *Glycymeris* spp. (più d'asino) - (89% delle risposte) (Fig. 1.2.17).

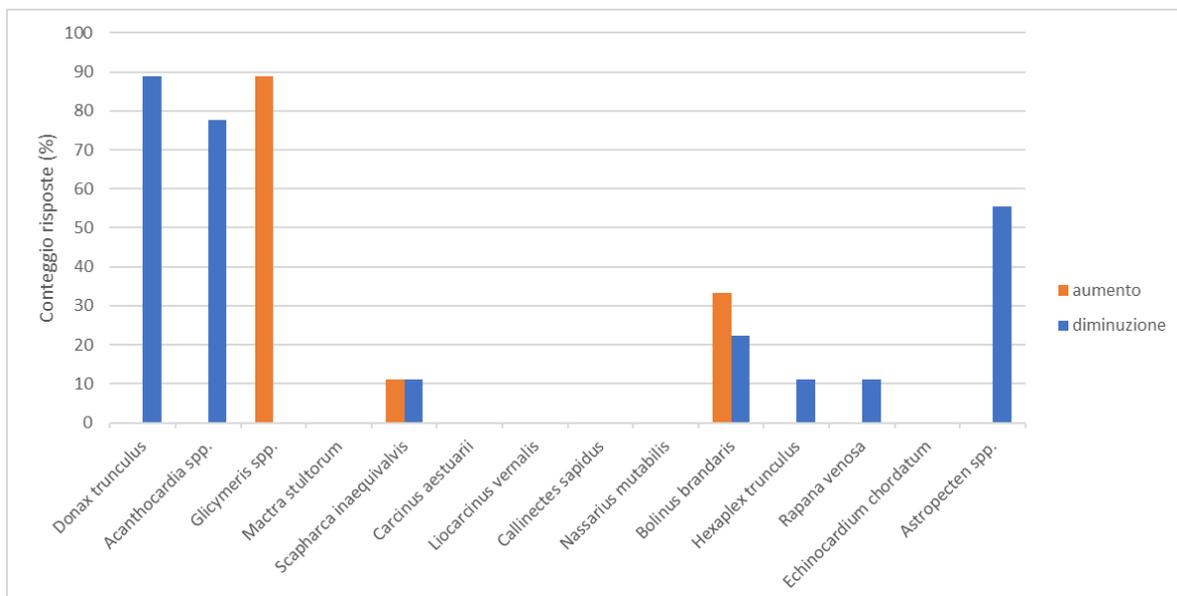




Figura 1.2.17. Nel grafico sono mostrate le risposte (in %) che indicano un aumento (arancione) o una diminuzione (blu) delle specie chiave per il settore vongola di mare illustrate nelle immagini sopra: A) *Donax trunculus*; B) *Acanthocardia* spp.; C) *Glycymeris* spp.; D) *Mactra stultorum*; E) *Mactra stultorum*; F) *Scapharca inaequalvis*; G) *Carcinus aestuarii*; H) *Liocarcinus vernalis*; I) *Callinectes sapidus*; L) *Nassarius mutabilis*; M) *Bolinus brandaris*; N) *Hexaplex trunculus*; O) *Rapana venosa*; P) *Echinocardium cordatum*; Q) *Astropecten* spp.

Tramite le testimonianze di LEK raccolte è stata ricreata una linea temporale (Fig. x) in cui sono stati sintetizzati graficamente i principali eventi che hanno determinato l'evoluzione dell'attività di pesca con draga idraulica nel Comparto di Monfalcone.

In particolare sono rappresentati gli eventi di mortalità che hanno colpito le specie d'interesse commerciale e i principali interventi legislativi che hanno modificato l'attività o alterato le condizioni chimico-fisico-biologiche dell'ambiente.

1.2.8 RUDITAPES PHILIPPINARUM

I questionari relativi alle attività svolte in laguna sono stati compilati da 11 operatori.

La maggior parte dichiara di raccogliere *R. philippinarum* a mano, sebbene in passato, quando non era vietato, era usato il turbosoffiante, l'idrorasca o il rampone maranese. Due operatori dichiarano di allevare *R. philippinarum*, pescando il seme da aree nursery naturali o acquistando da avannotterie in Francia. Il raccolto in questi casi avviene tramite imbarcazione raccogliatrice dotata di braccio meccanico con idrogetto.



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Relativamente alla loro percezione sullo stato della risorsa, gli operatori rispondono unanimemente che la quantità è in stato scarso/pessimo, mentre la qualità è definita mediamente buona o migliorata rispetto al passato, grazie agli aumentati controlli di carattere igienico-sanitario.

A differenza di quanto avviene per la raccolta a mare, gestita e regolamentata da Co.Ge.Mo, per quanto riguarda le attività in laguna non esistono regole di gestione condivisa delle aree in concessione.

Quattro operatori si ritengono soddisfatti della posizione delle aree in concessione e della loro ampiezza (gli altri hanno lasciato vuoto il campo), tuttavia sottolineano che sono povere di risorse. Alcuni operatori hanno fatto risalire la diminuzione delle risorse al 2017.

In passato, quando era possibile effettuare pesca tramite turbosoffianti (D.M. 29/05/1993; D.M. 21/07/1998 e successive modifiche), gli operatori riportano che con 50 metri di cala erano raccolti mediamente 15 kg di *R. philippinarum* di grandi dimensioni (40 mm).

Oggi, la percezione degli operatori è che sia calata la resa produttiva, che gli organismi crescono più lentamente a causa di una variazione della qualità dell'acqua, a un ridotto apporto di nutrienti e alla presenza eccessiva di vegetazione lagunare.

Nel biennio 2018- 2019 la venericoltura e la pesca delle vongole filippine ha subito un grave declino dovuto a fattori ambientali ai quali si sono sommate le conseguenze della tempesta Vaia, l'evento estremo che ha interessato tutto il Nord Est tra il 26 e il 30 ottobre 2018.

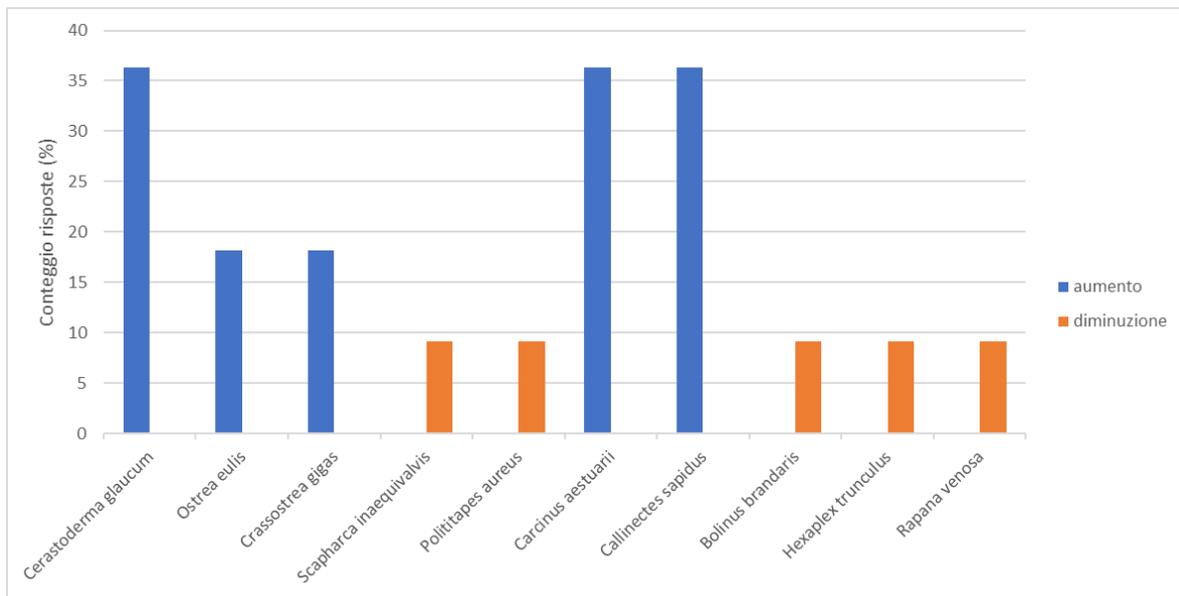


Figura 1.2.18. Nel grafico sono mostrate le risposte (in %) che indicano un aumento (arancione) o una diminuzione (blu) delle specie chiave per il settore vongola di laguna illustrate nelle immagini sopra: A) *Cerastoderma glaucum*; B) *Ostrea edulis*; C) *Crassostrea gigas*; E) *Scapharca inaequivalvis*; F) *Polititapes aureus*; G) *Carcinus aestuarii*; H) *Callinectes sapidus*; I) *Bolinus brandaris*; L) *Hexaplex trunculus*; M) *Rapana venosa*.

Relativamente alla presenza di altre specie chiave che potrebbero avere un ruolo antagonista, sinergico o sostitutivo rispetto alle attività target di pesca di *R. philippinarum*, i pescatori evidenziano mediamente un aumento di *Cerastoderma glaucum* (cuor di laguna), *Carcinus aestuarii* e *Callinectes sapidus* - 36% delle risposte; 4 operatori. Un'unica persona ha segnalato la diminuzione delle specie mostrate in arancione nel grafico (Fig. 1.2.18).



1.2.9 Analisi SWOT

L'analisi del materiale raccolto tramite interviste e questionari e successivi approfondimenti legislativi e di letteratura hanno condotto all'analisi SWOT di seguito riportata (Fig. 1.2.19). In particolare, viene fatto notare come i **punti di forza** di questa attività risiedono nel fatto che il prodotto sia prelevato da aree di popolazioni naturali, che la raccolta del prodotto contribuisca alla diversificazione del pescato e che sia un importante fattore sociale ed economico per la popolazione locale. Inoltre, è intrisa di valori culturali che sono strettamente associati all'identità e alle tradizioni della pesca nella regione. Un aspetto di forza è rappresentato dalla forte regolamentazione del settore. Questo ha portato a una gestione condivisa con gli operatori (bottom-up), oltre a contribuire al mantenimento della sostenibilità dell'attività da un punto di vista gestionale, ha anche favorito l'inclusione e la collaborazione con i portatori d'interesse facilitando, grazie allo sforzo condiviso, l'accesso ai fondi messi a disposizione dalla comunità europea per sostenere sia gli aspetti di sostenibilità ecologica che sociali dell'attività. Degna di nota è la decisione di adottare il sistema della 'scelta del mestiere' per garantire stabilità al settore e competenza e formazione agli operatori. Tuttavia, numerosi sono i **punti di debolezza** del settore. In primo luogo, la grande fluttuazione nella dinamica di popolazione e i lunghi periodi di recupero dopo i numerosi eventi di mortalità. Inoltre, il settore è da anni in crisi a causa dello scarso reclutamento di giovani e la conseguente perdita di esperienza e conoscenze dovute all'invecchiamento degli operatori. Rispetto al passato, alcuni pescatori lasciano le cooperative (OP locali) una gestione individuale dei servizi post-pesca, come il servizio di logistica allo sbarco del prodotto, supporto alla burocrazia del settore per l'impresa di pesca, contabilità delle attività di pesca. In questo modo il prodotto pescato viene direttamente consegnato al consorzio Co.Ge.Mo senza più confrontarsi con le cooperative. Si riporta anche il disappunto nei confronti della normativa vigente che è stato più volte espresso a voce nel corso degli incontri. La stessa scarsa adesione e disponibilità alla compilazione dei questionari può essere interpretata come un elemento di criticità, forse associabile ad una scarsa fiducia nelle ricadute di una ricerca di questo tipo, o della ricerca scientifica in generale, oppure fiducia negli strumenti di mitigazione già posti in essere, oppure ancora, totale legittimazione dei loro referenti. Questa criticità meriterebbe di essere compresa meglio per individuare risposte adeguate qualora fossero necessarie. Le criticità dichiarate attraverso i questionari riferite alle limitazioni sulle taglie minime, per quanto riguarda *C. gallina*, ai conflitti legati all'uso dello spazio, relativi, in particolare al conflitto con la conservazione delle fanerogame marine, e alla percezione che i periodi di dragaggio dei fondali, a tensioni derivanti dall'orientamento dell'Unione europea riguardo la limitazione delle attività di strascico e all'estensione di aree marine protette.



Figura 1.2.19. Analisi SWOT relativa alla sostenibilità del sistema con draga idraulica per la raccolta di bivalvi in FVG. In grassetto sono evidenziati i punti comuni alla raccolta con draga di con *C. gallina* che *C.chione*, mentre i punti relativi ad un'unica specie sono esplicitati in tabella.

Tuttavia, il settore della pesca regolamentata mostra **numerose opportunità di sviluppo sostenibile**. Ad esempio, c'è la possibilità di collaborare con istituzioni scientifiche per sviluppare strumenti di allerta precoce finalizzati al monitoraggio delle risorse marine. Inoltre, la natura stessa di questa attività offre la piattaforma per promuovere i valori storici e culturali del territorio, aprendo la strada alla diversificazione delle attività, in particolare verso il turismo sostenibile e l'educazione ecologica. Un'altra opportunità chiave è il miglioramento della sostenibilità ambientale dei processi produttivi, attraverso misure come la riduzione dell'uso di materiali



plastici e la conversione dei motori verso sistemi più ecologici. Le iniziative di semina e ripopolamento delle risorse ittiche condotte dal consorzio contribuiscono significativamente alla conservazione delle risorse marine e alla promozione della pesca sostenibile. In questo modo, si lavora attivamente per bilanciare lo sfruttamento delle risorse marine con la loro protezione, con l'obiettivo di preservare sia l'ambiente marino che i valori culturali radicati nella comunità locale.

Infine, va sottolineato che il settore della pesca con draga idraulica è afflitto da una serie di **minacce**, tra cui eventi di mortalità di massa, cambiamenti nelle condizioni ecologiche, scarsa disponibilità di nutrienti, minacce legate all'uso del territorio, ipossia/anossia, presenza di tossine e impatti del cambiamento climatico. Sovrasfruttamento, pesca illegale (per *C.gallina* e *E.minor*), l'aumento dei costi dei carburanti, e la presenza di specie aliene come il granchio blu, *Callinectes sapidus*, rappresentano ulteriori sfide alla sostenibilità ecologica e sociale dell'attività.



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**

WP 2. Ricostruzione storica degli input di nutrienti e dello stato ambientale



2.1 Serie storiche della portata dei fiumi e della concentrazione dei nutrienti

2.1.1 Portate e carichi di nutrienti

Nel corso del progetto, da giugno 2021 a dicembre 2022, sono stati effettuati dei campionamenti mensili nei fiumi Isonzo e Timavo (Tabella 2.1.1.1) al fine di effettuare una valutazione aggiornata dei carichi di nutrienti veicolati a mare da tali fiumi. Sono stati inoltre utilizzati dati storici di concentrazione di nutrienti, di altezze idrometriche e di portata resi disponibili da ARPA FVG, dal Servizio Gestione Risorse Idriche della Regione Friuli Venezia Giulia e da ACEGAS, al fine di effettuare una stima dei carichi di nutrienti veicolati dai fiumi Isonzo e Timavo a partire dal 1998. Per il fiume Tagliamento è stato possibile utilizzare i carichi di nutrienti stimati da [Cozzi et al. \(2011\)](#) per confrontarli con quelli trasportati dagli altri due fiumi.

Coordinate delle stazioni di campionamento			
Fiume	Stazione	Latitudine N	Longitudine E
Isonzo	Pieris (GO)	45°48,34'	13°25,76'
Timavo	San Giovanni di Duino (TS)	45°47,27'	13°35,47'

Tabella 2.1.1.1. Coordinate delle stazioni di campionamento dei fiumi Isonzo e Timavo.

Nel corso dei campionamenti sono stati misurati anche i principali parametri fisico-chimici e sono stati prelevati campioni per la caratterizzazione del particolato sospeso. Le date di campionamento ed i parametri ambientali analizzati sono riportati nella tabella 2.1.1.2.

Date di campionamento e parametri ambientali analizzati					
Fiume	Data	Ora (UTC)	Parametri fisico-chimici*	Nutrienti**	Particellato sospeso
Isonzo	17/06/2021	9:20	X	X	X
Isonzo	31/08/2021	9:09	X	X	X
Isonzo	15/09/2021	11:10	X	X	
Timavo	15/09/2021	13:50	X	X	
Isonzo	14/10/2021	10:45	X	X	
Timavo	14/10/2021	12:55	X	X	
Isonzo	15/11/2021	10:02	X	X	
Timavo	15/11/2021	12:12	X	X	
Isonzo	18/11/2021	9:17	X		X
Isonzo	16/12/2021	11:15	X	X	
Timavo	16/12/2021	13:00	X	X	
Isonzo	19/01/2022	11:48	X	X	
Timavo	19/01/2022	13:38	X	X	
Isonzo	15/02/2022	10:35	X	X	X
Timavo	15/02/2022	13:30	X	X	
Isonzo	15/03/2022	11:05	X	X	
Timavo	15/03/2022	10:05	X	X	
Isonzo	13/04/2022	9:50	X	X	
Timavo	13/04/2022	11:30	X	X	
Isonzo	17/05/2022	9:33	X	X	
Timavo	17/05/2022	11:33	X	X	
Isonzo	20/06/2022	11:10	X	X	
Timavo	20/06/2022	12:50	X	X	
Isonzo	08/07/2022	9:37	X	X	
Timavo	08/07/2022	11:40	X	X	
Isonzo	08/08/2022	8:40	X	X	
Timavo	08/08/2022	10:20	X	X	
Isonzo	09/09/2022	9:00	X	X	
Timavo	09/09/2022	11:33	X	X	
Isonzo	10/10/2022	9:36	X	X	
Timavo	10/10/2022	11:22	X	X	
Isonzo	11/11/2022	10:40	X	X	
Timavo	11/11/2022	12:38	X	X	
Isonzo	20/12/2022	10:56	X	X	
Timavo	20/12/2022	12:40	X	X	

Tabella 2.1.1.2. Date di campionamento e parametri ambientali analizzati nei fiumi Isonzo e Timavo. *Parametri fisico-chimici: temperatura, conducibilità specifica, ossigeno disciolto. **Nutrienti: nutrienti inorganici, azoto e fosforo totali, azoto e fosforo organici disciolti.

Materiali e Metodi

In ogni stazione relativa alla caratterizzazione dei fiumi (Tab. 2.1.1.1 e Tab. 2.1.1.2), è stata effettuata un'acquisizione mediante sonda multiparametrica Ysi ProPlus equipaggiata con sensori per ossigeno disciolto (O_2), pH, temperatura e conducibilità specifica ($25\text{ }^\circ\text{C}$), calibrati prima di effettuare ogni campionamento, e sono stati prelevati campioni discreti utilizzando una bottiglia Niskin orizzontale da 5 L. Subcampioni di acqua sono stati raccolti per la determinazione di nutrienti inorganici ($N\text{-NO}_2$, $N\text{-NO}_3$, $N\text{-NH}_4$, $P\text{-PO}_4$, $Si\text{-Si(OH)}_4$), azoto e fosforo totali (TN e TP), e azoto e fosforo organici disciolti (DON e DOP) direttamente dalle bottiglie Niskin in contenitori in polietilene (pre-trattati con acido cloridrico 1 mol L^{-1}). Le aliquote per la determinazione dei nutrienti inorganici e di DON e DOP sono state prelevate tramite filtrazione mediante siringa su filtri Whatman GF/F (porosità nominale $0.7\text{ }\mu\text{m}$, precombusti a $450\text{ }^\circ\text{C}$ per 4 ore). I campioni sono stati conservati a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ fino al momento dell'analisi, che è stata eseguita per via colorimetrica, a temperatura ambiente, con un analizzatore a flusso continuo a quattro canali 'Quattro, Seal Analytical' seguendo le metodologie di Hansen e Koroleff (1999). TN e TP sono stati determinati dopo la conversione quantitativa a N e P inorganici tramite l'ossidazione in soluzione con perossidissolfato di potassio (Hansen e Koroleff, 1999), seguendo le metodiche utilizzate per la determinazione di $N\text{-NO}_3$ e $P\text{-PO}_4$ rispettivamente. DON e DOP sono stati calcolati, rispettivamente, come la differenza tra azoto totale disciolto (TDN) e azoto inorganico disciolto ($N\text{-NO}_2 + N\text{-NO}_3 + N\text{-NH}_4$), e tra fosforo totale disciolto (TDP) e $P\text{-PO}_4$. TDN e TDP sono stati analizzati come descritto per TN e TP, rispettivamente. I limiti di rilevabilità per ammonio, nitriti, nitrati, fosfati e silicati sono 0.03, 0.01, 0.02, 0.01, $0.02\text{ }\mu\text{mol L}^{-1}$, rispettivamente. Il limite di rilevabilità di TN e TDN è pari a quanto indicato per i nitrati, mentre il limite di rilevabilità dei fosfati è valido anche per TP e TDP.

I dati storici giornalieri di altezze idrometriche e di portata per il fiume Isonzo e Timavo sono stati resi disponibili dal Servizio Gestione Risorse Idriche della Regione Friuli Venezia Giulia e da ACEGAS-APS.

I dati storici di concentrazione dei nitrati (NO_3), nitriti (NO_2), ammonio (NH_4), fosforo reattivo (PO_4), azoto totale (TN) e fosforo totale (TP) nelle acque fluviali (Isonzo-Pieris, Tagliamento Autostrada A4, Timavo-Bocche), generalmente monitorati con frequenza mensile o stagionale (non sempre disponibili per tutti i parametri), sono stati forniti da ARPA FVG (Isonzo, mensile: 2000-2010, stagionale: 2011-2014; Timavo, mensile: 2010-2014, stagionale: 2017-19), ARPA Veneto (Tagliamento, mensile: 2000-2011) e ACEGAS-APS (Timavo, mensile: 1998-2009, 2019-20).

I dati sulle portate dei fiumi sono stati analizzati per valutare l'esistenza di possibili trend. I dati sono stati mediati mensilmente ed è stata applicata la funzione stlplus dell'omologo pacchetto (Hafen 2016) in R. L'algoritmo STL(plus) utilizza il metodo LOESS (*Locally Estimated Scatterplot Smoothing*) per decomporre una serie temporale, rimuovendo la stagionalità e trovando il trend. In dettaglio, il metodo LOESS fitta una curva *smooth* ad un insieme di dati usando una regressione polinomiale locale (pesata). Il peso di ogni punto nell'insieme di dati considerato dipende dalla sua distanza dal punto fittato sulla curva, così che i punti più vicini hanno un'influenza maggiore rispetto a quelli più lontani. Il risultato è una curva *smooth* che segue il trend generale dei dati, ma si adatta anche alle variazioni locali. La componente stagionale è calcolata per prima e viene rimossa per il calcolo della componente di trend. I residui vengono calcolati sottraendo le componenti stagionali e di trend dalla serie temporale.

E' stata inoltre calcolata e riportata sul grafico la linea di tendenza per evidenziare l'andamento del trend, il coefficiente di correlazione (r) di Spearman e il valore di significatività ($\alpha = 0.05$).

Possibili cambiamenti di regime nelle portate dei due fiumi sul lungo periodo sono stati investigati usando l'analisi sequenziale del test t di Student (STARS v. 6.3, *Sequential T-test Analysis of Regime Shifts*) (Rodionov (2004); Rodionov e Overland (2005)), che rileva bruschi cambiamenti nella media. Il metodo è stato già applicato in altri studi, condotti anche nel golfo di Trieste (es. Conversi et al., 2010; Fortibuoni et al., 2017; Jaagus et al., 2017). STARS valuta se una nuova osservazione in una serie temporale rappresenta una deviazione statisticamente significativa dalla media del regime in corso. Se la nuova osservazione è statisticamente diversa, viene considerata un possibile punto di cambiamento. Un indice di cambiamento di regime (RSI) viene poi calcolato per testare se il cambiamento è reale e persistente, e se lo è, l'algoritmo ricomincia il calcolo, utilizzando questo punto di cambiamento come inizio di un nuovo regime. In caso contrario, aggiunge la nuova osservazione al regime in corso e continua la ricerca di potenziali punti di cambiamento. L'algoritmo fornisce un livello di significatività per l'anno in cui è stato identificato il cambiamento di regime, sulla base del test t di Student. Per le nostre analisi è stato scelto un livello di significatività uguale a 0.05 e il parametro di Huber uguale a 1 per ridurre il peso dei valori estremi (*outliers*). Per identificare i segnali più forti di cambiamento nella serie temporale, piuttosto che piccole variazioni, è stata scelta una finestra di analisi (*cut-off length*) uguale a 10 anni, che rappresenta la finestra in cui l'algoritmo calcola la probabilità di cambiamento di regime (Stirnimann et al., 2019). L'algoritmo è stato applicato alla serie temporale, mediata annualmente e filtrata attraverso la rimozione dell'autocorrelazione con una procedura di "pre-pesatura" basata sul metodo IP4 descritto in Rodionov (2006). La macro STARS v. 6.3 per Excel, usata per queste analisi, è disponibile a questo sito internet: <https://sites.google.com/view/regime-shift-test/downloads?authuser=0>.

Il carico annuo dei nutrienti azotati e fosforati trasportati dai fiumi F , espresso in tonnellate di N e P per anno, è stato stimato per ciascun nutriente azotato o fosforato usando l'equazione basata sui carichi giornalieri ponderati per le portate:

$$F = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (C_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \right] \cdot Q_Y \cdot m_A \cdot 10^{-6}$$

dove C_i sono le concentrazioni di nutriente (mol m^{-3}) e Q_i le portate ($\text{m}^3 \text{d}^{-1}$) per ciascun giorno di campionamento, Q_Y è la portata annua ($\text{m}^3 \text{y}^{-1}$) e m_A è la massa atomica dell'elemento. Questo metodo permette di compensare gli errori dovuti ai flussi variabili osservati nei momenti di campionamento, e le differenti risoluzioni temporali delle serie di dati chimici e di portata (Kempe et al., 1991).

Per quanto riguarda le stime dei carichi trasportati dal Tagliamento relativamente al periodo 2003-2011 (in parte pubblicate da Cozzi et al., 2011), non essendo disponibili le portate alla sezione di chiusura sono stati utilizzati i dati di portata derivati da fit lineari e polinomiali tra la serie di misure idrometriche e i dati di portata, nella stazione di Pioverno, posizionata alla base della parte montagnosa del bacino drenante ($\approx 72\%$ dell'area totale del bacino, Cozzi et al., 2011), mentre per le concentrazioni di nutrienti sono state utilizzate le misure fatte sui campioni prelevati nella stazione 432 (San Michele al Tagliamento, Autostrada A4) dall'ARPA Veneto. Non è stato possibile effettuare una correzione della portata alla sezione di chiusura del bacino poiché nella zona di pianura a valle della stazione di Pioverno possono esserci sia degli apporti i (principalmente dovuti ai

torrenti Ledra, Arzino, Leale, Cosa e al fiume Varmo) che delle perdite come risultato degli scambi degli acquiferi alluvionali (Ward et al., 1999).

Risultati e Discussione

Nella Fig. 2.1.1.1 sono riportate le portate giornaliere dei fiumi Isonzo e Timavo unitamente all'indicazione delle giornate in cui sono stati effettuati i campionamenti nei fiumi ed in mare, nelle stazioni 'Faro'.

Si può notare che i campionamenti in mare, nel periodo tardo primaverile del 2021 ed autunnale, sono stati condotti successivamente ad elevati apporti di acque dolci trasportate dai fiumi (Fig. 2.1.1.1) mentre le campagne estive ed invernali sono state condotte in un periodo di apporti fluviali minimi.

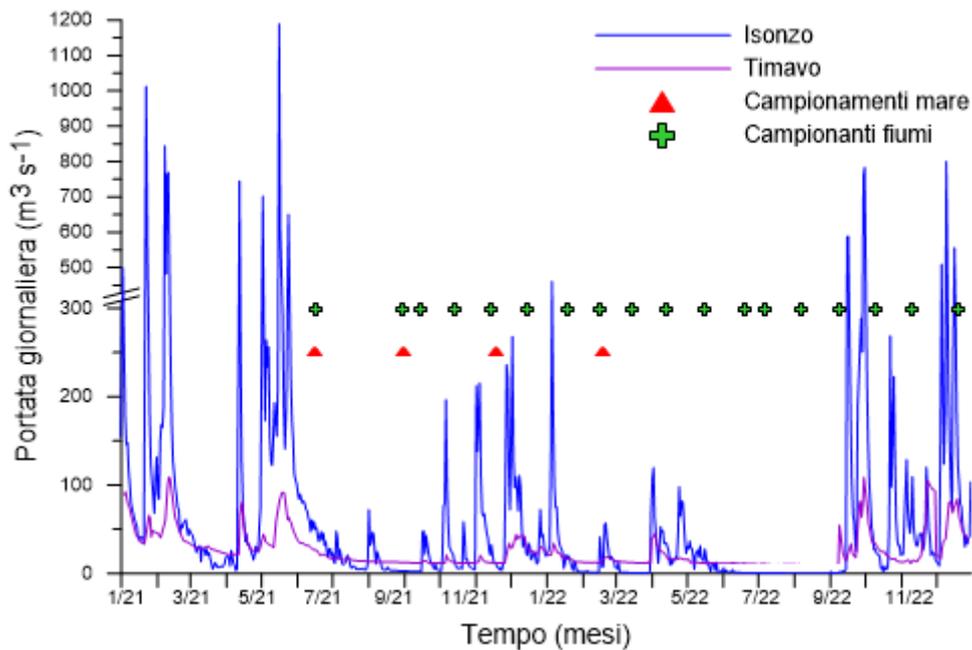


Figura 2.1.1.1. Portate giornaliere dei fiumi Isonzo e Timavo e periodi di campionamento nei fiumi e in mare (stazioni Faro).

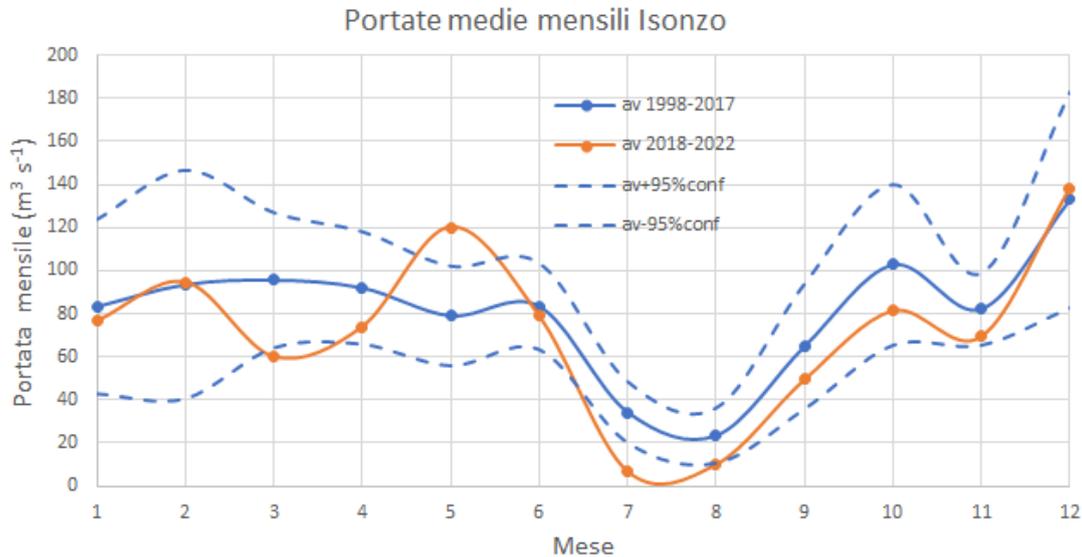


Figura 2.1.1.2. Portate medie mensili del fiume Isonzo nel periodo 1998-2017 (ed intervallo di confidenza) e nel quinquennio 2018-2022.

Confrontando le portate medie del fiume Isonzo nel ventennio 1998-2017 con quelle dell'ultimo quinquennio (2018-2022), si osserva un incremento delle portate in maggio, una riduzione in marzo e, soprattutto, nel periodo estivo (Fig. 2.1.1.2). L'anticipo del picco primaverile potrebbe essere dovuto ad uno scioglimento anticipato della neve nella zona alpina. Le portate medie stagionali del fiume Isonzo, nel periodo 1998-2022, mostrano una notevole variabilità con un prolungato periodo di basse portate negli anni 2000, in particolare tra il 2003 e 2007, ed una ripresa delle portate a partire dal 2008, come anche evidenziato da un cambiamento statisticamente significativo del regime nel 2002 e 2008 ($p < 0.01$) (Fig. 2.1.1.3). Tuttavia, non si evidenzia una tendenza lineari significative sul lungo periodo. Negli ultimi anni si nota una nuova riduzione delle portate dopo i picchi del 2010 e 2014.

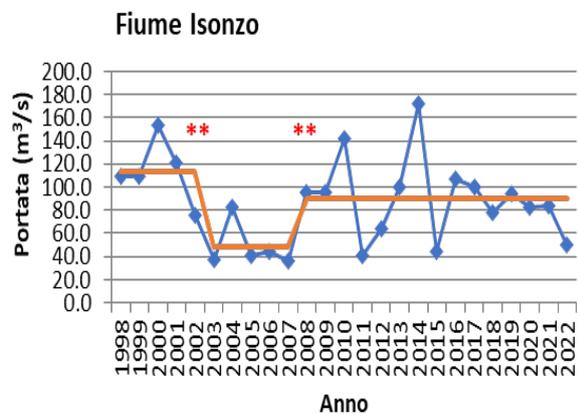
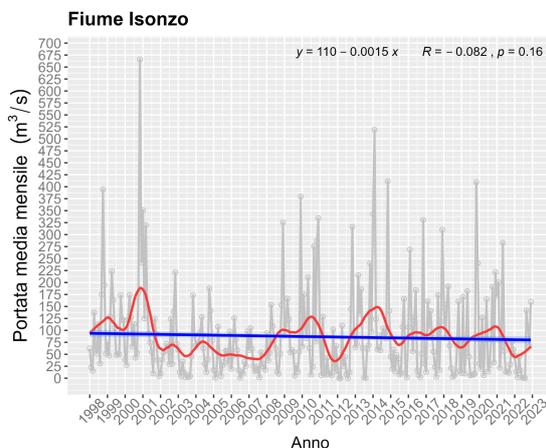


Figura 2.1.1.3. A sinistra, portate medie mensili del fiume Isonzo nel periodo 1998-2022: in grigio i dati originali, in rosso il trend destagionalizzato e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Sul grafico è riportata l'equazione della retta di regressione, il coefficiente di correlazione di Spearman e il valore di significatività. A destra, le portate medie annue nello stesso periodo temporale. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.01$ (**)).

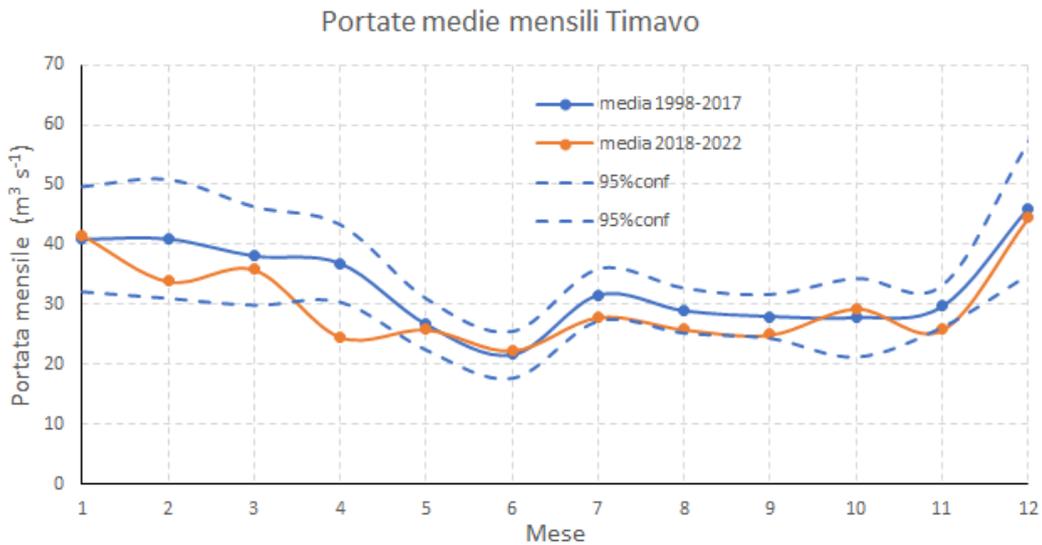


Figura 2.1.1.4. Portate medie mensili del fiume Timavo nel periodo 1998-2017 (ed intervallo di confidenza) e nel quinquennio 2018-2022.

Confrontando le portate medie del fiume Timavo nel ventennio 1998-2017 con quelle dell'ultimo quinquennio (2018-2022), si osserva che queste ultime risultano quasi sempre inferiori alla media, con un decremento significativo in aprile (Fig. 2.1.1.2).

Le portate medie stagionali del fiume Timavo nel periodo 1998-2022, mostrano una notevole variabilità con un prolungato periodo di stress idrico tra il 2005 e il 2007. Si evidenzia una tendenza debolmente positiva e significativa delle portate sul lungo periodo ($p < 0.01$). Dopo la fase siccitosa c'è stato un aumento medio statisticamente significativo del regime delle portate ($p < 0.05$), seguito da una nuova riduzione negli ultimi anni, così come osservato anche per il fiume Isonzo.

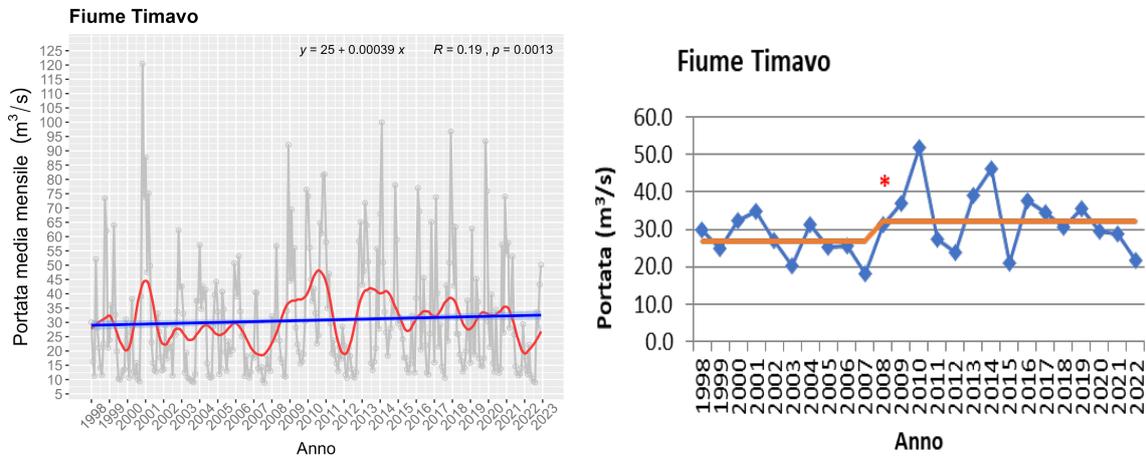


Figura 2.1.1.5. A sinistra, portate medie mensili del fiume Timavo nel periodo 1998-2022: in grigio i dati originali, in rosso il trend destagionalizzato e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Sul grafico è riportata l'equazione della retta di regressione, il coefficiente di correlazione di Spearman e il valore di significatività. A destra, le portate medie annue nello stesso periodo temporale. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.05$ (*)).

Le concentrazioni di nutrienti inorganici, azoto e fosforo totali (TN e TP) e organici (DON e DOP) misurate nei campioni di acqua prelevati nel fiume Isonzo, unitamente ai principali parametri fisico chimici, sono riportate nella tabella 2.1.1.3.

Isonzo														
Data	Temperatura (°C)	Conducibilità specifica (25°C) (µseimens cm ⁻¹)	pH	O ₂ (%)	O ₂ (µmol L ⁻¹)	N-NO ₃ (µmol L ⁻¹)	N-NH ₄ (µmol L ⁻¹)	N-NO ₂ (µmol L ⁻¹)	P-PO ₄ (µmol L ⁻¹)	Si-Si(OH) ₄ (µmol L ⁻¹)	TN (µmol L ⁻¹)	TP (µmol L ⁻¹)	DON (µmol L ⁻¹)	DOP (µmol L ⁻¹)
17/06/2021	15.3	202.2	8.02			33.50	0.46	0.09	0.04	17.59	38.99	0.38	3.91	0.28
31/08/2021	16.4	278.0	7.49			60.74	0.32	0.14	0.08	46.63	63.77	0.37	2.18	0.24
15/09/2021	17.1	295.8		105.5	318	61.27	0.27	0.27	0.02	49.73	65.21	0.34	1.94	0.31
14/10/2021	12.8	227.4		99.4	329	55.01	0.26	0.05	0.10	35.66	60.29	0.46	2.84	0.31
15/11/2021	11.0	207.5	7.95	99.6	354	55.33	0.21	0.06	0.09	35.09	72.75	0.44	12.62	0.33
16/12/2021	7.9	216.0	7.88	125.4	467	71.02	0.24	0.06	0.21	41.34	73.52	0.84	1.17	0.21
19/01/2022	6.8	182.4	7.79	110.6	422	64.13	0.16	0.05	0.13	36.82	68.15	0.38	2.94	0.26
15/02/2022	9.1	204.7	7.70	101.4	360	81.85	0.60	0.06	0.06	42.14	85.44	0.37	1.63	0.29
15/03/2022	10.2	230.1	7.90	99.0	347	85.09	0.31	0.08	0.05	43.77	88.85	0.34	2.06	0.28
13/04/2022	9.7	181.1	8.36	120.5	427	49.30	0.20	0.12	0.06	19.51	54.96	0.31	3.78	0.18
17/05/2022	14.7	210.0	8.28	98.2	312	39.55	0.35	0.11	0.05	22.39	44.50	0.29	2.90	0.12
20/06/2022	17.5	279.2	8.27	100.8	301	61.58	0.32	0.18	0.05	42.97	65.70	0.17	2.60	0.08
08/07/2022	16.5	279.3	7.95	107.7	326	64.14	0.24	0.23	0.05	49.78	67.30	0.15	0.95	0.07
08/08/2022	17.7	307.0	8.02	98.1	292	58.97	0.30	0.38	0.03	50.51	67.52	0.16	6.12	0.25
09/09/2022	14.5	282.9	7.50	71.2	224	71.47	0.36	0.35	0.05	51.86	77.48	0.13	5.22	0.06
10/10/2022	12.6	235.5	7.99			71.05	<0.03	0.06	0.19	38.95	78.03	0.32	6.71	0.10
11/11/2022	10.1	239.0	7.92	106.7	353	76.05	0.38	0.17	0.21	51.86	84.79	0.67	6.48	0.15
20/12/2022	7.2	176.7	8.13	108.5	410	75.07	0.47	0.16	0.20	43.67	86.84	0.50	6.80	0.15

Tabella 2.1.1.3. Temperatura, conducibilità specifica, pH e ossigeno disciolto (O₂), misurati con sonda multiparametrica; nitriti (N-NO₂), nitrati (N-NO₃), fosfati (P-PO₄), ammonio (N-NH₄), silicati (Si-Si(OH)₄), azoto totale (TN), fosforo totale (TP), azoto organico disciolto (DON) e fosforo organico disciolto (DOP), analizzati nel fiume Isonzo.

Le concentrazioni di nutrienti inorganici, azoto e fosforo totali (TN e TP) e organici (DON e DOP) misurate nei campioni di acqua prelevati nel fiume Timavo, unitamente ai principali parametri fisico chimici, sono riportate nella tabella 2.1.1.4.

Timavo														
Data	Temperatura (°C)	Conducibilità specifica (25°C) (µsiemens cm ⁻¹)	pH	O ₂ (%)	O ₂ (µmol L ⁻¹)	N-NO ₃ (µmol L ⁻¹)	N-NH ₄ (µmol L ⁻¹)	N-NO ₂ (µmol L ⁻¹)	P-PO ₄ (µmol L ⁻¹)	Si-Si(OH) ₄ (µmol L ⁻¹)	TN (µmol L ⁻¹)	TP (µmol L ⁻¹)	DON (µmol L ⁻¹)	DOP (µmol L ⁻¹)
15/09/2021	12.9	308.8		72.6	238	88.21	0.18	0.06	0.32	59.15	89.87	0.69	1.34	0.35
14/10/2021	12.8	323.0		75.8	248	77.45	0.32	0.08	0.10	57.36	95.74	0.84	16.35	0.68
15/11/2021	12.4	310.9	7.40	92.2	304	95.51	0.14	0.04	0.31	62.77	114.08	0.83	16.60	0.51
16/12/2021	11.4	336.8	7.17	87.0	296	98.80	0.15	0.04	0.50	61.38	101.54	0.87	2.42	0.28
19/01/2022	11.1	292.9	7.21	90.2	309	92.28	0.09	0.03	0.26	58.77	95.74	0.67	2.79	0.38
15/02/2022	11.1	268.7	7.35	97.2	323	89.25	0.04	0.04	0.20	53.74	91.69	0.65	2.02	0.42
15/03/2022	10.8	282.9	7.39	85.8	297	89.84	0.11	0.03	0.35	52.09	93.98	0.67	2.95	0.30
13/04/2022	10.8	290.6	7.41	87.0	298	100.90	0.24	0.09	0.41	59.04	106.51	0.79	4.70	0.25
17/05/2022	11.5	306.7	7.35	81.0	274	86.79	0.04	0.04	0.32	55.10	91.39	0.53	3.57	0.21
20/06/2022	12.3	304.0	7.31	73.8	247	82.58	0.05	0.01	0.32	55.82	84.46	0.55	1.42	0.16
08/07/2022	12.5	303.0	7.40	71.7	239	80.29	0.17	<0.01	0.33	57.86	84.72	0.53	1.92	0.20
08/08/2022	13.1	313.3	7.32	64.7	213	79.36	0.07	0.01	0.37	60.30	84.31	0.55	4.07	0.08
09/09/2022	12.5	350.0	7.04	66.6	222	94.46	0.04	0.01	0.79	77.36	99.31	0.99	3.73	0.05
10/10/2022	12.6	370.6	7.05	93.1	309	126.27	0.10	0.04	0.47	60.22	134.14	0.64	6.65	0.03
11/11/2022	12.4	361.0	7.04	82.3	275	109.69	0.09	0.03	0.39	59.55	117.10	0.52	6.40	0.07
20/12/2022	10.4	264.6	7.09	97.6	341	105.72	0.14	0.09	0.39	69.75	118.25	1.04	8.40	0.09

Tabella 2.1.1.4. Temperatura, conducibilità, pH e ossigeno disciolto (O₂), misurati con sonda multiparametrica; nitriti (N-NO₂), nitrati (N-NO₃), fosfati (P-PO₄), ammonio (N-NH₄), silicati (Si-Si(OH)₄), azoto totale (TN), fosforo totale (TP), azoto organico disciolto (DON) e fosforo organico disciolto (DOP), analizzati nel fiume Timavo.

Nei tre maggiori fiumi del Friuli Venezia Giulia, il nitrato contribuisce per più del 97% all'azoto totale inorganico disciolto (DIN) il quale a sua volta rappresenta l'81-95% dell'azoto totale. Il contributo del PO₄ al P totale risulta più variabile con percentuali (valore mediano) del 23% nell'Isonzo e del 58% nel Timavo negli anni più recenti (2021-2022), e contributi dell'82% e del 37%, nell'Isonzo e nel Timavo, rispettivamente, nel periodo precedente (1998-2016/2020); nel Tagliamento il valore mediano del contributo del PO₄ al P totale, per il periodo 1998-2013, si attesta al 25% (Tabella 2.1.1.5). In tutti i fiumi, i rapporti molari DIN/PO₄ sono elevati (>200) e, nell'Isonzo, aumentano notevolmente negli ultimi due anni considerati (2021-2022) raggiungendo un valore mediano pari a 791. Il rapporto TN/TP risulta meno variabile presentando valori mediani compresi tra 143 e 219.

	N-NO ₃	P-PO ₄	DIN	Si-H ₄ SiO ₄	TN	TP	DIN/PO ₄	TN/TP	DIN/Si	NO ₃ /DIN	DIN/TN	PO ₄ /TP
	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻¹	μmol L ⁻³	μmol L ⁻³	mol mol ⁻¹	mol mol ⁻¹	mol mol ⁻¹	%	%	%
Isonzo												
2021-22												
mediana	61.4	0.1	61.95	42.1	66	0.37	791.4	176.2	1.6	99.3	93.8	22.5
interquartile	16.0	0.1	15.88	14.1	19	0.16	822.8	120.6	0.4	0.5	5.7	15.7
n	18	18	18	17	21	21	18	21	17	18	18	18
1998-2016												
mediana	78.5	0.3	82.68		98	0.45	267.4	203.7		96.1	82.7	81.5
interquartile	45.0	0.3	44.39		43	0.44	394.2	188.9		2.4	19.3	56.2
n	161	156	154		112	139	154	62		154	62	64
Timavo												
2021-22												
mediana	92.3	0.4	92.39	59.1	96	0.65	257.8	142.5	1.5	99.8	95.0	58.3
interquartile	14.7	0.2	15.36	3.6	23	0.26	71.9	27.8	0.2	0.2	6.5	30.6
n	19	19	19	16	19	19	19	18	16	19	19	18
1998-2020												
mediana	105.6	0.5	108.08	58.3	121	0.97	214.4	155.6	2.0	97.4	87.8	36.8
interquartile	21.8	0.1	22.46	12.6	27	0.86	108.7	143.0	0.5	1.2	12.9	40.6
n	212	205	206	59	61	95	199	57	57	206	58	89
Tagliamento												
1998-2013												
mediana	100.0	0.3	98.53		129	0.65	376.1	218.9		97.8	81.3	24.7
interquartile	28.6	0.1	30.42		36	1.29	684.5	319.5		2.3	24.9	39.1
n	155	147	84		141	187	84	140		84	77	96

Tabella 2.1.1.5. Concentrazioni dei nutrienti inorganici, di azoto e fosforo totali, rapporti molari tra elementi e contributo percentuale delle frazioni inorganiche nei fiumi Isonzo, Timavo e Tagliamento. Sono riportati i valori mediani, il range interquartile ed il numero di dati disponibili per i differenti periodi.

Il rapporto mediano DIN/Si nell'Isonzo negli anni recenti (1.6) risulta simile al valore medio (1.5) che si deriva dai dati per gli anni 1970 riportati da [Cozzi et al. \(2020\)](#). Un rapporto simile si trova nel Timavo (1.5) che però risulta inferiore rispetto al valore mediano (2) trovato nel periodo 1998-2020; ciò è principalmente dovuto alla riduzione delle concentrazioni dell'azoto inorganico disciolto.

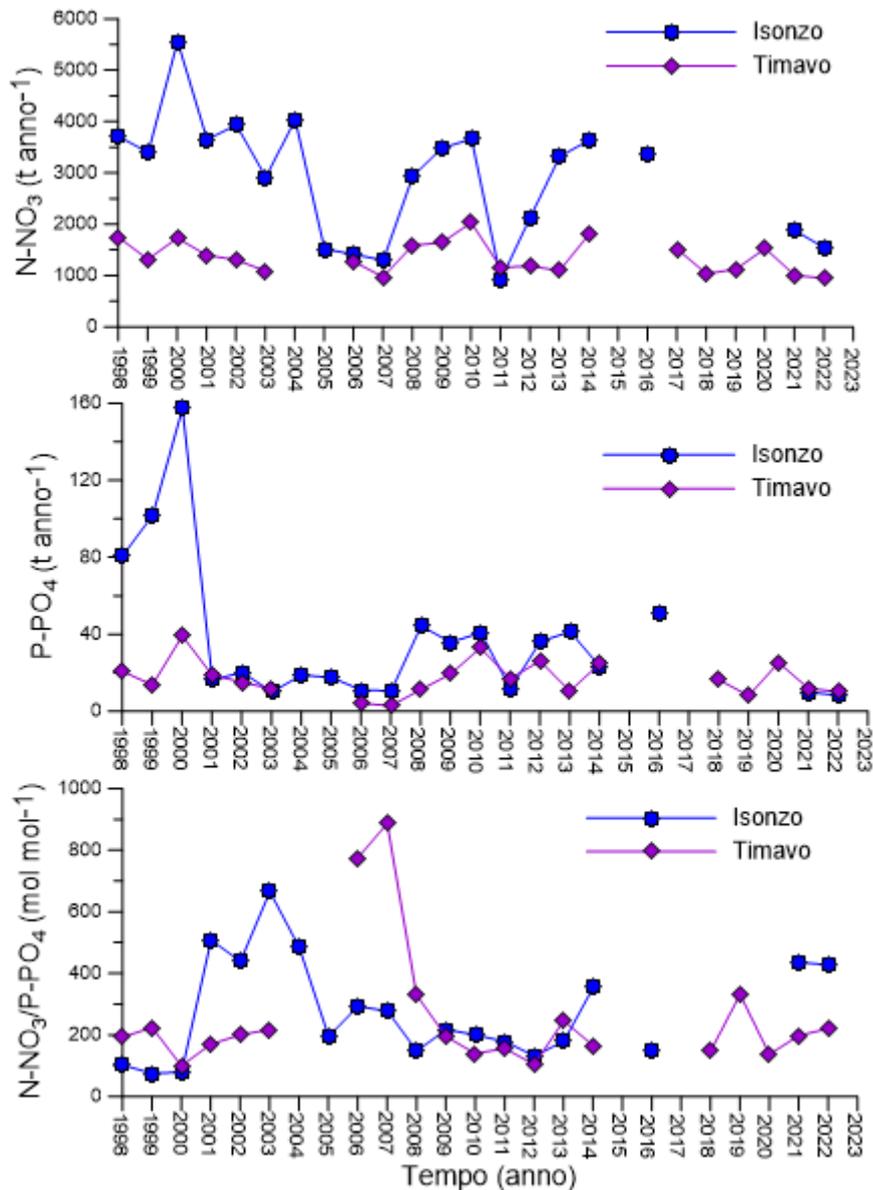


Figura 2.1.1.6. Carichi annui di nitrati e fosfati trasportati dai fiumi Isonzo e Timavo e rapporto molare $N-NO_3/P-PO_4$ nel periodo 1998-2022.

I carichi annui di azoto nitrico e totale e di ortofosfati e fosforo totale trasportati dall'Isonzo e dal Timavo nel 2021-2022 (Fig. 2.1.1.6 e 2.1.1.7) si attestano sui valori minimi rilevati nel periodo 1998-2022 ed in particolare sono simili a quelli che hanno caratterizzato la lunga fase di siccità negli anni 2005-2007. Si osserva che nei periodi di basse portate (2003, 2005-2007, 2011, 2021-22, Fig. 2.1.1.5), con l'eccezione del 2003 per l'azoto nitrico, i carichi di nutrienti veicolati dall'Isonzo si riducono in modo maggiore rispetto a quelli veicolati dal Timavo e, di conseguenza, gli apporti dei due fiumi risultano tra loro paragonabili.

Se si osservano inoltre i valori del 2000, appare ancora più evidente la netta diminuzione del carico di azoto nitrico e ortofosfati evidenziata negli anni più recenti. Rimangono relativamente elevati i rapporti N/P.

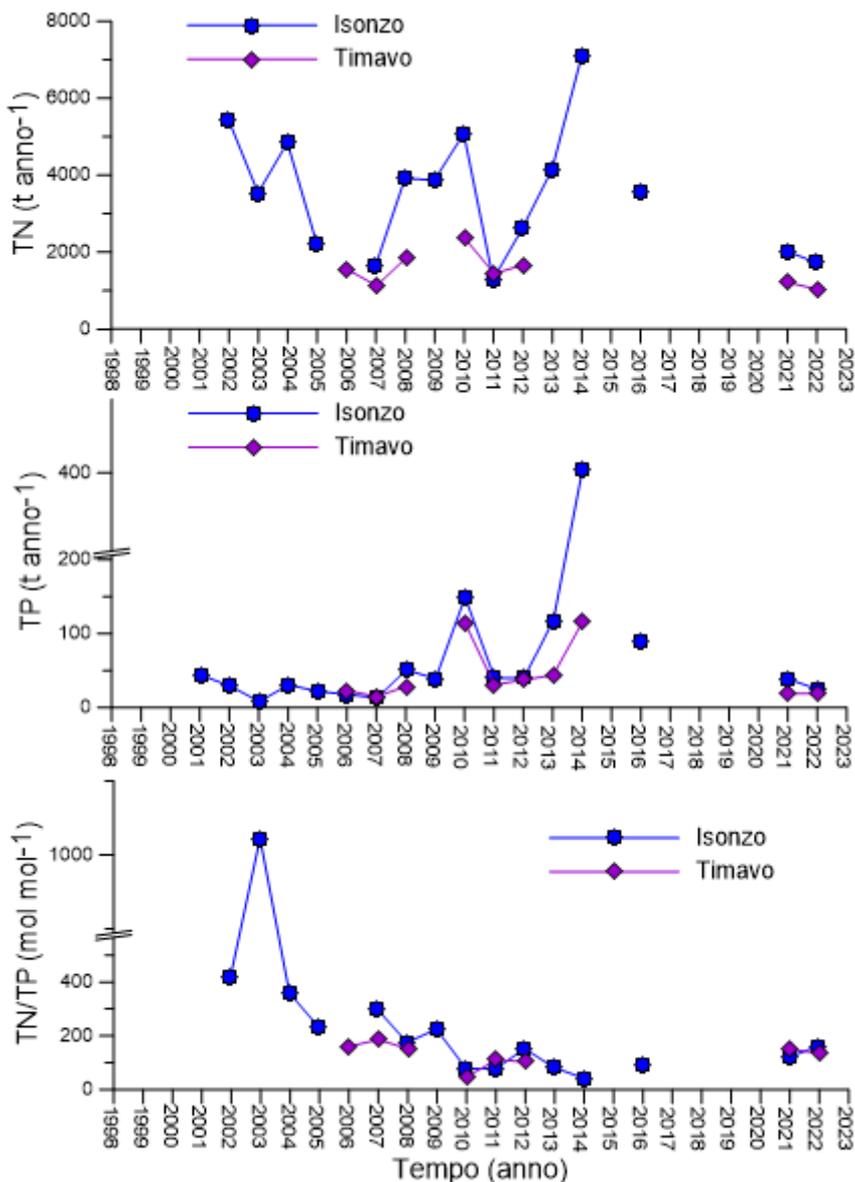


Figura 2.1.1.7. Carichi annui di azoto totale, fosforo totale trasportati dai fiumi Isonzo e Timavo e rapporto molare TN/TP nel periodo 1998-2022.

Non è stato possibile reperire dati di portata e di concentrazione di nutrienti in anni recenti per il fiume Tagliamento alla sezione di chiusura del bacino idrografico per poter stimare i carichi annui nell'ultimo decennio e quindi produrre dei grafici delle variazioni annue simili a quelli presentati per il fiume Isonzo e Timavo. E' stato possibile però confrontare i carichi trasportati dai fiumi Isonzo e Timavo e Tagliamento

relativamente al periodo 2003-2011, unico periodo per il quale sono disponibili i dati per tutti e tre i fiumi (Fig. 2.1.1.8).

Anno	Portata (km ³ anno ⁻¹)	NO ₃ (t N anno ⁻¹)	DIN (t N anno ⁻¹)	TN (t N anno ⁻¹)	PO ₄ (t P anno ⁻¹)	TP (t P anno ⁻¹)	H ₄ SiO ₄ (t Si anno ⁻¹)
Isonzo							
2021	2.62	1859	1837	2015	9.4	38.0	
2022	1.58	1527	1538	1721	7.9	24.1	2179
Timavo							
2021	0.83	1025	1041	1210	11.5	18.0	
2022	0.69	963	964	1030	9.7	17.1	1248

Tabella 2.1.1.6. Portate e carichi di nutrienti trasportati dai fiumi Isonzo e Timavo negli anni 2021 e 2022.

Nella Tabella 2.1.1.6, sono riportati i carichi di nutrienti trasportati dai fiumi Isonzo e Timavo negli anni 2021 e 2022. Il carico di azoto totale trasportato dai due fiumi ammonta a 3225 t N anno⁻¹ nel 2021 e a 2752 t N anno⁻¹ nel 2022 e risulta inferiore al valore minimo del range di 3900-13200 t N anno⁻¹ riportato da [Cozzi et al. \(2012\)](#), per gli anni 2000-2007, per i fiumi che sfociano nel golfo di Trieste. Il fosforo totale invece ammonta a 56.0 t P anno⁻¹ nel 2021 e a 41.2 t P anno⁻¹ nel 2022 e ricade nel range di 33-86 t P anno⁻¹ stimato da [Cozzi et al. \(2012\)](#) per il periodo 2000-2007. Il carico totale di silicati, pari a 3428 t Si anno⁻¹, trasportato dai due fiumi nel 2022, si attesta al limite inferiore del range (3400 - 12400 t Si anno⁻¹) riportato da [Cozzi et al. \(2012\)](#). Per il 2021, non è stato possibile calcolare il carico di silicati in quanto non erano disponibili le concentrazioni di silicio reattivo per i primi 5 mesi dell'anno.

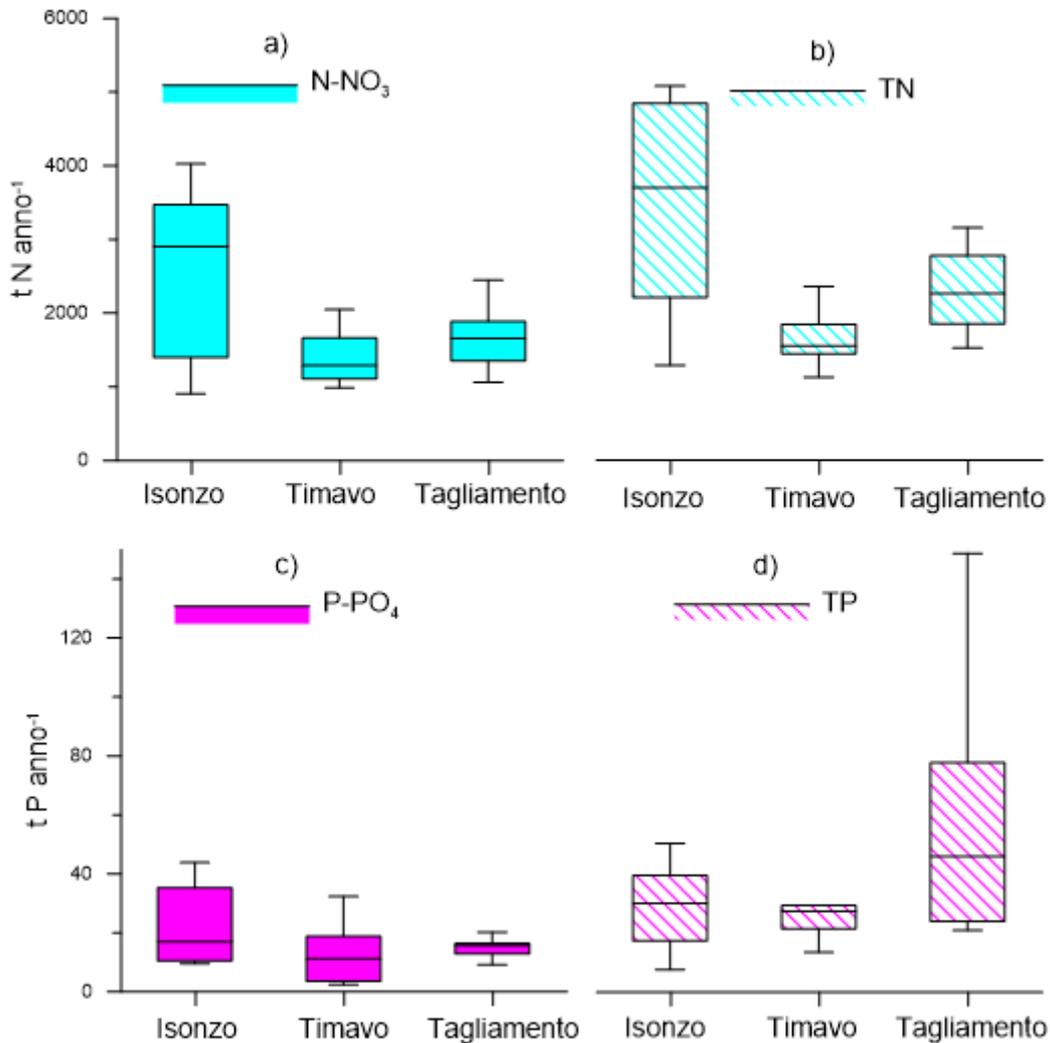


Figura 2.1.1.8. Carichi di azoto nitrico (a), azoto totale (b), fosforo ortofosforico (c) e fosforo totale (d) trasportati dai fiumi Isonzo, Timavo e Tagliamento nel periodo 2003-2011. Nel box plot sono rappresentati il valore mediano, il primo ed il terzo quartile, il valore minimo e massimo.

I tre fiumi, Isonzo, Timavo e Tagliamento, nel periodo 2003-2011, hanno sversato in mare mediamente 4.32 km³ anno⁻¹ di acqua dolce, dei quali il 50% è dovuto all'Isonzo, il 22% al Timavo e il 28% al Tagliamento (Tabella 2.1.1.7). Complessivamente l'apporto annuale di acque dolci da parte di tali fiumi corrisponde al 9.7% delle acque fluviali che arrivano nell'Adriatico settentrionale (44.6 km³ anno⁻¹, per il periodo 2004-2007, [Cozzi et al., 2011](#)).

Nel periodo considerato, l'Isonzo trasportava la quantità maggiore dei carichi azotati (50%) e di fosforo reattivo (41%) per un ammontare complessivo annuo pari a 5512 t N anno⁻¹ per l'azoto nitrico e a 7269 t N anno⁻¹ per l'azoto totale, mentre il Tagliamento trasportava il carico maggiore (40%) del fosforo totale veicolato dai tre fiumi (146 t P anno⁻¹; Tab. 2.1.1.7). Il minor carico di P totale trasportato dall'Isonzo (33%) e

dal Timavo (28%) rispetto al P reattivo potrebbe essere dovuto alla presenza della diga di Solkan in Slovenia, per l'Isonzo, e al percorso sotterraneo nell'ambiente carsico per il Timavo. I processi di sedimentazione favorirebbero la deposizione di parte del particolato sospeso prima che arrivi al mare; tale ipotesi dovrebbe però essere verificata tramite dati sul trasporto di P associato al particolato non disponibili. Sommando gli apporti di Isonzo e Timavo, appare che, nel periodo 2003-2011, essi contribuivano al 68% del carico totale di N (e al 70 % del carico di azoto nitrico) e al 60 % del carico totale di P (e al 67 % del carico di fosforo reattivo) sversato in mare complessivamente dai tre fiumi. Se rapportiamo il carico totale dei fiumi del Friuli-Venezia Giulia a quello complessivo versato da tutti fiumi nell'Adriatico settentrionale stimato da [Cozzi et al. \(2011\)](#) esso rappresenterebbe il 4.4 % dell'azoto totale (il 6.0 % dell'azoto nitrico) e il 2.2% del fosforo totale (il 2.0 % del fosforo reattivo). Bisogna però tenere in considerazione che il calcolo dei carichi trasportati dal Tagliamento può essere stato soggetto a delle sottostime in quanto eseguito sulla base delle portate derivate dalle altezze idrometriche misurate a Pioverno e non a Latisana. Inoltre non è stato possibile stimare gli apporti di nutrienti di origine fluviali scambiati con il mare Adriatico alle bocche della laguna di Grado e Marano.

Fiume	Portata (km ³ anno ⁻¹)	Contributo sul totale (%)	N-NO ₃ (t N anno ⁻¹)	Contributo sul totale (%)	P-PO ₄ (t P anno ⁻¹)	Contributo sul totale (%)	TN (t N anno ⁻¹)	Contributo sul totale (%)	TP (t P anno ⁻¹)	Contributo sul totale (%)
Isonzo	2.2	49.8	2450	44.4	22	41.4	3294	45.3	48	32.5
Timavo	1.0	22.1	1410	25.6	14	25.9	1662	22.9	41	27.8
Tagliamento	1.2	28.0	1652	30.0	17	32.7	2313	31.8	58	39.7
Totale	4.3		5512		53		7269		146	

Tabella 2.1.1.7. Confronto tra le portate di acqua dolce e i carichi di nutrienti trasportati dai 3 maggiori fiumi del Friuli-Venezia Giulia. Sono riportati i valori medi annui per il periodo 2003-2011 ed il contributo percentuale di ciascun fiume al carico totale. Nota: i carichi del Tagliamento sono stati stimati in base alle portate derivate dalle altezze idrometriche misurate a Pioverno.

Va tuttavia rilevata l'assenza di un monitoraggio dei nutrienti con frequenza idonea (almeno mensile) utile per poter effettuare delle stime dei carichi annui di nutrienti sversati in mare dai tre principali fiumi del Friuli-Venezia Giulia (Isonzo, Timavo e Tagliamento), e la mancanza di serie temporali lunghe per poter valutare le tendenze. La determinazione dei silicati nelle acque fluviali è importante in quanto tale nutriente viene utilizzato da diatomee e silicoflagellati ed uno sbilanciamento nei rapporti DIN/Si può favorire lo sviluppo di gruppi algali diversi. Nel Po, ad esempio, proprio per tale motivo, dopo anni di interruzione, è stato ripreso il monitoraggio dei silicati alla stazione di Pontelagoscuro da parte della Agenzia Regionale per l'Ambiente della Regione Emilia Romagna.

Complessivamente si può osservare che i carichi Totali di N e P veicolati verso il mare dai fiumi Isonzo e Timavo si attestano sui valori minimi della serie di dati disponibili per il 1998-2022 principalmente per la riduzione delle portate fluviali, particolarmente marcata nel 2022. Il rapporto N/P risulta fortemente sbilanciato a favore della componente azotata sia considerando i rapporti tra le componenti azotate e fosforate totali ma soprattutto considerando i rapporti tra le componenti inorganiche. Ciò è dovuto alle basse concentrazioni di fosforo reattivo presenti nelle acque fluviali.

2.1.2 Particellato sospeso fluviale

Non ci sono dati disponibili per valutare il trasporto solido da parte dei principali fiumi del Friuli Venezia Giulia e nemmeno per valutare il trasporto di carbonio, azoto e fosforo associati al particellato sospeso fluviale.

Nell'ambito di questo WP è stato campionato stagionalmente il particellato nel fiume Isonzo con l'obiettivo di caratterizzare la sostanza organica ad esso associata considerandola un potenziale componenti della miscela ("end member") di sostanza organica che in mare può essere potenzialmente utilizzata dai molluschi lamellibranchi come fonte di cibo.

Materiali e Metodi

Nella stazione di Pieris sul fiume Isonzo, oltre ai subcampioni per le analisi dei nutrienti, è stato campionato stagionalmente (Primavera: 06/2021; Estate: 08/2021; Autunno: 11/2021; Inverno: 02/2022) il particellato sospeso (POM) per determinare la concentrazione di carbonio organico particellato (POC) e di azoto particellato (PN) ed i rapporti degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto presenti nella sostanza organica particellata fluviale ($\delta^{13}\text{C-POM}$ e $\delta^{15}\text{N-POM}$). I subcampioni di acqua destinati alla determinazione di POC e PN e dei relativi isotopi stabili sono stati prelevati dalle bottiglie Niskin in taniche da 3 L che sono state mantenute refrigerate fino all'arrivo in laboratorio dove adeguati volumi di acqua sono stati filtrati su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 0.7 μm , precombusti a 450°C per 4 ore) da 25 mm di diametro. I filtri destinati alle analisi di POC, PN e $\delta^{13}\text{C-POM}$ e $\delta^{15}\text{N-POM}$ sono stati conservati a -80 °C fino al momento dell'analisi. Prima dell'analisi, i filtri per la determinazione di POC e $\delta^{13}\text{C-POM}$ sono stati trattati con HCl (1 mol L⁻¹) per rimuovere i carbonati (Nieuwenhuize et al., 1994), e successivamente essiccati in stufa a 60 °C per 1 ora, riportati a temperatura ambiente in essiccatore, e impacchettati in capsule di stagno 10x10 mm. La concentrazione di POC è stata misurata utilizzando un analizzatore elementare CHNO-S Costech ECS 4010 secondo i metodi di Pella e Colombo (1973) e Sharp (1974). Concentrazioni note di standard acetanilide (Costech; purezza $\geq 99.5\%$) sono state utilizzate per la calibrazione dello strumento. La determinazione dei rapporti tra gli isotopi stabili del carbonio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) è stata effettuata mediante spettrometro di massa isotopica (IRMS) Elementar Isoprime 100 accoppiato con l'analizzatore elementare CHNO-S Costech ECS 4010. I filtri per la determinazione di PN e $\delta^{15}\text{N-POM}$ sono stati essiccati in stufa a 60 °C per 1 ora, riportati a temperatura ambiente in essiccatore, e impacchettati in capsule di stagno 10x10 mm. La concentrazione di PN è stata misurata utilizzando un analizzatore elementare CHNS Flash 2000 secondo il metodo di Pella e Colombo (1973). Concentrazioni note di standard (acetanilide, atropina, BBOT) sono state analizzate per la calibrazione dello strumento. La determinazione dei rapporti tra gli isotopi stabili dell'azoto $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}$) è stata effettuata mediante spettrometro di massa isotopica (IRMS) Thermo Scientific Delta V Advantage accoppiato con un analizzatore elementare CHNS Thermo Scientific Flash 2000. Le concentrazioni di POC e PN vengono espresse in $\mu\text{mol L}^{-1}$. Il limite di rilevabilità è di 1 $\mu\text{mol L}^{-1}$ e 0.5 $\mu\text{mol L}^{-1}$ rispettivamente per POC e PN. L'accuratezza delle analisi viene misurata su materiali certificati (PACS-1 e BCSS-1, National Research Council Canada). I rapporti isotopici $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ vengono espressi come deviazione per mille (‰) dallo standard internazionale VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) e dell'azoto atmosferico, rispettivamente:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{campione}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{VPDB}}} - 1 \right] * 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{campione}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{AIR}}} - 1 \right] * 1000$$

Prima delle analisi, vengono effettuate misure di controllo su materiali di riferimento certificati per i rapporti isotopici di carbonio e di azoto (sucrosio, acido glutammico, urea, caffeina, acido ossalico, potassio nitrato). La precisione analitica della misura è $\pm 0.2 \text{ ‰}$.

Risultati e Discussione

Caratterizzazione del particolato sospeso fluviale							
Fiume	Data	Stagione	POC ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	PN ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	POC/PN molar ratio	$\delta^{13}\text{C-POM}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N-POM}$ (‰)
Isonzo	17/06/2021	Primavera	10.40	2.12	4.9	-27.83	3.32
Isonzo	31/08/2021	Estate	7.40	1.84	4.0	-28.19	5.97
Isonzo	15/11/2021	Autunno	3.18	1.51	2.1	-27.33	5.67
Isonzo	15/02/2022	Inverno	11.03	1.38	8.0	-26.72	3.45

Tabella 2.1.2.1. Caratterizzazione stagionale del particolato sospeso nel fiume Isonzo. POC: concentrazione del carbonio organico particellato; PN: concentrazione dell'azoto totale particellato; $\delta^{13}\text{C-POM}$: composizione isotopica del POC; $\delta^{15}\text{N-POM}$: composizione isotopica del PN; POC/PN: rapporto molare tra POC e PN.

La concentrazione del carbonio organico particellato (POC) misurata stagionalmente nel fiume Isonzo (Tabella 2.1.2.1) è risultata compresa tra $3.18 \mu\text{mol L}^{-1}$, minimo misurato in autunno, e $11.03 \mu\text{mol L}^{-1}$, massimo riscontrato in inverno. La concentrazione di azoto particellato (PN) è risultata caratterizzata da una minore variabilità rispetto al POC, con valori compresi tra $1.38 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $2.12 \mu\text{mol L}^{-1}$, misurati, rispettivamente, in inverno e primavera (Tabella 2.1.2.1). Il rapporto molare POC/PN (Tabella 2.1.2.1) è risultato compreso tra 2.1 e 8.0, valori rilevati, rispettivamente, in autunno e inverno. Il basso valore di POC/PN riscontrato in inverno, considerando anche la scarsa concentrazione di POC, potrebbe indicare un maggiore contributo del suolo al particolato fluviale, determinato dall'erosione operata dalle maggiori portate del fiume Isonzo nel periodo antecedente il campionamento (Fig. 2.1.1.1) che ha incrementato la frazione di azoto inorganico adsorbito sui minerali argillosi sospesi (Shubert & Calvert 2001). Per fare un confronto con i pochi dati disponibili per i fiumi si può considerare che le concentrazioni medie di POC, nell'Isonzo, rappresentano il 3 e 4% delle concentrazioni medie di POC misurate, rispettivamente, nel fiume Reno e nel fiume Po (Giani et al., 2009). La composizione isotopica del carbonio organico particellato ($\delta^{13}\text{C-POM}$) fluviale (Tabella 2.1.2.1) è risultata compresa tra -28.19 ‰ e -26.72 ‰ , valori riscontrati, rispettivamente, in estate e in inverno. Tali valori rientrano nel range di variabilità tipico del fitoplancton di acqua dolce e delle piante C3 (Lamb et al., 2006). La composizione isotopica dell'azoto particellato ($\delta^{15}\text{N-POM}$) fluviale (Tabella 2.1.2.1) è risultata compresa tra 3.32 ‰ e 5.97 ‰ , valori riscontrati, rispettivamente, in primavera ed estate. La composizione isotopica del PN rientra nel range di variabilità della sostanza organica del suolo e di materiale proveniente da piante terrestri (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti; Shubert & Calvert 2001).

2.2 Evoluzione temporale della concentrazione dei nutrienti nelle acque costiere

Obiettivo di questo task era la valutazione dell'evoluzione temporale della concentrazione di nutrienti nelle acque costiere del Friuli Venezia Giulia, basandosi su tutte le serie di dati disponibili prodotte da diversi soggetti: p.es., le serie di dati dei monitoraggi effettuati dall'ARPA-FVG, le serie di dati della Stazione C1 - LTER osservati da OGS, le serie di dati disponibili da progetti passati, o da altri soggetti (Laboratorio di Biologia Marina, NIB-MBS della Slovenia, ISMAR Venezia, ecc.).

Materiali e Metodi

Presso la stazione C1-LTER, situata ai margini della Riserva Marina di Miramare, vengono acquisiti, mensilmente dal 1986, parametri fisico-chimici lungo la colonna d'acqua. Dati di temperatura e salinità fino al 1990 sono stati acquisiti mediante il salinometro Beckman RS 5-3, mentre dal 1990 fino ad oggi i dati di temperatura, salinità e ossigeno disciolto sono stati acquisiti lungo la colonna d'acqua con una sonda Idronaut Ocean Seven (modello 401 o 316) o mediante sonda SBE 19plus SEACAT (Kralj et al., 2019).

Sono inoltre stati prelevati mensilmente campioni discreti di acqua in superficie (0.5 m) e al fondo (15 m) mediante bottiglie Niskin da 5 L per la determinazione della concentrazione di ossigeno disciolto, nutrienti (N-NO₂, N-NO₃, N-NH₄, P-PO₄, Si-Si(OH)₄), clorofilla *a* (Chl *a*), carbonio organico particellato (POC) e azoto particellato (PN).

Dal 1986 ad oggi, i campioni destinati alla determinazione dell'ossigeno disciolto sono stati fissati con i reattivi previsti dal metodo Winkler (1888) immediatamente dopo il subcampionamento dalla bottiglia Niskin. L'analisi è stata completata in laboratorio, entro 24-48 ore dal campionamento, mediante titolazione potenziometrica (Oudot et al., 1988). I nutrienti sono stati campionati, dal 1998 ad oggi, tramite filtrazione con siringa su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 0.7 µm, precombusti a 450°C per 4 ore), in contenitori in polietilene (pretrattati con acido cloridrico 1 mol L⁻¹) e sono stati conservati a -20 °C fino al momento dell'analisi, che è stata eseguita per via colorimetrica, a temperatura ambiente seguendo le metodologie descritte in [Grasshof \(1983\)](#) e modificate da [Hansen e Koroleff \(1999\)](#). I campioni destinati all'analisi della clorofilla *a* sono stati raccolti, dal 1986 ad oggi, in bottiglie in HDPE e sono stati conservati al fresco e al buio fino al rientro in laboratorio, dove adeguati volumi di acqua sono stati filtrati su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 0.7 µm) da 47 mm di diametro. I filtri sono stati conservati a -20 °C fino al momento dell'analisi che sono state eseguite dopo estrazione con acetone al 90 % (Lorenzen and Jeffrey, 1980) per metodo spettrofotometrico dal 1986 a luglio 1990 e successivamente per via spettrofluorometrica. I campioni di acqua destinati alla determinazione di POC e PN sono stati raccolti in bottiglie in polietilene e sono stati mantenuti al fresco e al buio fino all'arrivo in laboratorio, dove adeguati volumi di acqua sono stati filtrati su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 0.7 µm, precombusti a 450°C per 4 ore) da 25 mm di diametro. I filtri sono stati conservati a -20 °C. Prima delle analisi, i filtri sono stati trattati per POC e PN come descritto in 2.1.2. Le concentrazioni di POC e PN sono state determinate mediante analizzatore elementare. I dati di POC sono disponibili dal 1998 ad oggi, mentre i dati di PN per il periodo aprile 2011 - dicembre 2020.



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Oltre alla serie storica di dati dei parametri chimico-fisici della stazione C1, sono stati acquisiti anche quelli derivanti dalla rete di monitoraggio marino-costiero dell'ARPA-FVG nel golfo di Trieste, integrati con dati dei campionamenti Acegas nel 2017-2022 nelle stazioni C1, OP, OM, OD e MA213. Temperatura, clorofilla, salinità ed ossigeno sono disponibili dal 2006 al 2022 in superficie e al fondo, mentre i nutrienti (nitrati, nitriti, ammonio, fosfati, silicati, TN, TP) dal 2009 al 2022, ma solo per la quota superficiale. I dati di fondo sono stati inoltre integrati con quelli dell'acqua di fondo campionati nel presente progetto nel 2021-2022 nelle 4 stazioni Faro. Dati storici precedenti al 2006 nel golfo di Trieste sono stati ottenuti da dataset interni ad OGS, provenienti da precedenti operazioni di integrazione di diversi dataset oceanografici relativi all'Alto Adriatico (vedi Solidoro et al., 2009), forniti da diversi soggetti (il CNR-ISMAR di Venezia, l'ex Laboratorio di Biologia Marina (LBM), la Stazione di Biologia Marina di Pirano (Slovenia), l'Istituto di Zoologia dell'Università di Vienna, e l'Istituto "R. Boskovich" di Rovigno (Croazia)).

Sui dati raccolti è stata condotta una prima valutazione della bontà degli stessi, e una valutazione sulla possibilità di accorpare alcune stazioni di campionamento in mare per poter ricavare trend almeno ventennali di nutrienti, temperatura, ossigeno, clorofilla e salinità. La maggior parte delle stazioni, soprattutto quelle con dati precedenti al 2006, è stata, tuttavia, campionata occasionalmente e sono disponibili pochi dati, molto frammentati sia spazialmente che temporalmente. Per poter valutare l'evoluzione temporale dei parametri chimico fisici del golfo sono state quindi scelte, in modo rappresentativo, alcune stazioni di fronte la foce dell'Isonzo e alcune al largo, insieme alla stazione C1, che disponevano di una serie temporale di dati sufficientemente lunga e meno frammentata. Poiché alcune di queste stazioni sono distanti diversi km l'una dall'altra, prima di accorparle è stato verificato che non ci fossero differenze statisticamente significative tra di esse in termini di salinità con un Wilcoxon test ($\alpha = 0.05$). In dettaglio, di fronte all'Isonzo (da qui in poi stazione "Fronte Isonzo") è stata scelta la stazione CE122 di ARPA-FVG e, per i dati precedenti al 2006, le stazioni A18 (1998-2001) e T24 (2002-2005) campionate dal LBM nell'ambito del progetto INTERREG - Studio del sistema alto Adriatico - FVG (Fig. 2.2.1). Al largo (da qui in poi stazione "Largo") è stata scelta la stazione MA312 di ARPA-FVG, e, per i dati antecedenti al 2006, le stazioni A33 (1998-2001) e T23 (2002-2005) anche queste campionate dal LBM per lo stesso progetto (Fig. 2.2.1). Per poter integrare i dati di nutrienti della stazione MA312, disponibili fino al 2016, è stata considerata anche la stazione SMTS2 (2016-2017) e la stazione MA213 di ARPA-FVG (2020-2022) (Fig. 2.2.1). Per le stazioni "Fronte Isonzo" e "Largo" sono stati considerati solo i nutrienti in superficie, in quanto, come già detto, i dati non erano disponibili al fondo dal 2009 al 2022. Per la stazione C1, è stato invece possibile analizzare anche i dati di nutrienti al fondo.

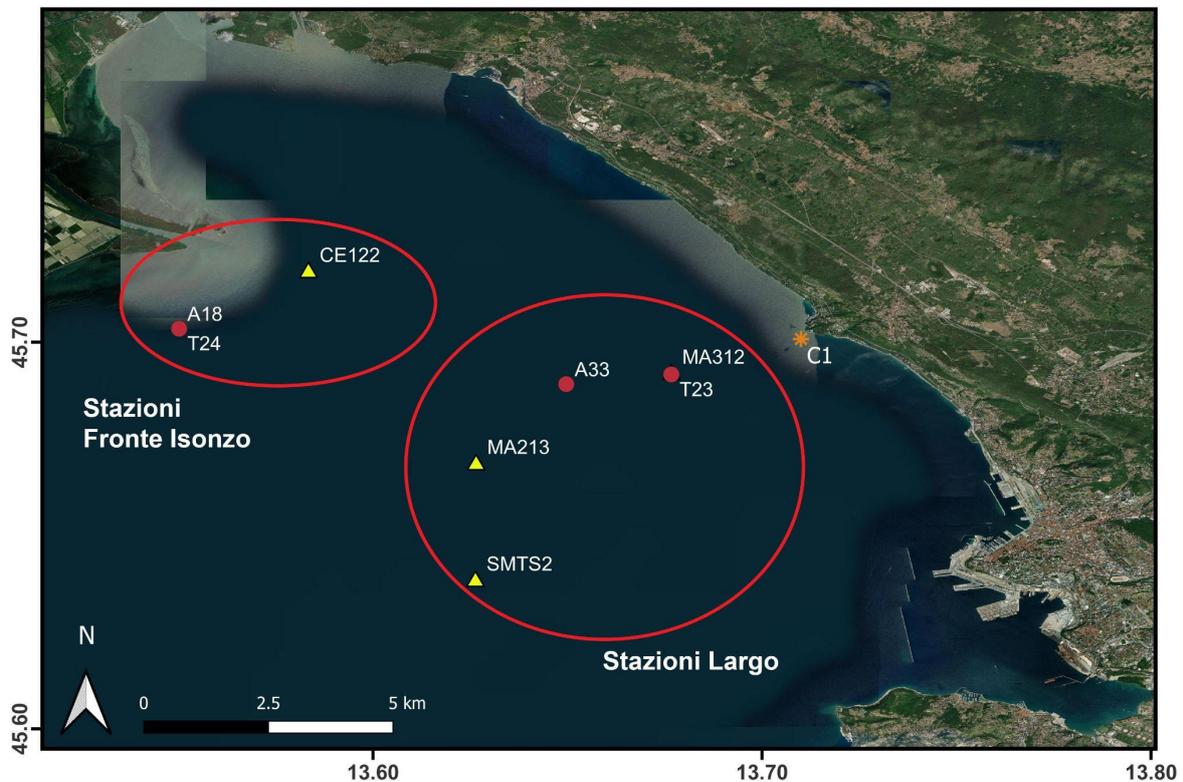


Figura 2.2.1. Stazioni di campionamento considerate per la valutazione dell'evoluzione temporale dei parametri chimico-fisici.

Per valutare l'esistenza di possibili trend nei parametri analizzati in superficie e al fondo della colonna d'acqua, i dati sono stati mediati stagionalmente ed è stata applicata la funzione *stlplus* dell'omologo pacchetto (Hafen, 2016) in R (vedi WP 2.1.1 per maggiori dettagli). Si è reso necessario mediare stagionalmente i dati per garantire la comparabilità delle osservazioni, in quanto per alcuni anni erano disponibili solo valori stagionali. È stata calcolata e riportata sul grafico la linea di tendenza per evidenziare l'andamento del trend, il coefficiente di correlazione (r) di Spearman e il valore di significatività ($\alpha = 0.05$). Inoltre, è stata calcolata l'anomalia di temperatura delle acque come differenza tra dato mensile di ogni anno e la media mensile di tutto il periodo nelle stazioni considerate. Possibili cambiamenti di regime nei parametri misurati nell'acqua sul lungo periodo sono stati investigati usando l'analisi sequenziale del test t di Student (STARS v. 6.3, *Sequential T-test Analysis of Regime Shifts*) (Rodionov, 2004; Rodionov & Overland, 2005) (vedi WP 2.1.1 per maggiori dettagli).

Per analizzare l'evoluzione dei parametri chimico-fisici anche nello spazio considerando tutto il golfo di Trieste, nell'intero dataset a disposizione sono stati individuati periodi continui di dati che potessero coprire almeno tre anni per tutti i parametri in esame (temperatura, salinità, ossigeno disciolto, clorofilla-a, nitrati, fosfati) e con un numero elevato di stazioni tali da coprire la più ampia area possibile del golfo. Per evitare che alcune stazioni campionate solo occasionalmente (es. solo in alcuni mesi dell'anno o stagioni) dessero risultati poco

realistici della condizione del golfo nei diversi periodi temporali, è stato applicato un ulteriore filtro al dataset, selezionando solo le stazioni con almeno tre anni di dati e in cui ogni mese dell'anno fosse stato campionato almeno una volta. Per i nutrienti il filtro è stato rilassato a nove mesi piuttosto che 12, garantendo comunque che tutte le stagioni fossero presenti, in quanto erano disponibili meno dati. Per ogni parametro e profondità è stata quindi calcolata la mediana stagionale e successivamente la mediana per ogni periodo individuato (1990-1993; 1998-2004; 2009-2015; 2016-2022). I dati sono stati interpolati sull'intero golfo, o su un'area più piccola quando le stazioni coprivano un'area minore, con una griglia raster di lato 500 m con l'algoritmo multivel b-spline (Lee et al., 1997) del software QGIS v. 3.22 (QGIS.org, 2023. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>).

Risultati e Discussione

Da una prima analisi esplorativa dei dati raccolti sono state riscontrate numerose mancanze e discontinuità temporali e spaziali. Inoltre, la maggior parte dei dataset ricevuti non era ben organizzata, presentava errori e non era uniforme, né in termini di nomenclatura né in termini di unità di misura dei diversi parametri.

Nel dettaglio, nonostante siano stati acquisiti dati per 608 stazioni, campionate in 55 anni e per un totale di quasi 30000 dati, la maggior parte dei campionamenti è avvenuta dagli anni '90 ad oggi, con molti periodi mancanti, soprattutto per i nutrienti (Tabella 2.2.1). Nei grafici sottostanti sono state riassunte le informazioni solo per la salinità e il nitrato in quanto rappresentativi dei campioni condotti rispettivamente per i parametri fisici e i nutrienti. Si nota che i nutrienti sono stati sotto-campionati dal 1994 al 1997 e dal 2005 al 2008 (Figura 2.2.2 e 2.2.3). Inoltre rispetto ai parametri fisici sono stati campionati in un numero molto più ridotto di stazioni e anni. La condizione è peggiore se si considera il fondo, poiché si hanno pochi dati dal 2005 ad oggi. In termini stagionali, prevalgono campionamenti fatti durante la primavera e l'estate rispetto alle altre stagioni sia per la salinità che per i nitrati ad entrambe le profondità. Analogamente, il numero di stazioni campionate nelle diverse stagioni prevale in primavera ed estate (Tabella 2.2.2). Tuttavia i numeri stagionali non differiscono eccessivamente e l'inverno e l'autunno risultano anche ben rappresentati (Figura 2.2.3). La distribuzione delle stazioni nel golfo di Trieste è molto ampia e copre tutto il golfo (Figura 2.2.4), ma la maggior parte di esse è stata campionata solo in uno o due mesi dell'anno e in uno o due anni (Figura 2.2.5, 2.2.6), probabilmente a seguito delle esigenze di progetti di ricerca specifici.

	Superficie										
	Salinità	Temperatura	Ossigeno	Clorofilla	Nitrati	Nitriti	Ammonio	Fosfati	Silicati	Azoto tot	Fosforo tot
N° Stazioni	485	485	308	247	162	116	125	149	170	71	76
N° Anni	55	54	40	34	36	35	35	36	36	25	26
N° dati tot	1746	1752	1621	1382	876	875	880	877	802	592	662
	Fondo										
	Salinità	Temperatura	Ossigeno	Clorofilla	Nitrati	Nitriti	Ammonio	Fosfati	Silicati	Azoto tot	Fosforo tot
N° Stazioni	519	513	307	249	119	86	92	126	142	39	44
N° Anni	54	55	41	34	36	35	35	36	36	17	18
N° dati tot	1750	1759	1628	1388	634	638	640	641	645	341	348

Tabella 2.2.1. Tabella riassuntiva del numero di stazioni e anni di campionamento e numero totale di dati che è stato possibile ottenere per ogni parametro chimico-fisico e profondità.

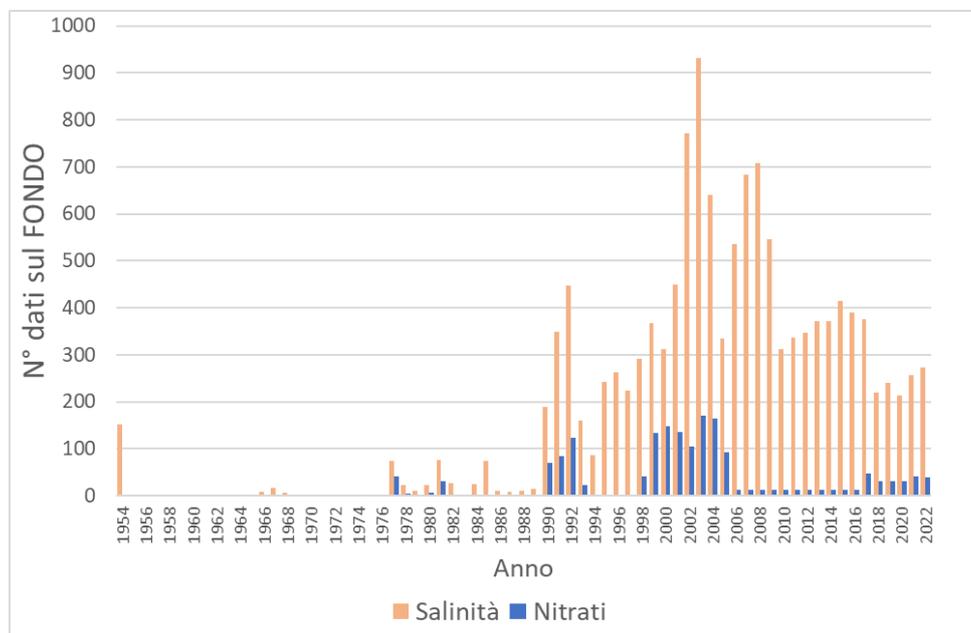
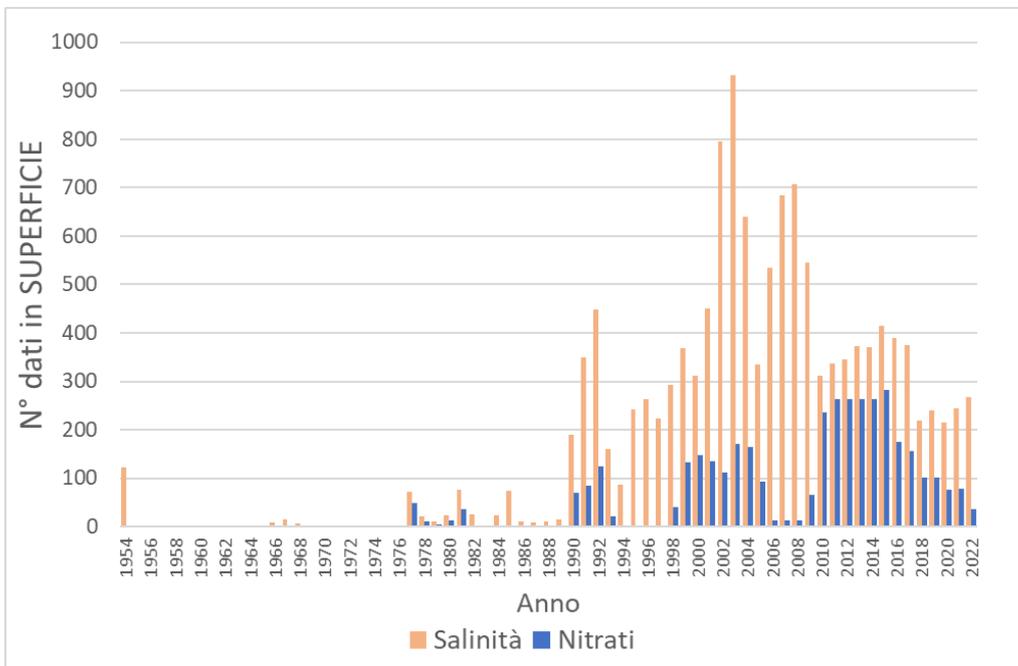


Figura 2.2.2. Numero di dati raccolti nei relativi anni per salinità e nitrati in superficie e fondo, rappresentativi rispettivamente dei parametri fisici e dei nitrati.

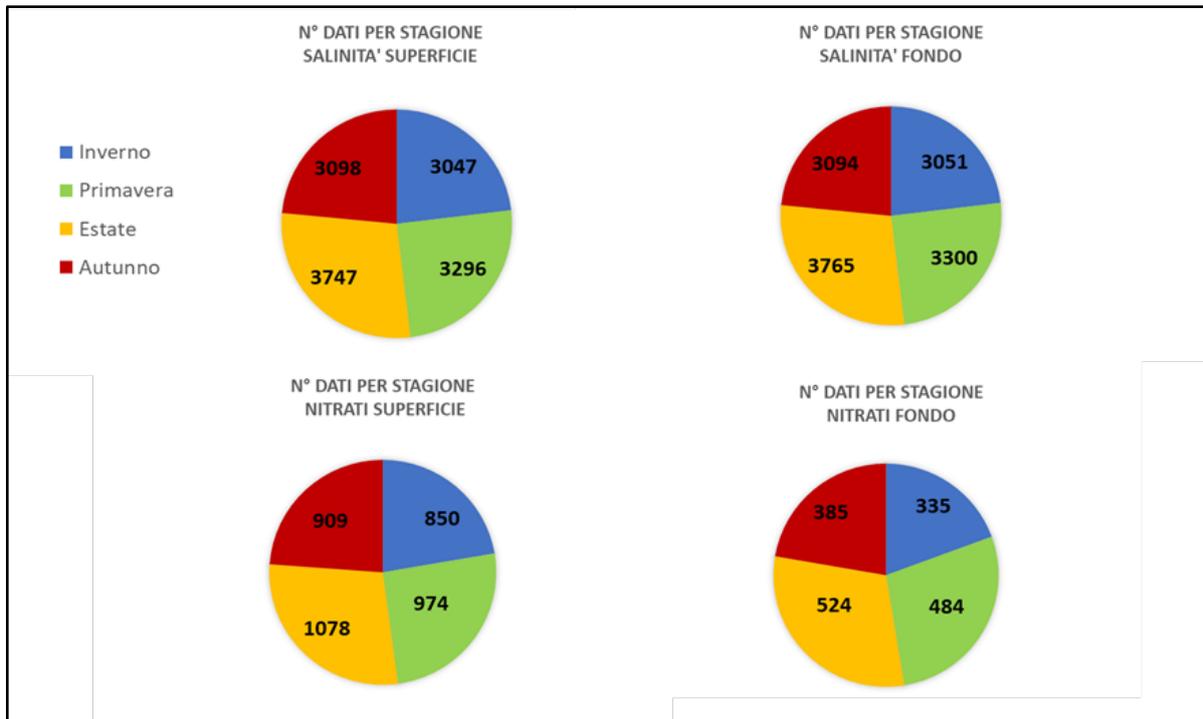
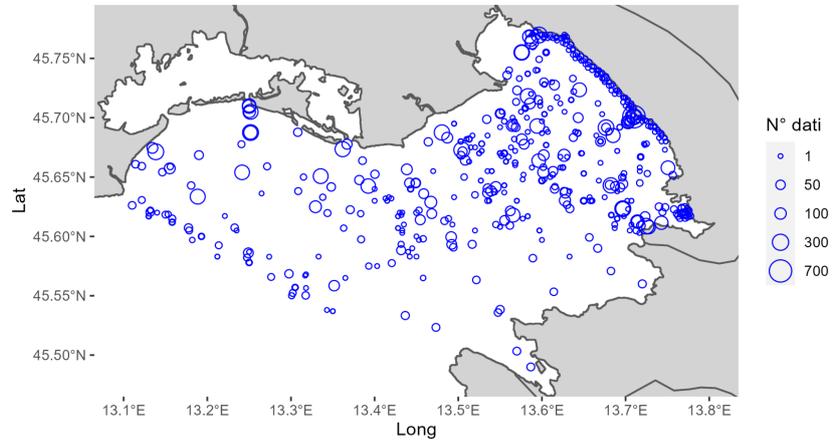


Figura 2.2.3. Numero di dati raccolti di salinità e nitrati in superficie e fondo divisi per stagione.

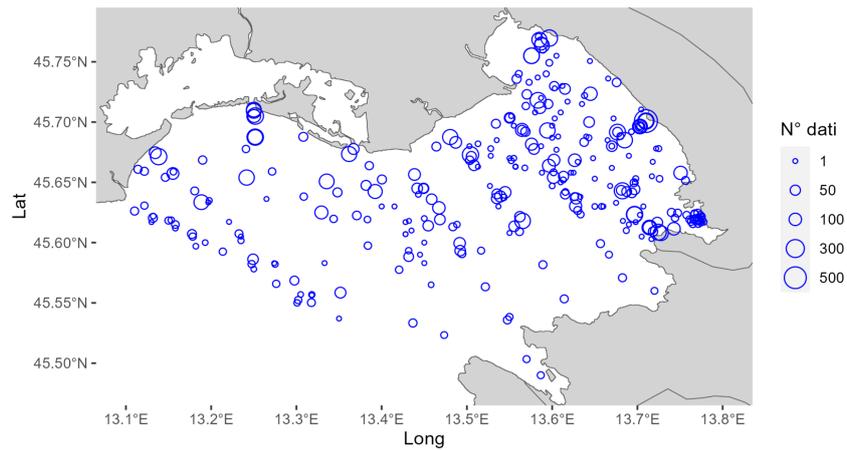
	N° stazioni			
	Superficie		Fondo	
	Salinità	Nitrati	Salinità	Nitrati
Gennaio	158	57	158	28
Febbraio	176	50	180	33
Marzo	228	73	228	39
Aprile	174	78	174	51
Maggio	168	78	169	43
Giugno	214	64	217	47
Luglio	246	80	247	46
Agosto	285	105	311	78
Settembre	218	68	224	40
Ottobre	179	62	179	40
Novembre	209	96	213	73
Dicembre	160	46	161	25

Tabella 2.2.2. Tabella riassuntiva del numero di stazioni campionate nei diversi mesi dell'anno.

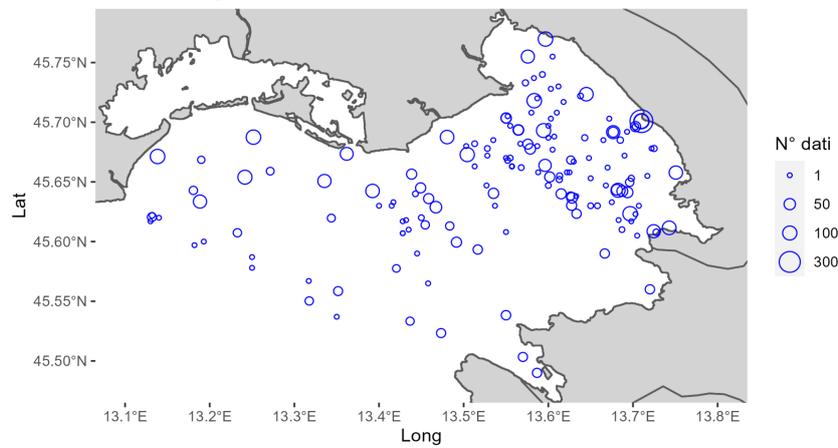
Salinità - Superficie



Salinità - Fondo



Nitrati - Superficie



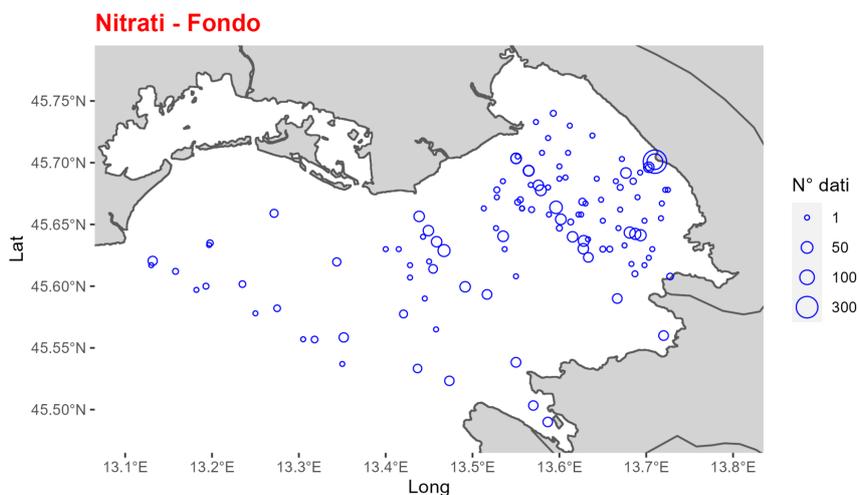


Figura 2.2.4. Distribuzione e quantità di dati raccolti di salinità e nitrati in superficie e fondo.

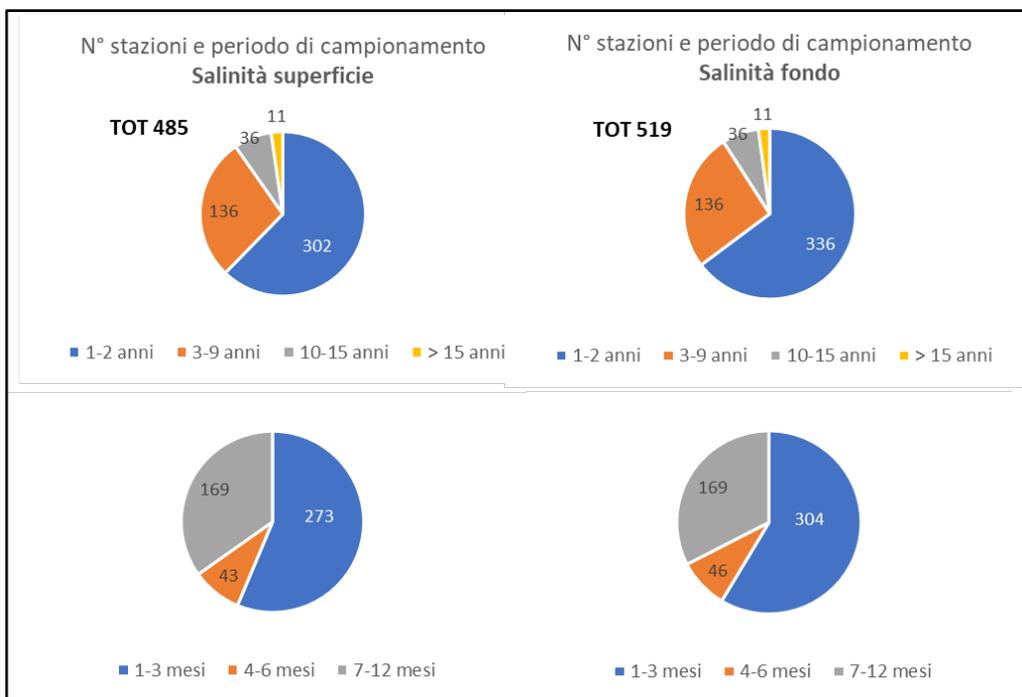


Figura 2.2.5. Numero di stazioni campionate e durata del campionamento della salinità in superficie e fondo. La maggior parte delle stazioni è stata campionata solo in uno o due anni e solo in alcuni mesi.

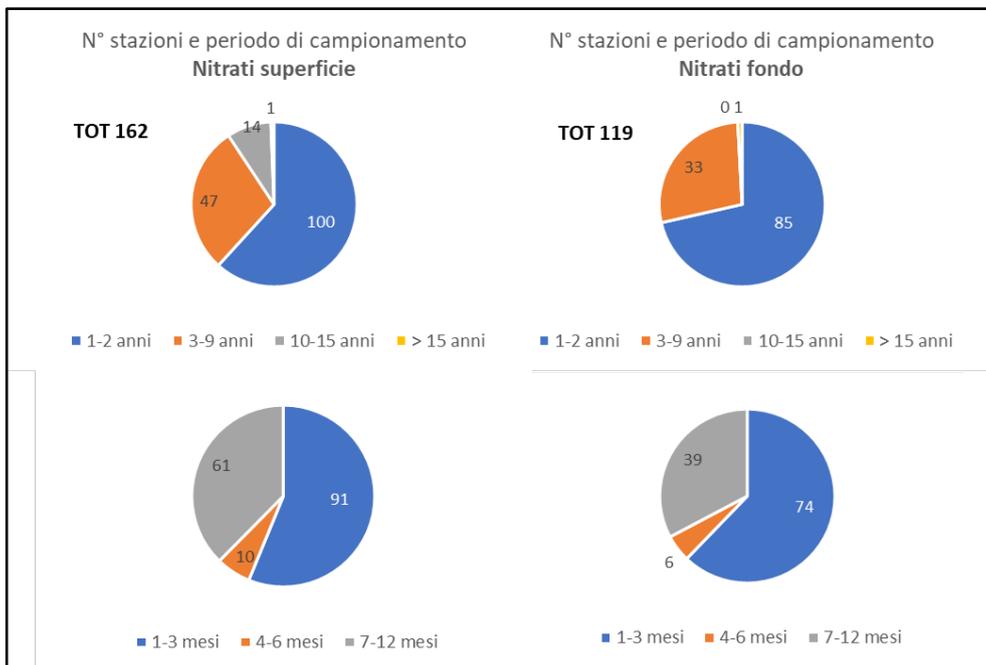


Figura 2.2.6. Numero di stazioni campionate e durata del campionamento dei nitrati in superficie e fondo. La maggior parte delle stazioni è stata campionata solo in uno o due anni e solo in alcuni mesi.

2.2.1 Analisi delle serie temporali

I risultati delle analisi della serie temporale per la temperatura mostrano un significativo trend in aumento, osservato sia sul fondo, sia in superficie, nella stazione C1 e nella stazione Largo. Le relazioni ottenute sono tutte consistenti tra di loro (Figura 2.2.1.1). Solo per la stazione Fronte Isonzo tale relazione non è osservabile né in superficie, né sul fondo. In questo caso bisogna tener conto che la stazione Fronte Isonzo è fortemente influenzata dalle acque fluviali che sono soggette a scambi di calore diversi da quelli dell'acqua di mare e possono quindi alterare il segnale della temperatura proprio dell'acqua di mare. L'analisi del regime shift rivela un probabile cambiamento avvenuto nel 2007 (C1 fondo, C1 superficie, Largo fondo), seguito da un altro osservabile nel 2013 nella stazione Largo al fondo e in superficie (Figura 2.2.1.1). Va anche ricordato che la serie temporale ricostruita per la stazione Largo è più corta rispetto a quella per la stazione C1, quindi l'identificazione dei regime shift può averne risentito. Nella stazione Fronte Isonzo invece si osserva un'identificazione di regime shift verso temperature più basse che probabilmente sono state influenzate da una diversa distribuzione nel tempo delle portate dell'Isonzo (Figura 2.2.1.1).

La differenza osservata tra le tre stazioni rivela come il golfo di Trieste, nonostante le sue esigue dimensioni, sia caratterizzato da alta eterogeneità spaziale che si può tradurre anche in una ricostruzione diversa delle dinamiche delle stesse variabili ambientali. Le conclusioni delle analisi quindi dovrebbero essere sempre riferite ad un specifico punto nello spazio, o ad un'area più grande, ma omogenea. Anche l'analisi delle anomalie di temperatura rivela lo stesso pattern osservato per le serie temporali delle misure, cioè un costante

aumento delle anomalie positive sia in superficie, sia sul fondo di circa 1 grado Celsius nel periodo considerato, osservato nella stazione C1 e nella stazione Largo. Invece, per Fronte Isonzo non si osserva un trend significativo nelle anomalie (Figura 2.2.1.2).

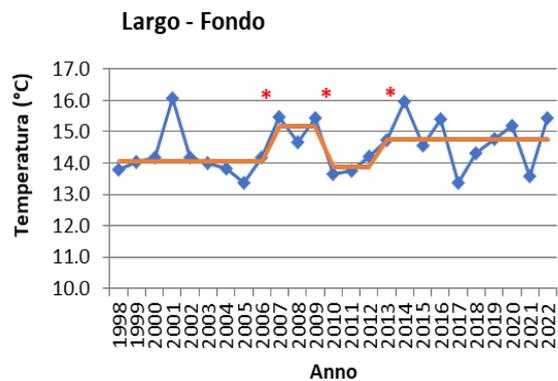
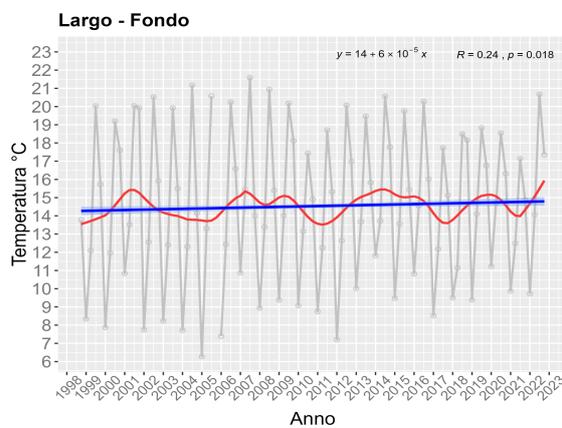
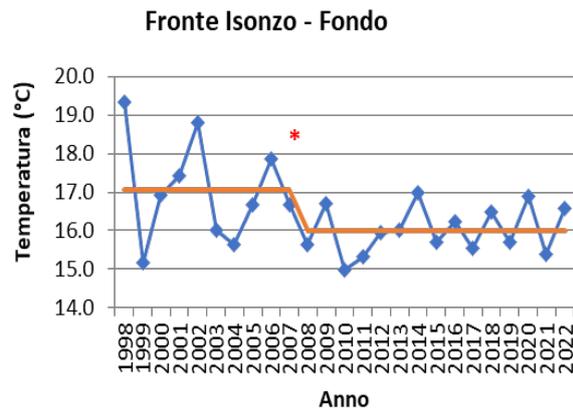
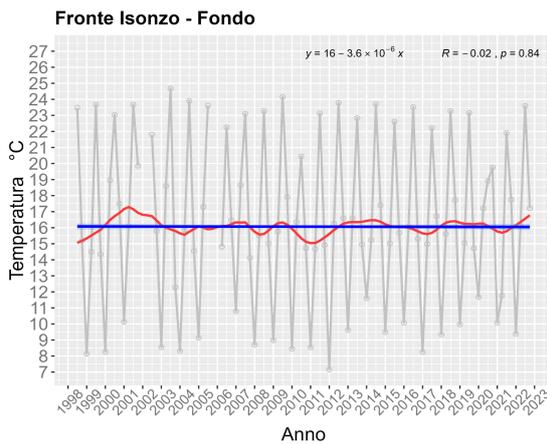
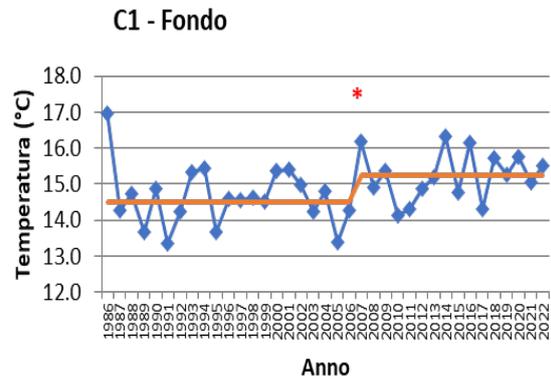
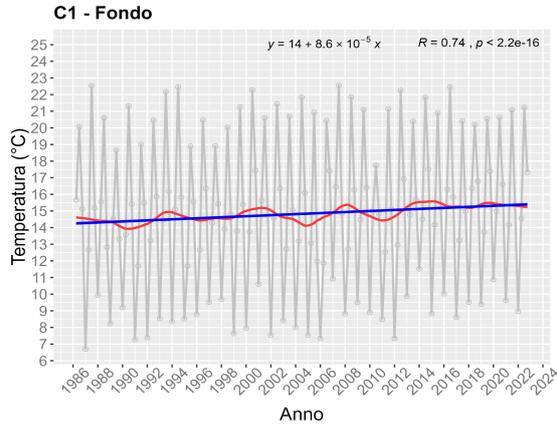


Figura 2.2.1.1. A sinistra, temperature medie stagionali delle tre stazioni considerate: in grigio i dati originali, in rosso il trend destagionalizzato e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Sul grafico è riportata l'equazione della retta di regressione, il coefficiente di correlazione di Spearman e il valore di significatività. A destra, la

temperatura media annua nello stesso periodo temporale. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.05$ (*)).

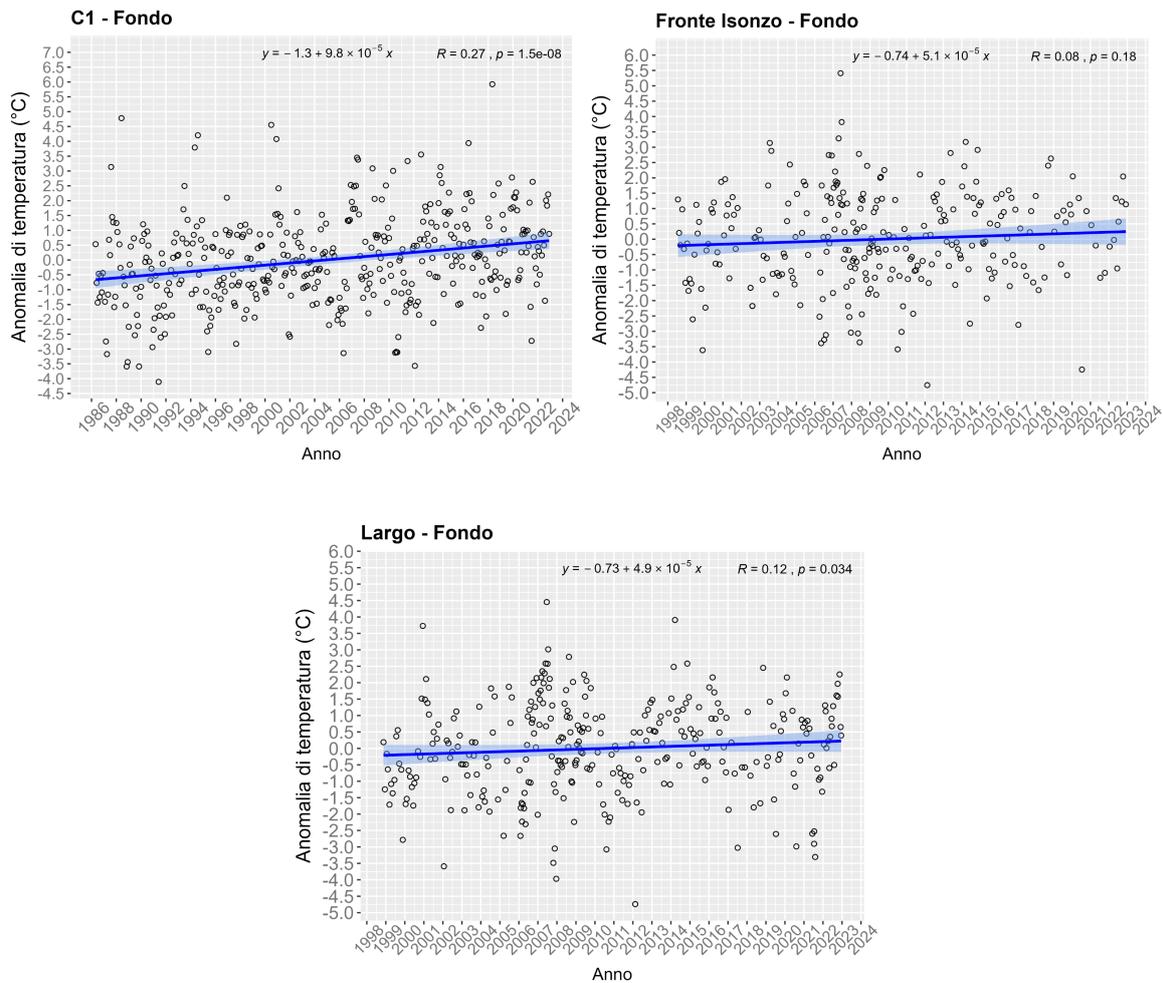


Figura 2.2.1.2. Anomalie di temperature per le tre stazioni considerate. In blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Sul grafico è riportata l'equazione della retta di regressione, il coefficiente di correlazione di Spearman e il valore di significatività.

Per la salinità si osserva un aumento della stessa in tutte le serie temporali analizzate, tranne per Fronte Isonzo e Largo, entrambe in superficie (Figura 2.2.1.3). In tutti gli altri casi i trend positivi sono consistenti tra di loro e statisticamente significativi, indicando un progressivo aumento della salinità nelle acque del golfo, da mettere in relazione con cambiamenti nel regime degli ingressi di acque dolci e delle acque entranti con la corrente adriatica orientale. L'analisi del regime shift mostra che un cambiamento verso salinità maggiori è avvenuto nel 2015-2017 (Figura 2.2.1.3). Nelle stazioni Fronte Isonzo e Largo in superficie si osserva invece una forte diminuzione della salinità nel periodo tra 1998-2022. Il fatto che il trend sia diverso per le acque in superficie da quelle sul fondo indica probabilmente una diversa distribuzione nel tempo degli apporti di acque

fluviali, con conseguente minore diluizione delle acque subsuperficiali o di quelle di fondo, ma solo occasionalmente interessate dalle acque dell'Isonzo (C1). Da notare che in C1 per le acque superficiali l'analisi del regime shift riesce ad individuare diversi cambiamenti, in particolare un periodo di bassa salinità tra il 2008 e il 2014, con minimi nel 2010 e nel 2014, che corrispondono a picchi di portata dell'Isonzo (Figura 2.2.1.3). Per le stazioni Fronte Isonzo e Largo in superficie, gli ultimi anni sembrano anche mostrare dei valori di salinità in risalita, per cui possiamo concludere che i trend in superficie sono comunque simili tra le stazioni analizzate, con un andamento in relazione alle portate dell'Isonzo, ed una generale risalita dei valori di salinità negli ultimi anni.

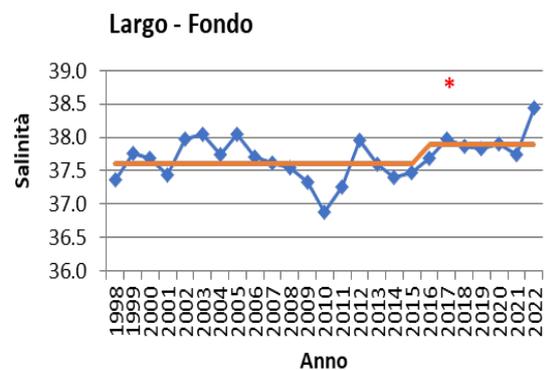
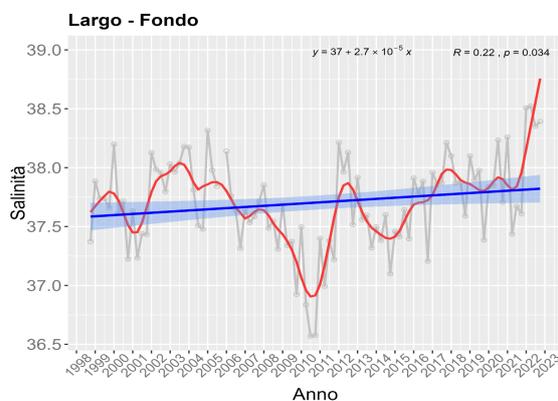
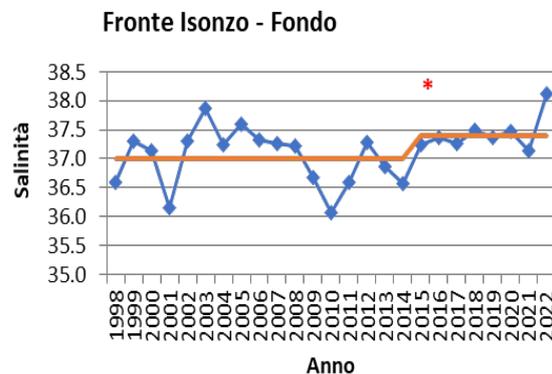
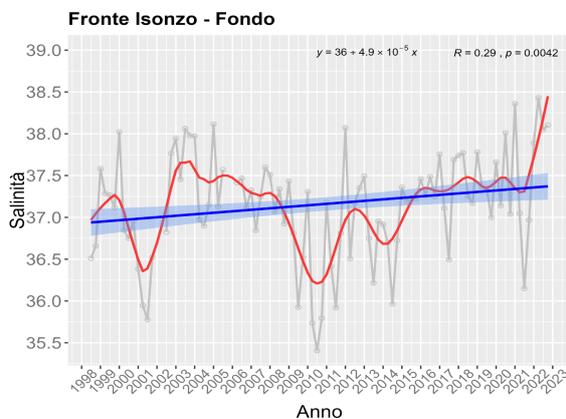
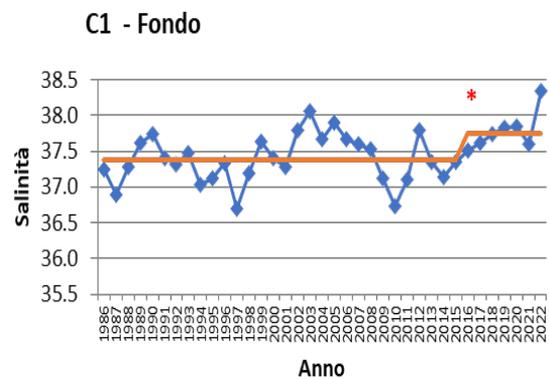
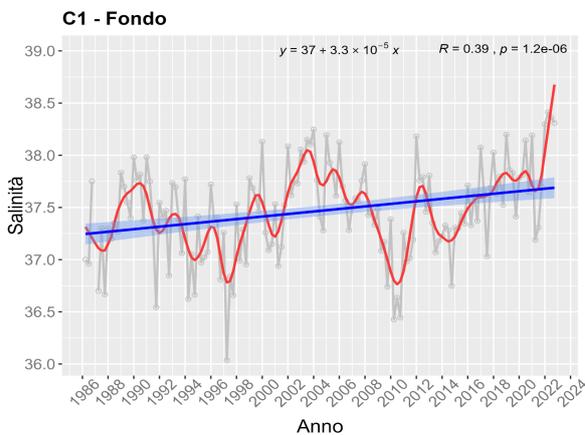
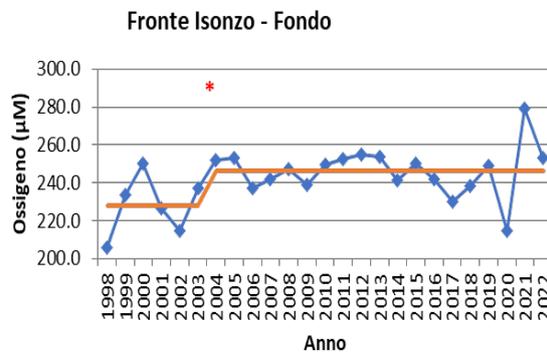
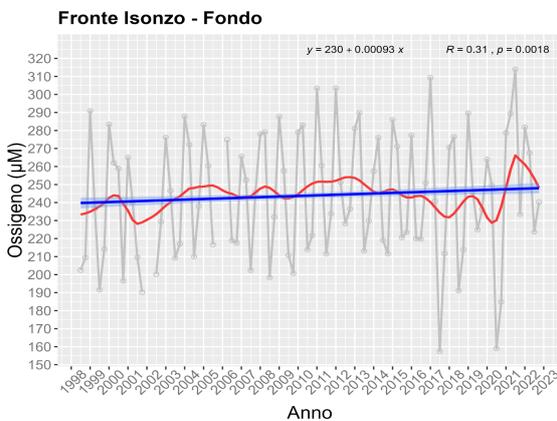
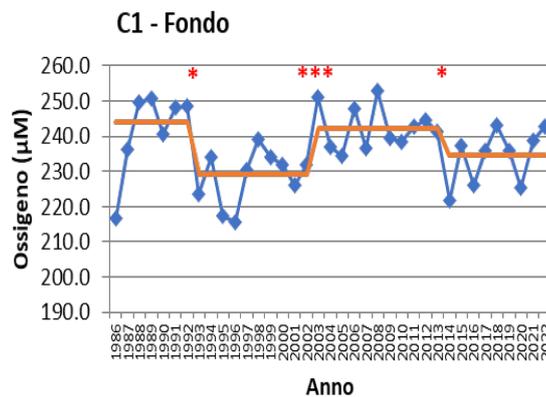
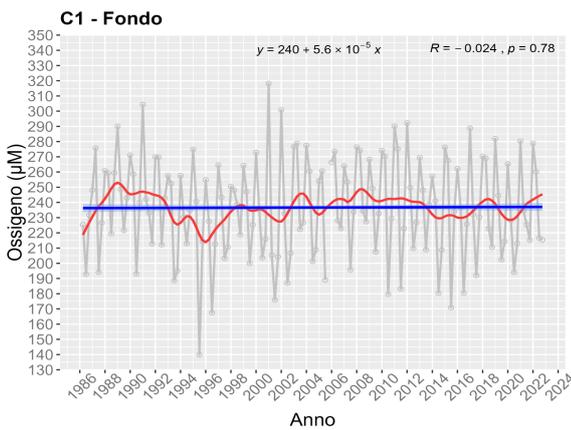


Figura 2.2.1.3. Analisi delle serie temporali della salinità nelle tre stazioni considerate. A sinistra, salinità media stagionale con i dati originali in grigio, in rosso il trend destagionalizzato e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. A destra, l'analisi del regime shift della salinità media annua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.05$ (*)).

Per l'ossigeno disciolto le analisi delle serie temporali e dei regime shift mostrano una maggiore somiglianza tra le stazioni Fronte Isonzo e Largo, ed un andamento diverso nella stazione C1 (Figura 2.2.1.4). Nelle prime due infatti il trend è positivo, con un aumento del contenuto di ossigeno disciolto sia in superficie che sul fondo, con crescita più veloce in superficie, ma trend comunque consistenti e significativi tra le due stazioni, tranne che nel Largo sul fondo. Su un periodo più lungo, l'analisi in C1 invece presenta una tendenza negativa in superficie, e assenza di trend sul fondo. Di nuovo, l'eterogeneità spaziale del golfo e dei forzanti principali che vi agiscono (apporti fluviali, idrodinamica) sembra determinare un gradiente spaziale netto. La differenza tra le diverse aree del golfo in relazione al contenuto di ossigeno disciolto si osserva anche nella diversa ricostruzione dei regime shifts (Figura 2.2.1.4).



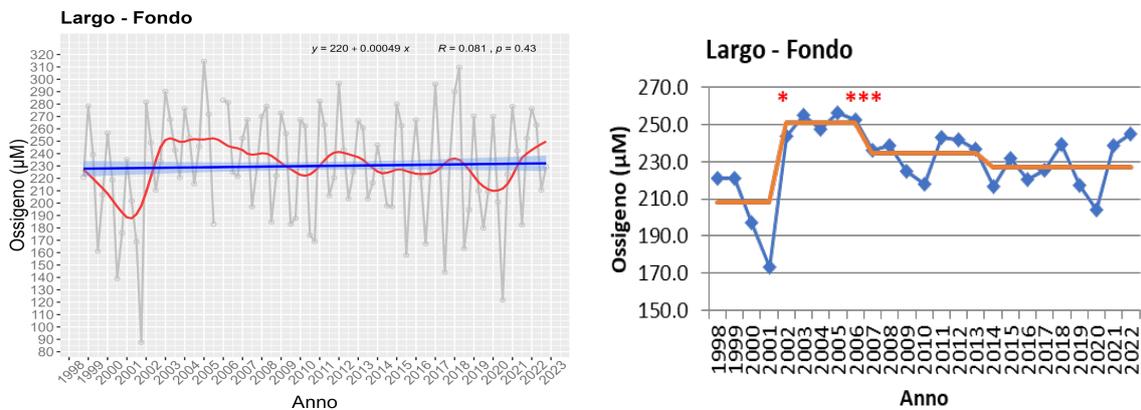
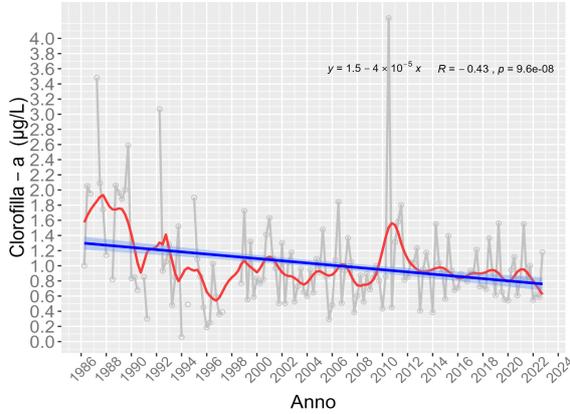


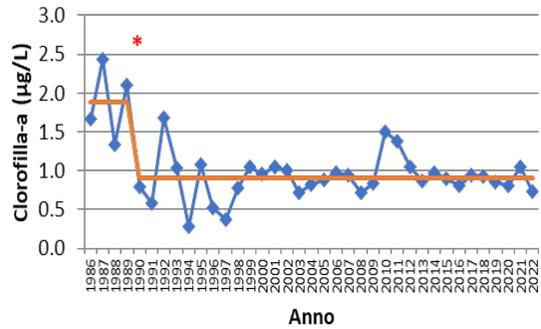
Figura 2.2.1.4. Analisi delle serie temporali per l'ossigeno disciolto nelle tre stazioni considerate. A sinistra, ossigeno medio stagionale con i dati originali in grigio, in rosso il trend destagionalizzato e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. A destra, l'analisi del regime shift dell'ossigeno medio annuo. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.001$ (***) ; $p \leq 0.05$ (*)).

Il segnale della clorofilla è un segnale molto complesso in quanto si sovrappongono in esso effetti della stagionalità, dei cicli vitali delle specie fitoplanctoniche, e la variabilità dei forzanti che ne governano la dinamica, in primo luogo degli apporti di nutrienti dai fiumi. Tuttavia, le analisi rivelano che in tutte le stazioni prese in considerazione e ad entrambe le profondità, la concentrazione di clorofilla è in diminuzione costante. Per la stazione Fronte Isonzo fondo e Largo superficie i risultati non sono significativi, nonostante il trend sia comunque negativo (Figura 2.2.1.5). Le serie temporali in queste due stazioni, oltre che essere più brevi rispetto alla serie della C1, sono anche interrotte nel 2010, peraltro anno di uno dei massimi picchi delle portate dell'Isonzo (Figura 2.2.1.5). Anche per questo la qualità della ricostruzione dei trend e dei regime shifts è meno affidabile. Nella stazione C1 invece si nota una progressiva diminuzione delle concentrazioni di clorofilla sul fondo con un regime shift situato nel 1990, ed un andamento del tutto analogo in superficie, ma caratterizzato da maggiore variabilità inter- ed intra-annuale, con come risultato l'identificazione di diversi periodi di cambiamento tra valori alti e bassi di clorofilla, da mettere in relazione con i cambiamenti nelle portate dei principali fiumi (Figura 2.2.1.5).

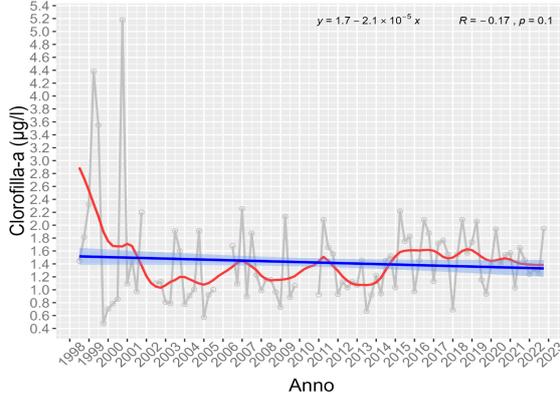
C1 - Fondo



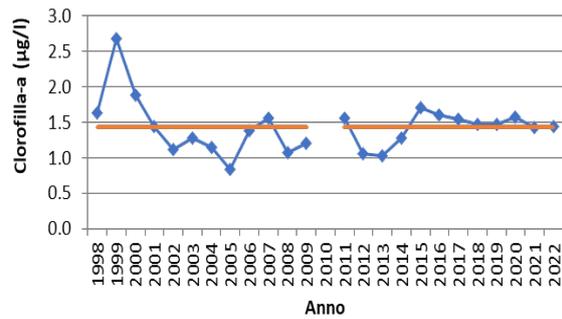
C1 - Fondo



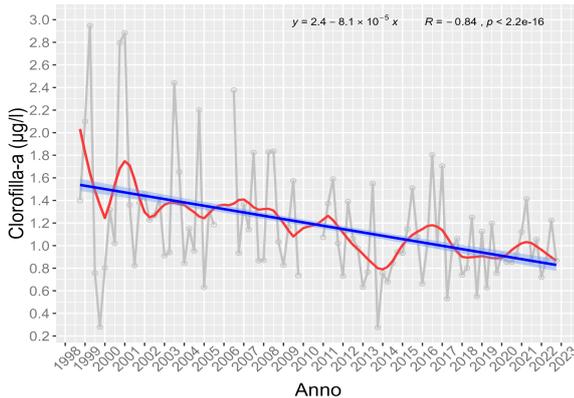
Fronte Isonzo - Fondo



Fronte Isonzo - Fondo



Largo - Fondo



Largo - Fondo

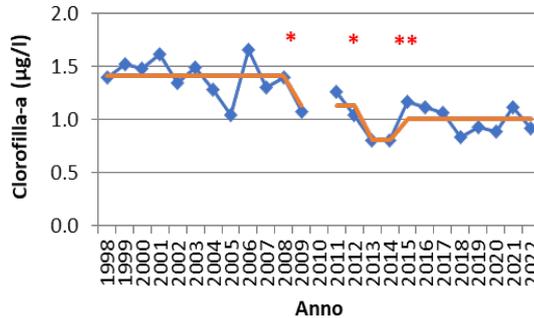
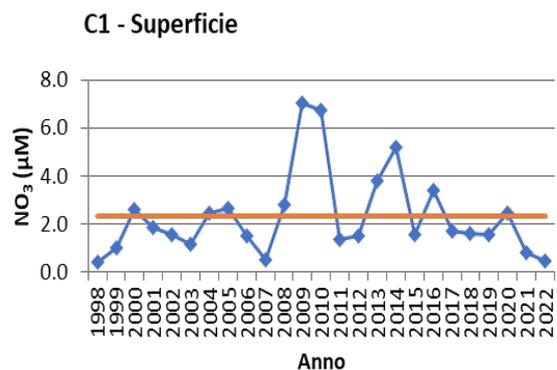
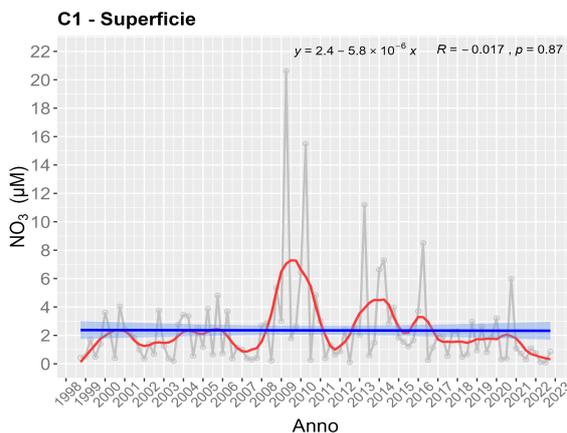


Figura 2.2.1.5. Analisi delle serie temporali per la clorofilla-a nelle tre stazioni considerate. A sinistra, clorofilla media stagionale con i dati originali in grigio, in rosso il trend destagionalizzato e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. A destra, l'analisi del regime shift della clorofilla media annua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.01$ (**); $p \leq 0.05$ (*)).

La ricostruzione delle serie temporali dei nutrienti invece è più problematica dei parametri fisici, intanto perché al di fuori della stazione C1 negli anni considerati non c'è una consistente mole di misure al fondo nelle altre stazioni, soprattutto negli ultimi due decenni. In particolare, i dati ARPA-FVG per il monitoraggio delle acque marine-costiere contengono solo analisi di nutrienti per la superficie. In secondo luogo, negli anni 2006-2009 non ci sono dati di nutrienti neanche in superficie per le stazioni Fronte Isonzo e Largo. Per tutte queste ragioni, i trend ricostruiti per queste due stazioni sono in verità costituiti da due trend per due periodi (rispettivamente 1998-2005 e 2009-2022, che però diventa 2011-2022 per il silicato e le misure derivate da esso) con un intervallo di tre anni in mezzo, e ci danno quindi un'informazione più frammentata delle dinamiche dei nutrienti nel golfo di Trieste nel periodo considerato. Per la stessa ragione, l'analisi dei regime shifts si è potuta effettuare solo per le serie temporali della C1.

La concentrazione di nitrato non mostra trend significativi, né in superficie, né al fondo. Si evidenzia comunque un aumento degli stessi negli anni 2008-2014, a seguito delle maggiori portate, per poi nuovamente ridursi negli ultimi anni, almeno nelle stazioni C1 e Largo. A causa della mancanza di dati nelle stazioni Largo e Fronte Isonzo, non è possibile affermare con certezza se esiste un trend negativo o positivo generale e se sia significativo (Figura 2.2.1.6). Complessivamente però, se si considera l'intero periodo analizzato, sembra che i livelli di nitrato nel golfo non siano sensibilmente cambiati, poiché all'aumento registrato alla fine degli anni 2000, si registra una riduzione più recente che tende a riportare i valori a del nitrato a livelli inferiori, quasi comparabili a quelli precedenti il 2008. Si nota inoltre una grande variabilità inter ed intra-annuale dovuta alla variabilità delle portate dei fiumi (Figura 2.2.1.6).



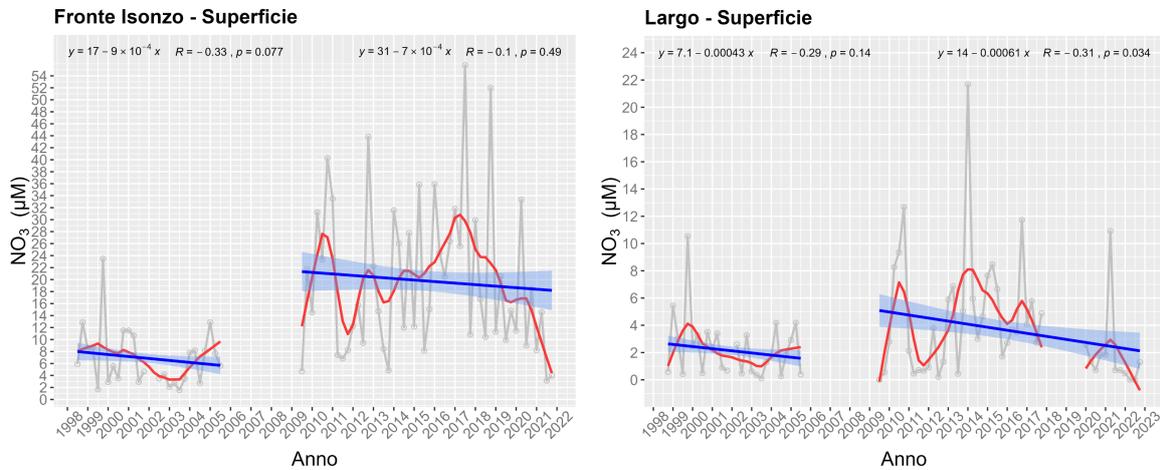
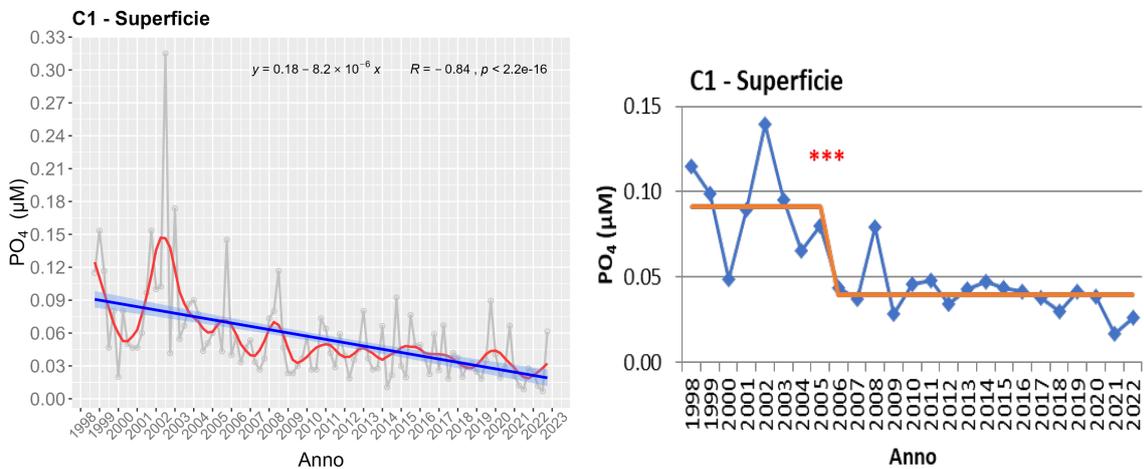


Figura 2.2.1.6. Analisi delle serie temporali del nitrato nelle tre stazioni considerate con i dati originali in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Solo per la C1 è stato possibile applicare l'analisi del regime shift poiché la serie è continua.

Diversa invece la dinamica del fosfato. Nella stazione C1 sia in superficie che sul fondo si osserva una marcata diminuzione delle concentrazioni di questo nutriente, con un regime shift individuato nel 2005, e solo sul fondo, un altro nel 2017 (Figura 2.2.1.7). Nelle due stazioni Fronte Isonzo e Largo in superficie si osserva invece una netta diminuzione nel primo periodo (1998-2005), ed una ripresa nel secondo periodo (2009-2022) che risulta però ben più netta nella stazione Fronte Isonzo che non nella stazione Largo (Figura 2.2.1.7). Inoltre, anche la variabilità delle concentrazioni di fosfato è molto più ridotta rispetto a quelle del nitrato, con tendenza alla diminuzione con il passare degli anni, tranne per il periodo più recente nella stazione Fronte Isonzo. Tutto ciò indica una progressiva diminuzione del fosfato disponibile nelle acque del golfo negli anni recenti, con una dinamica che almeno in parte dipende dalla dinamica degli apporti dell'Isonzo il cui effetto però già nella stazione Largo è molto debole ed è inesistente nella stazione C1.



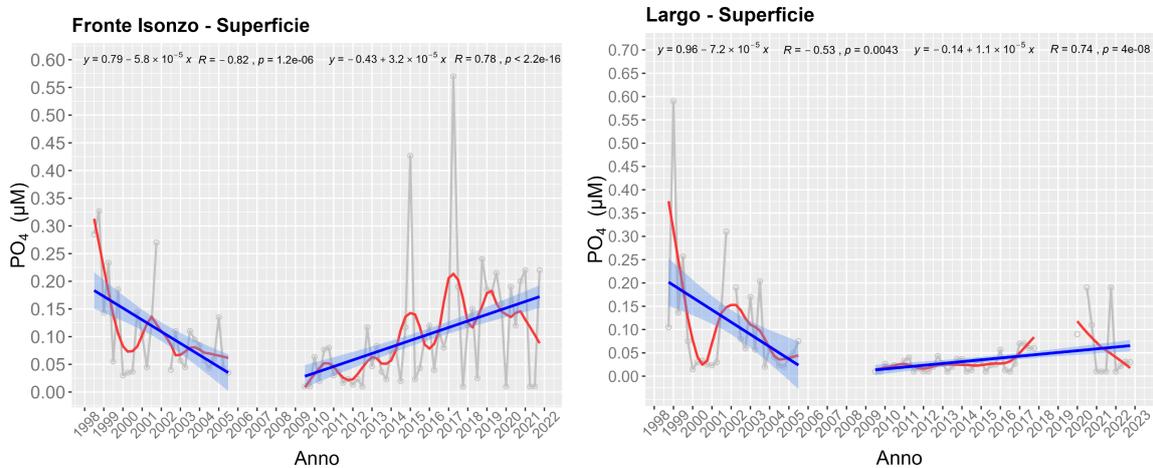


Figura 2.2.1.7. Analisi delle serie temporali per il fosfato nelle tre stazioni considerate con i dati originali in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Solo per la C1 è stato possibile applicare l'analisi del regime shift poiché la serie è continua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.001$ (***)).

L'andamento del rapporto nitrato/fosfato ovviamente dipende dall'andamento rispettivamente dei due termini del rapporto. Per la stazione C1 si osserva una crescita costante del rapporto, dovuta soprattutto al trend in diminuzione del fosfato. In superficie, da valori caratteristici intorno a 50 alla fine degli anni '90 si arriva a valori prossimi a 100, con un picco annuale che sfiora i 300 e un picco stagionale prossimo a 900 nel 2009 (Figura 2.2.1.8). Sul fondo invece i rapporti sono più bassi, e da valori inferiori a 10 alla fine degli anni '90 si arriva a valori superiori a 20 all'inizio degli anni '20. In particolare, sia in superficie che sul fondo nella stazione C1 l'analisi dei regime shifts rivela un primo cambiamento nel 2000 ed un secondo nel 2009 (Figura 2.2.1.8). I due periodi delle stazioni Fronte Isonzo e Largo in superficie mostrano degli andamenti che a causa della frammentarietà dei dati sono di più difficile interpretazione. Tuttavia, in entrambi i casi da valori relativamente bassi del periodo 1998-2005 si contrappongono valori molto più alti e variabili nel periodo 2009-2022. In entrambe le stazioni per questo secondo periodo si osserva un significativo trend negativo, dovuto all'incremento negli ultimi anni delle concentrazioni di fosfato osservate sopra. Da notare che le concentrazioni caratteristiche della fine degli anni '90 e quelle dei primi anni '20 della stazione Largo, nonostante una diversa ricostruzione dei trend, corrispondono grossomodo a quelle osservate in superficie nella stazione C1. Nella stazione Fronte Isonzo invece nel periodo 2009-2020 si osservano picchi stagionali altissimi (picco massimo intorno ai 2200), legati alle portate maggiori intorno al 2010 e 2014, ed un livello caratteristico dei primi anni '20 che comunque si situa intorno ai 200 (Figura 2.2.1.8).

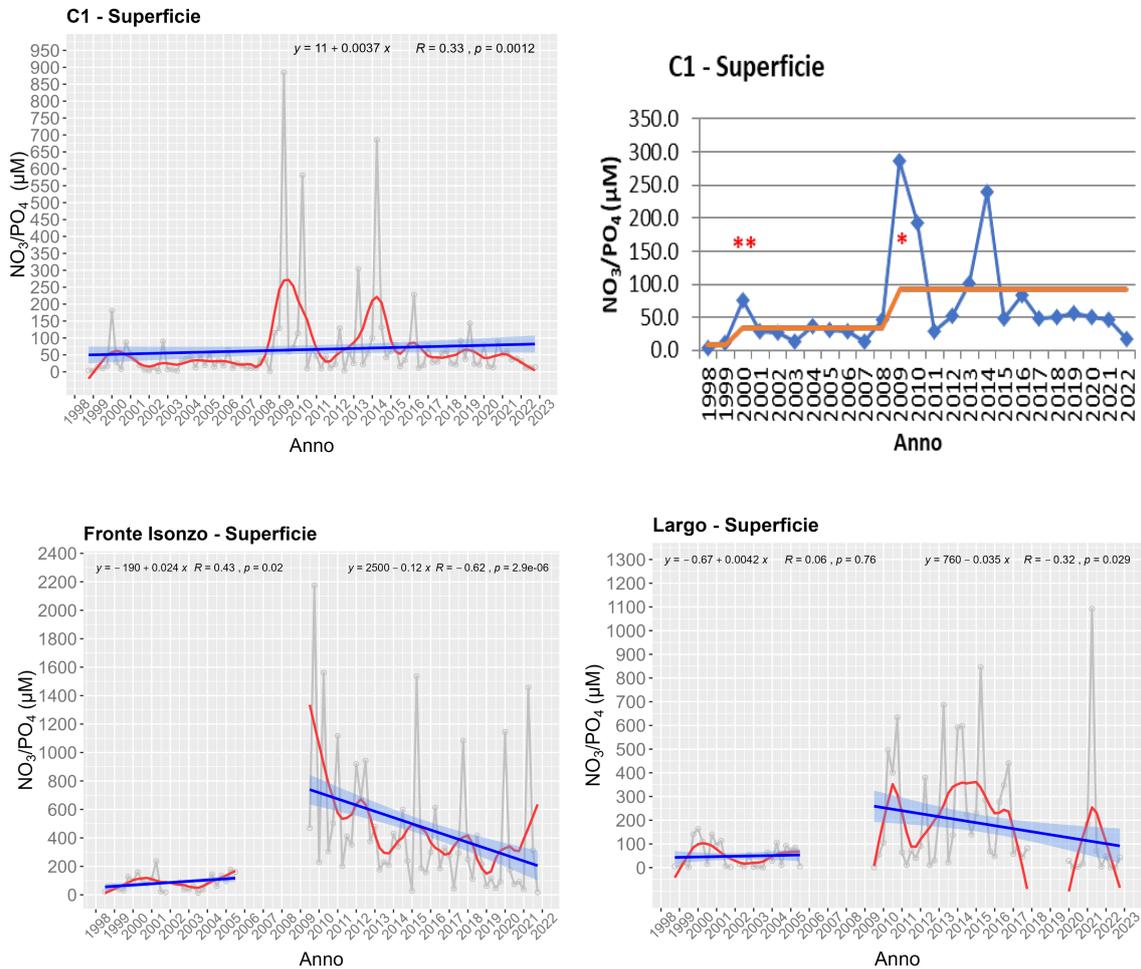


Figura 2.2.1.8. Analisi delle serie temporali per il rapporto nitrato/fosfato nelle tre stazioni considerate con i dati originali in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Solo per la C1 è stato possibile applicare l'analisi del regime shift poiché la serie è continua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.01$ (**); $p \leq 0.05$ (*)).

La concentrazione di silicati nella stazione C1 è in aumento sia in superficie, sia al fondo, con trend significativi e consistenti tra loro. Con l'analisi dei regime shifts è stato individuato un cambiamento significativo nel 2007 in superficie e nel 2009 sul fondo (Figura 2.2.1.9). Nelle altre due stazioni il lungo intervallo di assenza di misure tra il 2005 e il 2011, ed un ulteriore mancanza tra il 2018 e il 2020 per la stazione Largo e l'assenza di misure nella stazione Fronte Isonzo dopo il 2017, precludono la possibilità di inferire un andamento di questo parametro negli ultimi 20 anni. Si può vedere comunque che le concentrazioni di silicato nel periodo 2009-2022, al netto dei dati mancanti, mostrano maggiore variabilità e valori caratteristici più alti rispetto al periodo 1998-2005 (Figura 2.2.1.9), quasi sicuramente a causa della fosforo limitazione del golfo che riduce la produzione primaria e l'utilizzo da parte delle diatomee del silicato.

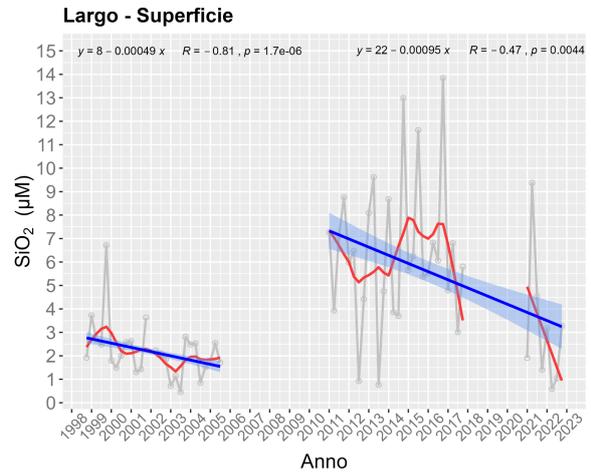
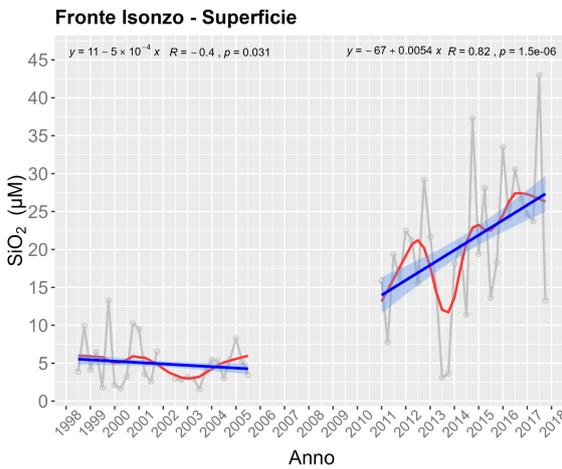
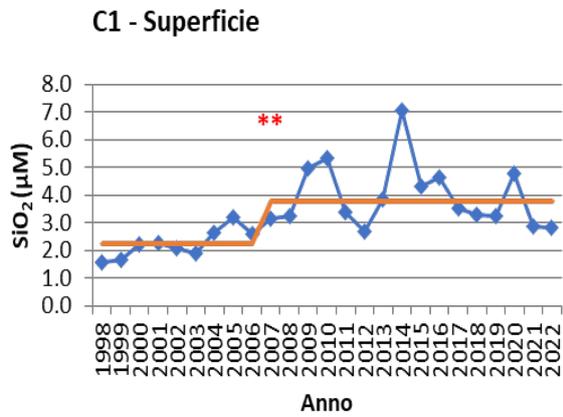
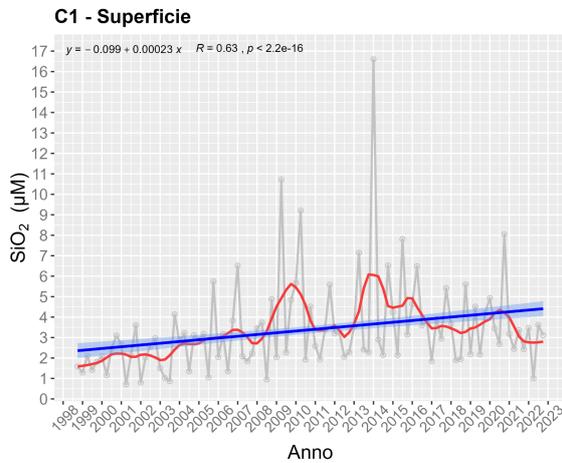


Figura 2.2.1.9. Analisi delle serie temporali per il silicato nelle tre stazioni considerate con i dati originali in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Solo per la C1 è stato possibile applicare l'analisi del regime shift poiché la serie è continua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p < 0.01$ (**)).

Analoghe sono le conclusioni che possiamo fare per il rapporto nitrato/silicato: nella stazione C1 si osserva una diminuzione dello stesso, dovuta al trend di aumento del silicato. Sul fondo si osservano due regime shift, nel 2005 e nel 2013 rispettivamente, mentre in superficie si osserva solo uno nel 2015. Per le stazioni Fronte Isonzo e Largo si può solo concludere che i livelli del rapporto nel periodo 1998-2005 sono più alti che nel periodo 2011-2017 e 2011-2022 rispettivamente (Figura 2.2.1.10).

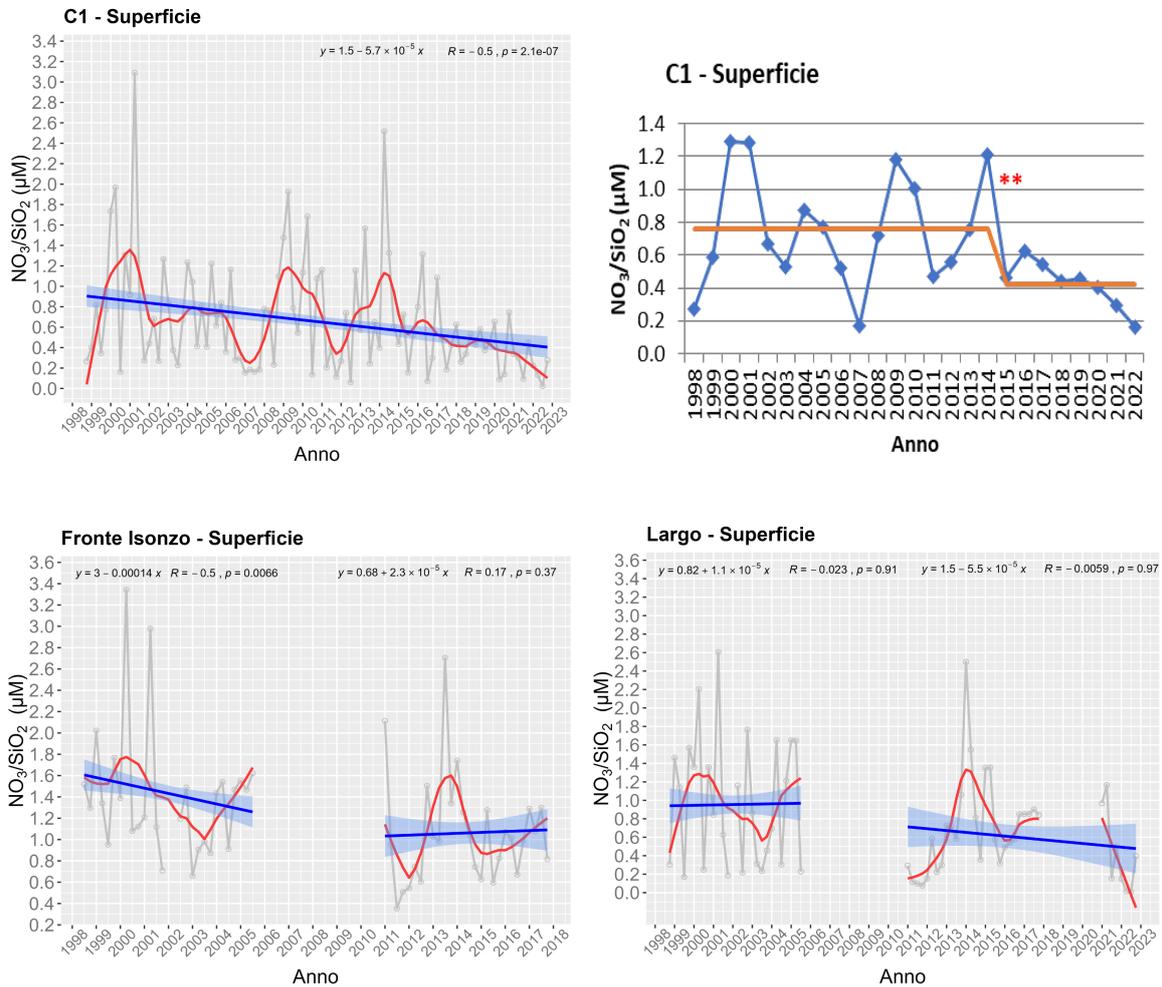


Figura 2.2.1.10. Analisi delle serie temporali per il rapporto nitrato/silicato nelle tre stazioni considerate con i dati originali in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Solo per la C1 è stato possibile applicare l'analisi del regime shift poiché la serie è continua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.01$ (**)).

Le misure di POC e PN sono invece disponibili solo nella stazione C1. I campionamenti per l'azoto totale nel particellato sono iniziati nel 2011, precedentemente le misure di azoto venivano fatte sul campione, trattato con acido per rimuovere i carbonati, destinato alla determinazione del carbonio organico particellato (POC). Tale trattamento introduce un errore nella determinazione dell'azoto che non rende facilmente confrontabili le misure di azoto particellato eseguite con i due metodi. Tuttavia, in generale il POC e il PN sono altamente correlati, ed infatti la correlazione tra i due parametri nel periodo 2011-2022 risulta alta e molto significativa ($r=0.88, p<0.001$). Il trend del POC tra il 1998 e il 2022 è negativo, significativo e consistente tra superficie e fondo. Il cambiamento nel regime è individuato in entrambi i casi nel 2007 (Figura 2.2.1.11). Il trend del PN nel periodo 2011-2022 sia in superficie che al fondo è negativo e significativo, corroborando l'ipotesi che quindi segua la stessa dinamica del POC (Figura 2.2.1.11).

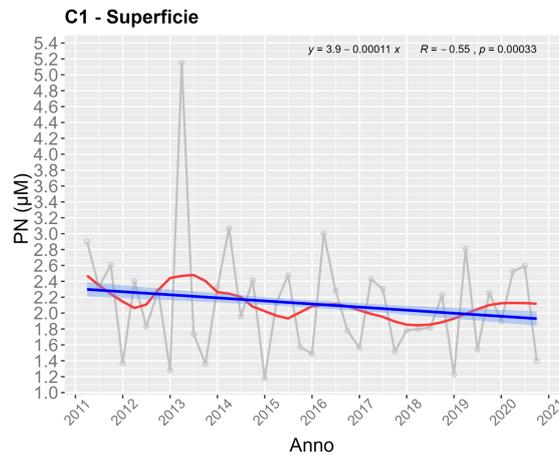
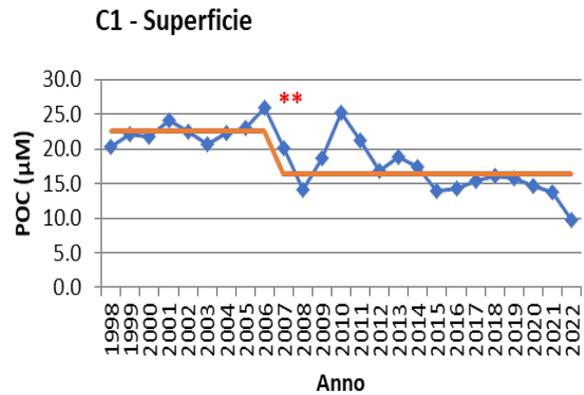
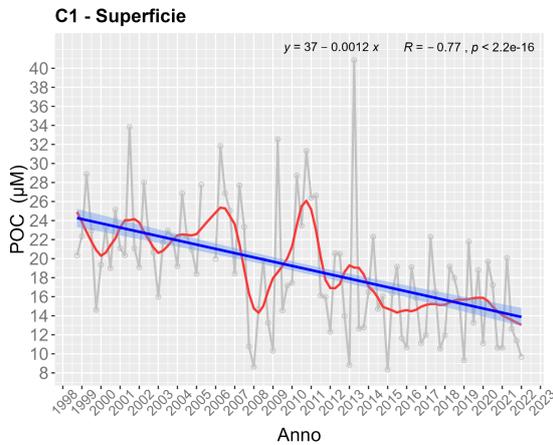


Figura 2.2.1.11. Analisi delle serie temporali per il POC e PN in C1. Dati originali in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Solo per il POC è stato possibile applicare l'analisi del regime shift poiché la serie è più lunga di 10 anni. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.01$ (**)).

2.2.2 Evoluzione spazio-temporale dei parametri chimico-fisici

Prendendo in considerazione anche la componente spaziale, l'analisi dell'evoluzione dei parametri chimico-fisici del golfo, ha permesso di riconoscere alcuni pattern e, sostanzialmente, di confermare e rafforzare quanto visto nel paragrafo precedente, aggiungendo un'ulteriore dimensione al trend dei dati discusso.

L'analisi dei quattro periodi identificati ha messo ancora più in risalto la frammentarietà dei dati in nostro possesso e la disomogeneità di campionamento nello spazio e nel tempo, ma soprattutto la naturale eterogeneità spaziale del golfo di Trieste. Purtroppo, si dispone di pochissime stazioni campionate sufficientemente negli anni 1990-1993, tutte tra Muggia e il fiume Isonzo. Nel periodo successivo, il numero di stazioni selezionate aumenta, ma ad eccezione di tre stazioni nei pressi della laguna di Grado-Marano, le altre sono dislocate nella metà est del golfo, per cui non è stato possibile interpolare i dati su tutta l'area. Il



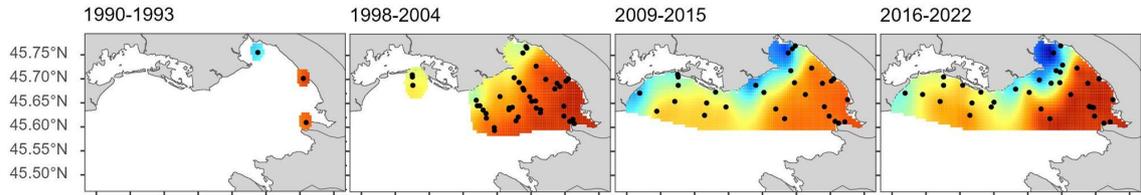
REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

risultato migliora nei periodi successivi in quanto sono disponibili i dati dell'ARPA FVG con numerose stazioni che vengono campionate periodicamente e dislocate quasi omogeneamente lungo tutto il tratto costiero della Regione FVG, ma che presentano il limite di avere misure di nutrienti solo nello strato superficiale.

I parametri fisici come salinità e temperatura mostrano un chiaro segnale soprattutto in superficie. Per la salinità è evidente un periodo di acque molto salate tra il 1998-2004, corrispondente ad un periodo di secca dei fiumi e minore piovosità, seguito da una riduzione della salinità (è evidente l'effetto degli apporti di acqua dolce), e poi da un nuovo rialzo nell'ultimo periodo soprattutto nella zona sud est del golfo. Anche sul fondo si nota un aumento della salinità ma meno marcato (Figura 2.2.2.1). Stesso andamento per la temperatura, sia in superficie che sul fondo in tutto il golfo ma con un trend opposto: in superficie l'effetto è più marcato a sud del golfo che risente meno degli apporti fluviali, mentre sul fondo la temperatura è maggiore a nord a causa della bassa profondità del fondale (Figura 2.2.2.2). Per l'ossigeno disciolto, l'analisi dei trend temporali aveva rilevato una grande eterogeneità delle stazioni, ma in ogni caso un aumento dei suoi valori in particolare in superficie. Anche dall'analisi spaziale nei diversi periodi è possibile rilevare tale andamento graduale dal 1998 al 2022 soprattutto nei pressi delle aree di immissione delle acque dolci. Sulla quota fondo l'incremento dell'ossigeno è meno evidente ma comunque presente e segue lo stesso pattern osservato in superficie (Figura 2.2.2.3). In modo simile all'ossigeno, i valori della clorofilla presentano una grande variabilità nello spazio. E' subito evidente come i valori siano più bassi in superficie che sul fondo e maggiori nel 1998-2004 rispetto al periodo successivo (Figura 2.2.2.4). Nell'ultimo periodo, la clorofilla aumenta di nuovo ad entrambe le profondità, come si può vedere anche dai trend delle tre stazioni, forse legato ad un aumento dei fosfati, ma non in tutte le aree e maggiormente sotto costa. Nel periodo 2016-2022 comunque i valori di clorofilla risultano più bassi di quelli del primo periodo confermando una generale riduzione della stessa.

Salinità

Superficie



Fondo

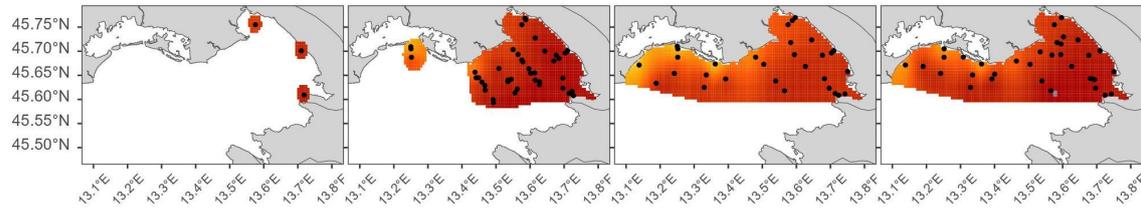
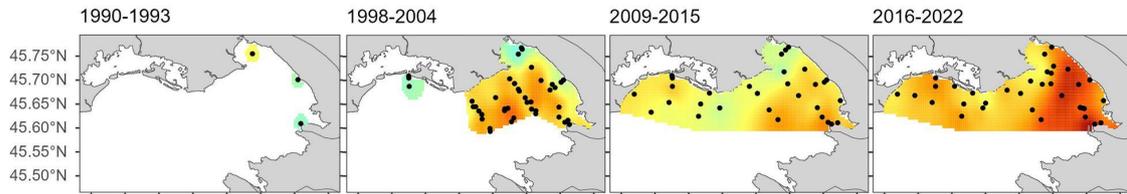
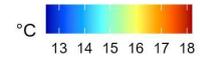


Figura 2.2.2.1. Andamento della salinità nel golfo di Trieste nei quattro periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi. I valori di superficie e fondo condividono la stessa scala.

Temperatura

Superficie



Fondo

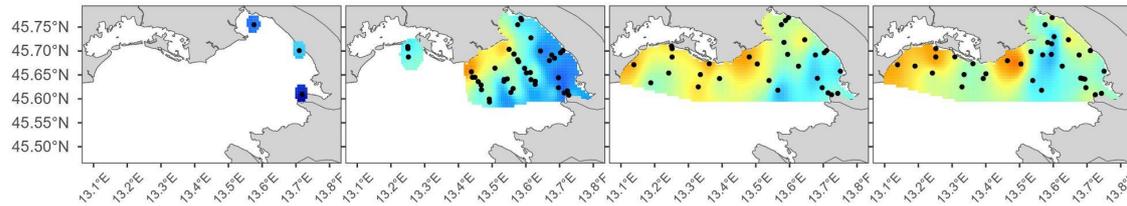
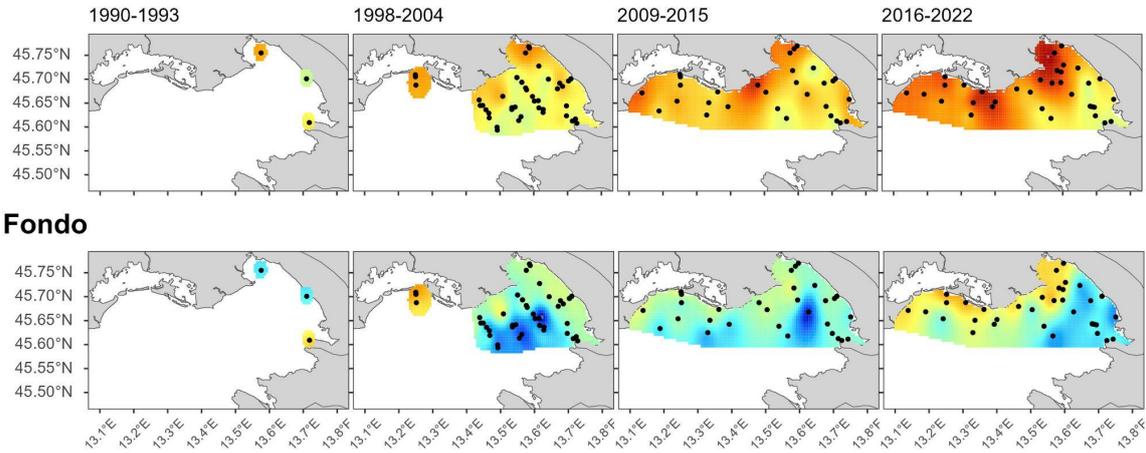
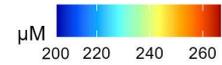


Figura 2.2.2.2. Andamento della temperatura nel golfo di Trieste nei quattro periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi. I valori di superficie e fondo condividono la stessa scala.

Ossigeno disciolto

Superficie

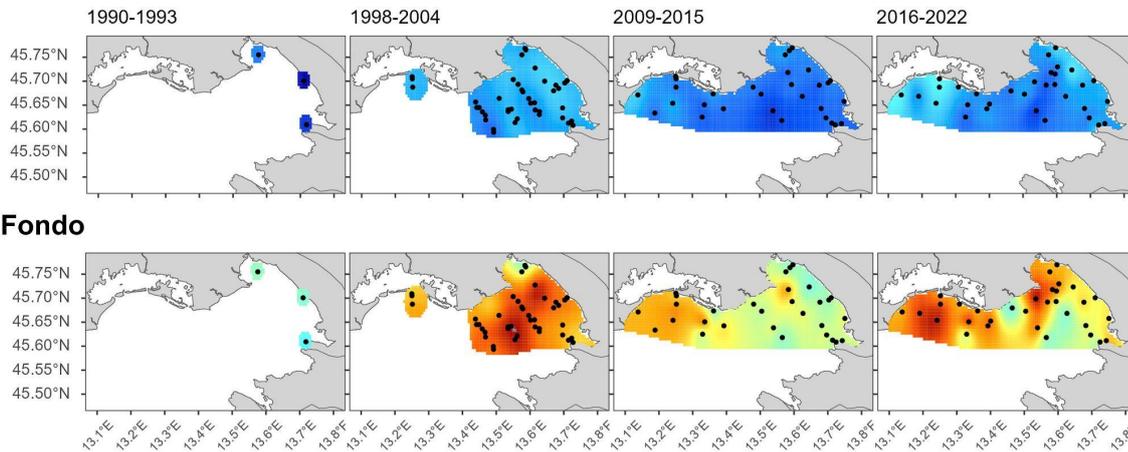


Fondo

Figura 2.2.2.3. Andamento dell'ossigeno disciolto nel golfo di Trieste nei quattro periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi. I valori di superficie e fondo condividono la stessa scala.

Clorofilla-a

Superficie



Fondo

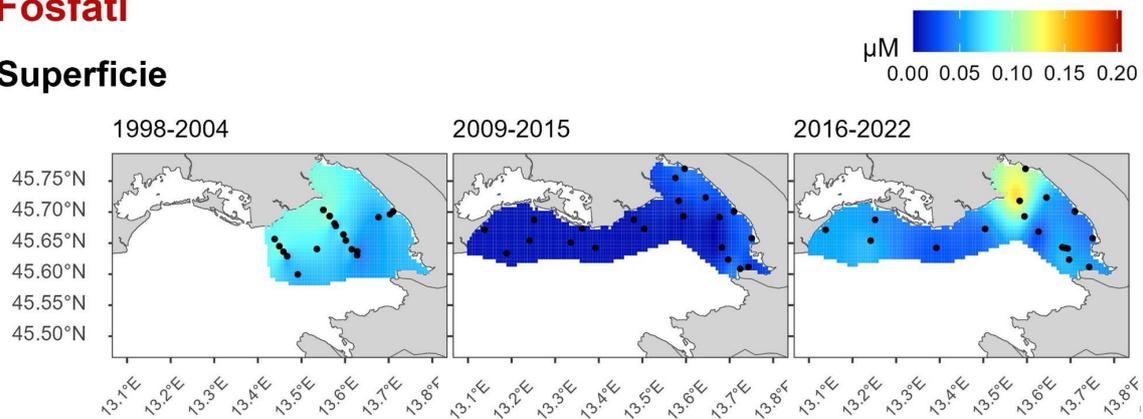
Figura 2.2.2.4. Andamento della clorofilla-a nel golfo di Trieste nei quattro periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi. I valori di superficie e fondo condividono la stessa scala.

Per i nutrienti è evidente come ci sia una generale riduzione, soprattutto di fosfato. Dal periodo 1998-2004 al 2009-2015 la concentrazione di fosfato viene più che dimezzata, probabilmente a seguito della riduzione delle portate e poiché ne viene rilasciato sempre meno dalle attività umane. Si nota comunque un lieve incremento nell'ultimo periodo soprattutto nei pressi della foce dell'Isonzo con valori che raggiungono $0.14 \mu\text{M}$. Tale effetto è stato anche osservato nelle serie temporali analizzate nel WP 2.2.1 e soprattutto in Fronte Isonzo

(Figura 2.2.2.5). Per il nitrato, dopo il primo periodo di basse concentrazioni ($< 0.10 \mu\text{M}$), nel secondo periodo e poi nel terzo si nota una tendenza al rialzo che è molto più marcata lungo la laguna e le foci dei fiumi, quindi sicuramente legato all'aumento delle portate fluviali avuto a fine degli anni 2000 e nel 2014-2015. Come detto nel paragrafo precedente, oltre alla grande variabilità inter ed intra-annuale, si vede in questo caso anche una variabilità spaziale marcata (Figura 2.2.2.5). Il rapporto nitrato/fosfato segue l'andamento dei due parametri, per cui nel primo periodo ha un valore massimo pari a 100 nella metà del golfo che è stata possibile analizzare, aumenta nel secondo periodo specialmente in prossimità della foce del Tagliamento e della laguna di Grado-Marano fino ad un massimo di oltre 1100, per poi ridursi nuovamente nel terzo periodo a seguito dell'incremento del fosfato. L'azoto e il fosforo totale ricalcano i trend spaziali e temporali del nitrato e del fosfato. Il primo parametro presenta valori minori nel 1998-2004 (tra 20 e 30 μM) ed aumenta negli altri due periodi in corrispondenza delle foci dei fiumi. Il fosforo totale, forse più del fosfato, permette di evidenziare la condizione di fosforo limitazione estesa a tutto il golfo e che è andata ad aumentare con il tempo. Infine il silicato mostra un aumento come osservato anche nei trend temporali costruiti per le tre stazioni esaminate. L'aumento è rilevante già a partire dal secondo periodo analizzato e come per gli altri nutrienti, è più accentuato nei pressi delle acque dolci.

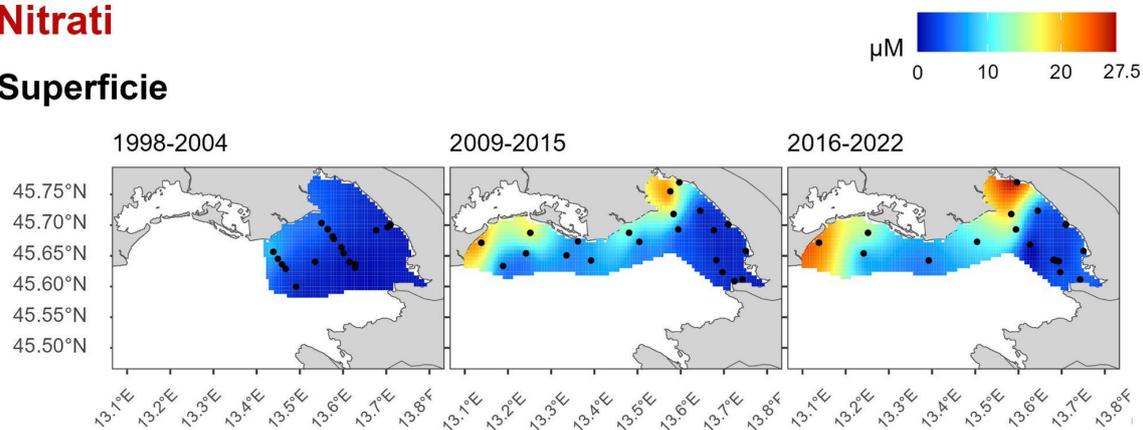
Fosfati

Superficie



Nitrati

Superficie



Nitrati/Fosfati

Superficie

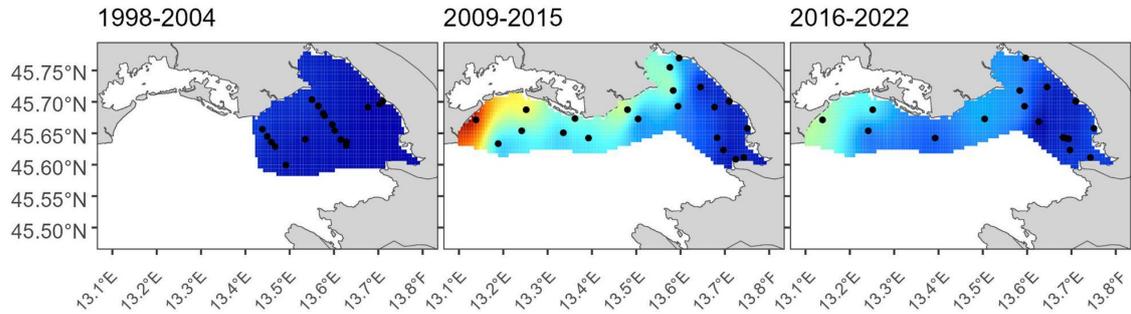
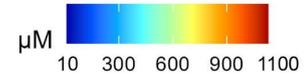
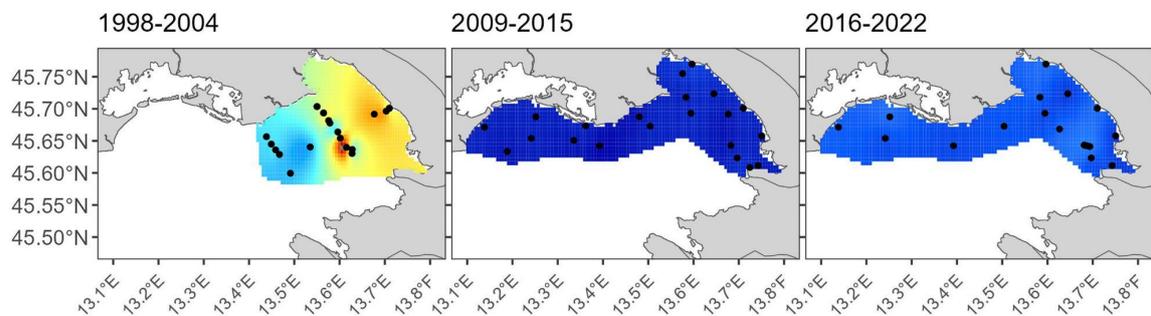
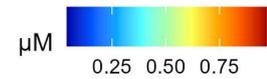


Figura 2.2.2.5. Andamento del nitrato e fosfato e del loro rapporto nel golfo di Trieste in tre dei periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi.

Fosforo totale

Superficie



Azoto totale

Superficie

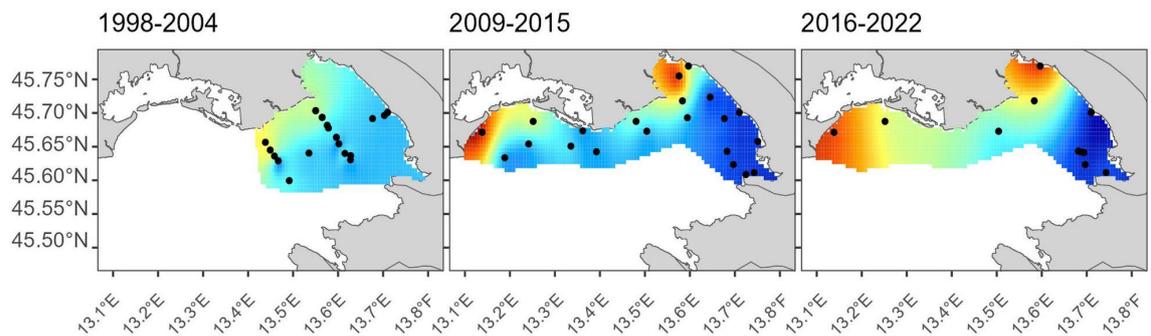
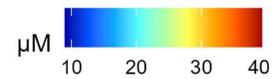


Figura 2.2.2.6. Andamento dell'azoto e fosforo totale nel golfo di Trieste in tre dei periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi.

Silicato

Superficie

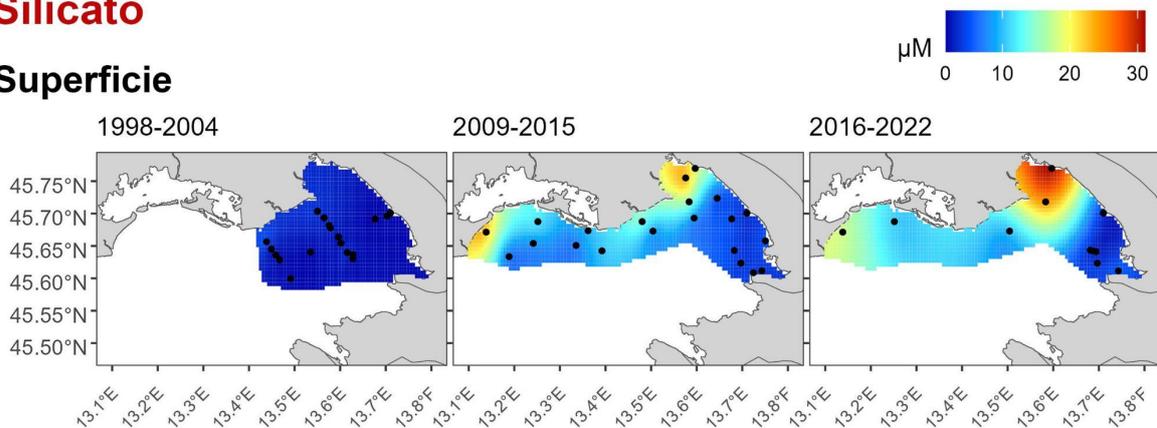


Figura 2.2.2.7. Andamento del silicato nel golfo di Trieste in tre dei periodi identificati dai dati. In nero i punti di campionamento utilizzati per l'interpolazione nei periodi.

CONCLUSIONI

Alcune conclusioni generali possono essere tratte dall'analisi delle serie temporali nelle tre stazioni esaminate e dall'analisi spazio-temporale. Innanzitutto, e nonostante la grande mole di dati storici raccolta per il presente progetto, tali dati risultano fortemente frammentari nel tempo e nello spazio, con diverse aree del golfo solo occasionalmente campionate, e con interruzioni più o meno lunghe nella rilevazione di diversi parametri. Anche l'assenza per la maggior parte del periodo interessato di analisi di nutrienti al fondo preclude la possibilità di inferire la dinamica degli stessi negli strati in cui avvengono gli scambi con il fondale e dove vivono le specie bentoniche. L'unica stazione che mostra uno sforzo di campionamento abbastanza costante nel tempo e omogeneo tra profondità e tra parametri è la C1.

Dai confronti delle serie temporali delle tre stazioni esaminate si nota che il golfo è affetto da grande eterogeneità spaziale. Questo preclude la possibilità di trattare il golfo come un'unica e indivisa entità con le stesse caratteristiche, la stessa evoluzione temporale e le stesse dinamiche. In particolare, si nota una differenza accentuata tra la stazione prossima alla bocca dell'Isonzo che risente ovviamente molto della dinamica delle portate e delle caratteristiche delle acque fluviali, e le altre aree del golfo. Per alcuni parametri l'effetto del fiume si fa sentire anche nella stazione Largo (p.es. salinità, e ossigeno disciolto), mentre la dinamica della stazione C1 in generale non sembra essere soggetta ad effetti diretti del fiume. La corretta ricostruzione delle dinamiche temporali dei parametri esaminati quindi non può prescindere dalla posizione

della stazione o dell'area a cui si riferisce, e può risultare in conclusioni apparentemente contrastanti. Tali dinamiche si osservano anche nella ricostruzione spaziale dell'eterogeneità del golfo in diversi periodi di dati omogenei.

La scelta delle tre stazioni da considerare risulta comunque adeguata per ricostruire le dinamiche rispettivamente in un'area a diretta e costante influenza dell'Isonzo, in un'area al largo, caratterizzata da profondità maggiori, ma occasionalmente interessata dalle acque del fiume, e in un'area sottocosta, meno influenzata da apporti di acque dolci.

Nel periodo esaminato si conferma il noto generale aumento della temperatura dell'acqua, in linea con le previsioni di riscaldamento dovute ai cambiamenti climatici globali nella letteratura scientifica (Shaltout & Omstedt, 2014; Pastor et al., 2018; Raicich & Colucci, 2019). Inoltre, sembra che cambiamenti nel regime delle portate del principale fiume dell'area (vedi WP 2.1), l'Isonzo, possano aver contribuito ai cambiamenti in salinità nel corso degli anni e soprattutto ad una progressiva salinizzazione delle acque del golfo, dopo un periodo di secca a metà degli anni 2000 ed una momentanea riduzione della salinità alla fine dello stesso decennio. A queste variazioni si sommano le variazioni di salinità nelle acque entranti nel Nord Adriatico e nel golfo indotte dalla variazione bimodale della circolazione nel mare Ionio settentrionale (BIOS, Civitarese et al., 2010; Cardin et al., 2015; Vilibić et al., 2020, Mihanović et al., 2021). Si osserva anche una tendenza all'aumento dell'ossigeno disciolto, contemporanea alla diminuzione della clorofilla. Quest'ultimo segnale è già stato oggetto di pubblicazioni scientifiche (Mozetič et al., 2009; Giani et al., 2012; Cozzi et al., 2020). Infatti, una diminuzione della clorofilla indica un minore stato trofico del sistema, con conseguente minore sostanza organica che possa andare ad alimentare le catene trofiche marine.

Causa la frammentarietà dei dati risulta più difficile l'interpretazione dei risultati riguardanti i nutrienti, inorganici ed organici. In particolare, non si notano trend significativi per il nitrato, probabilmente dovuti alla variabilità inter- ed intra-annuale delle portate dei fiumi da cui deriva il nitrato in superficie. Tuttavia, si nota un aumento di questo nutriente almeno a metà dell'ultimo decennio a causa dell'aumento delle portate seguito da una più recente riduzione. Sembra invece forte il segnale della progressiva diminuzione del fosfato, causa principale della oligotrofizzazione osservata (Mozetič et al., 2009; Giani et al., 2012; Cozzi et al., 2020) e possibile causa dei cambiamenti nelle comunità biotiche osservate negli ultimi decenni nel golfo di Trieste (Falace et al., 2010). Neanche aumenti nelle concentrazioni di silicati, come quelli osservati anche nel presente studio, sembrano essere in grado di invertire il trend di oligotrofizzazione osservato. Infine, risulta netto nella stazione C1 un trend negativo per le concentrazioni di sostanza organica particellata (POC, PN). Anche questo fattore può essere messo in relazione con variazioni delle popolazioni planctoniche, bentoniche ed ittiche osservate negli ultimi decenni nel golfo di Trieste.

Dalle analisi fatte nel presente progetto, il golfo di Trieste sembra risentire fortemente di cambiamenti impattanti che agiscono su scala globale (cambiamenti climatici), regionale (cambiamento dei regimi di piovosità e portata dei fiumi), e locale (graduale applicazione in tutte le aree del golfo delle norme relative all'inquinamento da fosfati), e stanno spostando l'equilibrio dell'intero ecosistema verso un nuovo stato. Le caratteristiche del nuovo equilibrio, in particolare nella sua componente biotica, che ovviamente possiede una certa capacità di adattamento, non sono facilmente prevedibili.

WP 3. Mappatura e stato della risorsa fasolari



3.1 Mappatura dei fasolari su ampia scala

Materiali e Metodi

Le attività di campionamento dei fasolari previste per una mappatura su ampia scala spaziale sono state effettuate in stretta collaborazione con CO.GE.MO. (Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi nel compartimento marittimo di Monfalcone). Più precisamente hanno partecipato al campionamento 24 imbarcazioni appartenenti alla marineria di Marano Lagunare e 11 imbarcazioni appartenenti alla marineria di Grado.

Tutti i campionamenti sono stati svolti in autonomia dagli operatori afferenti al consorzio e imbarcati sui motopescherecci sopra citati. I pescatori sono stati precedentemente istruiti sulle modalità di campionamento e di trattamento dei campioni di molluschi bivalvi nel corso di incontri con il personale scientifico di OGS. La campagna di campionamento è stata effettuata tra il 4 ottobre 2022 e il 23 marzo 2023. Sono stati effettuati complessivamente campionamenti su 90 stazioni, 30 delle quali erano state campionate in precedenza per mappare i giovanili dei fasolari (vedi Capitolo 3.2).



Figura 3.1.1. *Mappa delle stazioni di campionamento dei fasolari: in caratteri neri le stazioni per la mappatura su ampia scala; in caratteri azzurri le stazioni per la mappatura dei giovanili; in caratteri fucsia le Stazioni Faro; in caratteri arancioni le stazioni che sono state ricollocate a causa di impedimenti contingenti (es. secche, presure, relitti, ecc.).*

Gli individui sono stati raccolti tramite draghe idrauliche (o turbosoffianti) adatte alla pesca dei fasolari, dotate di cesti di raccolta dalla larghezza compresa tra 2.3 e 2.8 m che presentavano tutte una larghezza tra i

tondini metallici di selezione pari a 25 mm (Fig. 3.1.2). Sono state effettuate cale standardizzate di 50 m di lunghezza. La distanza precisa è stata calcolata misurando, tramite un'apposita sagola metrata, i metri di recupero effettivo dell'attrezzo, misurando i metri reali recuperati dal cavo di riavvolgimento dell'ancora; oppure tramite rilevazione GPS delle coordinate di inizio e fine cala. L'area campionata in ciascuna stazione è stata calcolata moltiplicando la larghezza dell'apertura del cesto per la distanza percorsa durante il traino dell'attrezzo. Dopo aver recuperato il cesto e dopo averne svuotato il contenuto nell'apposita vasca situata a prua dell'imbarcazione (Fig. 3.1.3), i molluschi sono stati selezionati a bordo (Fig. 3.1.4) e misurati con un calibro ad orologio lungo la massima distanza antero-posteriore con precisione 1 mm. I dati relativi alle cale di pesca effettuate e alla dimensione dei fasolari raccolti sono stati inviati al personale scientifico di OGS, che li ha utilizzati per stimare la distribuzione e la densità della risorsa espressa sia come ind/m² sia come g/m², al fine di consentire eventuali confronti con i dati raccolti nei precedenti monitoraggi.



Figura 3.1.2. Cesto metallico per la raccolta dei fasolari (*Callista chione*) montato a prua dell'imbarcazione equipaggiata per la pesca dei molluschi bivalvi con draga idraulica.



Figura 3.1.3. Fase di svuotamento del cesto nella vasca posizionata a prua dell'imbarcazione, particolare di una cala avvenuta su fondale prevalentemente fangoso.



Figura 3.1.4. Foto degli esemplari di *Callista chione* raccolti dopo il sorting del campione e dopo la pulizia dal detrito conchigliare; particolare della Stazione 110.

Risultati e Discussione

Delle 90 stazioni definite inizialmente sulla mappa di Fig. 3.1.1, ne sono state campionate 88, poiché la stazione 17 era posizionata su una teggua, che ha reso impossibile il campionamento, mentre la stazione 107 cadeva all'interno dell'area SIC denominata "Bardelli", per cui è stato possibile effettuare il campionamento solo con personale scientifico a bordo.

In 39 siti degli 88 campionati non sono stati trovati individui di *Callista chione*. In tutta l'area campionata si raggiunge una densità media di individui al metro quadro uguale a 0.53 ± 1.02 (DS), con valori superiori a 2 ind/m² in sole 6 stazioni, di cui 3 con valori superiori a 4 ind/m² (Fig. 3.1.5). La biomassa totale è strettamente in relazione al numero di individui e in media raggiunge i 17.76 ± 28.47 g/m², con valori superiori a 50 g/m² in sole 7 stazioni, di cui 4 con valori superiori a 100 g/m² (Fig. 3.1.6).

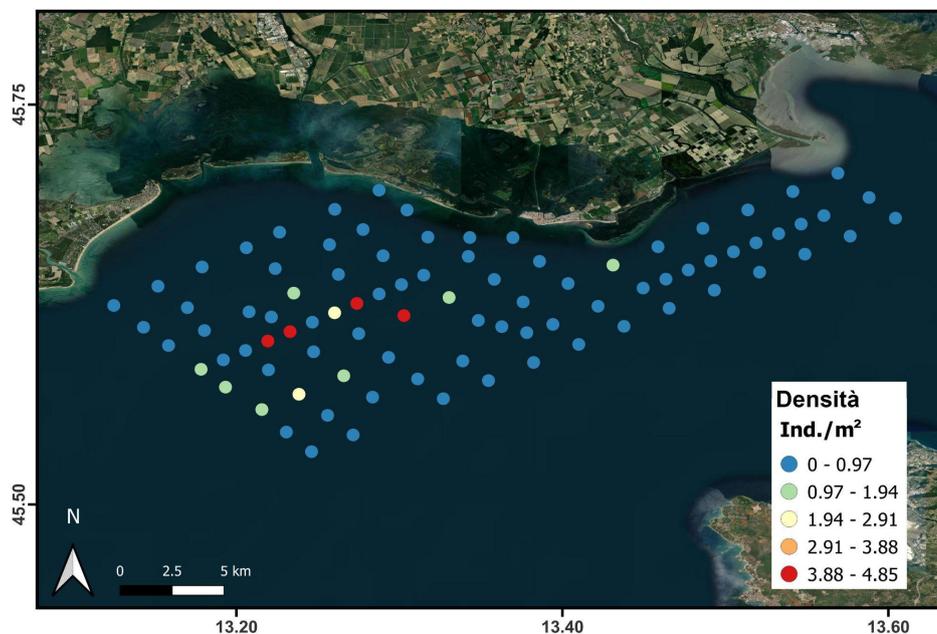


Figura 3.1.5. Mappa di densità numerica di *C. chione*, comprensiva di tutte le taglie.

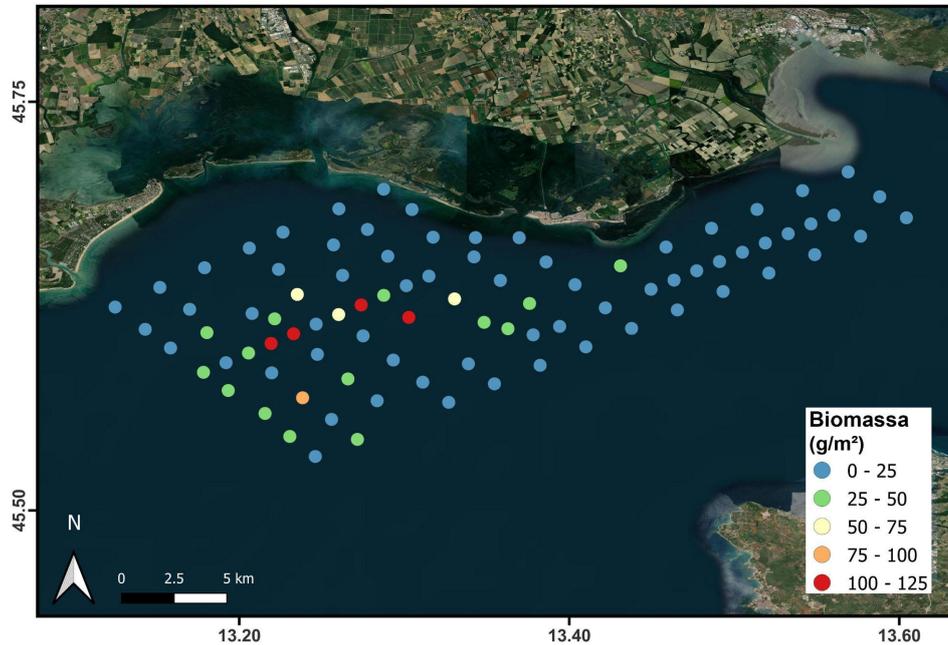


Figura 3.1.6. *Mappa della densità di biomassa di C. chione, comprensiva di tutte le taglie.*

Il fatto che i fasolari siano presenti in poco più della metà delle stazioni campionate su un'area così vasta, ma soprattutto il fatto che la loro densità esprima valori interessanti ai fini alieutici, indica come la distribuzione di questa specie sia circoscritta dai fattori ambientali. I banchi di fasolari sono situati infatti in un'area che si estende tra le 5 e le 8 miglia dalla costa, tra Grado e Lignano, su un fondale compreso generalmente tra 12 e 18 m, caratterizzato da sabbie relitte. In tali aree, conosciute dai pescatori come "Trezza grande" (quella al largo di Porto Buso) e "Trezza piccola" (quella al largo della Mula di Muggia), si sviluppa infatti, contestualmente ad altre, anche la biocenosi delle Sabbie Grossolane con Correnti di Fondo (SGCF), che costituisce, almeno in parte, il loro habitat d'elezione (vedi Cap. 6.3, Par. 6.3.1; Caratterizzazione del benthos nelle aree a fasolari; WP 6 - Caratterizzazione ambientale delle aree a fasolari).

Nella Fig. 3.1.7 sono visualizzate le taglie e le relative frequenze di tutti i 5640 individui campionati nel corso della mappatura su ampia scala. La taglia minima osservata era di 18 mm, mentre la taglia massima era di 84 mm. Le taglie più frequenti catturate dall'attrezzo professionale risultano comprese tra 40 e 60 mm. La distribuzione presenta due picchi, anche se non chiaramente definiti, in corrispondenza delle taglie tra 45 e 48 mm e ancora tra 50 e 57 mm.

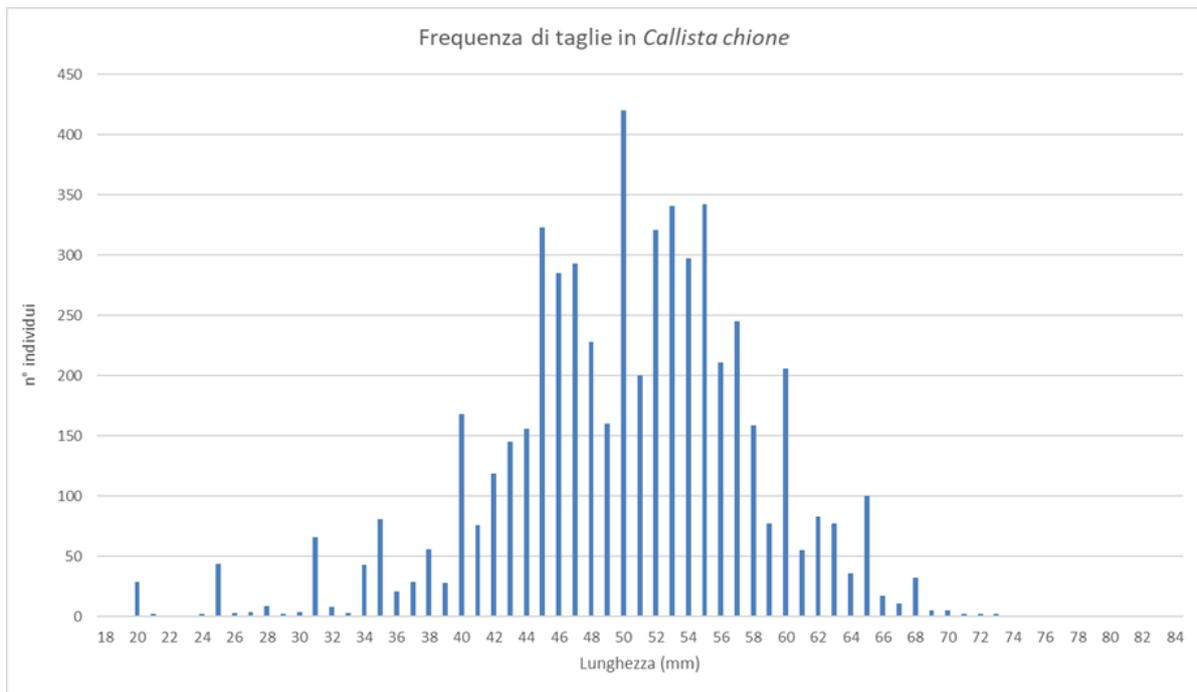


Figura 3.1.7. Distribuzione delle taglie degli individui campionati con draga idraulica professionale nella totalità delle stazioni previste dalla mappatura su ampia scala.

3.2 Mappatura dei fasolari giovanili

Materiali e Metodi

Tutte le attività di campionamento sono state effettuate in collaborazione con CO.GE.MO. (Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi nel compartimento marittimo di Monfalcone). Più precisamente i campionamenti sono stati effettuati con le seguenti imbarcazioni:

- M/P “Zeus” matricola 1MN2182 del Compartimento Marittimo di Grado;
- M/P “Mira II” matricola 3MN798 del Compartimento Marittimo di Marano Lagunare;
- M/P “Cormorano I” matricola 3MN1088 del Compartimento Marittimo di Marano Lagunare.

Tutti i campionamenti si sono svolti con personale scientifico imbarcato. La campagna di campionamento è stata effettuata tra il 29 agosto e il 3 ottobre del 2022.

La mappatura di dettaglio dei fasolari giovanili è avvenuta in 30 stazioni, selezionate dalle 90 complessivamente previste per la mappatura dei fasolari di taglia commerciale. In ciascuna di queste stazioni, sono stati campionati sia individui di taglia commerciale che individui giovanili. I fasolari di taglia commerciale sono stati raccolti, come per la mappatura su ampia scala, tramite draga idraulica (o turbosoffiante) adattata alla pesca dei fasolari, ovvero dotata di cesto di raccolta largo 2.5 m e che presentava una distanza tra i tondini metallici di selezione pari a 25 mm (Fig. 3.1.2). Per stimare l'eventuale presenza di individui giovanili della specie target è stato inoltre utilizzato un apposito sacco campionario con vuoto di maglia pari a 10 mm da nodo a nodo (Fig. 3.2.1). Tale sacco è dotato a sua volta di una bocca rigida metallica larga 40 cm e alta 18 cm ed è stato collegato tramite fascette plastiche direttamente alla bocca del cesto, in posizione centrale (Fig. 3.2.2). In ciascuna delle 30 stazioni sono state effettuate cale standardizzate di 50 m di lunghezza, che è stata misurata sul cavo di recupero dell'ancora tramite una sagola metrata. L'area campionata in ciascuna stazione è stata calcolata moltiplicando la larghezza dell'apertura del cesto per la distanza percorsa durante il traino dell'attrezzo (50 m misurati con sagola). Dopo aver recuperato il cesto e dopo averne svuotato il contenuto nell'apposita vasca situata a prua dell'imbarcazione, i molluschi sono stati selezionati a bordo e trasportati in laboratorio per le successive analisi. L'intero contenuto del sacco è stato recuperato (Fig. 3.2.3) ed il sorting è stato svolto in parte a bordo dell'imbarcazione e in parte in laboratorio.



Figura 3.2.1. Sacco campionario utilizzato per il campionamento degli individui giovanili di *Callista chione*.



Figura 3.2.2. Fase montaggio del sacco campionario sulla bocca del cesto di una draga idraulica.

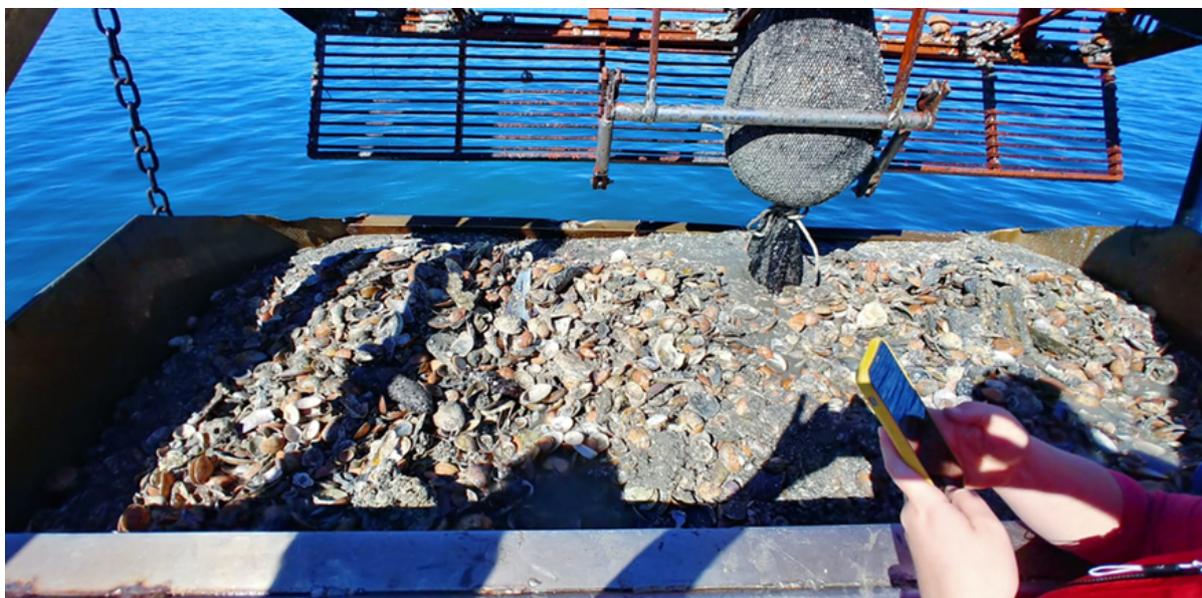


Figura 3.2.3. Svuotamento del cesto nell'apposita vasca situata a prua dell'imbarcazione con visibile il sacco campionario dei giovanili ed il suo contenuto.

I dati ottenuti sono stati utilizzati per restituire una stima della densità della risorsa espressa sia come ind/m² sia come g/m², al fine di consentire eventuali confronti con i dati raccolti nei precedenti monitoraggi. Le stazioni monitorate complessivamente sono risultate pari a 30 (Fig. 3.2.4).



Figura 3.2.4. *Mappa delle stazioni di campionamento dei fasolari: in caratteri bianchi le stazioni per la mappatura su ampia scala; in caratteri azzurri le stazioni per la mappatura dei giovanili; in caratteri arancioni le stazioni che sono state spostate rispetto al piano originale; in caratteri neri le Stazioni Faro.*

In laboratorio gli individui di *Callista chione* sono stati pesati, con la precisione di 0.001 g e successivamente misurati mediante calibro ad orologio lungo la massima distanza antero-posteriore con la precisione di 0.1 mm.

Le distribuzioni delle taglie nelle stazioni sono state visualizzate graficamente tramite istogrammi.

Risultati e Discussione

Per quanto riguarda la componente del popolamento, campionata con la draga idraulica professionale (individui di taglia commerciale), nelle 30 stazioni identificate per la mappatura dei giovanili (Fig. 3.2.4) 7 sono risultate prive di fasolari, ovvero le stazioni 8, 30, 67, 96, 99, 123 e 156. In tutta l'area campionata si è raggiunta una densità media di individui al metro quadro uguale a 0.70 ± 1.05 (DS), con valori superiori a 1 ind/m² in sole 8 stazioni, di cui 3 con valori superiori a 2 ind/m² e 2 con valori superiori a 3 ind/m² (Fig. 3.2.5). La biomassa totale è strettamente in relazione al numero di individui e in media ha raggiunto i 16.51 ± 21.41 g/m², con valori superiori a 10 g/m² in 11 stazioni, di cui 4 con valori superiori a 30 g/m² e 3 con valori superiori a 50 g/m² (Fig. 3.2.6). Le stazioni a maggior densità, sia numerica sia in biomassa, sono risultate la St. 119, la St. 115 (Faro B) e la St. 112.

Per quanto riguarda la componente del popolamento campionata con il sacco campionatore per i giovanili, 10 delle 30 stazioni identificate per la mappatura dei giovanili sono risultate prive di fasolari, più precisamente le stazioni 8, 30, 40, 60, 67, 96, 99, 123, 156 e 168. In tutta l'area campionata si è raggiunta una densità media di individui al metro quadro pari a 0.61 ± 1.03 (DS), con valori superiori a 1 ind/m² in 6 stazioni, di cui 3 con valori superiori a 3 ind/m², più precisamente le St. 16, 47 (o Faro C) e 51 (Fig. 3.2.5). La biomassa totale ha raggiunto in media i 6.98 ± 10.69 g/m², con valori superiori a 10 g/m² in 7 stazioni, di cui 3 con valori superiori a 20 g/m² (St. 16, 51 e 119) e una con valori superiori a 40 g/m² (St. 47 o Faro C) (Fig. 3.2.6). Le stazioni a maggior densità, sia numerica sia in biomassa, sono risultate la St. 47 (o Faro C), la St. 16, la St. 51 e la St. 119.

Dalla Fig. 3.2.5 si può ancora osservare come gli individui giovanili abbiano espresso abbondanze maggiori in alcune delle stazioni in cui gli adulti sono risultati più scarsi e viceversa.

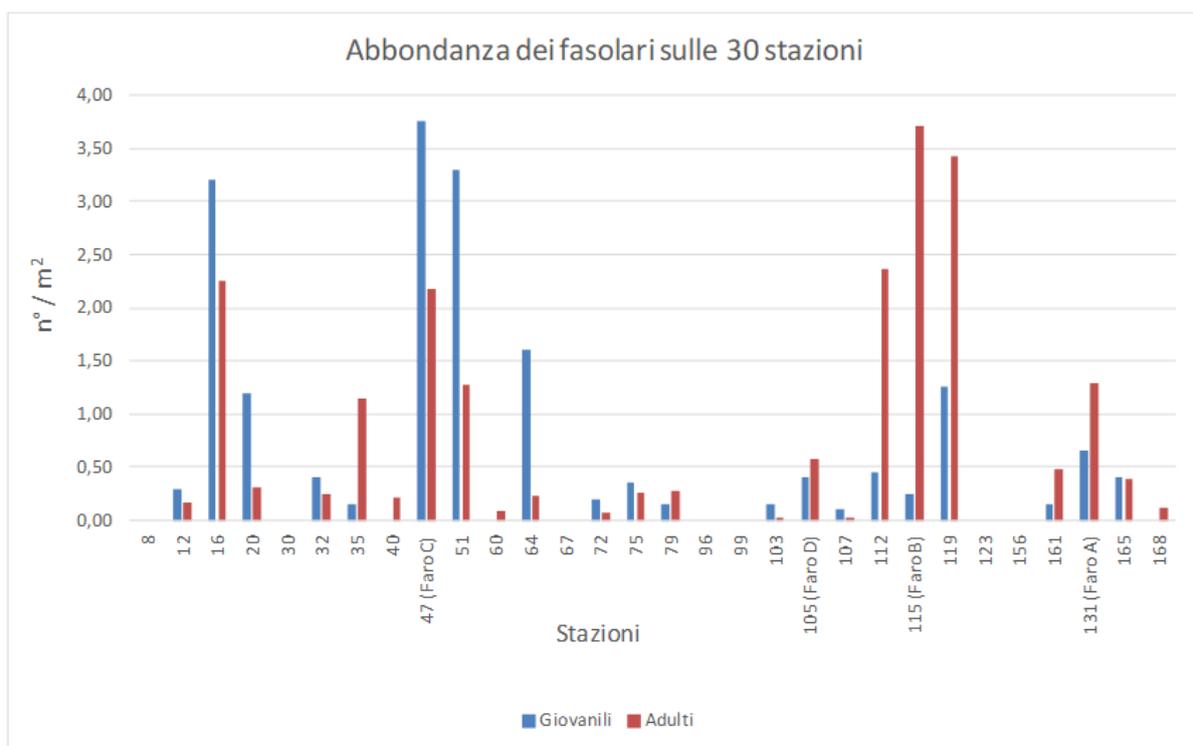


Figura 3.2.5. Densità numerica (ind/m²) dei fasolari campionati con draga idraulica professionale messa a confronto con quella ottenuta per i fasolari giovanili nelle 30 stazioni.

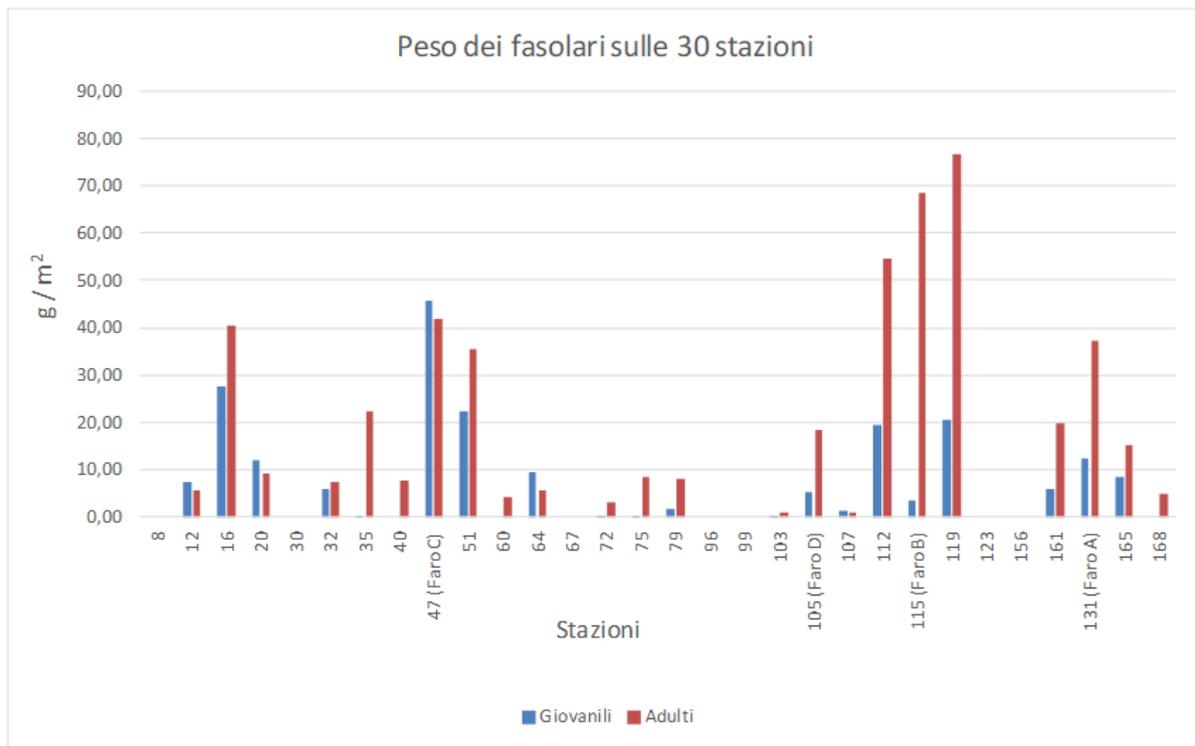


Figura 3.2.6. Densità in peso (g/m^2) dei fasolari campionati con draga idraulica professionale messa a confronto con quella ottenuta per i fasolari giovanili nelle 30 stazioni.

Nelle Figg. 3.2.7 e 3.2.8 viene proposto un confronto, rispettivamente della densità numerica e del peso dei fasolari campionati durante le due mappature, ovvero quella effettuata dal personale scientifico di OGS esclusivamente nelle 30 stazioni individuate per la mappatura dei giovanili e quella effettuata (in tutte le 90 stazioni, comprese le 30 dei giovanili) in autonomia dai pescatori. Nel complesso i rilevamenti effettuati dai pescatori appaiono in linea con quelli effettuati dai ricercatori. Le differenze che si osservano in alcune stazioni possono essere spiegate con il fatto che, su una scala spaziale ridotta, i bivalvi possono mostrare una distribuzione disomogenea e nell'arco di tempi più lunghi (circa 5 mesi tra le due attività di mappatura) possono compiere anche spostamenti orizzontali.

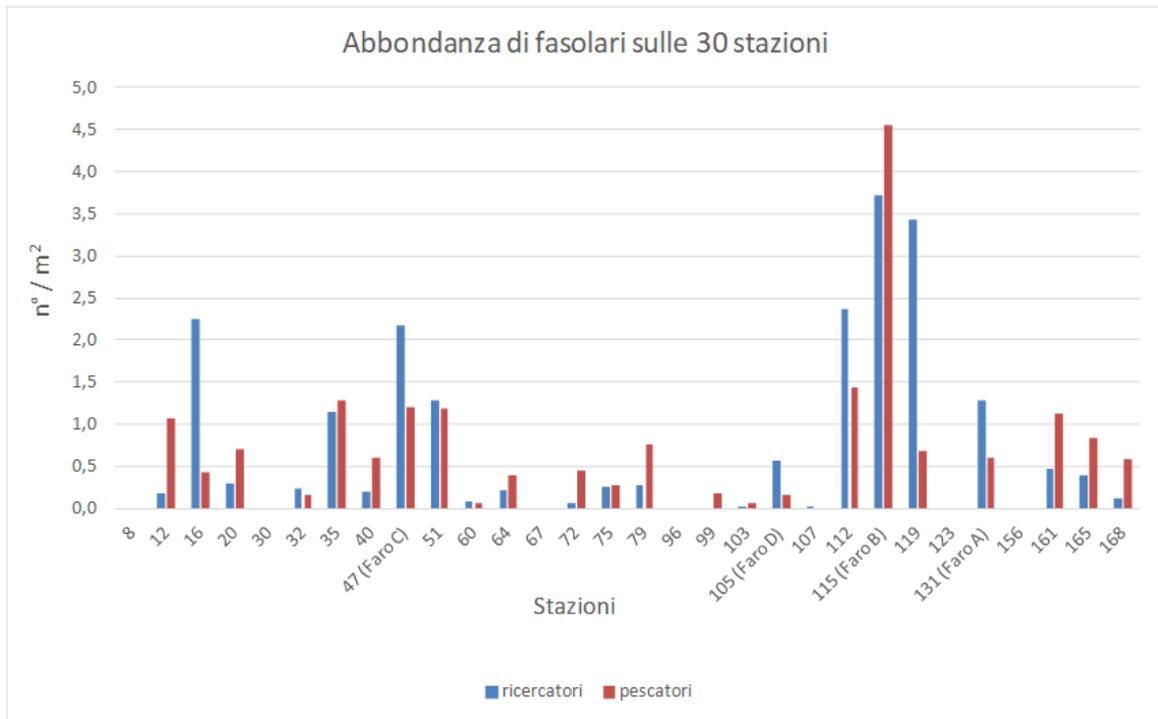


Figura 3.2.7. Densità numerica (ind/m²) dei fasolari campionati con draga idraulica professionale nelle 30 stazioni, ottenuta durante la mappatura dei fasolari giovanili (condotta dai ricercatori) e messa a confronto con la mappatura su ampia scala (condotta dai pescatori).

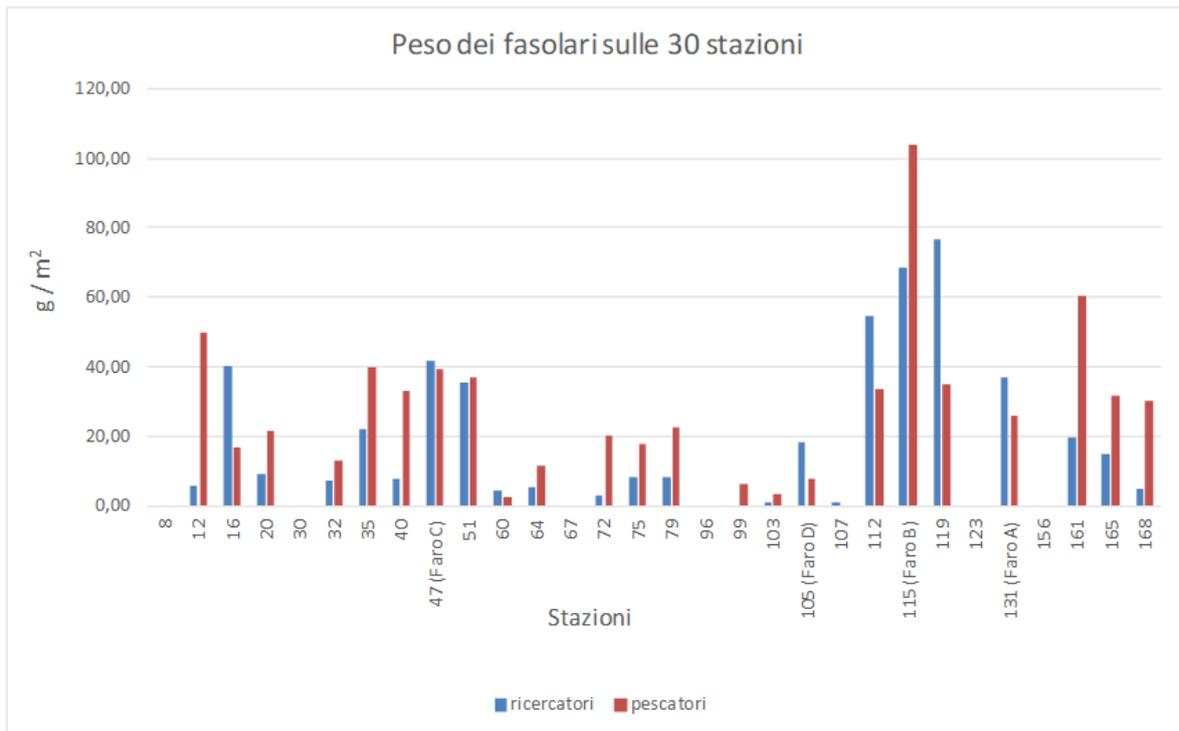


Figura 3.2.8. Densità in peso (g/m^2) dei fasolari campionati con draga idraulica professionale nelle 30 stazioni, ottenuta durante la mappatura dei fasolari giovanili (condotta dai ricercatori) e messa a confronto con la mappatura su ampia scala (condotta dai pescatori).

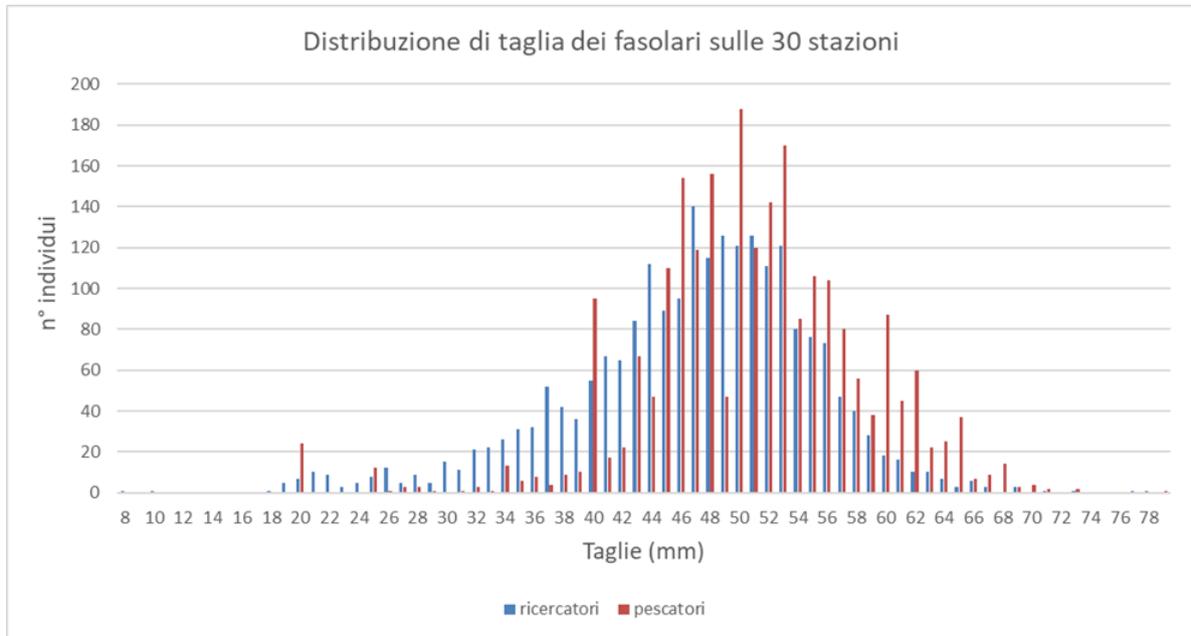


Figura 3.2.9. Distribuzione delle taglie dei fasolari campionati con draga idraulica professionale nelle 30 stazioni, ottenuta durante la mappatura dei fasolari giovanili (condotta dai ricercatori) e messa a confronto con la mappatura su ampia scala (condotta dai pescatori).

Nella Fig. 3.2.9 sono state messe a confronto le distribuzioni di taglia dei fasolari adulti, campionati con draga idraulica, sulle 30 stazioni in due diversi momenti: da fine agosto a inizio ottobre 2022 ad opera dei ricercatori imbarcati nel corso della mappatura dei giovanili e successivamente, da febbraio a marzo 2023 ad opera dei pescatori, nel corso della mappatura su ampia scala. Per quanto la distribuzione ottenuta nel corso della mappatura su ampia scala non sia altrettanto ben definita rispetto a quella ottenuta dai ricercatori, si può comunque osservare un certo sfasamento nelle due distribuzioni, con un maggior numero di individui di taglia <45 mm rilevato dai ricercatori. Al contrario, durante il rilevamento su ampia scala effettuato dai pescatori, si osserva una parziale maggior presenza di individui di taglia >50 mm. Essendo le due distribuzioni riferite a campionamenti avvenuti a distanza di circa 5 mesi l'uno dall'altro, questo sfasamento della distribuzione verso taglie maggiori, potrebbe dare indicazione dell'avvenuto accrescimento, anche se potrebbe altresì derivare dalla già citata variabilità spaziale naturale e dalla mobilità dei fasolari adulti.

3.3 Censimento del macrobenthos associato

Materiali e Metodi

Il campionamento delle 30 stazioni con ricercatori a bordo descritto nel precedente capitolo 3.2 è stato utilizzato per descrivere le specie associate al popolamento a fasolari. In tutte e 30 le stazioni gli organismi raccolti tramite draga idraulica (Fig. 3.3.1) sono stati cerniti a bordo dopo lo svuotamento del cesto della draga (Fig. 3.3.2) e sono stati mantenuti separatamente entro contenitori siglati con il codice della stazione e trasportati in laboratorio (Fig. 3.3.3). Sono stati considerati e trattati separatamente anche gli organismi associati presenti nei campioni ottenuti con il sacco campionario per i giovanili della specie target, già descritto nel Cap. 3.2. Tutti gli organismi vitali presenti sono stati identificati a livello di specie, numerati e pesati (peso umido). I dati ottenuti sono stati utilizzati per stimare la densità della macrofauna bentonica espressa sia come ind/m² sia come g/m², al fine di consentire i confronti tra le varie stazioni e in modo da poterli associare alla presenza della specie target. In questo modo è stato possibile caratterizzare la macrofauna bentonica associata a *Callista chione* utilizzando le medesime cale effettuate per campionare la specie target.



Figura 3.3.1. Recupero del cesto di una draga idraulica, appena prima che il contenuto venga svuotato nella vasca di raccolta posta a prua dell'imbarcazione.



Figura 3.3.2. Esempio di organismi raccolti durante la pesca dei fasolari.



Figura 3.3.3. Fase di suddivisione dei campioni di fauna associata a *Callista chione* successiva alla fase di sorting avvenuta a bordo.

I dati ottenuti sono stati organizzati in due distinte matrici: una con gli organismi catturati con il cesto utilizzato nella pesca commerciale e una con gli organismi catturati con il sacco per i giovanili. In entrambe le matrici sono stati inclusi gli individui di *Callista chione*. I dati sono stati analizzati secondo tecniche di analisi multivariata, effettuate utilizzando il software PRIMER V. 7.0 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*).

I valori di abbondanza numerica, derivanti dalla matrice relativa alla draga commerciale, sono stati preventivamente trasformati con radice quadra. La trasformazione si è resa necessaria al fine di evitare di attribuire un'eccessiva importanza alle specie numericamente più abbondanti (Wilding, 2006). Alla matrice dei dati trasformati è stato successivamente applicato il coefficiente di similarità di Bray-Curtis, mediante il quale si è costruita una matrice triangolare di similarità tra le stazioni campionate. Tale matrice è stata poi utilizzata per generare sia una classificazione (*cluster analysis*) che un ordinamento bidimensionale *nMDS*. Al fine di valutare la significatività dei gruppi derivanti dalla classificazione, evitando di operare un "taglio" arbitrario a un determinato livello di similarità dei dendrogrammi ottenuti, è stata applicata l'analisi SIMPROF (SIMilarities PROFile). Quest'analisi permette infatti di identificare quali gruppi di oggetti (le diverse stazioni nel nostro caso) scaturiti da una *cluster analysis* siano raggruppamenti significativi ad un determinato livello di probabilità scelto, nel nostro caso il 5% ($P < 0.05$) (Clarke et al., 2014). Si è poi proceduto ad analizzare quali specie abbiano maggiormente contribuito alle differenze significative tra le stazioni che hanno presentato esemplari di fasolario da quelle prive della specie target, mediante un'analisi SIMPER. Questa analisi (*SIMilarity PERcentage breakdown*) permette di calcolare la dissimilarità media di oggetti (stazioni) appartenenti a diversi gruppi (definiti a priori) e successivamente di scomporla nel contributo dato da ogni specie (Clarke et al., 2014). Lo stesso procedimento è stato applicato anche ai dati di abbondanza numerica ottenuti con il sacco campionatore per i giovanili.

Risultati e Discussione

L'analisi *nMDS* applicata ai dati di abbondanza numerica degli organismi campionati con il cesto della draga commerciale ha permesso di individuare due gruppi distinti di stazioni, in relazione alla presenza dei fasolari. Per rendere più semplice l'interpretazione di questo risultato le stazioni sono state distinte con colori diversi: in blu le stazioni in cui i fasolari erano del tutto assenti, in rosso le stazioni in cui i fasolari erano invece presenti (Fig. 3.3.4). È possibile osservare come la separazione delle stazioni sia risultata perfettamente sovrapponibile alla presenza/assenza dei fasolari. Tuttavia l'analisi SIMPROF, derivante dalla classificazione effettuata sulla medesima matrice triangolare di similarità utilizzata per produrre l'ordinamento *nMDS*, individua ulteriori piccoli gruppi di stazioni all'interno del gruppo relativo alle stazioni con fasolari presenti. Per questo motivo si è deciso di approfondire l'interpretazione dei risultati utilizzando altre informazioni derivanti dal campionamento.

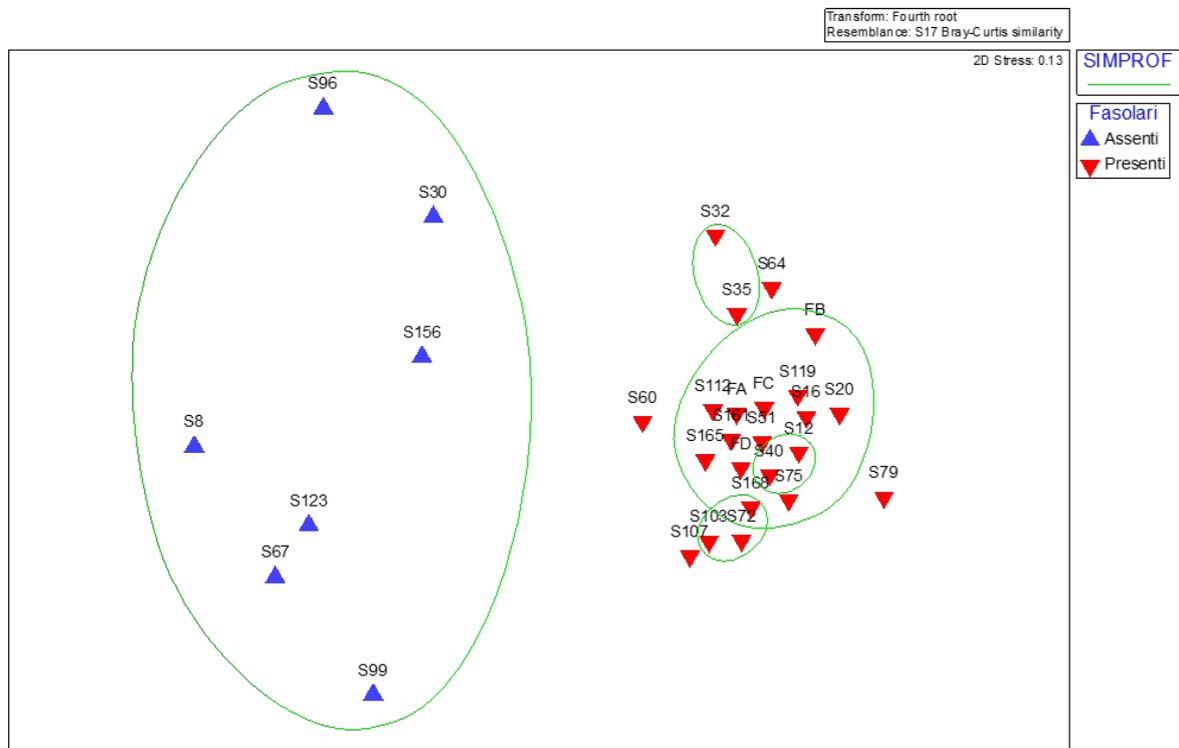


Figura 3.3.4. nMDS dell'insieme delle stazioni campionate con il cesto della draga commerciale. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMPROF) derivanti dalla classificazione. Con triangoli di colore blu sono indicate le stazioni in cui i fasolari erano assenti.

Provando a distinguere le stazioni che presentavano i fasolari (in rosso) da quelle dove la specie target è assente (in blu), sulla base della profondità, si è osservato come tale elemento distintivo non risulti esplicativo delle differenze emerse dall'analisi nMDS, poiché in ognuno dei due gruppi si trovano stazioni con profondità sia inferiore ai 10 m, sia compresa tra 10 e 15 m e sia superiore ai 15 m (Fig. 3.3.5).

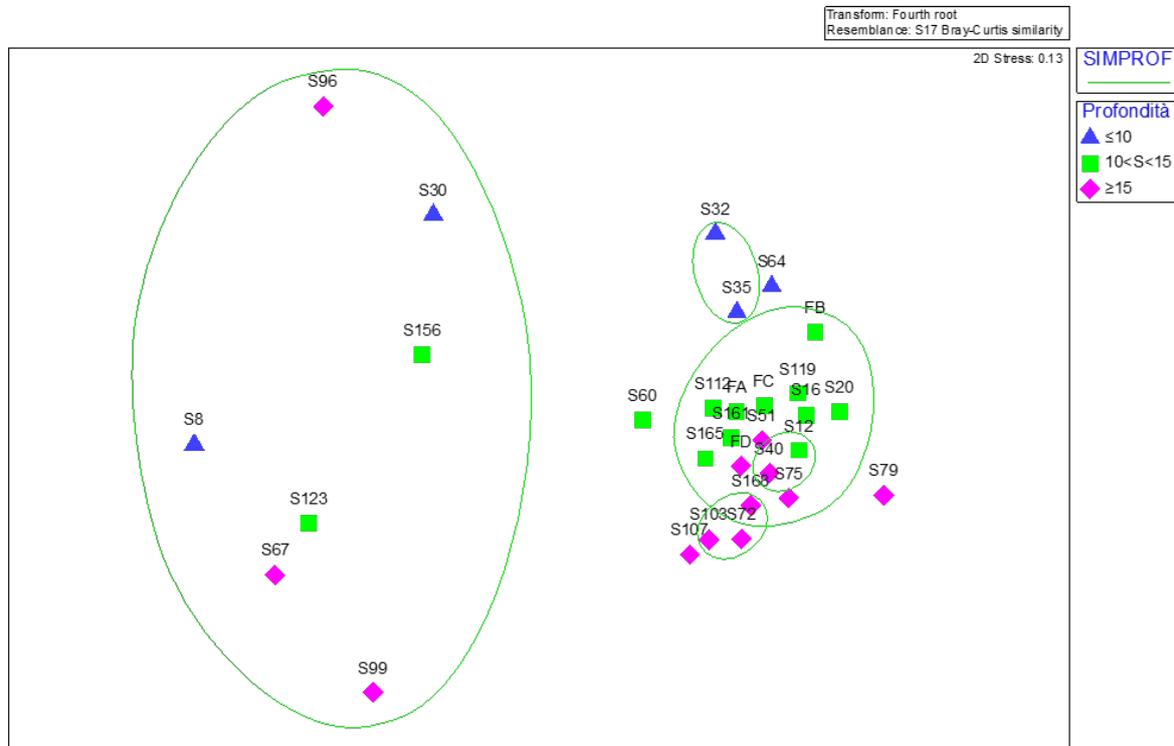


Figura 3.3.5. nMDS dell'insieme delle stazioni campionate con il cesto della draga commerciale. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMPROF) derivanti dalla classificazione. Le stazioni sono state distinte con 3 colori diversi sulla base delle diverse profondità.

Provando invece a distinguere le stazioni che presentavano i fasolari da quelle dove la specie target è risultata assente, sulla base della granulometria (colori diversi in base al diverso contenuto di sabbia) dei sedimenti (vedi capitolo 6.1 del WP 6 "Caratterizzazione ambientale"), si osserva bensì un'ottima corrispondenza con la separazione individuata dall'ordinamento nMDS (Fig. 3.3.6). Il gruppo delle stazioni senza fasolari è infatti caratterizzato da una componente sabbiosa sempre inferiore all'80%, mentre al contrario, le stazioni con fasolari presentano una componente sabbiosa sempre maggiore all'80%. All'interno di quest'ultimo gruppo, si osservano inoltre alcuni ulteriori sottogruppi, di cui uno in particolare (composto dalle stazioni S72, S103 e S168) costituito da stazioni poste piuttosto al largo e presenta una componente sabbiosa compresa tra l'80 e il 90%. Le stazioni S32, S35 e S64 risultano anch'esse separate in un sottogruppo e sono stazioni piuttosto costiere, situate subito al largo di Grado. Le stazioni S60 ed S79 non rientrano in alcun sottogruppo e, in effetti, sulla mappa sono situate agli estremi est-ovest dell'area principale di pesca dei fasolari. Infine, il sottogruppo centrale, più numeroso, risulta costituito da tutte e 4 le Stazioni Faro e dal resto delle stazioni su cui erano presenti i fasolari.

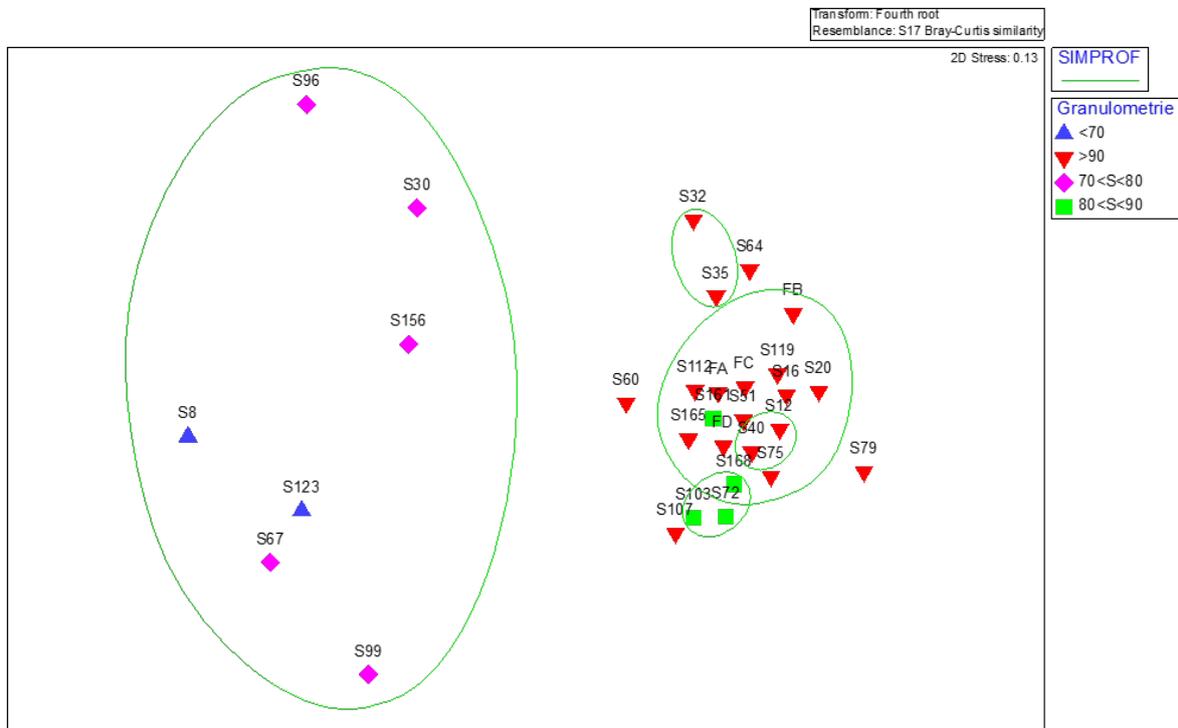


Figura 3.3.6. nMDS dell'insieme delle stazioni campionate con il cesto della draga commerciale. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMPROF) derivanti dalla classificazione. Le stazioni sono distinte con 4 colori diversi in base al contenuto di sabbia.

Il fatto che la separazione delle stazioni non segua la profondità non deve stupire poiché la granulometria, che in questo caso risulta l'elemento forzante della distribuzione degli organismi, non segue necessariamente la batimetria nell'area di studio. Anzi la granulometria presenta qui, procedendo da costa verso il largo, inizialmente un gradiente di diminuzione della dimensione dei clasti ma successivamente un gradiente in aumento, fino al raggiungimento delle sabbie relitte di piattaforma site più al largo.

L'analisi SIMPER ha permesso di individuare i taxa che primariamente hanno determinato la separazione delle stazioni sulla base degli elementi faunistici descrittivi utilizzati per l'analisi multivariata (Tab. 3.3.1). Da tale tabella risulta che proprio la specie target sia il primo fattore distintivo nella separazione tra stazioni. Va inoltre notato come altre specie che presentano un'abbondanza coerente con quella di *C. chione*, risultano *Hexaplex trunculus*, *Bolinus brandaris* e *Astropecten irregularis*, tutte specie notoriamente predatrici di bivalvi tra cui anche chiaramente *C. chione*. Si osserva inoltre come, al contrario, lo Spatangide *Schizaster canaliferus* sia dissociato da *C. chione*, aspetto che trova conferma nel fatto che la prima è specie vasicola (necessita di fanghi), mentre il fasolaro è specie strettamente legata alle sabbie.

Analisi SIMPER sulle specie associate a <i>Callista chione</i>						
Specie	Group no		Group yes		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
<i>Callista chione</i>	0,0	2,70	6,8	2,43	7,7	7,70
<i>Paguristes eremita</i>	0,0	1,44	3,4	2,36	3,9	11,57
<i>Hexaplex trunculus</i>	0,1	1,44	3,2	2,35	3,6	15,17
<i>Glycymeris spp.</i>	0,0	1,21	3,1	1,17	3,6	18,73
<i>Echinocardium cordatum</i>	0,6	1,38	2,8	1,18	3,2	21,95
<i>Phallusia mammillata</i>	0,0	1,25	2,8	1,65	3,2	25,16
<i>Psammaechinus microtuberculatus</i>	0,3	1,47	2,8	1,80	3,2	28,32
<i>Bolinus brandaris</i>	0,5	1,32	2,7	1,59	3,0	31,37
<i>Acanthocardia tuberculata</i>	0,0	0,94	2,4	1,09	2,7	34,05
<i>Porifera spp.</i>	0,0	1,03	2,4	1,19	2,7	36,71
<i>Astropecten irregularis</i>	0,6	1,25	2,3	1,33	2,6	39,35
<i>Schizaster canaliferus</i>	1,0	0,91	2,2	1,22	2,5	41,85
<i>Suberites domuncula</i>	0,0	0,98	2,2	1,34	2,5	44,34
<i>Corystes cassivellaanus</i>	0,0	0,87	2,2	1,09	2,4	46,78
<i>Acanthocardia aculeata</i>	0,0	0,91	2,1	1,13	2,4	49,19

Tabella 3.3.1. Risultati dell'analisi SIMPER con i primi 15 taxa che, da soli, contribuiscono al 50% delle differenze osservate tra le stazioni dove i fasolari sono risultati presenti rispetto a quelle dove sono risultati assenti, campionati con il cesto della draga commerciale.

L'analisi nMDS applicata ai dati di abbondanza numerica degli organismi campionati con il sacco campionario per fasolari giovanili, ha permesso di individuare tre gruppi di stazioni ed una stazione isolata dalle altre. Per rendere più semplice l'interpretazione di questo risultato, come in precedenza, le stazioni sono state distinte con colori diversi: in blu le stazioni in cui i fasolari erano del tutto assenti, in rosso le stazioni in cui i fasolari erano invece presenti (Fig. 3.3.7). In questo caso la distinzione tra stazioni non risulta così evidente, come nel caso del campionamento con draga professionale, e la comunità non dipende strettamente dalla presenza di *Callista chione*, poiché si delinea un gruppo centrale di stazioni in cui tale specie risulta sia presente che assente. La Stazione Faro B viene inoltre associata ad un gruppo esterno rispetto alle altre 3 Stazioni Faro.

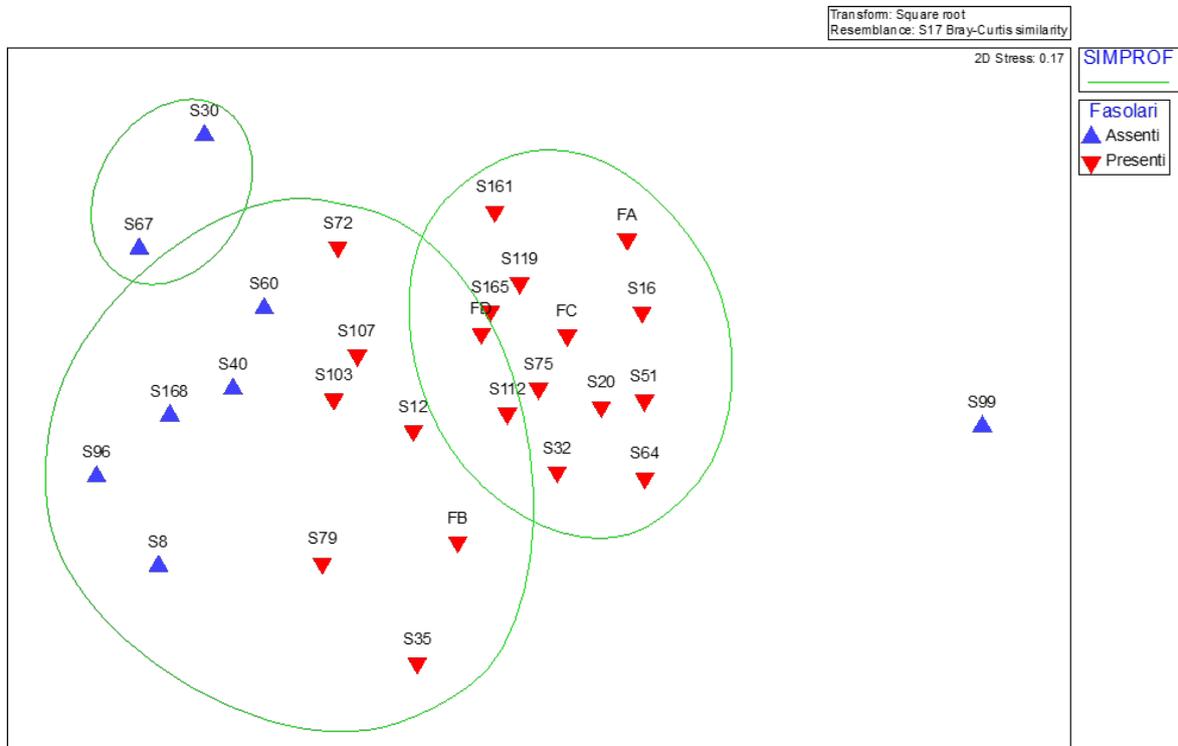


Figura 3.3.7. nMDS dell'insieme delle stazioni campionate con il sacco campionatore per i giovanili. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMPROF) derivanti dalla classificazione. Con triangoli di colore blu sono indicate le stazioni in cui i fasolari erano assenti.

L'analisi SIMPER ha permesso di individuare i taxa che primariamente hanno determinato la separazione delle stazioni sulla base degli elementi faunistici descrittivi utilizzati per l'analisi multivariata (Tab. 3.3.2). Da tale tabella *Callista chione* risulta ancora come primo fattore distintivo nella separazione tra stazioni. Va anche notato che *Moerella distorta*, specie indicatrice di instabilità del ritmo sedimentario, risulta dissociata da *Callista chione*. Un'altra forte dissociazione si osserva tra *Nucula nucleus* (specie vasicola) e *Tellina pulchella* (specie strettamente sabulicola).

Analisi SIMPER sulle specie associate a <i>Callista chione</i>						
Specie	Group no		Group yes		Contrib%	Cum.%
	Av.Abund	Av.Abund	Av.Diss	Diss/SD		
<i>Callista chione</i>	0,0	1,83	11,7	1,99	13,5	13,49
<i>Dosinia lupinus</i>	0,7	1,16	5,6	1,02	6,5	19,97
<i>Tellina distorta</i>	1,0	0,74	5,2	1,00	6,0	25,99
<i>Ensis ensis</i>	0,1	0,52	3,4	0,69	4,0	29,94
<i>Glycymeris spp.</i>	0,0	0,63	3,3	0,80	3,8	33,73
<i>Gari fervensis</i>	0,4	0,47	3,2	0,79	3,7	37,42
<i>Corystes cassivellaunus</i>	0,0	0,65	3,0	0,93	3,4	40,85
<i>Gari depressa</i>	0,4	0,11	2,6	0,51	3,0	43,84
<i>Azorinus chamasolen</i>	0,2	0,28	2,5	0,49	2,9	46,76
<i>Nucula nucleus</i>	0,4	0,00	2,4	0,63	2,8	49,53
<i>Tellina pulchella</i>	0,0	0,30	1,8	0,47	2,1	51,59
<i>Astropecten irregularis</i>	0,0	0,39	1,8	0,70	2,0	53,62
<i>Acanthocardia paucicostata</i>	0,3	0,17	1,7	0,62	2,0	55,61
<i>Acanthocardia tuberculata</i>	0,0	0,32	1,7	0,59	2,0	57,59
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	0,0	0,34	1,6	0,60	1,9	59,45

Tabella 3.3.2. Risultati dell'analisi SIMPER con i primi 15 taxa che, da soli, contribuiscono ad oltre il 50% delle differenze osservate tra le stazioni dove i fasolari sono risultati presenti rispetto a quelle dove sono risultati assenti, campionati con il sacco campionario per fasolari giovanili.

3.4 Biometrie dei fasolari giovanili

Materiali e Metodi

A seguito del campionamento descritto nel capitolo 3.2 i fasolari raccolti con il sacco campionatore (Fig. 3.4.1) sono stati selezionati (Fig. 3.4.2) e mantenuti separati in appositi contenitori siglati per le successive analisi in laboratorio.



Figura 3.4.1. Recupero e svuotamento del sacco campionatore applicato sulla bocca del cesto di una draga idraulica utilizzata sulle 30 stazioni, secondo il metodo descritto nel capitolo 3.2.



Figura 3.4.2. Fase di sorting degli individui giovanili di *Callista chione* raccolti con il sacco campionatore descritto nel capitolo 3.2.

Le stazioni monitorate complessivamente sono risultate pari a 30. In laboratorio gli individui di *Callista chione* sono stati pesati con precisione 0.001 g e successivamente misurati con un calibro ad orologio lungo la massima distanza antero-posteriore con precisione 0.1 mm (Fig. 3.4.3). Le distribuzioni delle taglie, misurate nelle diverse stazioni, sono state visualizzate graficamente tramite istogrammi. Mentre le relazioni tra lunghezza e peso sono state descritte tramite grafici a dispersione.



Figura 3.4.3. Esempio di misura di un esemplare di *Callista chione* con l'utilizzo di un calibro ad orologio.

Dopo il rilevamento delle biometrie, a ciascuno degli individui raccolti nelle 4 stazioni Faro sono state asportate le parti molli, successivamente siglando e pulendo le singole conchiglie corrispondenti riponendole separatamente in contenitori con indicazione della stazione di provenienza. In seguito, sono stati scelti un numero di circa 50 individui da ciascuna Stazione Faro in modo da coprire un range di taglie più ampio possibile (Fig. 3.4.4).



Figura 3.4.4. Alcune delle valve di esemplari di *Callista chione* utilizzate per la stima dell'età.

L'età di ciascun individuo è stata stimata contando gli anelli di crescita sulla parte esterna del periostraco, individuati come cerchi concentrici di colore scuro che si alternano a fasce di colore più chiaro (Fig. 3.4.5). Le letture sono state effettuate al microscopio ottico con luce proveniente dal basso, in modo da rendere ancor più evidenti gli anelli di accrescimento. La lettura di ciascun esemplare è stata ripetuta indipendentemente da 3 osservatori e l'età corrispondente è stata considerata come la media delle letture.

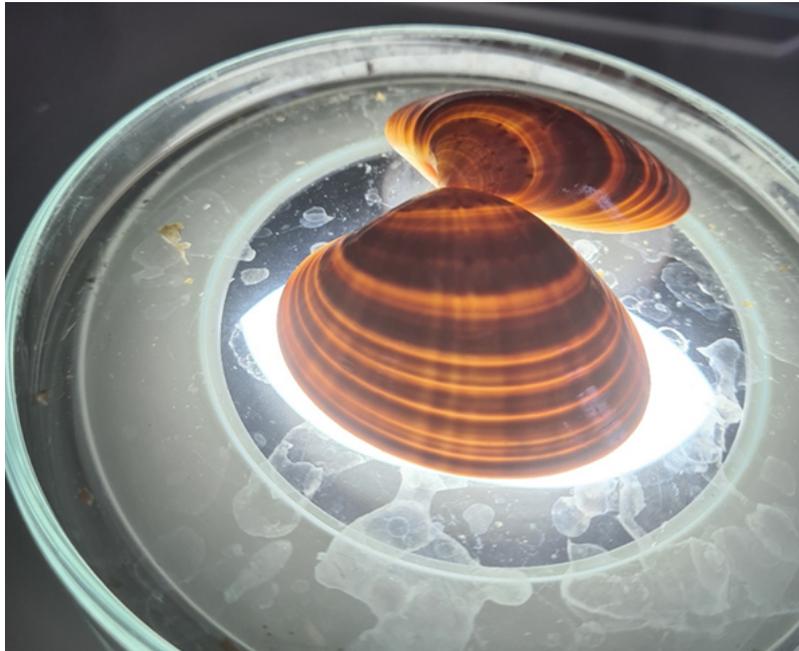


Figura 3.4.5. Valve di un esemplari di *Callista chione* utilizzate per la stima dell'età mentre vengono osservate al microscopio con illuminazione dal basso.

I valori medi delle letture dell'età sono stati poi utilizzati per costruire curve di crescita di Von Bertalanffy.

Risultati e Discussione

Per descrivere le relazioni tra lunghezza (intesa come massima distanza antero-posteriore delle valve) ed il peso sono stati utilizzati 2568 individui di *Callista chione* campionati sulle 30 stazioni dedicate allo studio degli individui giovanili (Fig. 3.4.6). Per costruire la curva sono stati utilizzati esclusivamente esemplari integri, che non presentavano difetti, deformazioni o fratture della conchiglia. La relazione ottenuta è risultata la seguente:

$$\text{peso} = 0,0002 (\text{lunghezza})^{3,054}$$

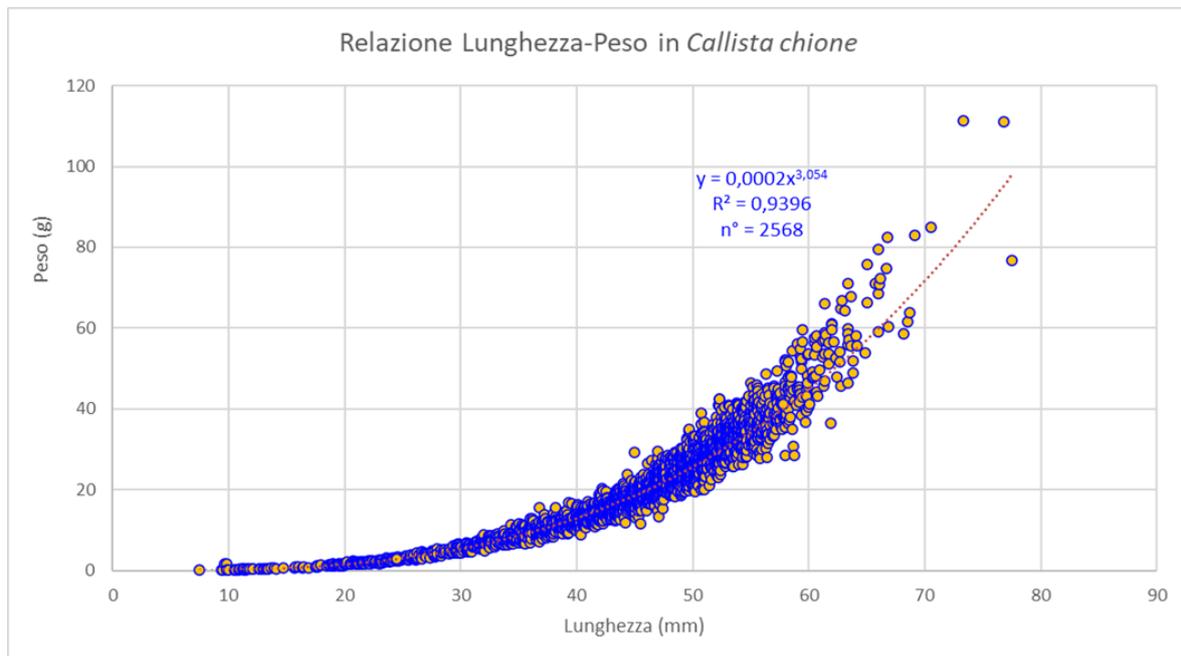


Figura 3.4.6. Grafico a dispersione che descrive la relazione tra lunghezza (in mm) e peso (in grammi) degli esemplari di *Callista chione* raccolti nelle 30 stazioni identificate per il campionamento dei giovanili.

Nel grafico di Fig. 3.4.7 sono rappresentate le distribuzioni di taglia di tutti gli individui catturati nelle 30 stazioni (complessivamente 2612), mantenendo separate la frazione catturata con l'attrezzo professionale da quella catturata con il sacco campionario (quest'ultima indicata nel grafico come "giovanili"). Gli individui di piccole dimensioni risultano ovviamente più numerosi nel sacco campionario, mentre quelli catturati con l'attrezzo professionale sono da considerarsi accidentalmente presenti, poiché rimasti intrappolati nel residuo conchigliare di grosse dimensioni presente nello scarto di pesca. Gli individui di grosse dimensioni risultano invece meno numerosi nel sacco campionario poiché la superficie campionata è chiaramente risultata notevolmente inferiore. Vi è poi un range di taglie presenti in entrambi gli attrezzi che risulta piuttosto ampio.

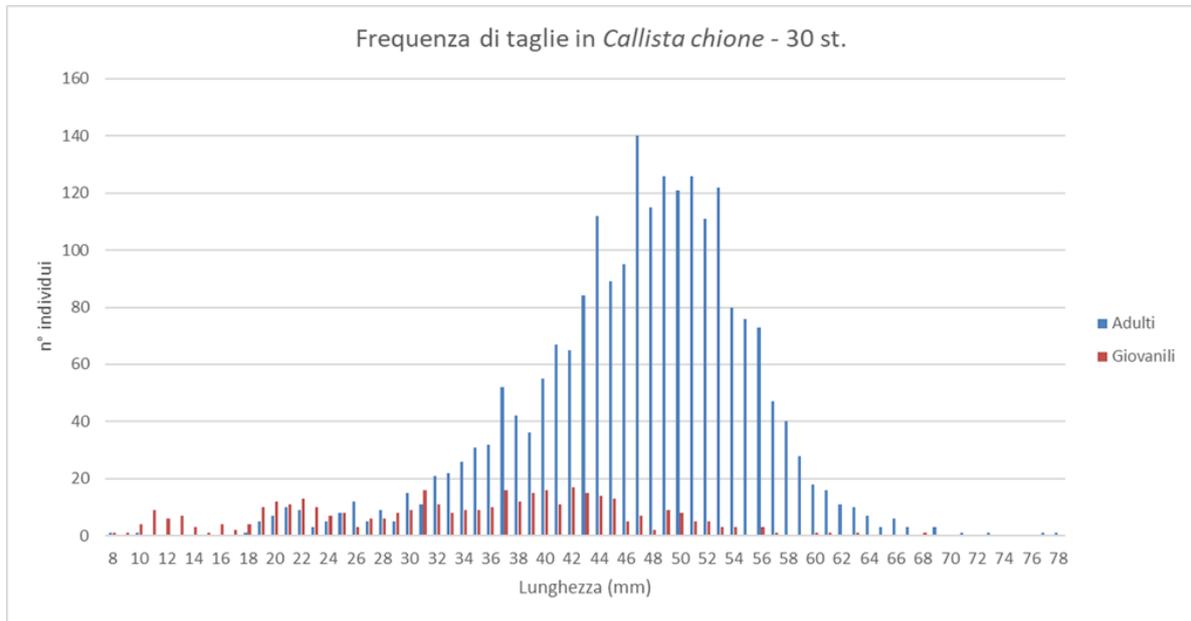


Figura 3.4.7. Distribuzione di taglia del numero di individui di *Callista chione* raccolti nelle 30 stazioni distinte tra quelli campionati con draga idraulica professionale (“Adulti”) e quelli campionati con sacco campionario (“Giovanili”).

Tuttavia, il confronto tra le distribuzioni di taglia ottenute è reso più agevole confrontando le frequenze percentuali (Fig. 3.4.8). Dai dati percentuali si osserva come le taglie comprese tra 36 e 44 mm risultino presenti con percentuali simili in entrambi gli attrezzi, indicando quindi questo range come limite superiore per il sacco campionario e come limite inferiore per la draga idraulica professionale. Si può inoltre osservare che, mentre le taglie ottenute con l’attrezzo professionale presentano una distribuzione più unimodale, quelle ottenute con il sacco campionario mostrano una distribuzione chiaramente polimodale in cui si possono individuare 5 picchi: indicativamente distribuiti intorno a 11-13 mm, 19-23 mm, 30-32 mm, 37-45 mm e 49-51 mm. Questa differenza si spiega con il fatto che probabilmente negli individui giovanili si possono ancora distinguere le coorti derivati dagli eventi riproduttivi annuali, mentre negli individui subadulti e adulti tali coorti non appaiono più distinguibili in quanto, nel corso di un periodo di vita più lungo, le differenze di accrescimento tra un individuo e l’altro risultano ormai sovrapposte.

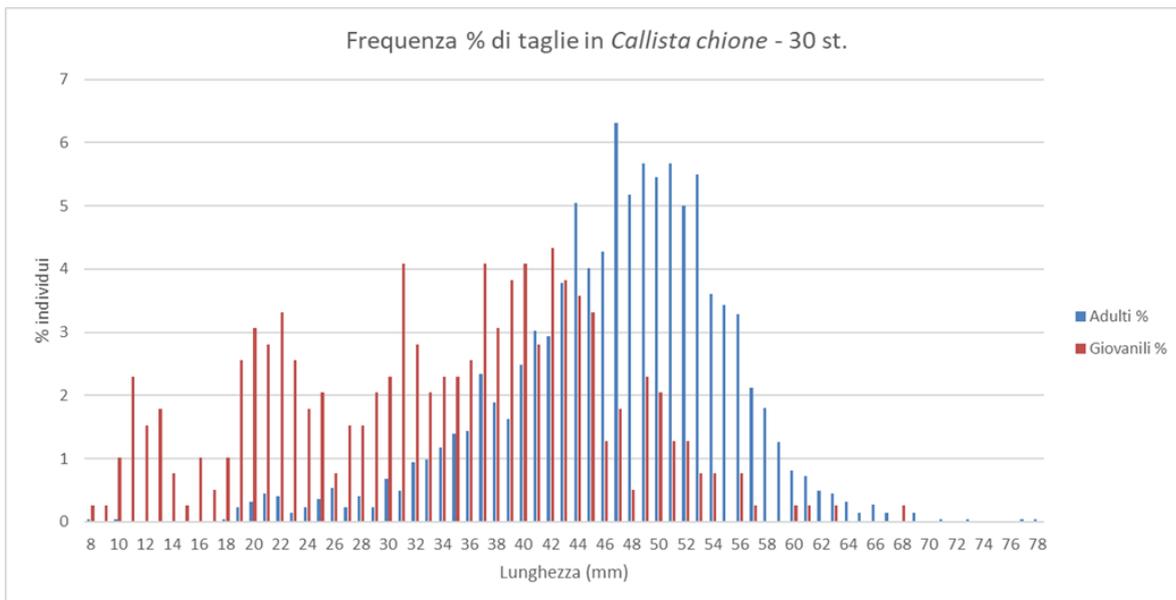


Figura 3.4.8. Distribuzione di taglia delle percentuali di individui di *Callista chione* raccolti nelle 30 stazioni distinte tra quelli campionati con draga idraulica professionale (“Adulti”) e quelli campionati con sacco campionario (“Giovani”).

Prendendo in considerazione le distribuzioni di taglia delle 4 Stazioni Faro (Fig. 3.4.9 e 3.4.10) si è osservata, nelle Stazioni Faro A e D, una maggiore presenza di individui di taglia compresa tra 48 ai 60 mm. Tali stazioni si collocano al di fuori dell’area principale di pesca e sono rispettivamente situate in zona più costiera (Faro A) e più al largo (Faro D). La presenza di individui meno numerosi ma di maggiori dimensioni in queste stazioni potrebbe essere spiegata principalmente in due modi:

- La minor densità degli individui potrebbe aver consentito tassi di crescita superiori, con una conseguente maggior presenza di individui di maggiori dimensioni;
- Lo sforzo di pesca inferiore su tali aree potrebbe aver ridotto lo stress e consentito il raggiungimento di taglie maggiori oltre che aver altresì determinato un minor prelievo degli organismi di maggiori dimensioni.

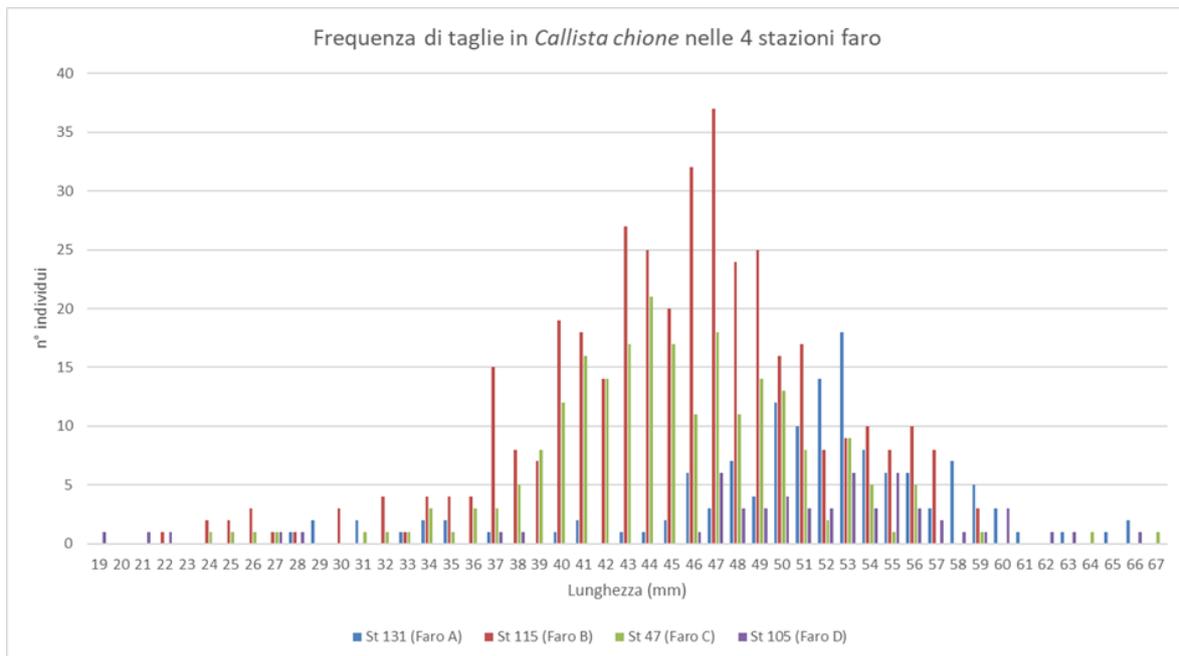


Figura 3.4.9. Distribuzione di taglia del numero di individui di *Callista chione* raccolti nelle 4 Stazioni Faro campionate con draga idraulica professionale (“Adulti”).

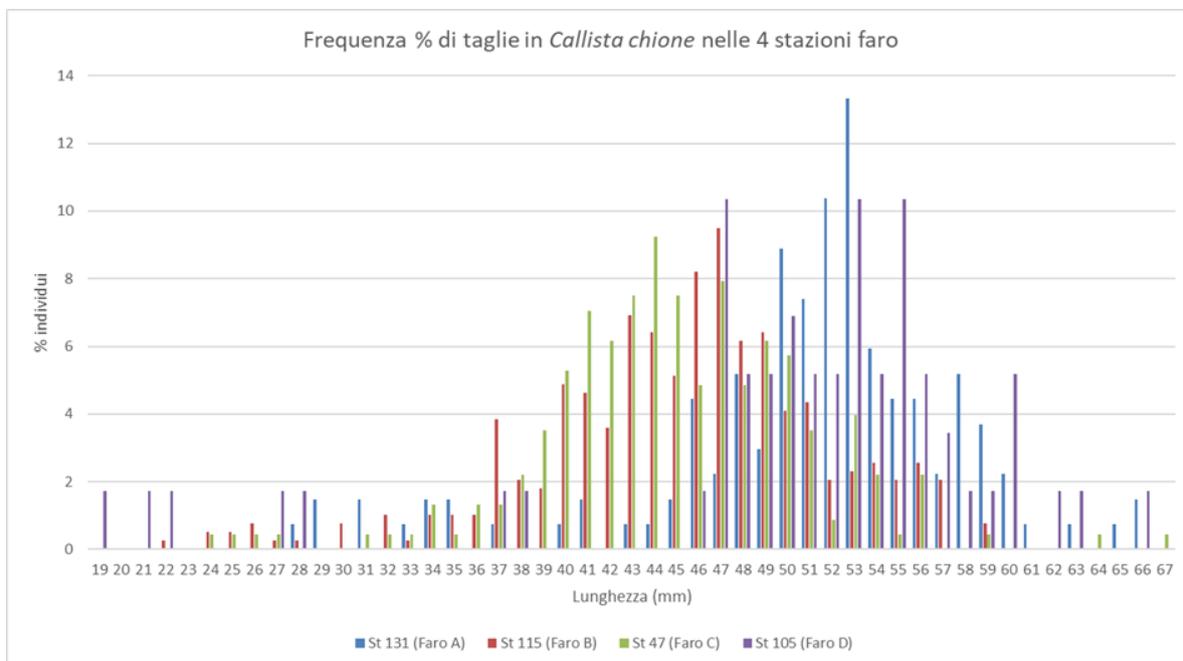


Figura 3.4.10. Distribuzione di taglia delle percentuali di individui di *Callista chione* raccolti nelle 4 Stazioni Faro campionate con draga idraulica professionale (“Adulti”).

La stima dell'età degli individui campionati nelle Stazioni Faro è risultata compresa tra 2 e 13 anni. Questa specie di bivalve è da considerarsi pertanto piuttosto longeva. Del resto, studiando i fasolari nelle acque di Plymouth, [Forster \(1981\)](#) aveva stimato in oltre 40 anni l'età degli esemplari di 9 cm di lunghezza.

Per meglio evidenziare le possibili differenze nell'accrescimento dei fasolari nelle 4 Stazioni Faro, le relative curve di Von Bertalanffy sono state sovrapposte in un unico grafico (Fig. 3.4.11). Dall'osservazione del grafico relativo agli accrescimenti stimati (Fig. 3.4.11) è possibile riconoscere alcune differenze tra i diversi siti considerati.

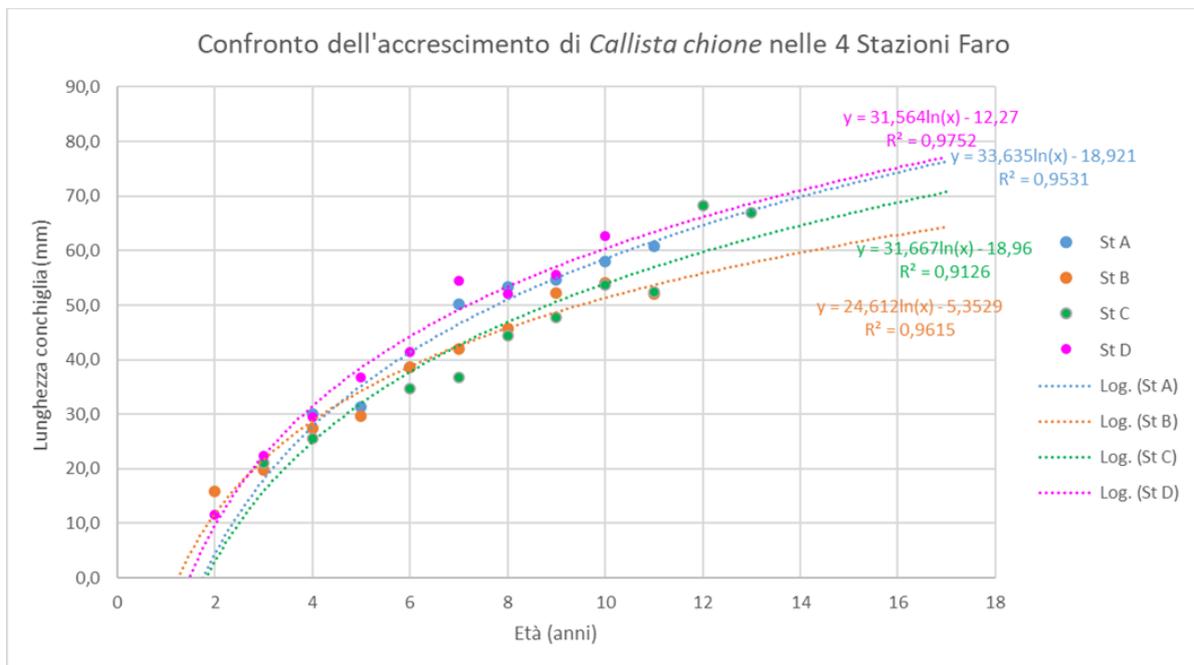


Figura 3.4.11. Curve di Von Bertalanffy che mostrano l'accrescimento stimato per *Callista chione* nelle 4 Stazioni Faro.

Una volta controllata la normalità della distribuzione dei dati di accrescimento mediante il test di Shapiro, si è deciso di utilizzare il test di Wilcoxon per determinare la significatività tra gli accrescimenti osservati nelle differenze tra le Stazioni Faro. Questo test costituisce un'alternativa al t-test per il confronto tra le medie ed è particolarmente adatto in caso di distribuzioni non normali. Dal test di Wilcoxon è stato possibile concludere che le differenze di accrescimento tra le diverse Stazioni Faro, confrontate a coppie, sono risultate statisticamente significative.

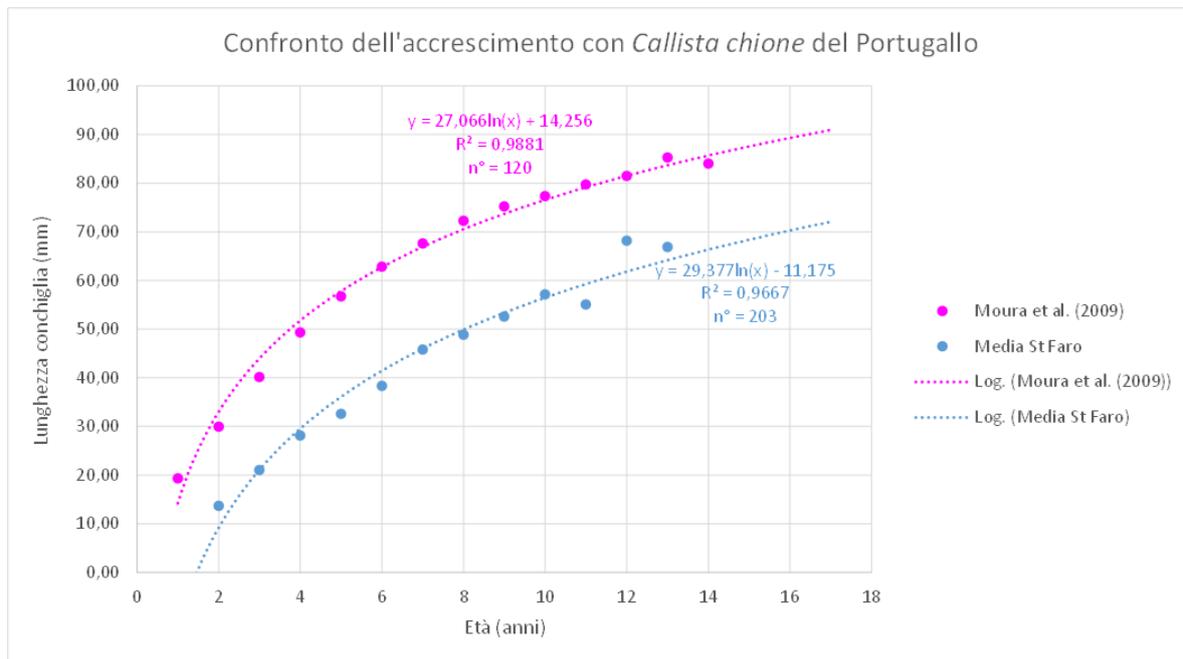


Figura 3.4.12. Curve di Von Bertalanffy che mostrano l'accrescimento medio di *Callista chione* misurato nelle 4 Stazioni Faro comparato con quello risultante da Moura et al. (2009) per L'Atlantico orientale.

In Fig. 3.4.12, sono state messe graficamente a confronto la curva di crescita descritta da Moura et al. (2009) per *Callista chione* campionata lungo le coste del Portogallo con quella risultante dal presente studio e costruita considerando le medie delle lunghezze per ogni classe d'età. Dal confronto emerge che nelle acque dell'Atlantico orientale la stessa specie mostra un accrescimento notevolmente maggiore, mentre la longevità risulta comparabile.

3.5 Indice di condizione dei fasolari

Materiali e Metodi

Per poter descrivere la variabilità dell'indice di condizione nei fasolari, sono stati condotti 10 campionamenti con cadenza pressoché mensile nell'arco di un intero anno su ciascuna delle quattro Stazioni Faro. Da ogni campione di *Callista chione* raccolto sono stati selezionati dai 30 ai 40 individui di taglia commerciale (intorno ai 5 cm di lunghezza), su cui sono stati rilevati: lunghezza delle valve, peso umido totale e peso umido della polpa. Le parti molli e le rispettive valve di ogni individuo sono state poi separate e posizionate singolarmente su appositi supporti di alluminio prepesati (per avere il riferimento della tara) (Fig. 3.5.1). I singoli preparati sono stati successivamente posti, in stufa a 104 °C per il calcolo del peso secco, le parti molli per 48 ore mentre le valve per 24 ore, al fine di eliminare completamente il contenuto in acqua. Trascorso tale periodo, i campioni sono stati mantenuti in essiccatore per almeno 30 minuti, affinché raggiungessero la temperatura ambiente senza assorbire umidità ambientale, e successivamente pesati. Tutti i pesi, sia umidi (pre essiccazione) sia secchi, sono stati quindi determinati con bilancia analitica con precisione 0.0001 g.



Figura 3.5.1. Preparazione dei campioni di *Callista chione* per la determinazione del peso secco, con le parti molli separate dalle valve e poste su “navette” di alluminio pre-pesate; visibili sullo sfondo gli essiccatori che ospiteranno i campioni dopo l'estrazione dalla stufa.

L'indice di condizione (IC) è stato quindi calcolato come rapporto tra il peso secco della polpa e il peso secco delle valve, come indicato da [Walne & Mann \(1975\)](#) e [Dang et al. \(2010\)](#).

I dati sono stati successivamente elaborati con il software PRIMER 7 per visualizzare i valori misurati nelle 4 Stazioni Faro nei diversi mesi di prelievo.

Risultati e Discussione

Gli indici di condizione misurati hanno presentato una variabilità piuttosto contenuta (Tab. 3.5.1), con valori compresi generalmente tra 0.05 e 0.09 in tutte le stazioni e su tutto il periodo interessato dai campionamenti. Gli andamenti hanno mostrato un certo sincronismo tra le stazioni; infatti i valori massimi degli indici di condizione sono stati osservati tra l'inverno e la primavera (Figg. 3.5.2-3.5.5). In particolare:

- Nella Stazione Faro A in febbraio, marzo e maggio
- Nella Stazione Faro B in dicembre, gennaio e aprile
- Nella Stazione Faro C in dicembre, gennaio, febbraio e aprile
- Nella Stazione Faro D in febbraio, marzo e aprile

Tabella 3.5.1. Tabella con indicate le lunghezze medie (in mm) degli esemplari di *Callista chione* e i relativi indici di condizione medi ottenuti nelle Stazioni Faro nei diversi periodi di prelievo.

Data	Indici di Condizione di <i>Callista chione</i> nelle Stazioni Faro											
	St. Faro A			St. Faro B			St. Faro C			St. Faro D		
	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.
08/07/2021	40	50,18 ± 3,43	0,061 ± 0,011	39	48,31 ± 2,72	0,057 ± 0,009	38	45,96 ± 3,73	0,062 ± 0,008	40	53,27 ± 4,03	0,058 ± 0,008
30/08/2021	30	53,63 ± 4,75	0,063 ± 0,010	30	55,59 ± 4,19	0,059 ± 0,010	30	50,07 ± 3,38	0,054 ± 0,008	30	52,65 ± 5,92	0,065 ± 0,008
29/09-12/10/2021	30	54,24 ± 3,50	0,061 ± 0,012	30	53,65 ± 3,38	0,057 ± 0,008	30	52,15 ± 3,44	0,053 ± 0,009	30	52,28 ± 4,16	0,058 ± 0,008
13/12/2021	30	54,64 ± 3,27	0,069 ± 0,013	30	52,77 ± 2,02	0,079 ± 0,012	30	49,34 ± 3,63	0,069 ± 0,010	30	48,31 ± 4,49	0,064 ± 0,008
27/01/2022	30	53,87 ± 5,34	0,069 ± 0,010	30	51,19 ± 4,95	0,082 ± 0,020	30	51,64 ± 3,71	0,072 ± 0,013	30	50,02 ± 7,15	0,063 ± 0,008
28/02/2022	30	50,78 ± 1,87	0,075 ± 0,013	30	51,36 ± 2,73	0,074 ± 0,014	30	52,12 ± 3,43	0,077 ± 0,013	30	50,80 ± 4,60	0,078 ± 0,011
04/04/2022	30	55,63 ± 4,01	0,074 ± 0,013	30	49,75 ± 3,19	0,070 ± 0,013	30	48,12 ± 4,67	0,070 ± 0,011	30	53,62 ± 6,05	0,079 ± 0,010
29/04/2022	30	52,79 ± 1,40	0,064 ± 0,011	30	54,04 ± 1,84	0,081 ± 0,015	30	53,02 ± 3,85	0,072 ± 0,013	30	53,72 ± 3,86	0,071 ± 0,012
07/06/2022	30	50,37 ± 5,37	0,071 ± 0,013	30	50,20 ± 3,08	0,060 ± 0,009	30	54,14 ± 3,24	0,053 ± 0,011	30	56,44 ± 2,99	0,059 ± 0,009
30/06/2022	30	56,32 ± 4,45	0,060 ± 0,010	30	58,41 ± 2,93	0,059 ± 0,012	30	52,37 ± 2,37	0,058 ± 0,009	30	51,86 ± 2,24	0,058 ± 0,009

Valli et al. (1994) riportano che in *Callista chione* le variazioni di peso delle parti molli sono correlate significativamente con l'indice gonadico, ossia sono conseguenti all'emissione dei gameti ed alle altre fasi del ciclo riproduttivo. Le brusche cadute dei valori dell'indice di condizione sarebbero pertanto causate dal rilascio dei gameti, in corrispondenza dei picchi riproduttivi. Nel presente studio l'abbassarsi dei valori non risulta particolarmente evidente, ma può comunque essere individuato nei mesi di aprile e giugno per la Stazione A, leggermente anticipato a marzo e maggio nella stazione B, per poi riconfermarsi ancora nel mese di maggio nelle stazioni C e D.

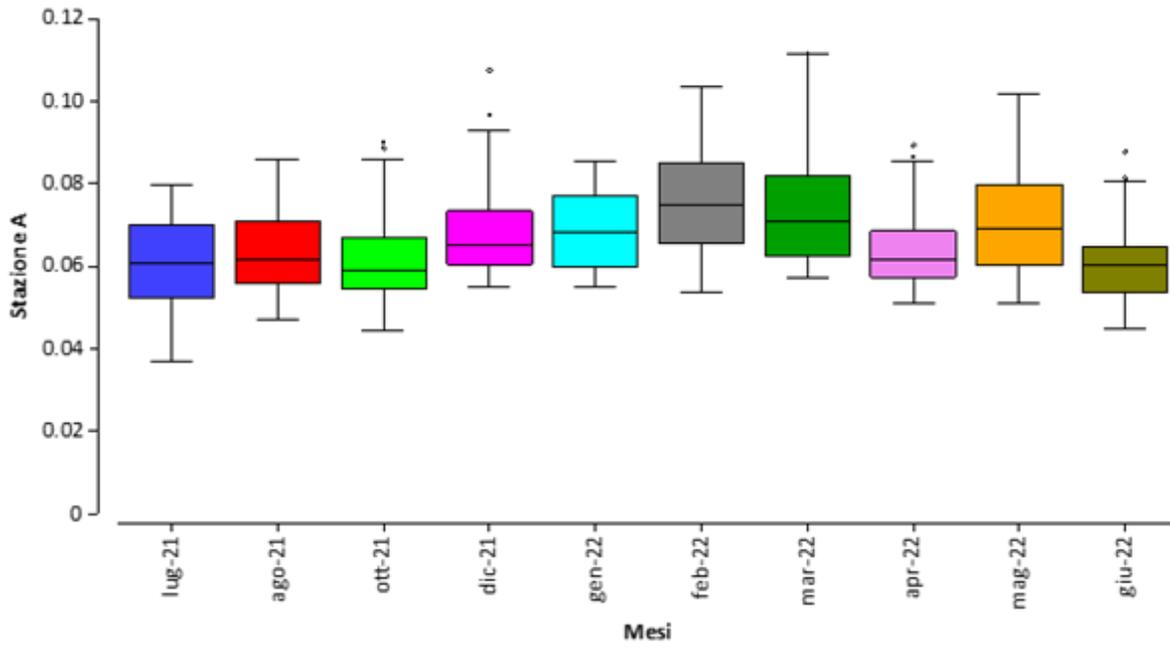


Figura 3.5.2. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Callista chione* misurato nei diversi mesi nella Stazione Faro A.

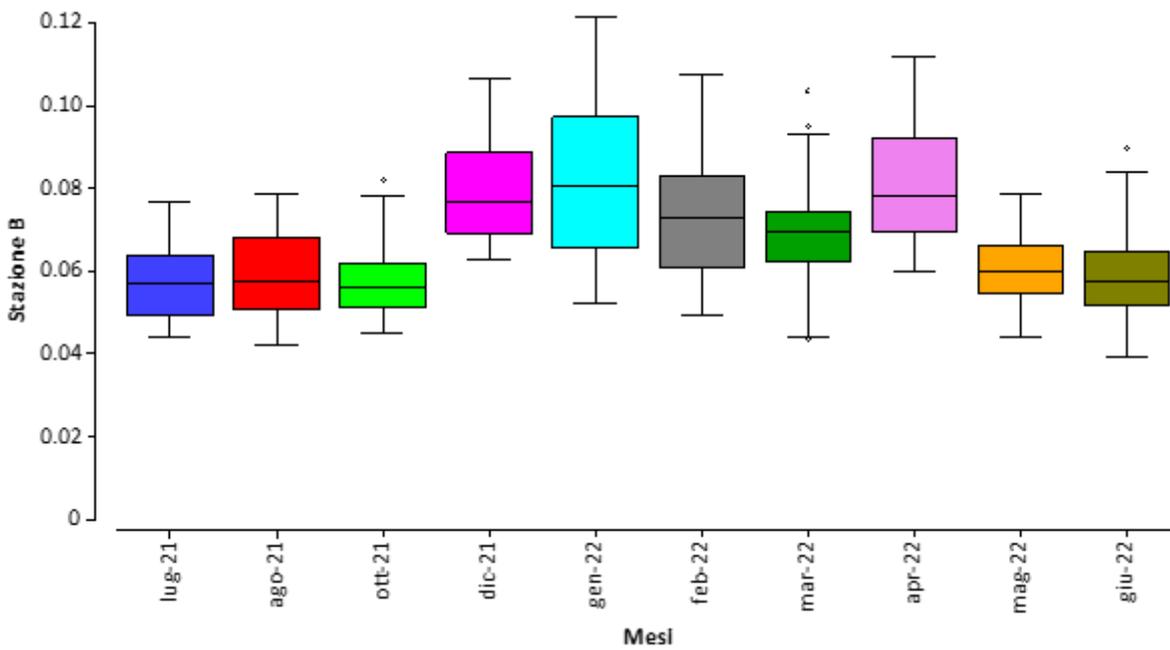
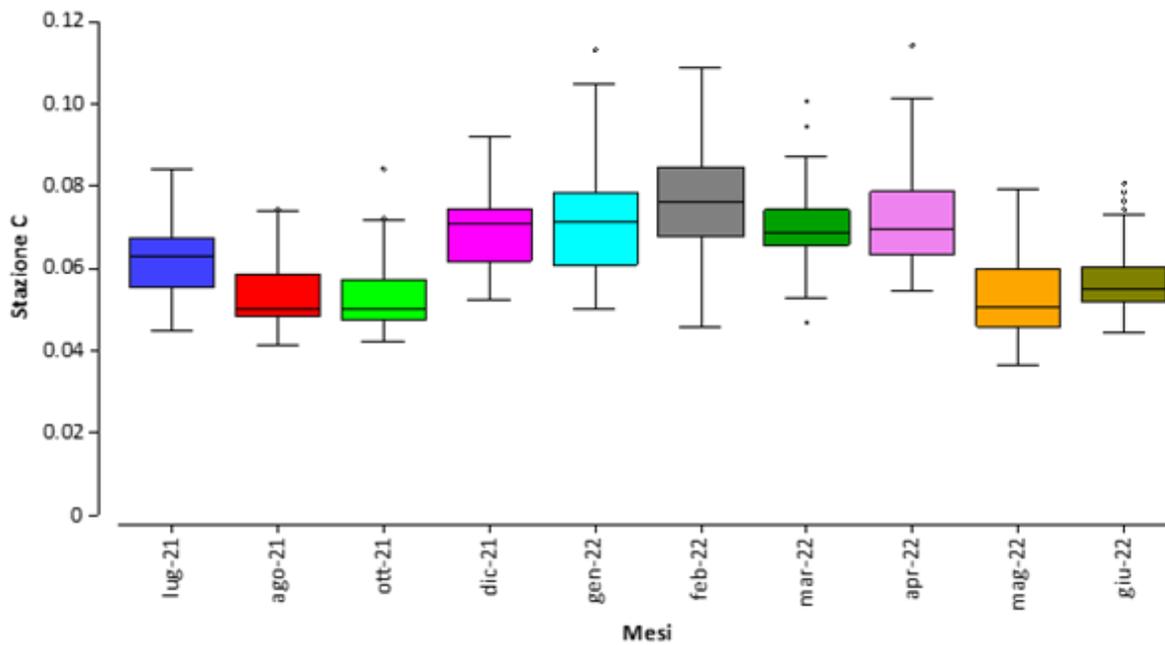


Figura 3.5.3. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Callista chione* misurato nei diversi mesi nella Stazione Faro B.



Figura

Figura 3.5.4. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Callista chione* misurato nei diversi mesi nella Stazione Faro C.

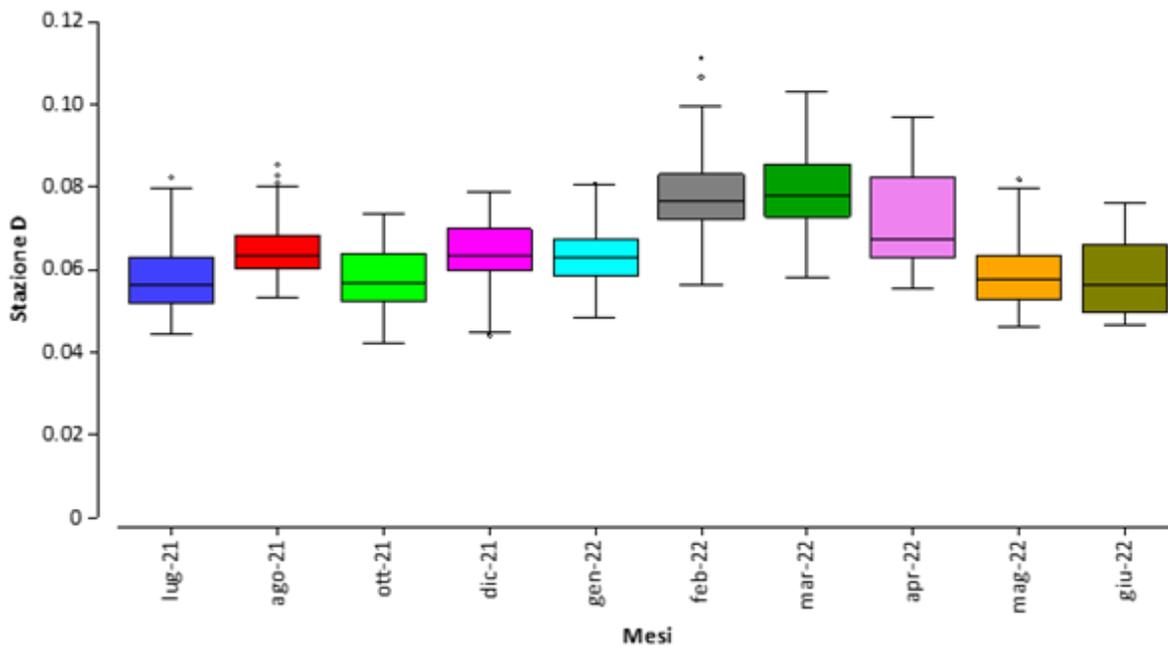


Figura 3.5.5. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Callista chione* misurato nei diversi mesi nella Stazione Faro D.

Secondo Valli et al. (1983-84) l'emissione dei gameti in *Callista chione* nel golfo di Trieste avviene da febbraio a settembre, con la massima attività riproduttiva nel periodo maggio-agosto. Il periodo di emissione dei gameti risulta pertanto molto esteso, comprendendo i mesi da marzo a settembre, ed è contrassegnato da diverse emissioni che implicano una ripresa della gametogenesi tra un'emissione e l'altra. Negli esemplari adulti la gametogenesi sarebbe rapida, richiedendo poche settimane o addirittura giorni per il suo completamento. A



conferma di ciò gli stessi autori non osservano una fase di riposo sessuale per il fasolaro, collegando questo comportamento con la tipologia di habitat, rappresentato dal circalitorale, situato piuttosto al largo, che costituisce un ambiente meno severo e più stabile rispetto alla fascia costiera.

Risultati simili, con oscillazioni stagionali dell'indice di condizione con numerosi piccoli picchi, vengono osservati da [Kuzmanić et al. \(2008\)](#) nell'Adriatico orientale e da [Metaxatos \(2004\)](#) nel Mar Egeo. [Moura et al. \(2008\)](#) osservano per fasolari campionati nell'Atlantico portoghese 3 picchi riproduttivi, governati fortemente dalle temperature dell'acqua, confermano l'assenza di una stasi riproduttiva e sostengono che l'indice di condizione si evolve in accordo con il ciclo riproduttivo, con i valori massimi osservati immediatamente prima del periodo di emissione dei gameti.

3.6 Descrizione dello stato delle risorse e documentazione videografica

Materiali e Metodi

Così come previsto dalla proposta progettuale, alle attività di campionamento svolte con il supporto degli operatori (cfr WP 3.1 e 3.2) e finalizzate a valutare la distribuzione della risorsa “fasolaro” e la caratterizzazione dei popolamenti di benthos associati, sono state affiancate attività di censimento visivo con documentazione foto e video effettuate stagionalmente.

Il metodo del visual census risulta ormai consolidato nello studio della fauna marina e rappresenta un importante strumento di monitoraggio ambientale. Costituisce una tecnica di campionamento non distruttiva e si basa unicamente sul censimento visivo condotto da operatori subacquei specializzati e non prevede la raccolta di alcun organismo.

Rispetto alle metodologie di indagine tradizionali, il visual census presenta numerosi vantaggi quali la possibilità di eseguire più repliche, di mettere in relazione le specie osservate con l’habitat in cui si trovano, di valutare la presenza di specie criptiche e di contenere i costi del monitoraggio.

A livello globale, una delle tecniche di visual census ad oggi più diffuse è quella dello strip transect, o transetto lineare, in cui il subacqueo nuota lungo un transetto predefinito annotando i pesci che osserva all’interno di una corsia a larghezza determinata (Figura 3.6.1). Possono essere censite corsie a diversa distanza dal transetto e, in alcuni casi, i pesci/organismi vengono contati su due corsie, una per ogni lato del transetto.

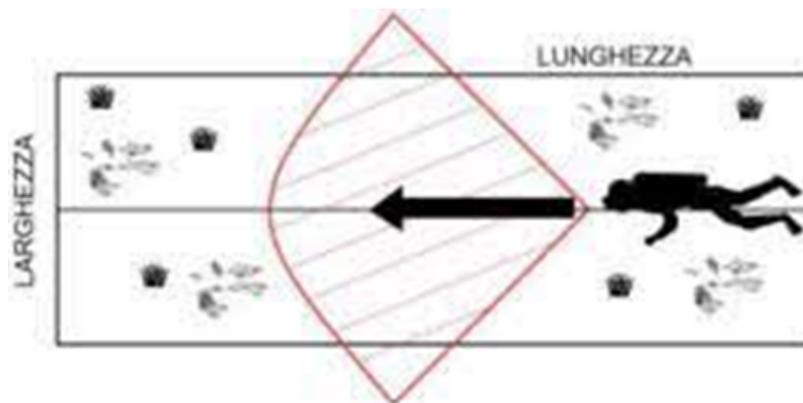


Figura 3.6.1. Metodo del transetto lineare o strip transect subacqueo effettuato nell’ambito del monitoraggio secondo visual census.

La metodologia ormai consolidata per il transetto di fauna ittica prevede dimensioni prefissate pari a 25 m di lunghezza per 5 di larghezza; nell’ambito di questo lavoro in considerazione della necessità di valutare non solo la fauna ittica ma principalmente organismi macrobentonici si è optato per un transetto di 50 m e per la registrazione anche video dei transetti effettuati. La registrazione video consente infatti di valutare ex-post la

presenza di organismi senza dover effettuare il censimento in due “passate”: solitamente infatti per i soli censimenti di fauna ittica il censimento viene effettuato differenziando gli organismi target che vengono conteggiati durante “andata” (specie nectoniche) e “ritorno” (specie bentoniche e criptobentoniche). Purtroppo l’assenza di dati storici di questo tipo nelle aree in esame e l’assenza di un numero adeguato di repliche (avrebbe richiesto uno sforzo di campionamento insostenibile con le risorse di questo progetto) rendono poco robusta la valutazione statistica di dati quantitativi, laddove i dati qualitativi possono invece essere utilizzati a scopo descrittivo dello stato del fondale nelle aree in esame. Questo tipo di campionamento non invasivo fornisce una visione della parte superficiale delle zone di prelievo utile a fornire dati di contesto per la valutazione dello stato complessivo dell’ambiente. In riferimento agli organismi target del campionamento, sono stati valutati le componenti di fauna ittica e la macro-fauna sessile e vagile della zona. Particolare attenzione è stata posta alla valutazione di possibili segnali di morie di fondo con riferimento alla specie *Callista chione*.

I campionamenti visivi e la raccolta del materiale video sono stati effettuati nel 2022/2023 lungo la direttrice contenente le stazioni cosiddette “faro” (figura 3.6.2); questa scelta è stata effettuata anche al fine di ottimizzare la raccolta dei dati con le azioni di verifica e controllo degli impianti di rideposizione (WP 9). Per ogni punto di campionamento sono stati effettuati 4 transetti video radiali (nelle 4 direzioni) di 50 m in quattro stagioni comprese tra l’estate del 2022 e la primavera 2023.



Figura 3.6.2. Mappa delle 4 stazioni “Faro” attorno alle quali sono stati eseguiti i transetti.

Zona camp.	Long. Centroide	Lat. Centroide	Prof.
St. Faro A	13° 13,3'	45° 37,0'	15.3
St. Faro B	13° 14,1'	45° 36,4'	13.2
St. Faro C	13° 16,4'	45° 34,8'	16
St. Faro D	13° 19,4'	45° 33,4'	19.4

Tab. 3.6. 1. Centroidi delle zone di campionamento.

Per la registrazione foto e video sono state utilizzate macchine Canon PowerShot G7XMARKII con scafandro ISOTTA e NAUTICAM. Per l'illuminazione flash Sea&Sea YS-D2 e SUPE V3K V2.

Risultati e Discussione

I dati raccolti nell'ambito delle attività di censimento visivo evidenziano una sostanziale omogeneità per quanto attiene la componente di fauna ittica e poche differenze sulla componente macrobentonica. Sono stati complessivamente individuati 42 taxa. Di seguito la checklist delle specie avvistate:

PHYLUM	SPECIE
Porifera	<i>Dysidea avara</i> (Schmidt, 1862)
Porifera	<i>Tedania (Tedania) anhelans</i> (Vio in Olivi, 1792)
Porifera	<i>Mycale (Aegogropila) contarenii</i> (Lieberkühn, 1859)
Porifera	<i>Suberites domuncula</i> (Olivi, 1792)
Porifera	<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766)
Porifera	<i>Tethya citrina</i> Sarà and Melone, 1965
Porifera	<i>Aplysina aerophoba</i> (Nardo, 1833)
Cnidaria	<i>Nausithoe punctata</i> Kölliker, 1853
Cnidaria	<i>Cereus pedunculatus</i> (Pennant, 1777)
Cnidaria	<i>Aiptasia mutabilis</i> (Gravenhorst, 1831)
Cnidaria	<i>Condylactis aurantiaca</i> (Delle Chiaje, 1825)
Cnidaria	<i>Phymanthus pulcher</i> (Andrès, 1883)
Cnidaria	<i>Calliactis parasitica</i> (Couch, 1842)
Cnidaria	<i>Cerianthus membranaceus</i> (Gmelin, 1791)
Mollusca	<i>Philinopsis depicta</i> (Renier, 1807)
Mollusca	<i>Hexaplex trunculus</i> (Linnaeus, 1758)
Mollusca	<i>Bolinus brandaris</i> (Linnaeus, 1758)
Mollusca	<i>Doris pseudoargus</i> Rapp, 1827
Mollusca	<i>Armina tigrina</i> Rafinesque, 1814
Mollusca	<i>Calliostoma zizyphinum</i> (Linnaeus, 1758)
Mollusca	<i>Glycymeris glycymeris</i> (Linnaeus, 1758)
Mollusca	<i>Aporrhais pespelecani</i> (Linnaeus, 1758)
Mollusca	<i>Mimachlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)

Mollusca	<i>Sepia officinalis</i> Linnaeus, 1758
Mollusca	<i>Pleurobranchaea meckeli</i> (Blainville, 1825)
Annelida	<i>Sabella spallanzanii</i> (Gmelin, 1791)
Arthropoda	<i>Paguristes eremita</i> (Linnaeus, 1767)
Arthropoda	<i>Pagurus prideaux</i> Leach, 1815 [in Leach, 1815–1875]
Echinodermata	<i>Ocnus planci</i> (Brandt, 1835)
Echinodermata	<i>Ophioderma longicaudum</i> (Bruzelius, 1805)
Echinodermata	<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard in O.F. Müller, 1789)
Chordata	<i>Phallusia fumigata</i> (Grube, 1864)
Chordata	<i>Phallusia mammillata</i> (Cuvier, 1815)
Chordata	<i>Asciadiella aspersa</i> (Müller, 1776)
Chordata	<i>Trisopterus minutus</i>
Chordata	<i>Serranus hepatus</i>
Chordata	<i>Parablennius tentacularis</i>
Chordata	<i>Gobius niger</i>
Chordata	<i>Zeugopterus regius</i>
Chordata	<i>Arnoglossus laterna</i>
Chordata	<i>Hippocampus guttulatus</i>
Chordata	<i>Symphodus cinereus</i>

Tab. 3.6.2. *Taxa rinvenuti.*

A livello numerico i Phylum più rappresentati risultano Chordata e Mollusca seguiti dai Porifera.

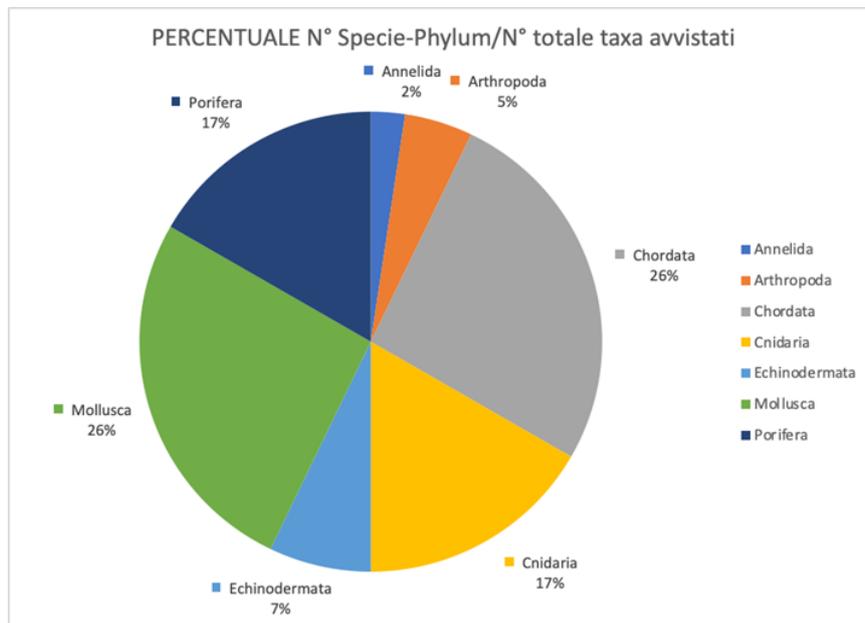


Figura 3.6.3 Rappresentatività dei Phylum avvistate sulle 42 totali.

Nell'ambito dei monitoraggi zona Faro B e C sono stati avvistati i resti di vecchie praterie delle quali rimangono sotto traccia o appena in superficie resti degli apparati radicali come visibile nella Fig. 3.6.4.



Figura 3.6.4 Accumulo di resti di fanerogame.

Il fatto non stupisce considerando che i banchi di fasolari sono situati in aree che si estendono tra le 5 e le 8 miglia dalla costa, tra Grado e Lignano, su un fondale compreso generalmente tra 12 e 18 m, caratterizzato da sabbie relitte.

Per quanto riguarda la costanza dei 42 taxa 27 sono risultati costanti (presenti in almeno 3 delle stazioni) 7 frequenti (presenti in almeno 2 delle stazioni) e 8 segnalati solo in una delle stazioni.

Tra i taxa costanti il Phylum dominante è risultato Mollusca (7) seguito da Cnidaria(6) e Porifera (5) con il resto dei Phylum comunque rappresentati. Tra i frequenti Porifera (4) e Mollusca (3) sono i Phylum più rappresentati.

PHYLUM	SPECIE	Frequenza
Porifera	<i>Dysidea avara</i> (Schmidt, 1862)	Frequente
Porifera	<i>Tedania (Tedania) anhelans</i> (Vio in Olivi, 1792)	Costante
Porifera	<i>Mycale (Aegogropila) contarenii</i> (Lieberkühn, 1859)	Costante
Porifera	<i>Suberites domuncula</i> (Olivi, 1792)	Costante
Porifera	<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766)	Frequente
Porifera	<i>Tethya citrina</i> Sarà and Melone, 1965	Costante
Porifera	<i>Aplysina aerophoba</i> (Nardo, 1833)	Costante
Cnidaria	<i>Nausithoe punctata</i> Kölliker, 1853	Costante
Cnidaria	<i>Cereus pedunculatus</i> (Pennant, 1777)	Costante
Cnidaria	<i>Aiptasia mutabilis</i> (Gravenhorst, 1831)	Costante
Cnidaria	<i>Condylactis aurantiaca</i> (Delle Chiaje, 1825)	Costante
Cnidaria	<i>Phymanthus pulcher</i> (Andrès, 1883)	Frequente
Cnidaria	<i>Calliactis parasitica</i> (Couch, 1842)	Costante
Cnidaria	<i>Cerianthus membranaceus</i> (Gmelin, 1791)	Costante
Mollusca	<i>Philinopsis depicta</i> (Renier, 1807)	Sporadico
Mollusca	<i>Hexaplex trunculus</i> (Linnaeus, 1758)	Costante
Mollusca	<i>Bolinus brandaris</i> (Linnaeus, 1758)	Costante
Mollusca	<i>Doris pseudoargus</i> Rapp, 1827	Frequente
Mollusca	<i>Armina tigrina</i> Rafinesque, 1814	Sporadico
Mollusca	<i>Calliostoma zizyphinum</i> (Linnaeus, 1758)	Costante
Mollusca	<i>Glycymeris glycymeris</i> (Linnaeus, 1758)	Costante
Mollusca	<i>Aporrhais pespelecani</i> (Linnaeus, 1758)	Costante
Mollusca	<i>Mimachlamys varia</i> (Linnaeus, 1758)	Costante
Mollusca	<i>Sepia officinalis</i> Linnaeus, 1758	Costante
Mollusca	<i>Pleurobranchaea meckeli</i> (Blainville, 1825)	Sporadico
Annelida	<i>Sabella spallanzanii</i> (Gmelin, 1791)	Costante
Arthropoda	<i>Paguristes eremita</i> (Linnaeus, 1767)	Costante
Arthropoda	<i>Pagurus prideaux</i> Leach, 1815 [in Leach, 1815–1875]	Costante

Echinodermata	<i>Ocnus planci</i> (Brandt, 1835)	Costante
Echinodermata	<i>Ophioderma longicaudum</i> (Bruzellius, 1805)	Frequente
Echinodermata	<i>Ophiothrix fragilis</i> (Abildgaard in O.F. Müller, 1789)	Costante
Chordata	<i>Phallusia fumigata</i> (Grube, 1864)	Sporadico
Chordata	<i>Phallusia mammillata</i> (Cuvier, 1815)	Costante
Chordata	<i>Asciidiella aspersa</i> (Müller, 1776)	Sporadico
Chordata	<i>Trisopterus minutus</i>	Sporadico
Chordata	<i>Serranus hepatus</i>	Costante
Chordata	<i>Parablennius tentacularis</i>	Costante
Chordata	<i>Gobius niger</i>	Costante
Chordata	<i>Zeugopterus regius</i>	Sporadico
Chordata	<i>Arnoglossus laterna</i>	Frequente
Chordata	<i>Hippocampus guttulatus</i>	Sporadico
Chordata	<i>Symphodus cinereus</i>	Frequente

Tabella 3.6.3. Frequenza dei Taxa.

I dati analizzati per stagione non presentano differenze significative anche in considerazione della tipologia di organismi rinvenuti. L'area in esame è caratterizzata da una sostanziale omogeneità del fondale composto da sabbia e fanghi con alcune discontinuità formate perlopiù da organismi sessili, aggregati tra di loro; in loro vicinanza o all'interno di questi ammassi organogeni trovano rifugio e cibo specie di piccole dimensioni, moderatamente vagili. La struttura di queste associazioni è piuttosto stabile e non subisce fluttuazioni stagionali macroscopiche evidenti. Anche la fauna ittica che è composta in massima parte da specie di piccole dimensioni è legata per motivi alimentari e riproduttivi al fondale. Sono stati infatti avvistati quasi esclusivamente pesci bentonici con l'unica eccezione di qualche piccolo banco di *Trisopterus minutus*. Notevole la presenza in stagione estiva e autunnale di giovanili di cavalluccio, *Hippocampus guttulatus*. Sono stati avvistati complessivamente infatti 3 esemplari; si tratta di una specie che crea legami stabili con il luogo nel quale vive e solitamente monogama.

Tutte le stazioni presentavano resti di conchiglie con particolare riferimento a *Callista Chione*.

Parte del materiale foto e video raccolto, oltre che per le finalità di descrizione delle risorse presenti, è stato fornito per essere utilizzato ai fini di divulgazione.

Catalogo fotografico di alcuni rinvenimenti



Figura 3.6.5. *Guscio morto di Callista Chione.*

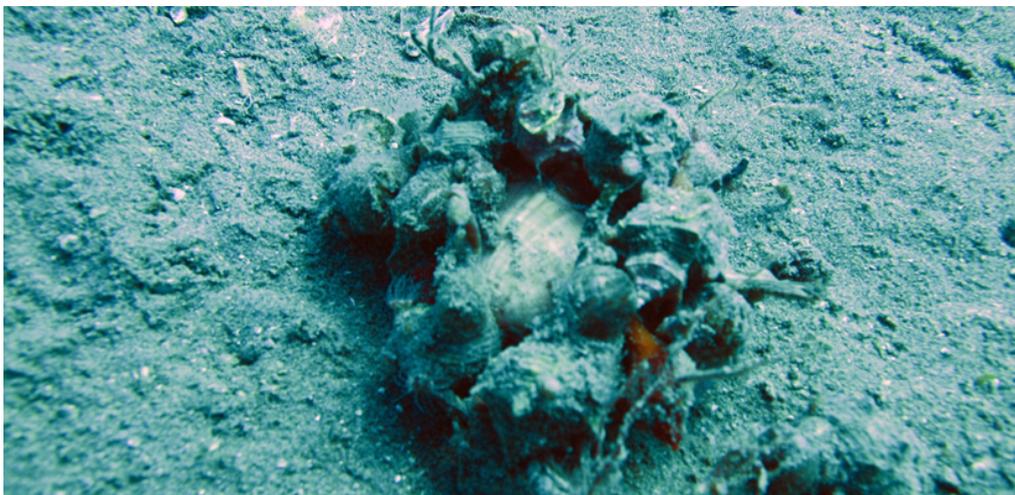


Figura 3.6.6. *Esemplari di fasolaro attaccati da Hexaplex trunculus rinvenuti nella stazione vicina a Faro B nei campionamenti estivi e invernali.*



Figura 3.6.7. Gobius niger specie costante nei campionamenti.



Figura 3.6.8. Philinopsis depicta.



Figura 3.6.9. *Pleurobranchaea meckeli*.



Figura 3.6.10. *Suberites domuncula* con *Ophiotrix* sp. e *Paguristes eremita*.



Figura 3.6.11. Situazione molto comune con Spugna del genere Mycale con sopra ofiure e lateralmente due esemplari di doridi in riproduzione.



Figura 3.6.12. Situazione molto comune con Oloturia, canestrelli, ofiure e cereidi.



Figura 3.6.13. Situazione molto comune con *Phallusia sp.* e ofiure.



Figura 3.6.13. Diversi cromatismi di *Cereus pedunculatus*.



Figura 3.6.14. Armina tigrina sopra tana di gobide nascosto anche da un cereide.

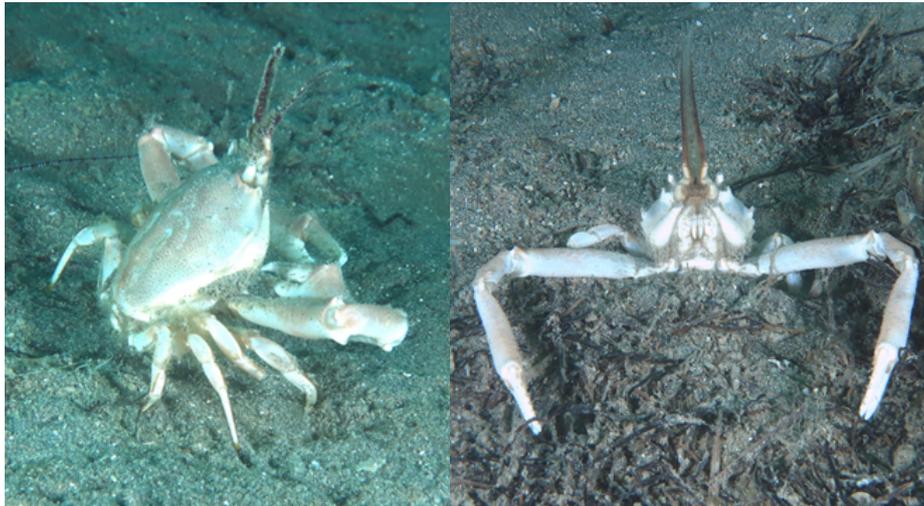


Figura 3.6.15. Corystes cassivelaunus.

WP 4. Mappatura e stato della risorsa vongola di laguna





4.1 Mappatura delle vongole di laguna su ampia scala

Materiali e Metodi

Tutte le attività di campionamento riguardanti la mappatura su ampia scala di *Ruditapes philippinarum* nella Laguna di Grado e Marano sono state effettuate in collaborazione con CO.GE.MO. (Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi nel compartimento marittimo di Monfalcone). I campionamenti si sono concentrati soprattutto nella parte della Laguna di Grado, dove la pesca di questo bivalve viene condotta meno attivamente. Pertanto è proprio in quest'area che è risultato interessante verificare la presenza di questa specie di interesse commerciale.

Tutti i campionamenti sono stati svolti dai pescatori coordinati dal personale scientifico. Le campagne di campionamento sono state effettuate nel mese di ottobre 2022 per la Laguna di Marano e nel mese di maggio 2023 per la Laguna di Grado.

L'ambiente di laguna presenta una notevole complessità morfologica dei fondali, nonché condizioni estremamente variegata del livello di marea e del regime delle correnti. La pesca all'interno delle acque lagunari è notoriamente difficoltosa e richiede molta esperienza e assiduità. In virtù di queste considerazioni, nonché per le restrizioni tecniche degli attrezzi da pesca nell'ambiente di laguna, i prelievi sono stati effettuati in gran parte con la tecnica della "pesca a mano", che prevede l'individuazione visiva dei sifoni dei bivalvi e la raccolta manuale dei singoli individui di bivalve. I campionamenti nella Laguna di Marano, ricadendo in un'area a concessione, sono stati invece raccolti tramite draga idraulica (o rasca) adattata alla pesca delle vongole di laguna, dotata di cesto di raccolta largo 1.4 m e trainata per circa 30 m di lunghezza. I campioni prelevati sono stati conferiti al centro di raccolta del CO.GE.MO. presso Marano Lagunare o al Mercato Ittico di Grado, dove sono stati immediatamente congelati a -20°C. Successivamente sono stati portati in laboratorio per il riconoscimento tassonomico (vedi anche cap. 4.3) e le analisi biometriche (vedi anche cap. 4.4).



Figura 4.1.1. Fotografia scattata nei pressi della stazione di campionamento R4 nella Laguna di Grado dove si nota una velma affiorante.



Figura 4.1.2. Fotografia scattata nei pressi della stazione di campionamento N3 nella Laguna di Grado dove si nota il fondale esposto a seguito della bassa marea.



Figura 4.1.3. Fotografia scattata nei pressi della stazione di campionamento L18 nella Laguna di Grado dove si nota gran parte del fondale ricoperto dalla fanerogama *Zoostera sp.*

Risultati e Discussione

Nel complesso sono state campionate 23 stazioni (Fig. 4.1.4), di cui 10 sono risultate prive di vongole filippine, più precisamente le stazioni L16, L17, L18, L19, L20, R1, R3, R4, S1 e S2, prevalentemente localizzate nella parte Est della Laguna di Grado. Tali stazioni sono quelle in cui il fondale risultava in gran parte coperto dalle fanerogame. In tutta l'area campionata sono stati trovati mediamente 12.85 ± 9.92 individui per sito, con un massimo di 34 individui e con un peso totale massimo di quasi 500 grammi nella stazione N3 (Fig. 4.1.5). La biomassa totale è strettamente in relazione al numero di individui e in media ha raggiunto i 174.68 ± 140.65 g, con valori superiori a 200 g in 5 stazioni (Fig. 4.1.6). La maggior parte delle vongole è stata ritrovata ad ovest della laguna di Grado-Marano, nei pressi di Aprilia Marittima, e nell'area centrale, tra l'isola di S. Andrea e l'Isola di S. Giuliano (Fig. 4.1.5). Al contrario, nella parte est della laguna, sono stati trovati meno di 10 individui per sito con un peso totale di massimo 84 grammi per sito.

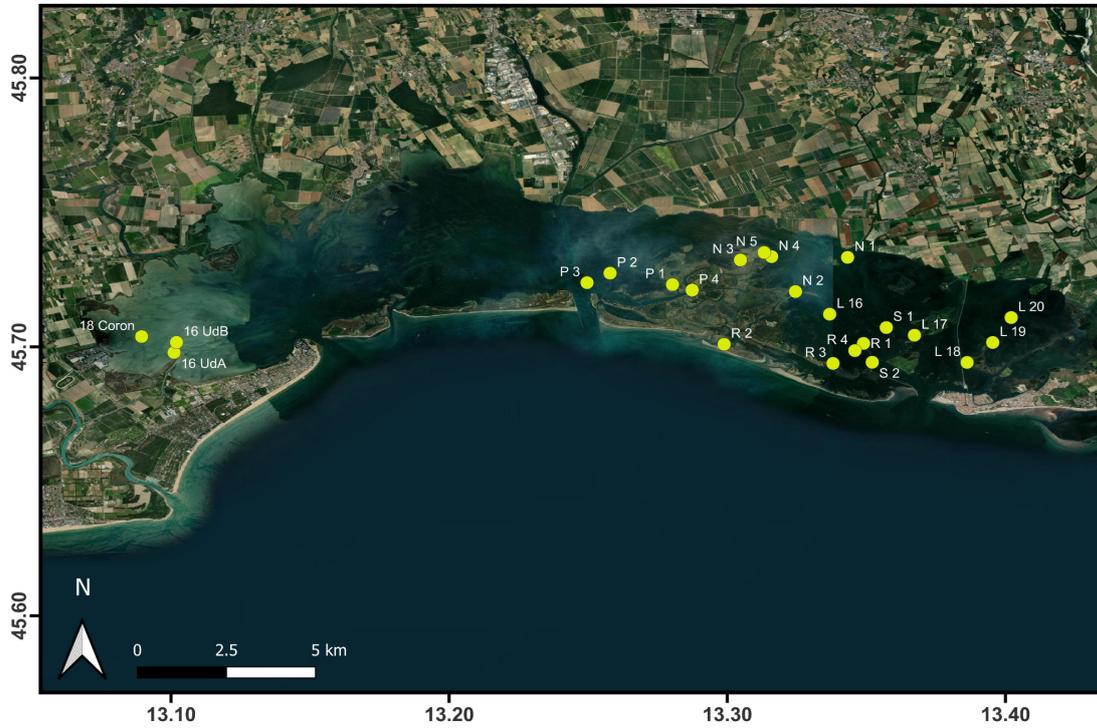


Figura 4.1.4. Stazioni di campionamento per la mappatura su ampia scala di *Ruditapes philippinarum* nella Laguna di Grado e Marano.



Figura 4.1.5. *Mappa della distribuzione dell'abbondanza numerica di Ruditapes philippinarum nella Laguna di Grado e Marano.*

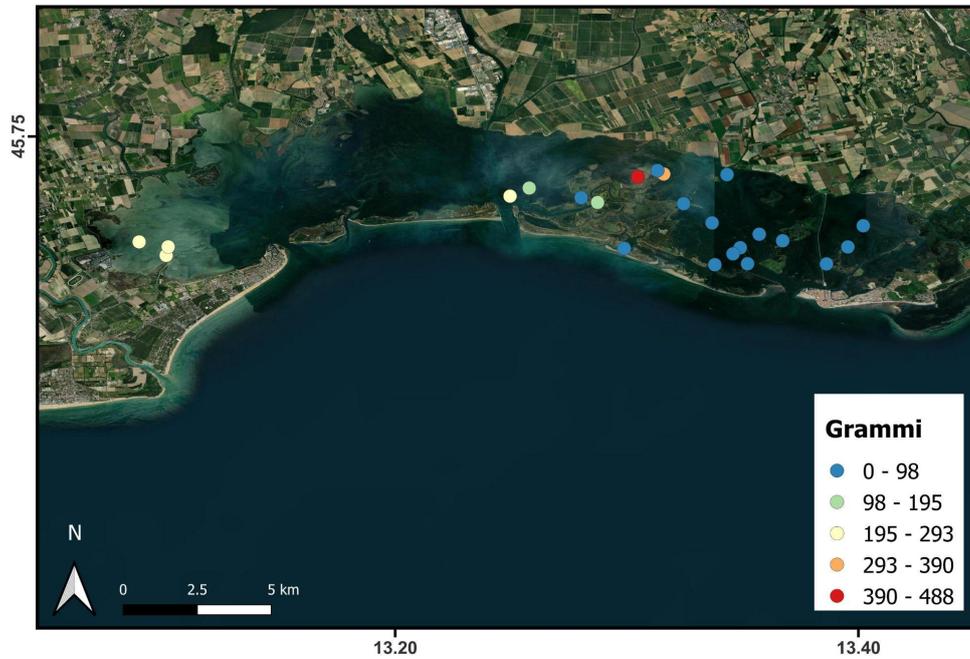


Figura 4.1.6. *Mappa della distribuzione della biomassa in grammi di Ruditapes philippinarum nella Laguna di Grado e Marano.*

4.2 Mappatura delle vongole giovanili

Materiali e Metodi

I campionamenti dedicati agli stadi giovanili di vongola filippina sono stati condotti in due aree: nelle stazioni R2, S1 e S2 nella Laguna di Grado e nelle stazioni 16UdA, 16UdB e 18Coron nella Laguna di Marano. Tutti i campionamenti sono stati svolti dai pescatori coordinati dal personale scientifico. Le campagne di campionamento sono state effettuate nel mese di ottobre 2022 per la Laguna di Marano e nel mese di maggio 2023 per la Laguna di Grado.

La scelta delle stazioni è stata fatta scegliendo in approccio adattativo, dettato dalle circostanze ambientali. La laguna presenta infatti una notevole complessità sia morfologica sia di condizioni idrologiche, per cui è stato necessario ricorrere a diversi attrezzi e diverse tecniche di raccolta, facendo affidamento all'esperienza dei pescatori locali. Vi sono inoltre restrizioni tecniche degli attrezzi da pesca nell'ambiente di laguna, che nella Laguna di Grado hanno reso necessario ricorrere alla tecnica della "pesca a mano", che prevede l'individuazione visiva dei bivalvi e la raccolta manuale dei singoli individui di bivalve. Tale tipologia di prelievo è stata inoltre integrata con campionamenti in immersione con il "ferro da cappelonghe" e con cesti di plastica a griglia stretta, che potessero trattenere eventuali bivalvi di piccole dimensioni.

I campionamenti nella Laguna di Marano, ricadendo in un'area a concessione, sono stati invece raccolti tramite draga idraulica (o rasca), dotata di cesto di raccolta largo 1.4 m e trainata per circa 30 m di lunghezza. I campioni prelevati sono stati conferiti al centro di raccolta del CO.GE.MO. presso Marano Lagunare o al Mercato Ittico di Grado, dove sono stati immediatamente congelati a -20°C. Successivamente sono stati portati in laboratorio per il riconoscimento tassonomico (vedi anche cap. 4.3) e le analisi biometriche (vedi anche cap. 4.4).

Risultati e Discussione

Nel complesso sono state campionate 6 stazioni, di cui 2 sono risultate prive di esemplari di *Ruditapes philippinarum*, più precisamente le stazioni S1 e S2, collocate nelle vicinanze di Grado. Nella stazione R2, anch'essa nei pressi di Grado, è stato ritrovato un solo esemplare di vongola filippina.

Per quanto concerne la componente del popolamento riguardante i soli individui giovanili, ne sono stati campionati solamente 6, tutti con lunghezza inferiore ai 27 mm, rinvenuti esclusivamente in due delle tre stazioni situate nella Laguna di Marano (16UdA e 18Coron). A seguito della scarsità di individui giovanili rinvenuti e per completezza del quadro relativo al popolamento di *R. philippinarum*, è stato prodotto un grafico comprensivo di tutti gli individui rinvenuti nel campionamento, sia quelli derivanti dalla mappatura su ampia scala sia quelli raccolti nello specifico campionamento dei giovanili.

Nell'istogramma di Fig. 4.2.1 viene rappresentata la distribuzione delle taglie dell'intero popolamento di *R. philippinarum* dove si può notare il numero esiguo di esemplari giovanili (< 27 mm) e come la taglia più frequente degli individui adulti sia di 37 mm.

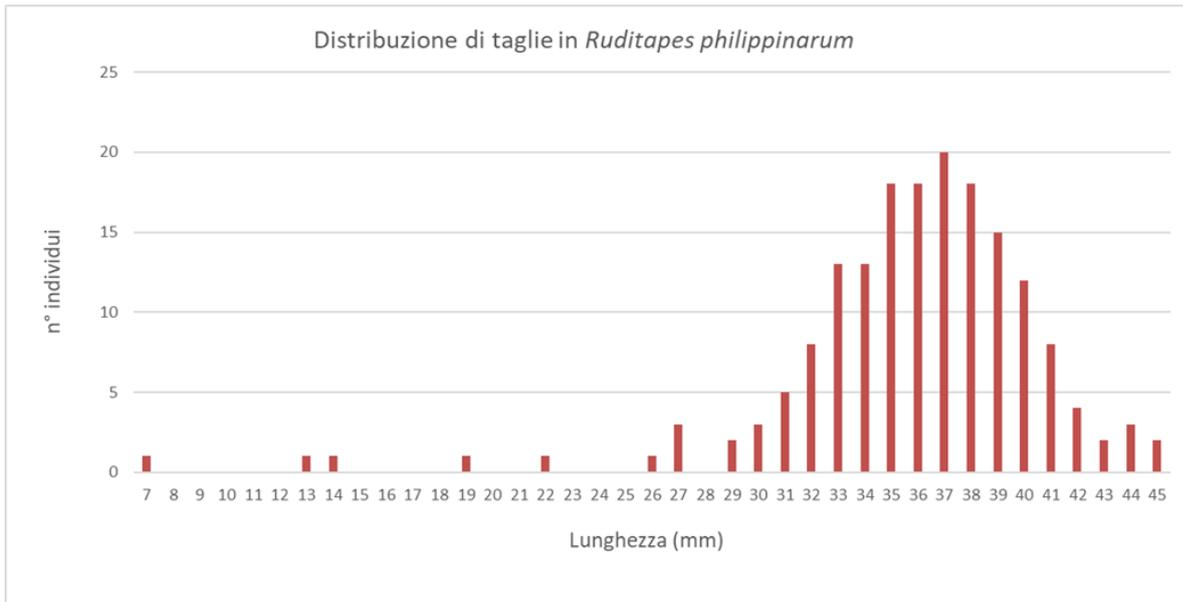


Figura 4.2.1. Distribuzione di taglia del numero di individui di *Ruditapes philippinarum* raccolti in 13 stazioni della Laguna di Marano e Grado.

Oltre alla specie target, durante i campionamenti, sono stati rinvenuti anche 48 esemplari di *Ruditapes decussatus*, ovvero la vongola verace autoctona. Trattandosi di una specie di particolare interesse commerciale, è stato prodotto un ulteriore grafico con la distribuzione di taglia di tutti gli individui campionati, compresi i giovanili (Fig. 4.2.2).

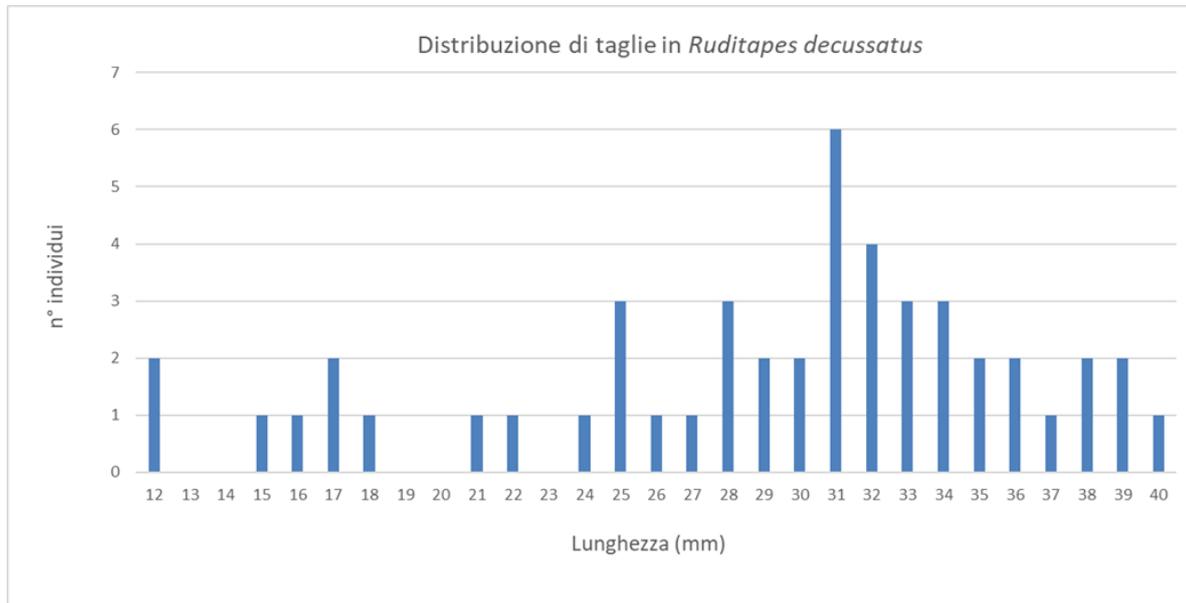


Figura 4.2.2. Distribuzione di taglia del numero di individui di *Ruditapes decussatus* raccolti in 6 stazioni della Laguna di Marano e Grado.

4.3 Censimento del macrobenthos associato

Materiali e Metodi

I campionamenti dedicati agli stadi giovanili di vongola filippina (stazioni R2, S1 e S2 nella Laguna di Grado e nelle stazioni 16UdA, 16UdB e 18Coron nella Laguna di Marano) sono stati utilizzati per descrivere il macrobenthos associato ai popolamenti di *Ruditapes philippinarum*. Tutti i campionamenti sono stati svolti dai pescatori coordinati dal personale scientifico. Le campagne di campionamento sono state effettuate nel mese di ottobre 2022 per la Laguna di Marano e nel mese di maggio 2023 per la Laguna di Grado.

Per i dettagli sul campionamento si fa riferimento a quanto già descritto nel paragrafo precedente (Paragrafo 4.2).



Figura 4.3.1. Stazioni campionate del macrobenthos associato a *R. philippinarum* nelle lagune di Grado (in fucsia) e Marano (in verde).

I dati ottenuti sono stati organizzati in una matrice definita dalle specie come variabili e dalle stazioni (S1, S2 e R2 campionate nella Laguna di Grado; 16 UdB, 16 UdA e 18 Coron campionate nella Laguna di Marano) come rilievi. I dati utilizzati sono stati espressi in termini di numerosità calcolata per ciascuna specie, sia commerciale che non commerciale, e sono stati analizzati secondo tecniche di analisi multivariata, effettuate utilizzando il software PRIMER V. 7.0 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*) (Clarke et al., 2014).

I dati di abbondanza numerica della matrice relativa agli organismi campionati sono stati trasformati con la trasformazione logaritmica a causa dell'elevato numero, rispetto alle altre specie, di *Cerastoderma glaucum* campionati, soprattutto nelle stazioni pertinenti alla Laguna di Marano dove è risultato presente con una media di 2435 ± 1621 individui per stazione (nella stazioni di Grado con una media di 7 ± 4). ed è stata successivamente ottenuta una matrice di somiglianza di Bray-Curtis che, a sua volta, ha permesso di procedere con le analisi multivariate seguendo le metodologie già precedentemente descritte nel paragrafo 3.3.

Risultati e Discussione

L'analisi *nMDS* applicata ai dati di abbondanza numerica degli organismi campionati (Figg. 4.3.2-4.3.4), ha permesso di individuare due gruppi distinti di stazioni (SIMPROF; $P < 0.05$), che sono risultate differenziarsi in relazione alla porzione di laguna dove sono state campionate (Fig. 4.3.5). È possibile osservare come la separazione delle stazioni sia risultata estremamente concorde rispetto alla presenza e numerosità della specie target *R. philippinarum* (Fig. 4.3.5). Le tre stazioni campionate nella porzione di Laguna di Marano (16 UdB, 16 UdA e 18 Coron) infatti risultano comprese in un distinto gruppo significativo e risultano, anche piuttosto chiaramente, quelle con la maggior presenza della specie target *R. philippinarum*. Solamente due delle tre stazioni campionate nella porzione della Laguna di Grado (S1 e S2) risultano invece raggruppate significativamente assieme e non presentano alcun esemplare campionato di *R. philippinarum*. Solamente la

stazione di Grado R2 manifesta la presenza di un unico esemplare di *R. philippinarum* e come espressione complessiva delle specie campionate risulta anche a sé stante e non ricompresa in alcun gruppo (Fig. 4.3.5).



Figura 4.3.2. Campioni raccolti con draga idraulica (o rasca) all'interno delle concessioni in Laguna di Marano, prima della fase di sorting per la selezione di bivalvi e altri organismi macrobentonic.



Figura 4.3.3. Esempio di organismi raccolti nella stazione R2 della Laguna di Grado.



Figura 4.3.4. Esempio di organismi raccolti nella stazione S1 della Laguna di Grado.

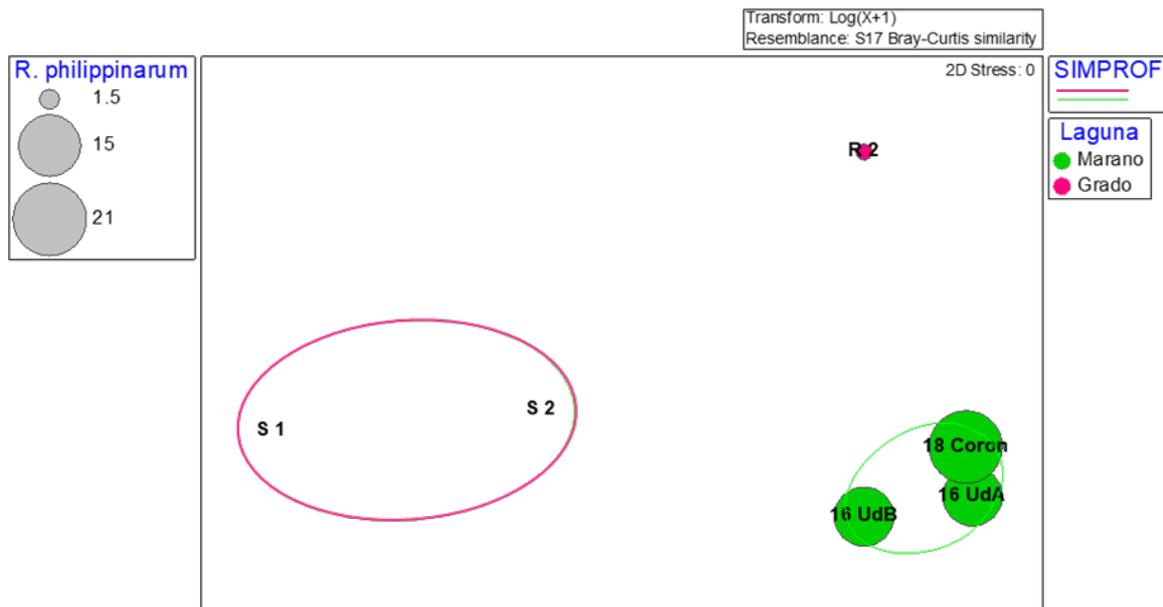


Figura 4.3.5. nMDS dell'insieme delle stazioni campionate con rusca professionale. Si evidenziano (in verde e fucsia) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMP)ROF derivanti dalla classificazione. Le stazioni sono distinte con 2 colori diversi in base alla porzione di laguna corrispondente, con cerchi proporzionali rispetto alla numerosità degli esemplari campionati di *Ruditapes philippinarum*.

Per quanto osservato, anche considerando l'intera comunità di organismi provenienti dal campionamento, la porzione di Laguna di Grado non solo è risultata decisamente meno in grado di sostenere una popolazione della specie target *R. philippinarum* ma è risultata piuttosto povera anche relativamente al numero di altri bivalvi di potenziale interesse commerciale come appunto *C. glaucum*, risultato decisamente più abbondante nelle stazioni di Marano.

4.4 Biometrie delle vongole giovanili

Materiali e Metodi

Le stazioni monitorate complessivamente sono risultate pari a 23, di cui 5 sono risultate non campionabili data la contestuale presenza di fanerogame. Dato l'esiguo numero di esemplari giovanili rinvenuti per la specie target, si è deciso di tenere in considerazione per le analisi biometriche tutti gli esemplari campionati, al fine di ottenere una migliore e più significativa descrizione della relazione lunghezza - peso.

Avendo campionato anche altre specie di interesse commerciale, oltre alla specie target, si è deciso di considerarle tutte ai fini dello studio biometrico. In laboratorio gli esemplari di *Ruditapes philippinarum*, *Ruditapes decussatus*, *Cerastoderma glaucum* e *Solen marginatus* sono stati pesati con precisione 0.001 g e misurati con un calibro ad orologio lungo la massima antero-posteriore con precisione 0.1 mm (Fig. 4.4.1). Le conseguenti relazioni tra lunghezza e peso sono state descritte tramite grafici a dispersione.



Figura 4.4.1. Esempio di misura di un esemplare di *Ruditapes philippinarum* con l'utilizzo di un calibro ad orologio.

Risultati e Discussione

Le relazioni lunghezza-peso delle principali specie di bivalvi di interesse commerciale vengono di seguito rappresentate mediante grafici a dispersione. Nel complesso sono stati considerati 3050 esemplari, di cui: 173 di *R. philippinarum*, 48 di *R. decussatus*, 2273 di *C. glaucum* e 556 di *S. marginatus*.

Si può osservare come la variabilità nella relazione lunghezza-peso degli esemplari di *R. philippinarum* risulti maggiore ($R^2 = 0.70$) rispetto alla congenera *R. decussatus* ($R^2 = 0.96$).

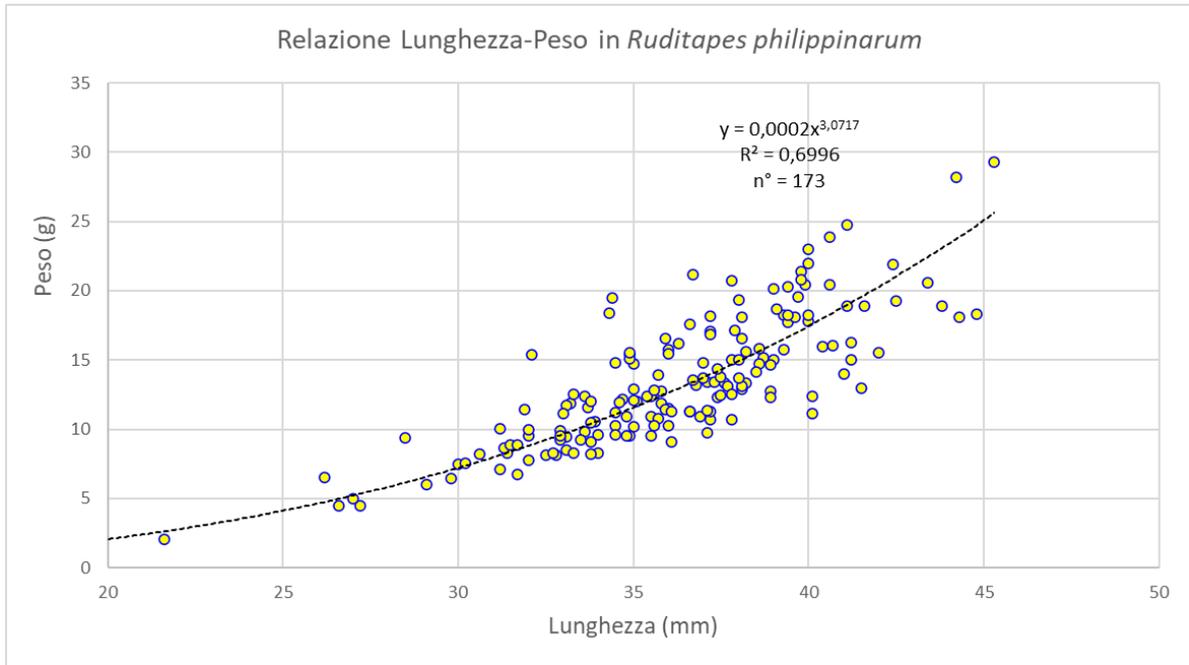


Figura 4.4.2. Relazione lunghezza-peso degli esemplari di *Ruditapes philippinarum*.

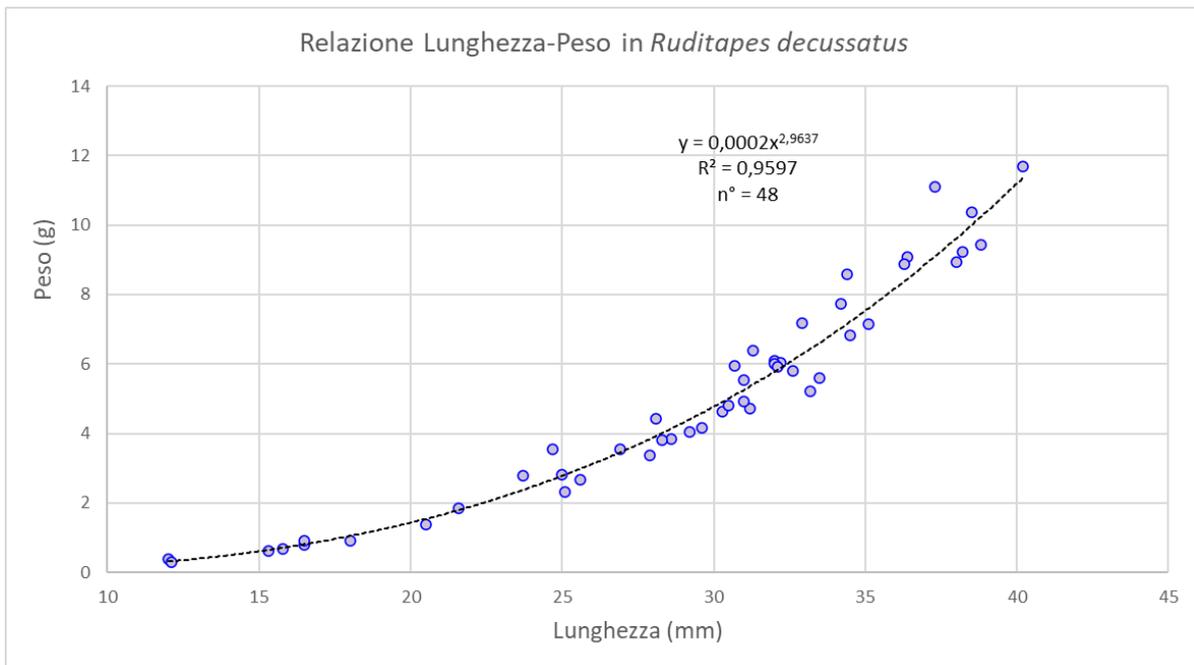


Figura 4.4.3. Relazione lunghezza-peso degli esemplari di *Ruditapes decussatus*.

Il numero relativamente elevato di esemplari di *C. glaucum* e *S. marginatus* rinvenuti nel presente studio, suggerisce la possibilità di un eventuale sfruttamento commerciale di queste due specie, che potrebbero costituire un'integrazione rispetto alla pesca dei meno presenti veneridi *R. philippinarum* e *R. decussatus*.

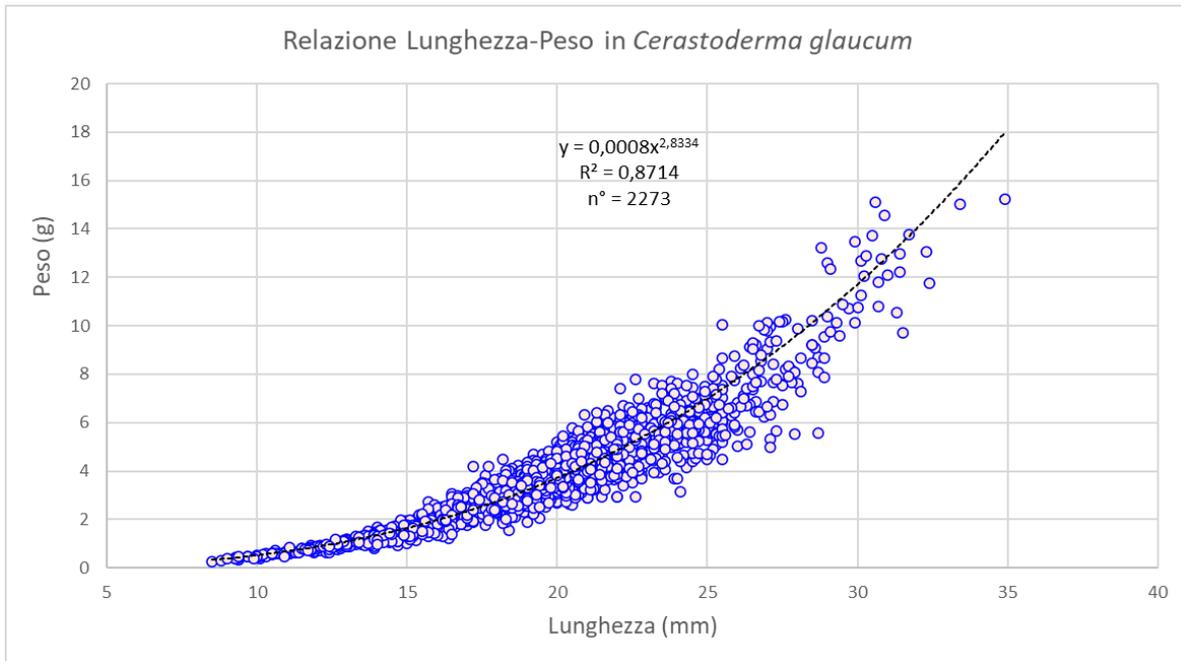


Figura 4.4.4. Relazione lunghezza-peso degli esemplari di *Cerastoderma glaucum*.

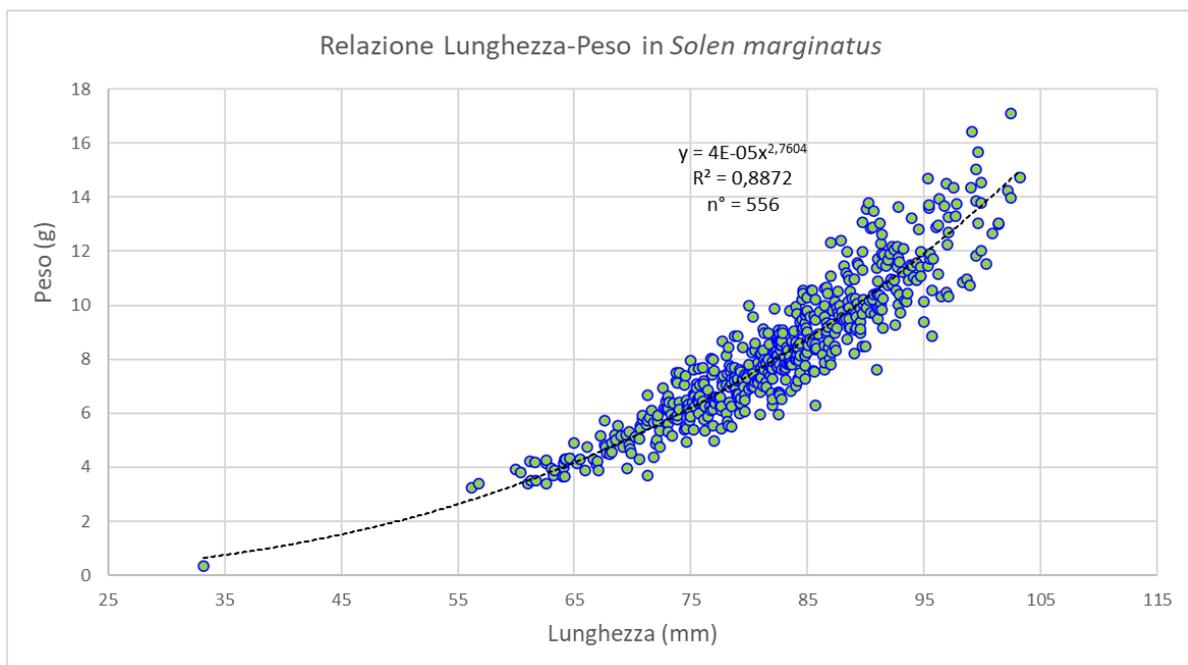


Figura 4.4.5. Relazione lunghezza-peso degli esemplari di *Solen marginatus*.

4.5 Indice di condizione delle vongole di laguna

Materiali e Metodi

Per poter descrivere la variabilità dell'indice di condizione nelle vongole di laguna (vongola filippina), sono stati condotti 11 campionamenti con cadenza pressoché mensile su ciascuna delle tre aree identificate nella Laguna di Marano (Fig. 4.5.1). Data la scarsità di prodotto e le restrizioni tecniche degli attrezzi da pesca nell'ambiente di laguna, i prelievi sono stati effettuati con la tecnica della "pesca a mano", che prevede l'individuazione visiva dei sifoni dei bivalvi e la raccolta manuale dei singoli individui di bivalve. Da ogni campione di *Ruditapes philippinarum* raccolto sono stati selezionati 30 individui di taglia commerciale, su cui sono stati rilevati: lunghezza delle valve, peso umido totale e peso umido della polpa. Le parti molli e le rispettive valve di ogni individuo sono state separate e posizionate singolarmente su supporti di stagnola prepesati (per avere il riferimento della tara) (Fig. 4.5.2). I preparati sono stati posti in stufa a 104°C, le parti molli per 48 ore e le valve per 24 ore. Trascorso tale periodo, i campioni sono stati mantenuti in essiccatori per almeno 30 minuti, affinché raggiungessero la temperatura ambiente prima di essere pesati. Tutti i pesi, sia umidi sia secchi, sono stati determinati con bilancia analitica con precisione 0.0001 g.



Figura 4.5.1. Mappa delle aree (1, 2 e 3) di campionamento di *Ruditapes philippinarum* campionate per stimare l'indice di condizione nell'arco di un anno (novembre 2021 – ottobre 2022).



Figura 4.5.2. Allestimento dei campioni di *Ruditapes philippinarum*, con le parti molli separate dalle valve e poste su navette di stagnola prepesate; visibili sullo sfondo gli essiccatori che ospiteranno i campioni dopo che saranno stati estratti dalla stufa.

L'indice di condizione (IC) è stato calcolato come rapporto tra peso secco della polpa e peso secco delle valve, come indicato da [Walne & Mann \(1975\)](#) e [Dang et al. \(2010\)](#).

I dati sono stati successivamente elaborati con il software PRIMER 7 per visualizzare i valori nei diversi mesi di prelievo nelle 3 aree della Laguna di Marano.

Risultati e Discussione

Gli indici di condizione ottenuti per *Ruditapes philippinarum* hanno presentato una maggiore variabilità rispetto a quella registrata per *Callista chione* (Tab. 4.5.1), con valori compresi generalmente tra 0.03 e 0.09, considerando tutte le stazioni e tutto il periodo interessato dai campionamenti. Questo fatto non è comunque sorprendente ed è senz'altro legato alla maggior variabilità stagionale che è possibile osservare nei parametri chimico-fisici (salinità, temperatura, ossigeno etc.) in ambiente lagunare rispetto a quello marino, più "conservativo", specialmente in zone site più al largo come quelle relative ai fasolari.

Tabella 4.5.1. Tabella in cui vengono indicate le lunghezze medie (in mm) degli esemplari di *Ruditapes philippinarum* e i relativi indici di condizione medi ottenuti nelle Stazioni Faro nei vari periodi di prelievo.

Indici di Condizione di <i>Ruditapes philippinarum</i> nelle 3 Aree della Laguna di Marano									
Data	Area 1			Area 2			Area 3		
	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.	n°	L media ± dev.st.	IC media ± dev.st.
30/11/2021	30	34,84 ± 3,25	0,048 ± 0,010	30	36,80 ± 2,49	0,051 ± 0,012	30	38,02 ± 4,37	0,049 ± 0,013
17/12/2021	30	35,33 ± 2,49	0,045 ± 0,009	30	37,81 ± 2,52	0,048 ± 0,012	30	33,70 ± 2,73	0,045 ± 0,013
28/01/2022	30	37,60 ± 3,33	0,066 ± 0,021	30	32,83 ± 2,44	0,052 ± 0,006	30	36,79 ± 3,00	0,048 ± 0,008
28/02/2022	30	35,11 ± 3,44	0,060 ± 0,010	30	30,73 ± 3,74	0,059 ± 0,015	30	32,09 ± 4,10	0,061 ± 0,010
30/03/2022	30	34,67 ± 2,20	0,077 ± 0,012	30	34,95 ± 2,37	0,078 ± 0,012	30	33,90 ± 2,31	0,075 ± 0,010
29/04/2022	30	34,78 ± 2,73	0,080 ± 0,013	30	34,84 ± 2,15	0,080 ± 0,014	30	34,84 ± 2,65	0,072 ± 0,013
30/06/2022	30	34,32 ± 2,47	0,060 ± 0,010	30	37,24 ± 2,05	0,063 ± 0,012	30	34,70 ± 2,63	0,055 ± 0,011
25/07/2022	30	34,87 ± 2,26	0,054 ± 0,013	30	37,49 ± 2,01	0,053 ± 0,010	30	37,28 ± 2,49	0,053 ± 0,012
26/08/2022	30	36,58 ± 1,89	0,064 ± 0,017	30	36,69 ± 3,14	0,053 ± 0,013	30	36,52 ± 2,79	0,055 ± 0,015
28/09/2022	30	35,67 ± 2,47	0,038 ± 0,013	30	35,24 ± 2,00	0,037 ± 0,010	30	35,52 ± 2,17	0,038 ± 0,010
27/10/2022	30	36,45 ± 2,21	0,041 ± 0,015	30	35,74 ± 1,81	0,037 ± 0,009	30	35,97 ± 2,60	0,043 ± 0,019

Gli andamenti hanno mostrato un certo sincronismo tra le stazioni, con valori massimi degli indici di condizione osservati nei mesi di marzo e aprile (Figg. 4.5.3-4.5.5). Rispetto all'andamento comune, le differenze tra le aree si notano in particolare per i valori relativamente alti:

- Nell'Area 1 a gennaio e ad agosto
- Nell'Area 3 solamente ad agosto

Nel presente studio le brusche cadute dei valori dell'indice di condizione si verificano tra aprile e giugno e poi ancora, ma in forma meno evidente, tra agosto e settembre. Secondo [Da Ros et al. \(2005\)](#) per *Ruditapes philippinarum* nelle lagune dell'Adriatico settentrionale i picchi riproduttivi sarebbero due: uno a maggio e successivamente un altro a settembre. Gli andamenti dell'indice di condizione osservati nel presente lavoro sarebbero dunque coerenti con il ciclo riproduttivo descritto per questa specie. Le temperature ottimali per l'emissione dei gameti nella vongola filippina sono infatti comprese tra 20 e 25 °C e tali temperature si riscontrano appunto verso maggio e ancora a settembre (dati ARPA FVG); la temperatura di 12 °C costituisce invece un valore soglia al di sotto del quale la specie non riuscirebbe a riprodursi efficientemente ([Devauchelle, 1990](#)).

Gli andamenti meno regolari dell'indice di condizione nei bivalvi raccolti nell'Area 1 potrebbero invece essere spiegati con il collocamento di tale area, situata nella porzione occidentale della Laguna di Marano, con una situazione di maggior confinamento, che probabilmente risente maggiormente, su base stagionale, delle variazioni dei parametri ambientali.

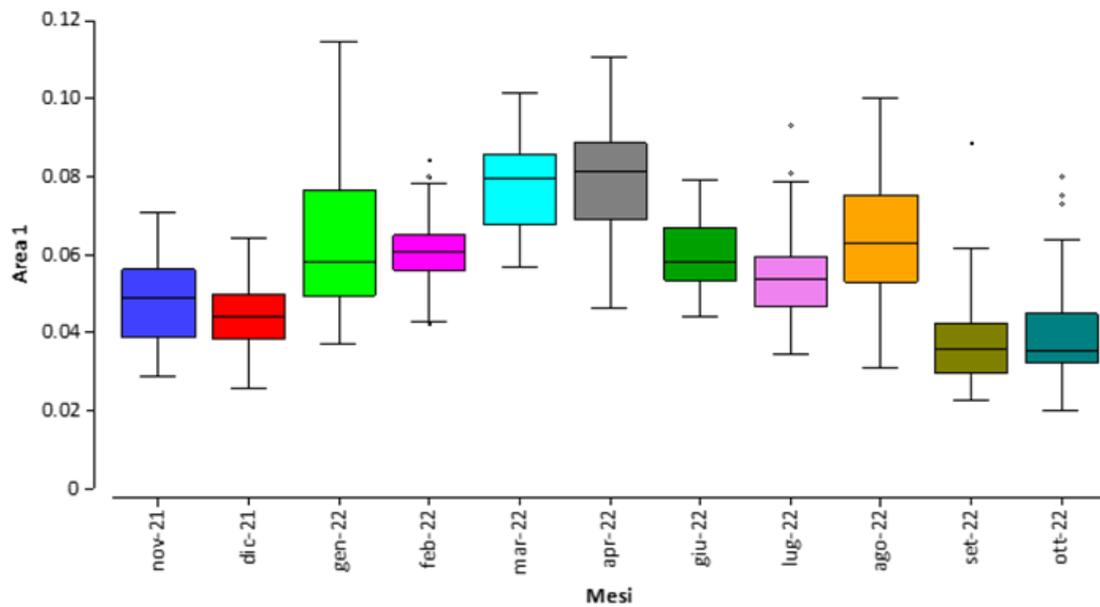


Figura 4.5.3. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Ruditapes philippinarum* misurato nei diversi mesi nell'area 1.

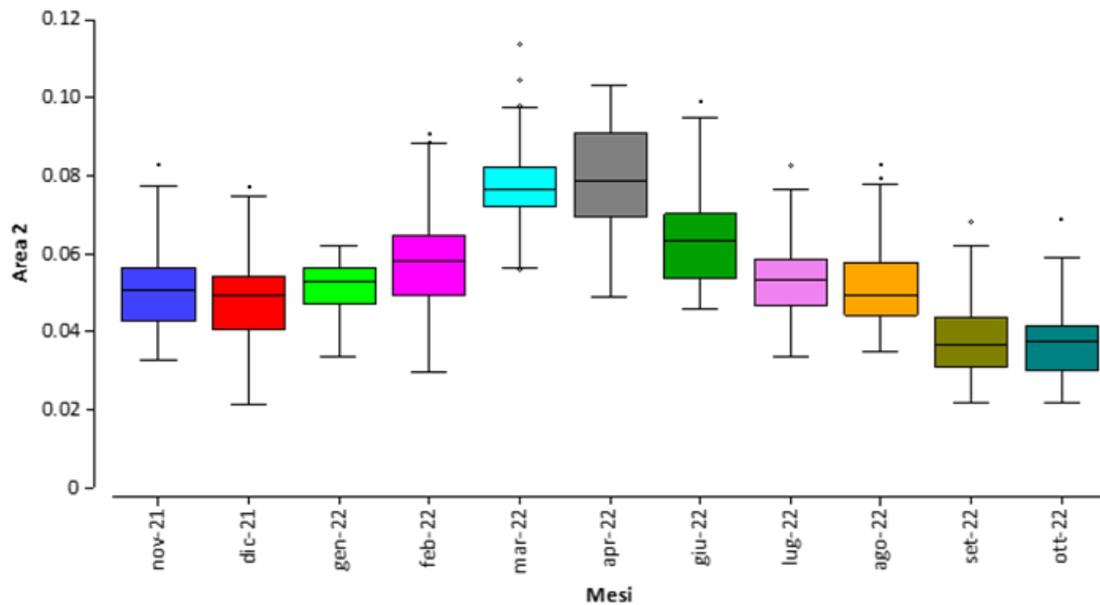


Figura 4.5.4. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Ruditapes philippinarum* misurato nei diversi mesi nell'area 2.

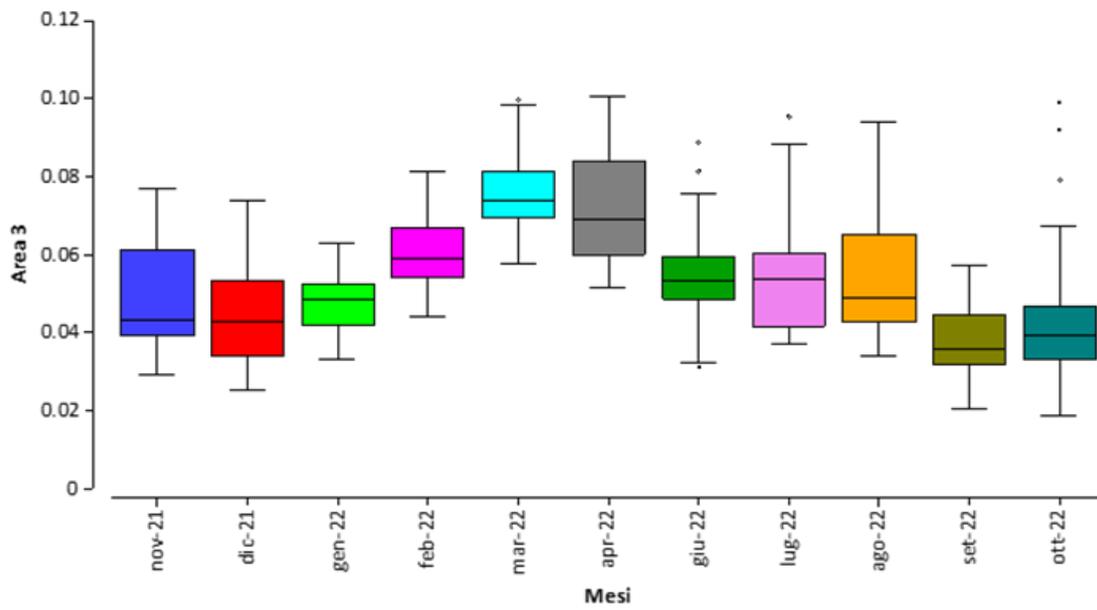


Figura 4.5.5. Box Plot dei valori dell'indice di condizione di *Ruditapes philippinarum* misurato nei diversi mesi nell'area 3.

WP 5. Mappatura e stato della risorsa pettinidi



5.1 Mappatura dei pettinidi su ampia scala

Materiali e Metodi

La strategia di campionamento ha previsto di fissare 10 stazioni ad una distanza adeguata dalla costa, per simulare quanto più possibile un'azione di pesca professionale in fondali tipicamente sfruttati per la pesca ai pettinidi. Le stazioni, intese come superfici strascicate, sono state inoltre definite in successione da Est a Ovest lungo una linea curva, più o meno coincidente con la linea di costa, in modo tale da coprire l'intera area di studio (Fig. 5.1.1). Tale disegno di campionamento è stato pensato per individuare eventuali gradienti longitudinali nella distribuzione dei pettinidi.

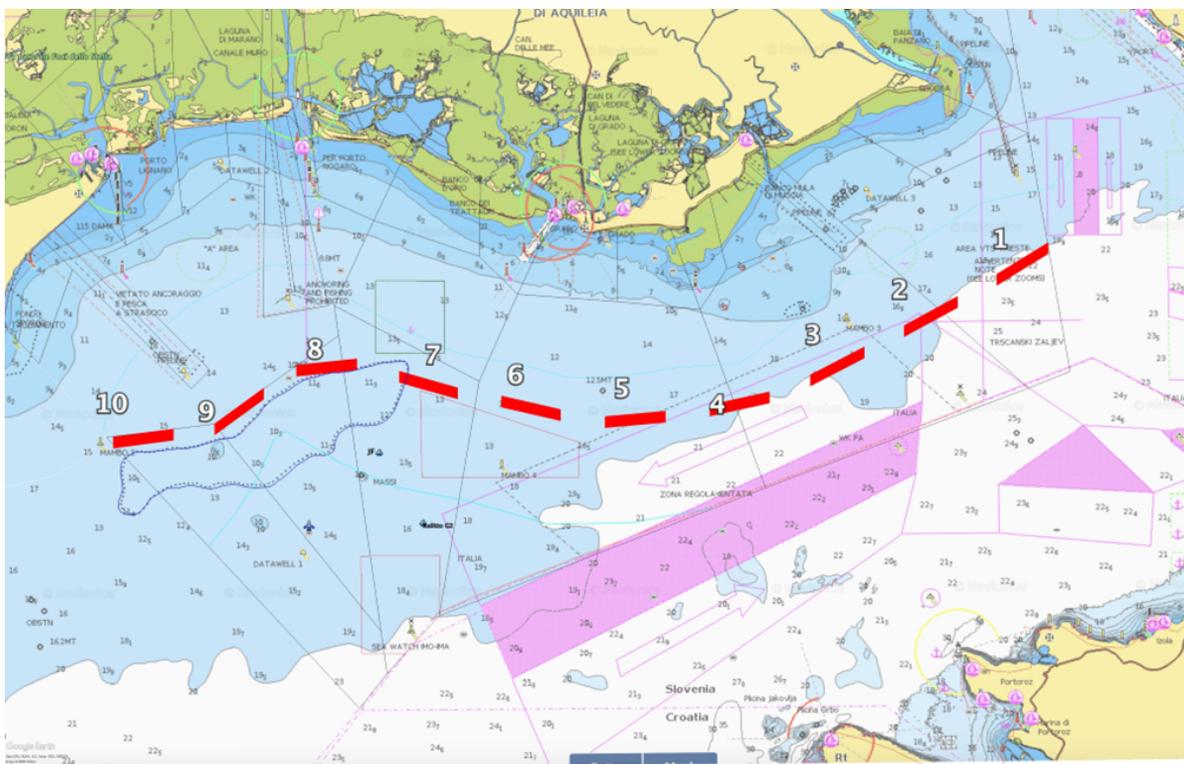


Figura 5.1.2. *Mappa con evidenziate in rosso le cale effettuate con due rapidi in contemporanea, utilizzati per il campionamento dei pettinidi.*

La campagna di monitoraggio è stata effettuata tra il 16 e il 17 aprile 2023 utilizzando l'imbarcazione "Adriatica I" della marineria di Grado. Sono stati raccolti 10 campioni ottenuti calando contemporaneamente 2 rapidi (o ramponi) utilizzati nella pesca a strascico professionale, ciascuno con ampiezza della bocca di 2 m (Fig. 5.1.2) e trainati ad una velocità media di 3.5 nodi per 15 minuti. Le cale sono state standardizzate nella loro lunghezza grazie al rilevamento delle coordinate effettivamente strascicate tramite il sistema GPS di bordo. Al termine di ogni cala il contenuto dei sacchi di entrambi i rapidi è stato svuotato sulla coperta dello specchio di poppa per la successiva cernita delle specie commerciali (Fig. 5.1.3).



Figura 5.1.2. Recupero del rampone a seguito della cala a strascico.

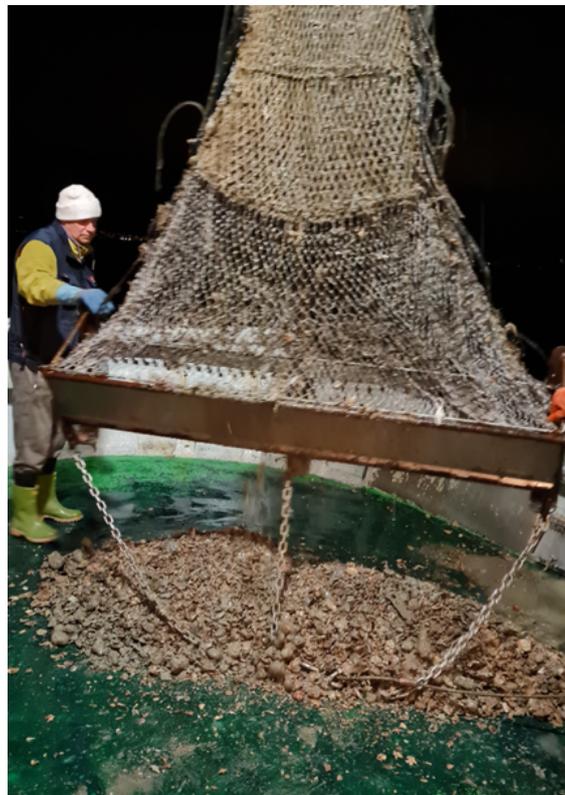


Figura 5.1.3. Svuotamento del sacco di un rampono sulla coperta dello specchio di poppa dell'imbarcazione.



Figura 5.1.4. Selezione delle specie commerciali con particolare riferimento ai Pettinidi.

Le specie commerciali sono state selezionate (Fig. 5.1.4) e poste in cassette sigilate, mantenendole distinte a seconda della specifica cala (Figg. 5.1.5 e 5.1.6). Tutti gli organismi appartenenti alle specie commerciali sono

stati identificati a livello della specie, pesati e misurati individualmente, ad eccezione dei murici che sono stati considerati in modo cumulativo per ciascuna stazione.



Figura 5.1.5. Campione di *Pecten jacobaeus* di taglia commerciale selezionato tra le catture complessive dei due ramponi sulla Stazione 5.



Figura 5.1.6. Campioni delle specie commerciali ottenuti nelle varie stazioni, separati e siglati.

Ciascun esemplare, appartenente ad una specie di interesse commerciale, è stato misurato (lunghezza dell'asse maggiore del corpo; lunghezza del mantello nei Cefalopodi) e pesato (peso umido), e i dati così ottenuti, sono stati utilizzati per stimarne la densità sia espressa come ind/m² sia come g/m², al fine di

consentire i confronti tra le diverse stazioni (cale). Le densità delle principali specie commerciali nelle varie stazioni sono state visualizzate mediante istogrammi.

Risultati e Discussione

Durante il campionamento sono state rinvenute le 3 principali specie di Pettinidi di interesse commerciale: la cappasanta (*Pecten jacobaeus*), il canestrello bianco (*Flexopecten glaber*) e il canestrello rosa (*Aequipecten opercularis*). Inoltre, è stato rinvenuto anche il canestrello nero (*Mimachlamys varia*), specie edibile ed apprezzata, ma che difficilmente viene commercializzata a causa della sua rarità, dovuta al fatto che si trova associata a substrati duri o con detrito conchigliare grossolano (dove generalmente non viene praticata la pesca a strascico).

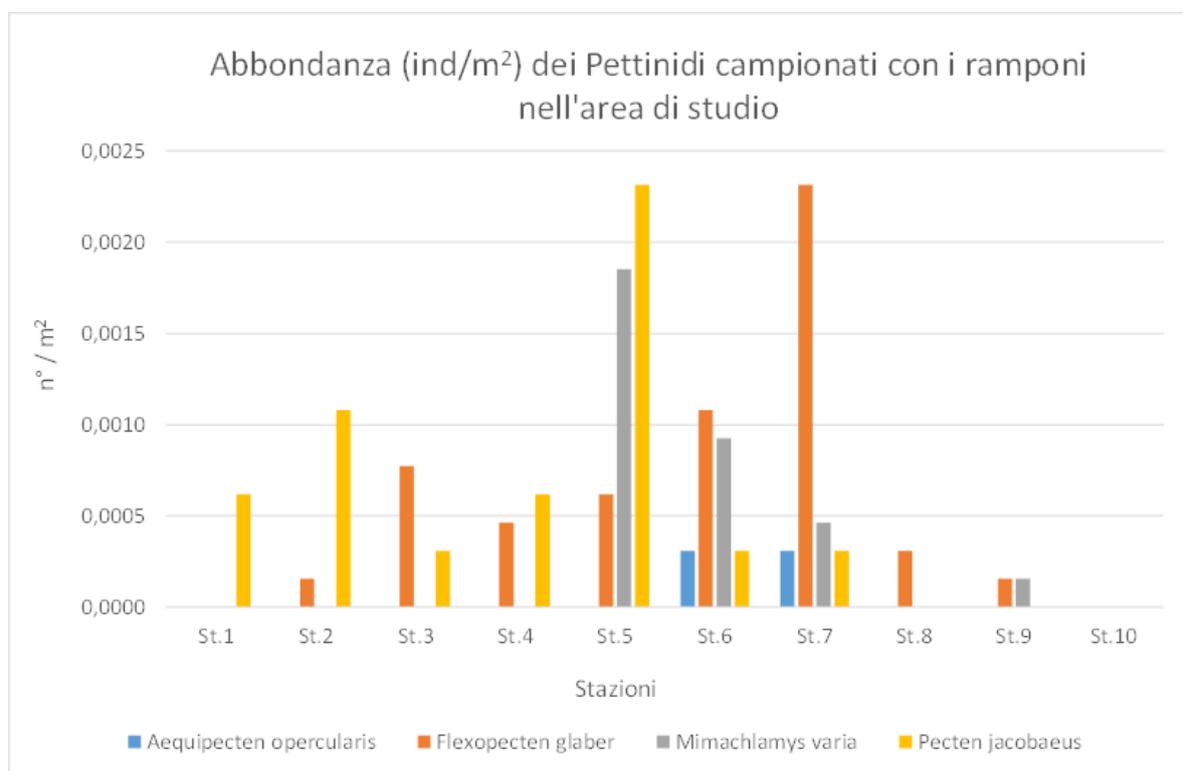


Figura 5.1.7. Densità numerica delle 4 specie di Pettinidi di interesse commerciale nelle stazioni dell'area di studio.

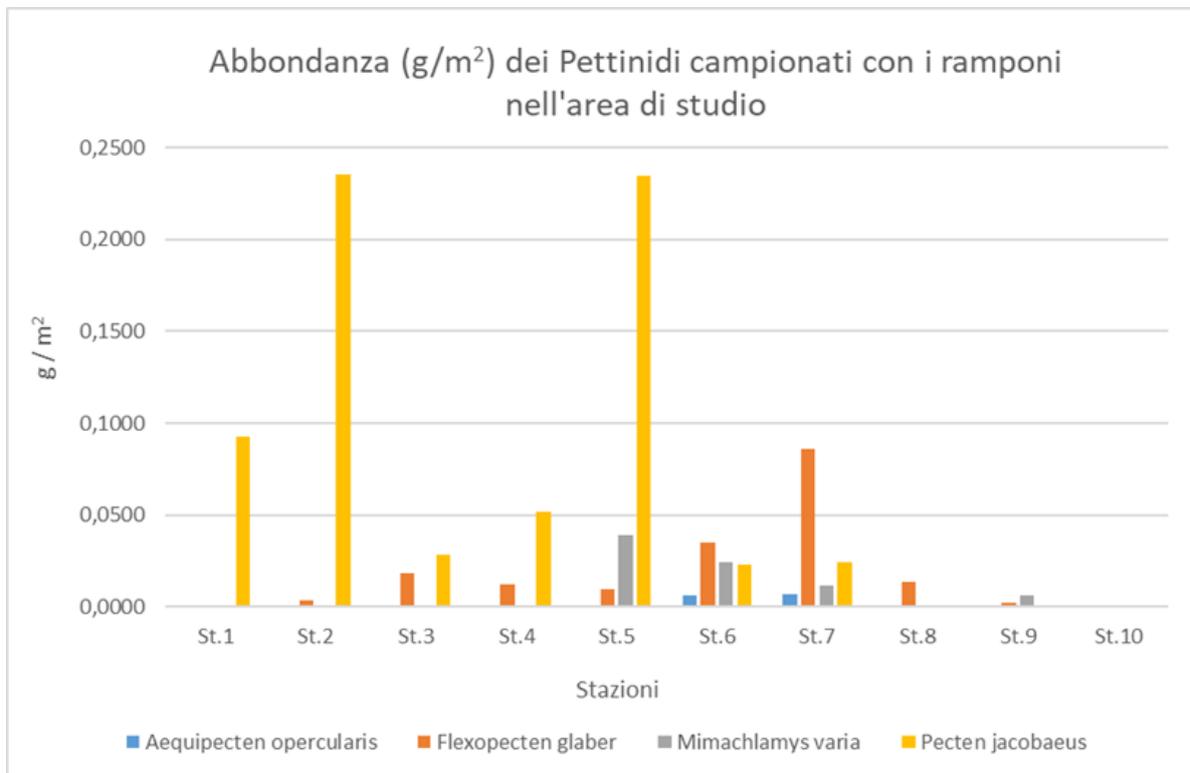


Figura 5.1.8. Densità di biomassa delle 4 specie di Pettinidi di interesse commerciale nelle stazioni dell'area di studio.

Dai grafici si può osservare come la distribuzione delle diverse specie di pettinidi non sia risultata uniforme in tutte le stazioni campionate (Figg. 5.1.7 e 5.1.8). La cappasanta, infatti, è risultata maggiormente presente nelle prime 5 stazioni, che si trovano per lo più su fondali a maggior affinità pelitica. Le stazioni 6 e 7 sono le uniche che presentano tutte e quattro le specie di pettinidi, fatto determinato probabilmente dal passaggio degli attrezzi da traino su fondali di transizioni tra peliti e sabbie e, soprattutto, prossimi ai fondali duri delle tegnùe (SIC "Trezza San Pietro"). Le stazioni 8, 9 e 10 sono risultate invece quasi completamente prive di pettinidi poiché situate su sabbie relitte di piattaforma, ovvero su fondali più affini ai fasolari che ai pettinidi.

5.2 Censimento del macrobenthos associato

Materiali e Metodi

Il campionamento delle 10 stazioni è stato utilizzato per descrivere le specie associate al popolamento a pettinidi. In tutte le 10 stazioni, dopo aver fatto la selezione delle specie commerciali, lo “scarto di pesca” è stato stimato riempiendo e numerando dei contenitori di volume noto, pesando successivamente il contenuto (Fig. 5.2.1). Dei contenitori adibiti allo “scarto di pesca” ne è stato prelevato uno per ciascuna cala (Fig. 5.2.2) e successivamente trasportato in laboratorio per le relative analisi. Tutti gli organismi vitali, presenti in ciascun contenitore, sono stati identificati a livello della specie, numerati e pesati (peso umido). I dati ottenuti sono stati utilizzati per stimare la densità della macrofauna bentonica, espressa sia come ind/m² e sia come g/m², al fine di consentire i confronti tra le varie stazioni, nonché associando la loro presenza a quella delle specie target (Fig. 5.2.3). In questo modo è stato possibile caratterizzare la macrofauna bentonica associata ai pettinidi utilizzando le medesime cale a strascico effettuate per campionare le stesse specie target.



Figura 5.2.1. Fase di svuotamento del sacco di un rampone con visibili i secchi utilizzati per stimare la quantità di “scarto di pesca”.



Figura 5.2.2. Esempio di campione di "scarto di pesca" ottenuto con i ramponi durante lo strascico sulle stazioni di campionamento.



Figura 5.2.3. Esempio di catture di specie di interesse commerciale effettuate con i ramponi durante il campionamento.

I dati ottenuti sono stati organizzati in una matrice definita dalle specie come variabili e dalle stazioni (cale) come rilievi. I dati utilizzati sono stati espressi in termini di densità numerica calcolata per ciascuna specie, sia commerciale che non commerciale, e sono stati analizzati secondo tecniche di analisi multivariata, effettuate utilizzando il software PRIMER V. 7.0 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*) (Clarke et al., 2014).

I dati di abbondanza numerica della matrice relativa alla draga commerciale sono stati trasformati con la radice quadra ed è stata successivamente ottenuta una matrice di somiglianza di Bray-Curtis che, a sua volta, ha permesso di procedere con le analisi multivariate seguendo le metodologie già precedentemente descritte nel paragrafo 3.3.

Risultati e Discussione

L'analisi *n*MDS applicata ai dati di abbondanza numerica degli organismi del macrobenthos (megabenthos) campionati con il rapido, utilizzato per la pesca commerciale, ha permesso di individuare due gruppi distinti di stazioni, più una stazione che è risultata a se stante nell'ordinamento *n*MDS (Fig. 5.2.4). Le stazioni sono risultate complessivamente distribuite lungo il gradiente est-ovest e con l'eccezione della stazione 6, raggruppate in due distinti gruppi, precisamente le stazioni 1, 2, 3, 4 e 5 campionate più ad est sono risultate comprese in un unico gruppo mentre le stazioni 7, 8, 9 e 10 campionate più a ovest sono risultate comprese in un altro gruppo. Complessivamente le cinque stazioni poste ad est sono risultate significativamente separate rispetto alle cinque poste ad ovest (ANOSIM: $R = 0.77$; $p < 0.01$). L'espressione delle comunità animali campionate nelle diverse cale è quindi risultata fortemente condizionata dalle caratteristiche ambientali, chiaramente differenti, che si realizzano lungo il gradiente est-ovest nei fondali campionati.

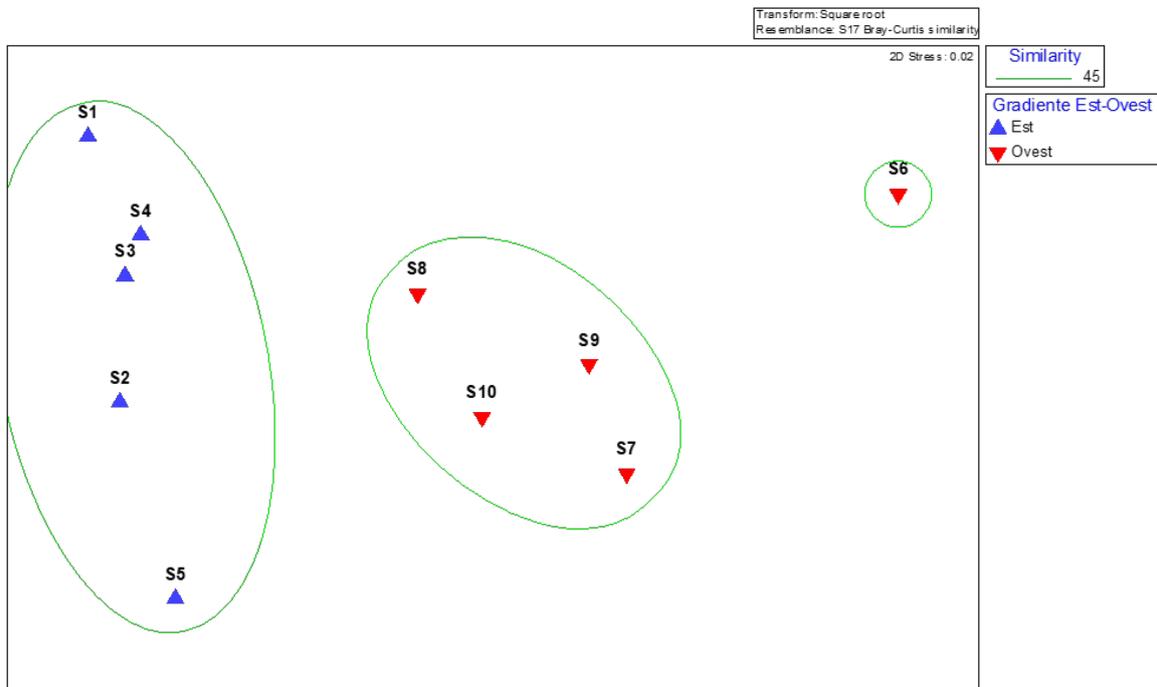


Figura 5.2.4. nMDS dell'insieme delle stazioni campionate con i rapidi per pettinidi. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi al 45% di similarità derivanti dalla classificazione.

Effettivamente, sovrapponendo le diverse cale effettuate alla carta sedimentologica dell'Adriatico Settentrionale (Brambati et al., 1988), è possibile notare la perfetta coincidenza tra i gruppi di stazioni descritti dalle specie del bycatch campionate con il rapido e le caratteristiche granulometriche dei fondali strascicati (Fig. 5.2.5).

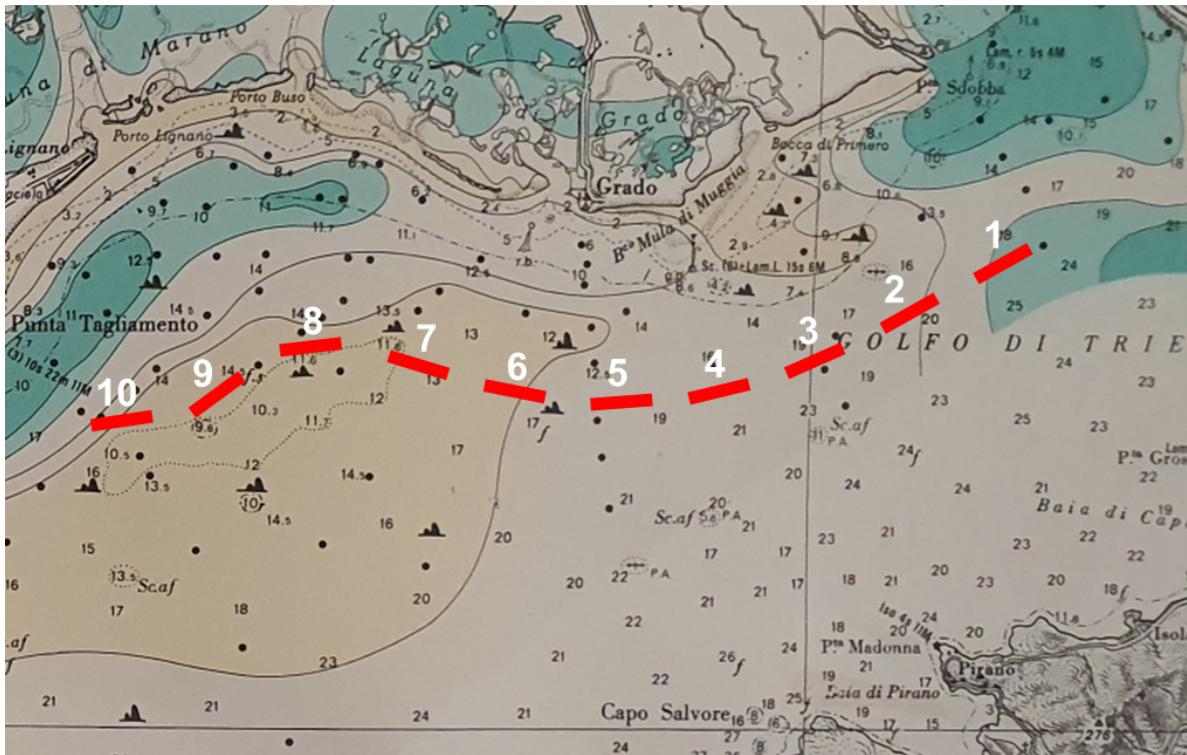


Figura 5.2.5. Mappa con evidenziate in rosso le cale effettuate con due rapidi in contemporanea, utilizzati per il campionamento dei pectinidi.

Le prime cinque stazioni (stazioni 1, 2, 3, 4 e 5) campionate più ad est infatti, ricadono su sedimenti a maggior affinità pelitica, costituiti da peliti molto sabbiose o da sabbie pelitiche, mentre le stazioni comprese nel secondo gruppo campionato più ad ovest (stazioni 7, 8, 9 e 10) risultano campionate in sedimenti costituiti da sabbie relitte di piattaforma. La stazione 6, che non risulta compresa in nessuno dei precedenti gruppi evidenziati nell'ordinamento *n*MDS, è stata campionata in una zona di passaggio tra le sabbie di piattaforma e le peliti molto sabbiose, essendo inoltre risultata molto vicina all'area degli affioramenti (tegnue) del SIC denominato "Trezza San Pietro". L'espressione delle comunità animali campionate nella stazione 6 può quindi aver risentito sia della situazione ecotonale di passaggio tra le due diverse tipologie sedimentarie e sia, contestualmente, dalla vicinanza agli affioramenti rocciosi, esprimendo quindi un popolamento a se stante che la differenza sia dal gruppo delle stazioni poste ad est che da quello delle stazioni poste ad ovest.

5.3 Biometrie dei pettinidi

Materiali e Metodi

A seguito del campionamento descritto nel capitolo 5.1 i pettinidi raccolti tramite ramponi sono stati successivamente selezionati assieme alle altre specie commerciali. Sono state rinvenute 4 specie di pettinidi: *Aequipecten opercularis*, *Mimachlamys varia*, *Flexopecten glaber* e *Pecten jacobaeus*. In laboratorio gli individui sono stati pesati con precisione 0.001 g e successivamente misurati con un calibro ad orologio lungo la massima lunghezza latero-laterale con precisione 0.1 mm (Fig. 5.3.1 e Fig. 5.3.2)



Figura 5.3.1. Esempio di misura di un esemplare di *Flexopecten glaber* con l'utilizzo di un calibro ad orologio.



Figura 5.3.2. Esempio di misura di un esemplare di *Aequipecten opercularis* con l'utilizzo di un calibro ad orologio.

Le distribuzioni delle taglie sono state visualizzate graficamente tramite istogrammi mentre le relazioni tra lunghezza e peso sono state descritte tramite grafici a dispersione.

Risultati e Discussione

L'esiguo numero di individui ottenuti dal campionamento con i ramponi non ha permesso di individuare una distribuzione di taglia che fosse attendibile per ciascuna delle stazioni campionate. Le taglie vengono comunque presentate nel grafico di Fig. 5.3.3, dove viene mostrata la distribuzione di taglia per ciascuna specie cumulando tutte le stazioni. La distribuzione di taglie di *Flexopecten glaber* mostra un picco di massima abbondanza attorno ai 70-74 mm. *Mimachlamys varia* mostra massime abbondanze delle taglie sui 50-54 mm mentre la disposizione delle taglie in *Pecten jacobaeus* sembra suggerire una distribuzione bimodale, con un picco intorno ai 90-94 mm e un secondo sui 115-119 mm. Tuttavia il numero di individui campionati per ogni specie è piuttosto esiguo rendendo quindi poco attendibili le stime.

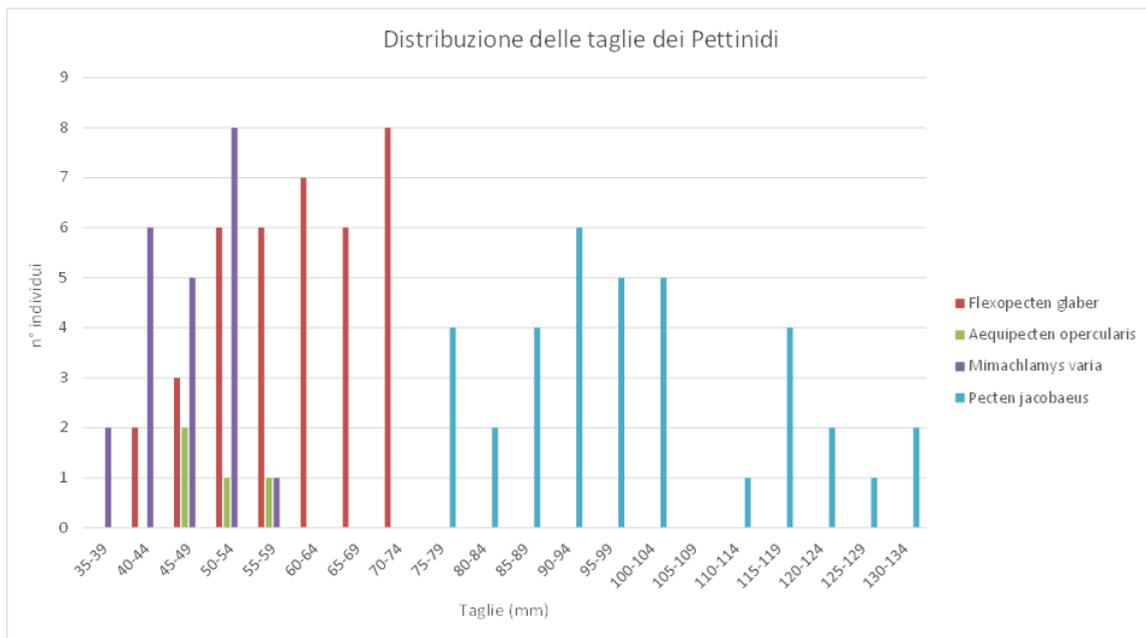


Figura 5.3.3. Distribuzione di taglia delle 4 specie di Pettinidi di interesse commerciale campionate tramite rampone nelle 10 stazioni identificate per il campionamento.

Di seguito vengono presentate le dispersioni dei dati riguardanti i Pettinidi, che hanno permesso di individuare le relazioni lunghezza-peso per ciascuna specie (Figg. 5.3.4 - 5.3.7). Per costruire le curve sono stati considerati in tutto 100 esemplari utilizzando esclusivamente esemplari integri, che non presentassero difetti, deformazioni o fratture della conchiglia. Per descrivere le relazioni tra la lunghezza ed il peso di *Pecten jacobaeus* sono stati utilizzati n.36 individui (Fig. 5.3.4) e la relazione ottenuta è risultata la seguente:

$$y = 0,0004x^{2,7086}$$

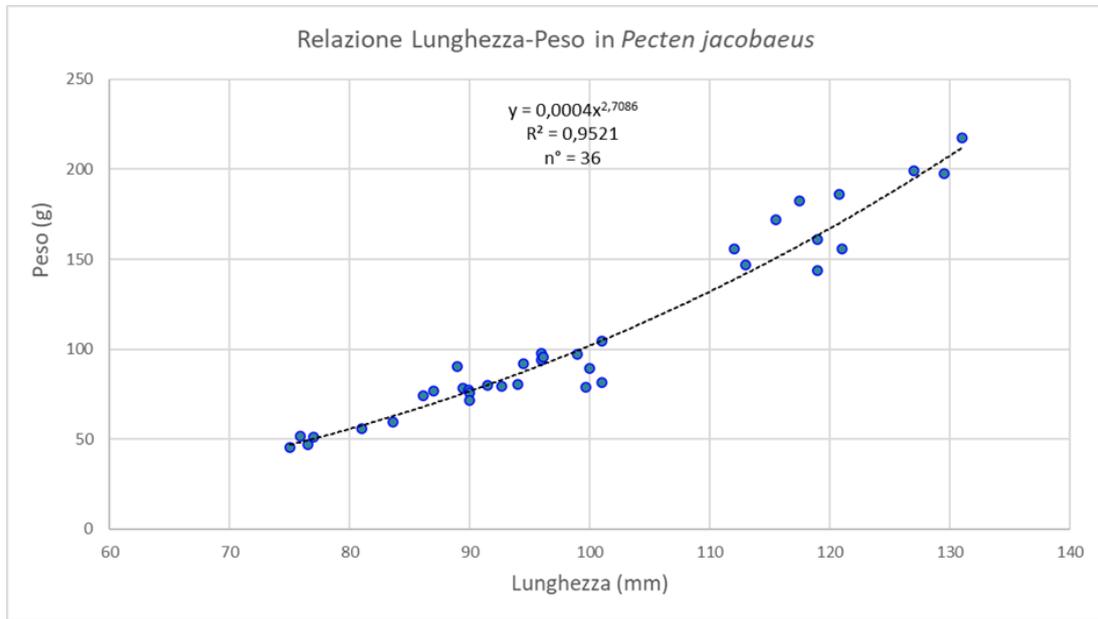


Figura 5.3.4. Grafico a dispersione che descrive la relazione tra lunghezza (in mm) e peso (in grammi) degli esemplari di *Pecten jacobaeus* raccolti nelle 10 stazioni identificate per il campionamento dei pettinidi.

Per descrivere le relazioni tra la lunghezza ed il peso di *Flexopecten glaber* sono stati utilizzati n.38 individui (Fig. 5.3.5) e la relazione ottenuta è risultata la seguente:

$$y = 0,0001x^{2,4921}$$

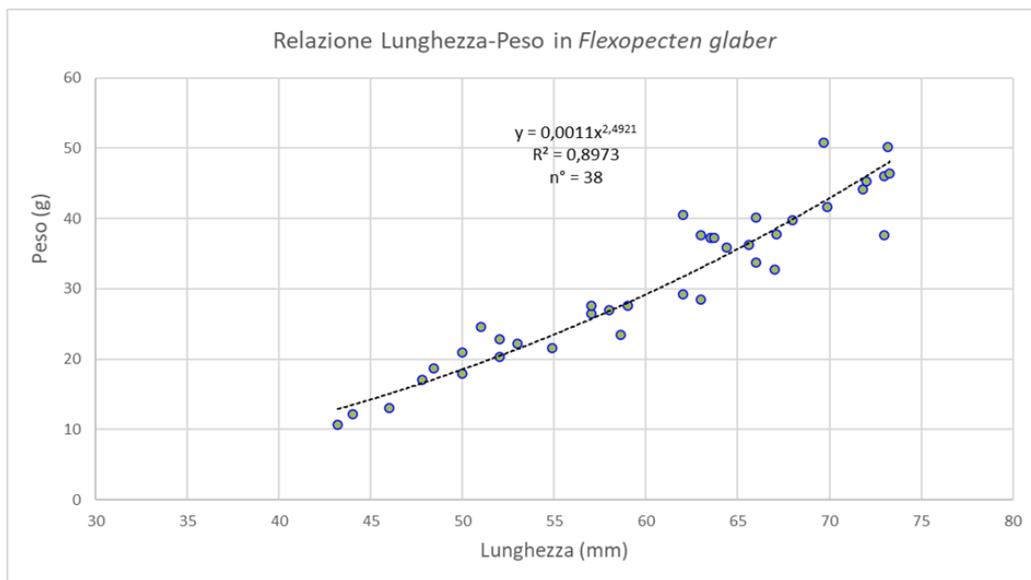


Figura 5.3.5. Grafico a dispersione che descrive la relazione tra lunghezza (in mm) e peso (in grammi) degli esemplari di *Flexopecten glaber* raccolti nelle 10 stazioni identificate per il campionamento dei pettinidi.

Per descrivere le relazioni tra la lunghezza ed il peso di *Mimachlamys varia* sono stati utilizzati n.22 individui (Fig. 5.3.6) e la relazione ottenuta è risultata la seguente:

$$y = 0,0014x^{2,5016}$$

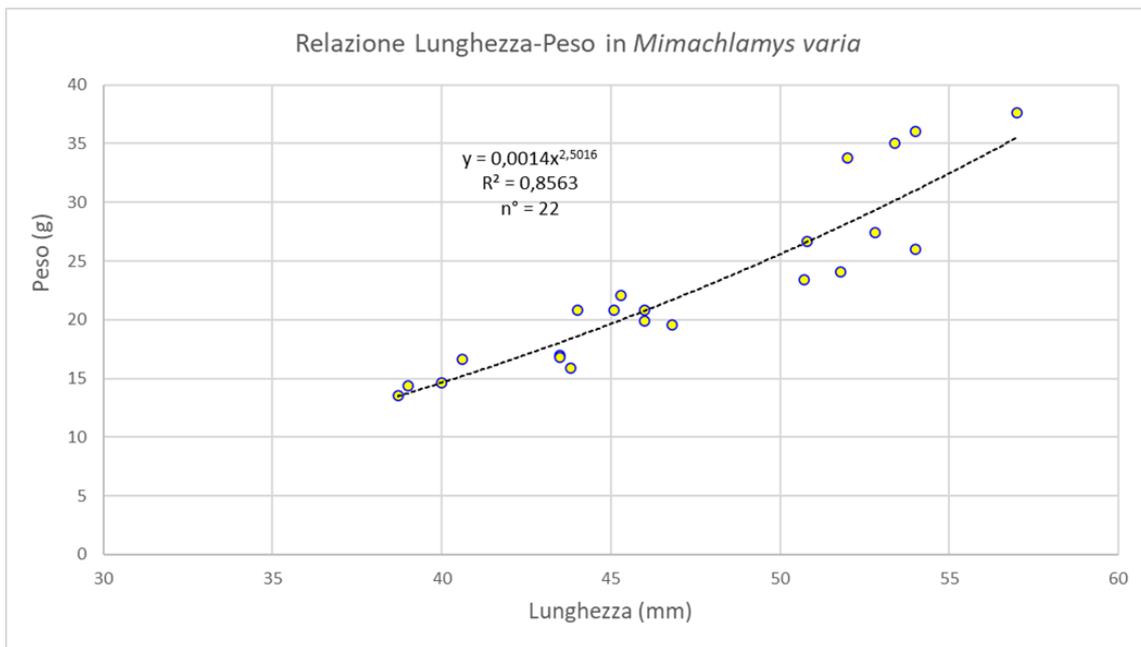


Figura 5.3.6. Grafico a dispersione che descrive la relazione tra lunghezza (in mm) e peso (in grammi) degli esemplari di *Mimachlamys varia* raccolti nelle 10 stazioni identificate per il campionamento dei pettinidi.

Dato l'esiguo numero di esemplari di *Aequipecten opercularis* campionati (4 rinvenuti in totale nelle 10 stazioni), non è stato possibile ottenere delle relazioni lunghezza-peso che fossero attendibili (Fig. 5.3.7).

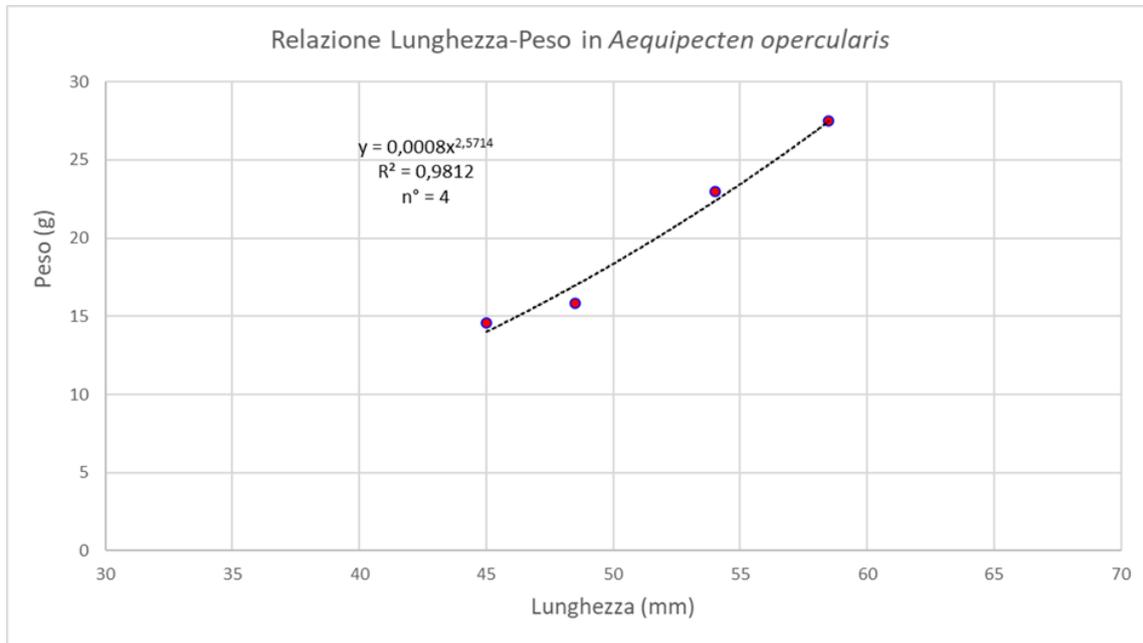


Figura 5.3.7. Grafico a dispersione che descrive la relazione tra lunghezza (in mm) e peso (in grammi) degli esemplari di *Aequipecten opercularis* raccolti nelle 10 stazioni identificate per il campionamento dei pettinidi.

WP 6. Caratterizzazione ambientale delle aree a fasolari

6.1 Caratterizzazione dei sedimenti delle aree a fasolari

In Fig. 6.1.1 è rappresentata la mappa delle stazioni campionate per la caratterizzazione dei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari, mentre nella tabella 6.1.1 sono riportate le coordinate delle stazioni, le profondità e le date di campionamento. I risultati relativi alla composizione granulometrica (sabbia, silt e argilla) e alla caratterizzazione della sostanza organica presente nei sedimenti (carbonio organico totale, azoto totale, composizione isotopica del carbonio organico totale e dell'azoto totale, rapporto molare tra carbonio organico totale e azoto totale) sono riportati in tabella 6.1.2. Le metodologie di campionamento e di analisi e i risultati sono descritti nei paragrafi 6.1.1 e 6.1.2.

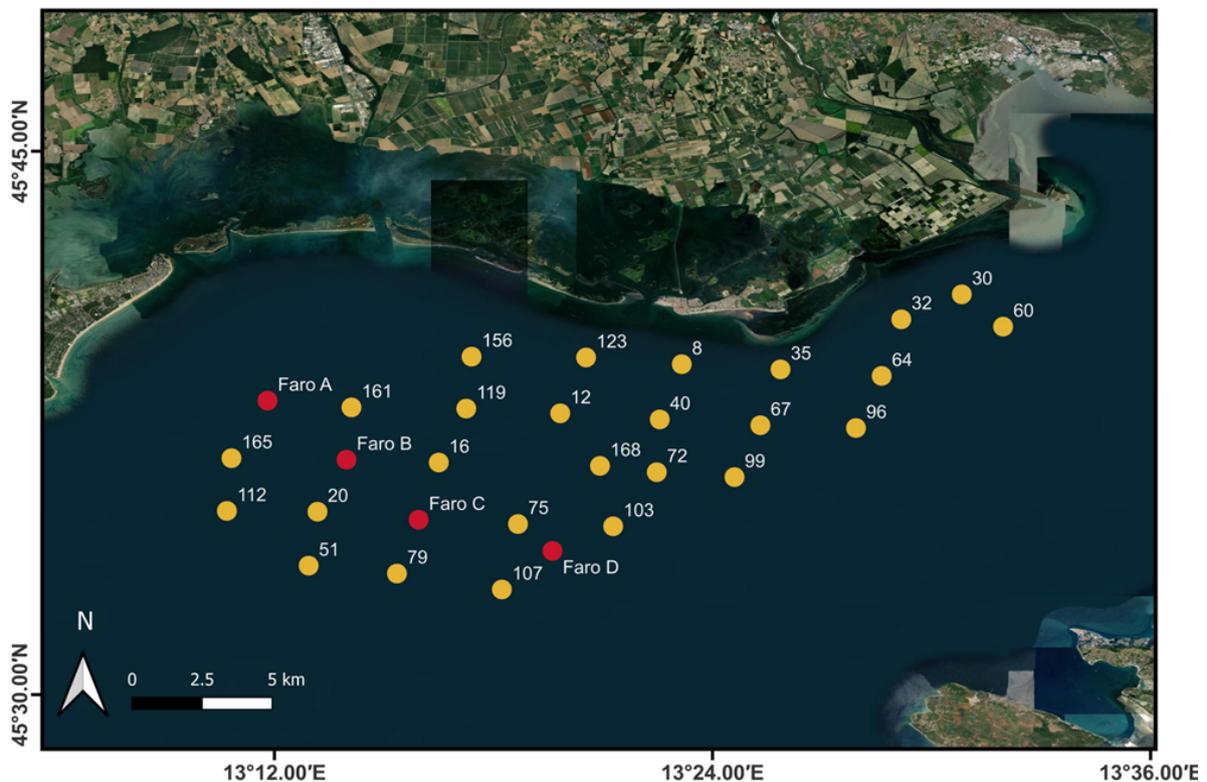


Figura 6.1.1. Mappa delle stazioni di campionamento nelle aree di pesca dei fasolari. Le stazioni in rosso rappresentano le stazioni "Faro" in cui è stata anche effettuata la caratterizzazione della colonna d'acqua, del plancton, del macrozoobenthos e dei fasolari (descritti in 6.2 e 7).

Date di campionamento, coordinate e profondità				
Stazione	Data	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E
8	29/08/2022	10.00	45°39,085'	13°23,052'
12	29/08/2022	13.50	45°37,792'	13°19,643'
35	29/08/2022	9.00	45°38,932'	13°25,779'
40	29/08/2022	15.00	45°37,637'	13°22,613'
64	29/08/2022	9.00	45°38,749'	13°28,630'
123	29/08/2022	11.50	45°39,307'	13°20,692'
30	30/08/2022	9.00	45°41,067'	13°30,799'
32	30/08/2022	6.00	45°40,339'	13°29,108'
60	30/08/2022	11.50	45°40,105'	13°31,859'
67	30/08/2022	16.50	45°37,483'	13°25,411'
96	30/08/2022	19.00	45°37,373'	13°27,953'
99	30/08/2022	20.00	45°36,227'	13°24,676'
72	31/08/2022	17.00	45°36,250'	13°22,543'
103	31/08/2022	20.00	45°34,554'	13°21,403'
168	31/08/2022	17.00	45°36,399'	13°20,966'
79	06/09/2022	15.40	45°33,287'	13°15,323'
20	06/09/2022	13.00	45°35,069'	13°13,211'
51	06/09/2022	15.10	45°33,560'	13°12,902'
112	06/09/2022	12.40	45°35,102'	13°10,748'
165	06/09/2022	14.80	45°36,550'	13°10,821'
47 (Faro C)	07/09/2022	13.40	45°34,814'	13°15,883'
107	07/09/2022	19.50	45°32,907'	13°18,217'
75	13/09/2022	18.00	45°34,681'	13°18,679'
105 (Faro D)	13/09/2022	19.30	45°33,997'	13°19,613'
115 (Faro B)	03/10/2022	11.50	45°36,507'	13°13,946'
131 (Faro A)	03/10/2022	14.50	45°37,054'	13°13,234'
16	03/10/2022	13.20	45°36,380'	13°16,424'
119	03/10/2022	12.50	45°37,880'	13°17,208'
156	03/10/2022	13.50	45°39,358'	13°17,343'
161	03/10/2022	14.50	45°37,935'	13°14,047'

Tabella 6.1.1. Coordinate, profondità e date di campionamento di sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.

Caratterizzazione dei sedimenti delle aree a fasolari												
Stazione	Data	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E	Sabbia %	Silt %	Argilla %	TOC %	TN %	$\delta^{13}\text{C-SOM}$ ‰	$\delta^{15}\text{N-SOM}$ ‰	TOC/TN molar ratio
8	29/8/2022	10.00	45°39,085'	13°23,052'	19.45	56.80	23.75	1.17	0.11	-21.67	3.67	12.9
12	29/8/2022	13.50	45°37,792'	13°19,643'	93.64	3.44	2.91	0.10	0.04	-22.02	4.72	2.7
35	29/8/2022	9.00	45°38,932'	13°25,779'	98.05	1.06	0.89	0.08	0.04	-22.13	5.48	2.3
40	29/8/2022	15.00	45°37,637'	13°22,613'	94.96	2.75	2.29	0.17	0.03	-21.49	4.73	6.3
64	29/8/2022	9.00	45°38,749'	13°28,630'	97.76	1.06	1.18	0.08	0.03	-21.88	6.48	3.6
123	29/8/2022	11.50	45°39,307'	13°20,692'	17.24	54.99	27.77	1.44	0.12	-21.27	4.25	14.5
30	30/8/2022	9.00	45°41,067'	13°30,799'	83.35	9.15	7.50	0.33	0.05	-22.56	3.22	7.7
32	30/8/2022	6.00	45°40,339'	13°29,108'	98.58	0.77	0.65	0.07	0.04	-19.63	3.45	2.3
60	30/8/2022	11.50	45°40,105'	13°31,859'	95.55	2.14	2.31	0.13	0.05	-22.14	3.90	2.9
67	30/8/2022	16.50	45°37,483'	13°25,411'	71.23	15.31	13.45	0.40	0.05	-22.05	4.57	9.2
96	30/8/2022	19.00	45°37,373'	13°27,953'	73.77	13.70	12.53	0.46	0.06	-22.07	4.70	9.2
99	30/8/2022	20.00	45°36,227'	13°24,676'	72.46	15.58	11.96	0.54	0.19	-22.05	3.68	3.3
72	31/8/2022	17.00	45°36,250'	13°22,543'	85.90	9.68	4.43	0.25	0.07	-21.43	4.22	4.3
103	31/8/2022	20.00	45°34,554'	13°21,403'	81.07	12.76	6.18	0.22	0.06	-22.27	4.47	4.2
168	31/8/2022	17.00	45°36,399'	13°20,966'	85.38	8.67	5.96	0.30	0.05	-21.55	4.18	6.5
79	6/9/2022	15.40	45°33,287'	13°15,323'	98.15	1.07	0.78	0.09	0.04	-21.16	2.28	2.9
20	6/9/2022	13.00	45°35,069'	13°13,211'	100.00	0.00	0.00	0.08	0.03	-21.20	4.57	2.6
51	6/9/2022	15.10	45°33,560'	13°12,902'	97.36	1.67	0.96	0.10	0.05	-21.01	3.96	2.5
112	6/9/2022	12.40	45°35,102'	13°10,748'	97.68	1.26	1.06	0.08	0.09	-21.44	4.27	1.0
165	6/9/2022	14.80	45°36,550'	13°10,821'	91.59	4.74	3.67	0.19	0.04	-21.16	4.50	5.4
47 (Faro C)	7/9/2022	13.40	45°34,814'	13°15,883'	96.24	2.39	1.37	0.11	0.05	-21.31	4.00	2.4
107	7/9/2022	19.50	45°32,907'	13°18,217'	95.65	2.61	1.75	0.17	0.03	-21.76	4.51	6.1
75	13/9/2022	18.00	45°34,681'	13°18,679'	93.03	4.24	2.73	0.18	0.03	-21.12	3.63	6.9
105 (Faro D)	13/9/2022	19.30	45°33,997'	13°19,613'	95.50	2.69	1.82	0.16	0.03	-21.86	4.28	5.5
115 (Faro B)	3/10/2022	11.50	45°36,507'	13°13,946'	97.85	1.16	1.00	0.12	0.06	-20.08	3.77	2.4
131 (Faro A)	3/10/2022	14.50	45°37,054'	13°13,234'	95.05	2.78	2.17	0.18	0.04	-19.63	4.41	5.0
16	3/10/2022	13.20	45°36,380'	13°16,424'	95.82	2.19	1.99	0.12	0.05	-20.48	4.94	2.7
119	3/10/2022	12.50	45°37,880'	13°17,208'	96.98	1.52	1.50	0.09	0.03	-21.72	3.95	3.5
156	3/10/2022	13.50	45°39,358'	13°17,343'	72.01	17.00	10.99	0.51	0.06	-20.87	3.50	10.8
161	3/10/2022	14.50	45°37,935'	13°14,047'	89.17	6.35	4.48	0.25	0.03	-20.49	3.75	8.4

Tabella 6.1.2. Composizione granulometrica (sabbia, silt e argilla) e caratterizzazione della sostanza organica dei sedimenti delle aree a fasolari. TOC: carbonio organico totale; TN: azoto totale; $\delta^{13}\text{C-SOM}$: composizione isotopica del carbonio organico totale; $\delta^{15}\text{N-SOM}$: composizione isotopica dell'azoto totale; TOC/TN: rapporto molare tra carbonio organico totale e azoto totale.

6.1.1 Caratterizzazione granulometrica

Materiali e Metodi

I sedimenti sono stati campionati utilizzando due pescherecci della marineria di Grado e due pescherecci della marineria di Marano, mediante benna di Van Veen con superficie di presa di 0.1 m² in modo da coprire l'area di pesca dei fasolari (Fig. 6.1.1) Le coordinate geografiche sono riportate nella tabella 6.1.1. Subaliquote di sedimento superficiale (0-2 cm) sono state prelevate in contenitori di polipropilene e conservate a -20 °C per le determinazioni granulometriche da eseguire in laboratorio. L'analisi dimensionale dei sedimenti è stata successivamente condotta mediante un diffrattometro laser Beckman Coulter LS 13 320, che consente la rilevazione accurata di particelle nell'intervallo granulometrico compreso tra 0.017 nm e 2000 µm. Al fine di rimuovere la sostanza organica e prevenire la flocculazione della frazione argillosa, preliminarmente all'analisi diffrattometrica, ciascun campione è stato trattato con H₂O₂ 10% v/v, disperso in una soluzione acquosa con Na₆P₆O₁₈ 5% m/v e sottoposto a sonicazione. I dati sono stati espressi come percentuali di sabbia, silt e argilla. I limiti tra sabbia e silt e tra silt e argilla sono stati fissati rispettivamente a 62.5 µm e 4 µm, in accordo con la classificazione di [Wentworth \(1922\)](#), mentre il sedimento è stato descritto secondo le classi indicate nel diagramma ternario di [Nota \(1958\)](#).

Risultati e Discussione

I risultati delle analisi granulometriche condotte sui 30 campioni di sedimento (Fig. 6.1.1.1; Tab. 6.1.2), raccolti nelle aree di pesca dei fasolari, indicano che la sabbia, presente in percentuali variabili tra 17.24 % (stazione 123) e 100.00 % (stazione 20), rappresenta la classe dimensionale prevalente. La frazione siltosa varia invece tra 0.00 % (stazione 20) e 56.80 % (stazione 8), mentre l'argilla, con percentuali comprese tra 0.00 % (stazione 20) e 27.77 % (stazione 123), risulta la classe dimensionale meno abbondante. La composizione dei sedimenti nell'area di indagine riflette la classica distribuzione tessiturale più volte descritta per questo settore del golfo di Trieste (Brambati et al., 1983; Marocco et al., 1989; Gordini et al., 2004; Testa et al., 2020), sebbene i campioni raccolti in prossimità della bocca tidale di Grado risultino moderatamente più pelitici rispetto a quanto si evince dalle carte sedimentologiche. Nel dettaglio, lungo la direttrice che, da NW a SE, collega le stazioni 8 e 123 (poste in corrispondenza della bocca di porto tidale della Fosa di Grado) alle stazioni 96 e 99, si evidenzia un netto gradiente costa-largo, caratterizzato dalla transizione da peliti sabbiose a sabbie pelitiche, mentre nel resto dell'areale i sedimenti risultano composti essenzialmente da sabbie (Figg. 6.1.1.1 e 6.1.1.2).

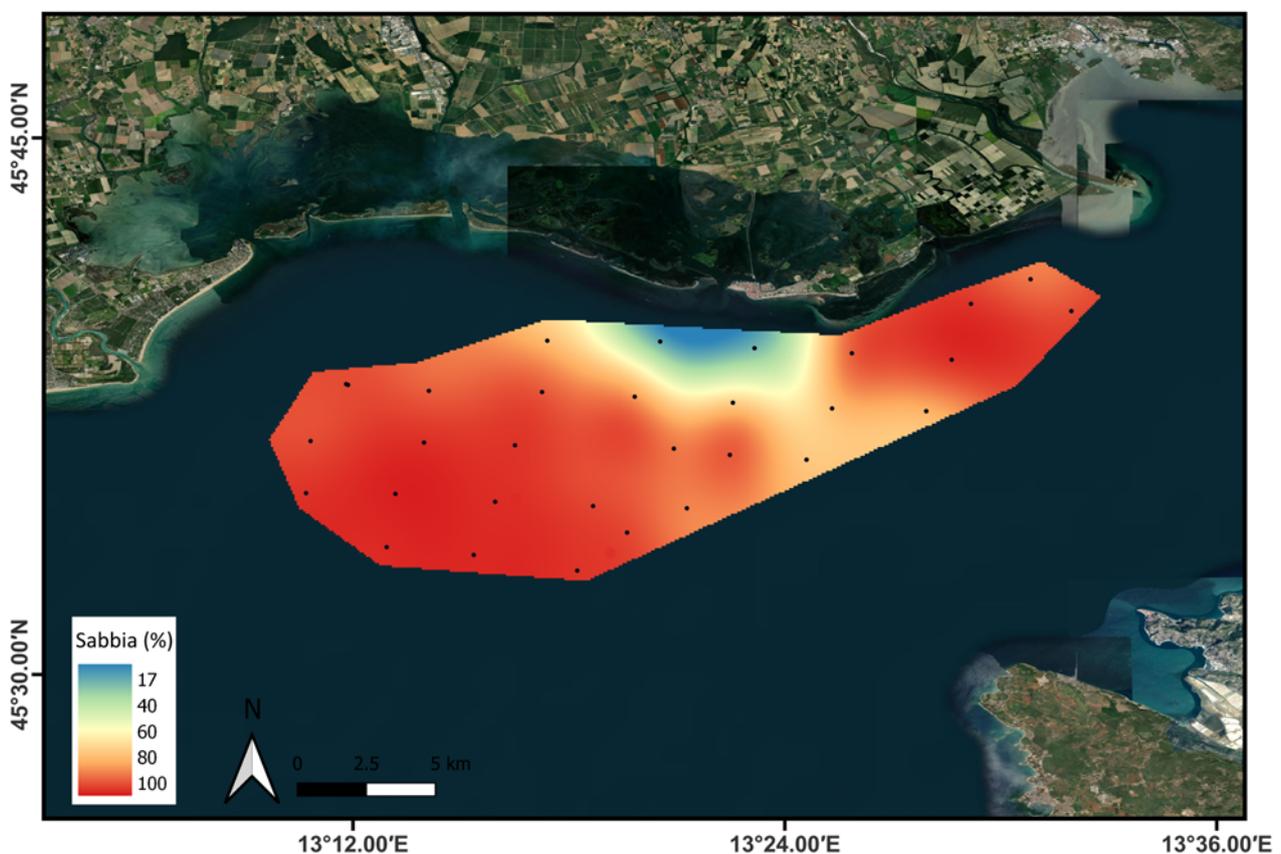


Figura 6.1.1.1. Distribuzione della frazione sabbiosa nelle aree di pesca dei fasolari.

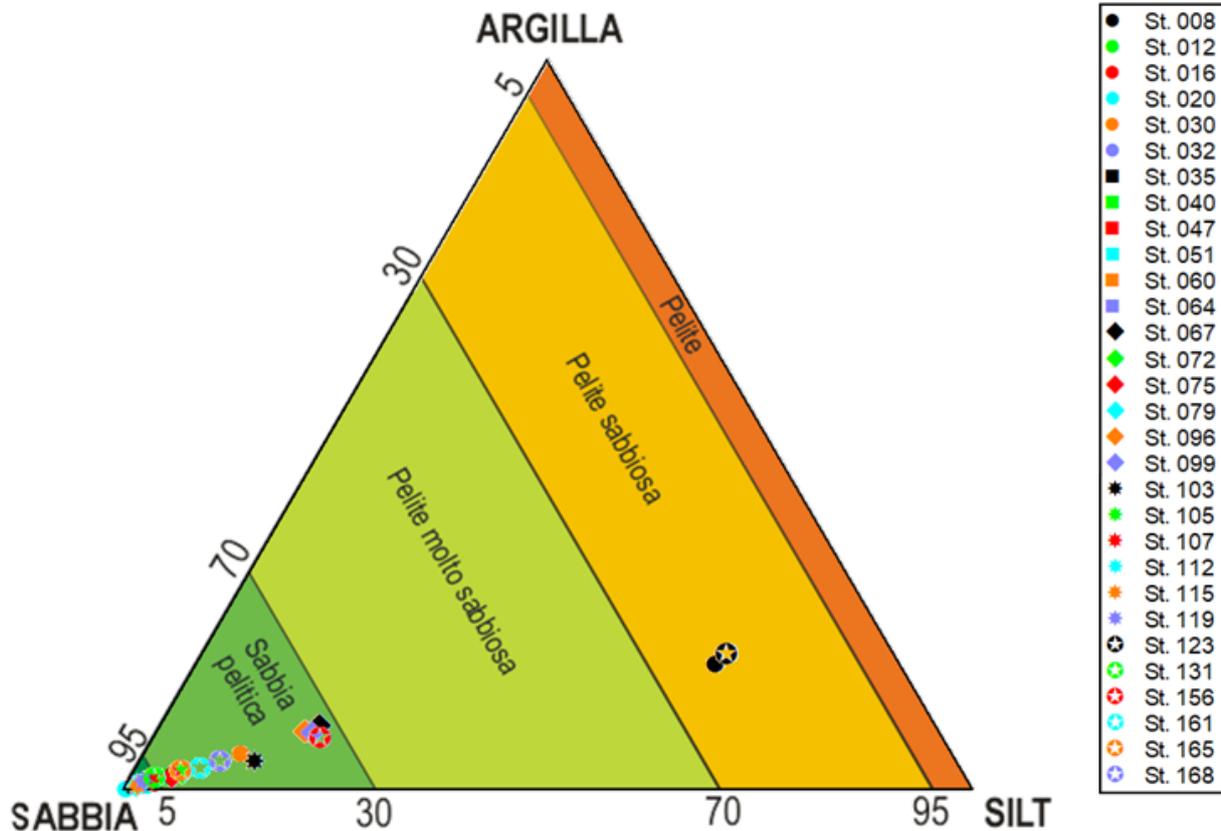


Figura 6.1.1.2. Diagramma ternario della composizione granulometrica dei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.

6.1.2 Caratterizzazione della sostanza organica nei sedimenti

L'obiettivo di questo task è la quantificazione e caratterizzazione della sostanza organica sedimentaria nelle aree di pesca dei fasolari anche per comprendere il suo ruolo come possibile fonte alimentare per i bivalvi.

Materiali e Metodi

In corrispondenza dei campionamenti eseguiti per la caratterizzazione granulometrica dei sedimenti nelle 30 stazioni individuate nelle aree di pesca dei fasolari (Fig. 6.1.1; Tab. 6.1.1), sono stati prelevati anche campioni di sedimento superficiale (0-2 cm) per la determinazione della concentrazione di carbonio organico totale (TOC) e azoto totale (TN) e della caratterizzazione dei relativi isotopi stabili ($\delta^{13}\text{C-SOM}$ e $\delta^{15}\text{N-SOM}$). Subaliquote di sedimento sono state prelevate in contenitori di polipropilene e conservate a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ fino al momento delle analisi. La determinazione del contenuto di carbonio organico, azoto totale e della relativa composizione isotopica è stata eseguita previa liofilizzazione, disaggregazione e setacciamento del sedimento su maglia da $250\text{ }\mu\text{m}$. Per la determinazione del contenuto di TOC, aliquote di sedimento, comprese tra 11 e 30 mg, sono state poste in capsule d'argento ($5\times 9\text{ mm}$) e acidificate con HCl 0.1, 0.5 e 1 mol L^{-1} al fine di eliminare la frazione carbonatica. Dopo ogni ciclo di acidificazione, i campioni sono stati essiccati in stufa a $60\text{ }^\circ\text{C}$ e infine riportati a temperatura ambiente in essiccatore. L'analisi è stata eseguita mediante un analizzatore

elementare CHN (Costech modello ECS 4010) secondo il metodo descritto da [Pella e Colombo \(1973\)](#) utilizzando l'acetanilide (Costech, purezza $\geq 99.5\%$) come standard per la taratura. La determinazione dei rapporti tra gli isotopi stabili del carbonio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) è stata effettuata mediante spettrometro di massa isotopica (IRMS) Elementar Isoprime 100 accoppiato con l'analizzatore elementare CHNO-S Costech ECS 4010. Per la determinazione del contenuto di TN, aliquote di sedimento, comprese tra 1 e 20 mg, sono state poste in capsule in stagno (5x9 mm) e analizzate utilizzando un analizzatore elementare CHNS Flash 2000 secondo il metodo di [Pella e Colombo \(1973\)](#). Concentrazioni note di standard (acetanilide, atropina, BBOT) sono state analizzate per la calibrazione dello strumento. La determinazione dei rapporti tra gli isotopi stabili dell'azoto $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}$) è stata effettuata mediante spettrometro di massa isotopica (IRMS) Thermo Scientific Delta V Advantage accoppiato con un analizzatore elementare CHNS Thermo Scientific Flash 2000. Le concentrazioni di TOC e TN vengono espresse in termini di percentuale su peso secco. Il limite di rilevabilità è di 0.03 % e 0.02 %, rispettivamente per TOC e TN. L'accuratezza delle analisi viene misurata su materiali certificati (PACS-1 e BCSS-1, National Research Council Canada). I rapporti isotopici $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ vengono espressi come deviazione per mille (‰) dallo standard internazionale VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) e dell'azoto atmosferico, rispettivamente:

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{campione}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{VPDB}} - 1} \right] * 1000$$

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{campione}}}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{AIR}} - 1} \right] * 1000$$

Prima delle analisi, vengono effettuate misure di controllo su materiali di riferimento certificati per i rapporti isotopici di carbonio e di azoto (sucrosio, acido glutammico, urea, caffeina, acido ossalico, potassio nitrato). La precisione analitica della misura è $\pm 0.2 \text{ ‰}$. Le analisi statistiche per determinare la correlazione tra variabili (test non parametrico di Spearman) sono state eseguite utilizzando Statistica (StatSoft Inc.).

Risultati e Discussione

Il contenuto di carbonio organico (TOC) nei sedimenti superficiali delle aree di pesca dei fasolari (Fig. 6.1.2.1; Tab. 6.1.2) è risultato compreso tra 0.07 % e 1.44 %, valori riscontrati rispettivamente presso le stazioni 32 e 123. La distribuzione dei valori di TOC è risultata affine a quella del contenuto pelitico dei sedimenti, infatti i due parametri sono risultati tra loro fortemente correlati (Spearman $R = 0.96$; $p < 0.01$), in accordo con i risultati di altri studi condotti nel nord Adriatico ([Fagnani et al., 1991](#); [Calace et al., 2006](#); [Giani et al., 2009](#)). Come descritto per la composizione granulometrica, anche per il contenuto di TOC si evidenzia un gradiente costa-largo lungo la direttrice che, da NW a SE, collega le stazioni 8 e 123 (poste in corrispondenza della bocca di porto tidale della Fosa di Grado) alle stazioni 96 e 99. Nei sedimenti di tale area, essendo caratterizzati da una maggiore componente pelitica, il contenuto di TOC risulta mediamente superiore a 0.50 %, mentre nella restante area di pesca la concentrazione di TOC è risultata inferiore e omogeneamente distribuita ($0.16 \pm 0.09 \text{ ‰}$).

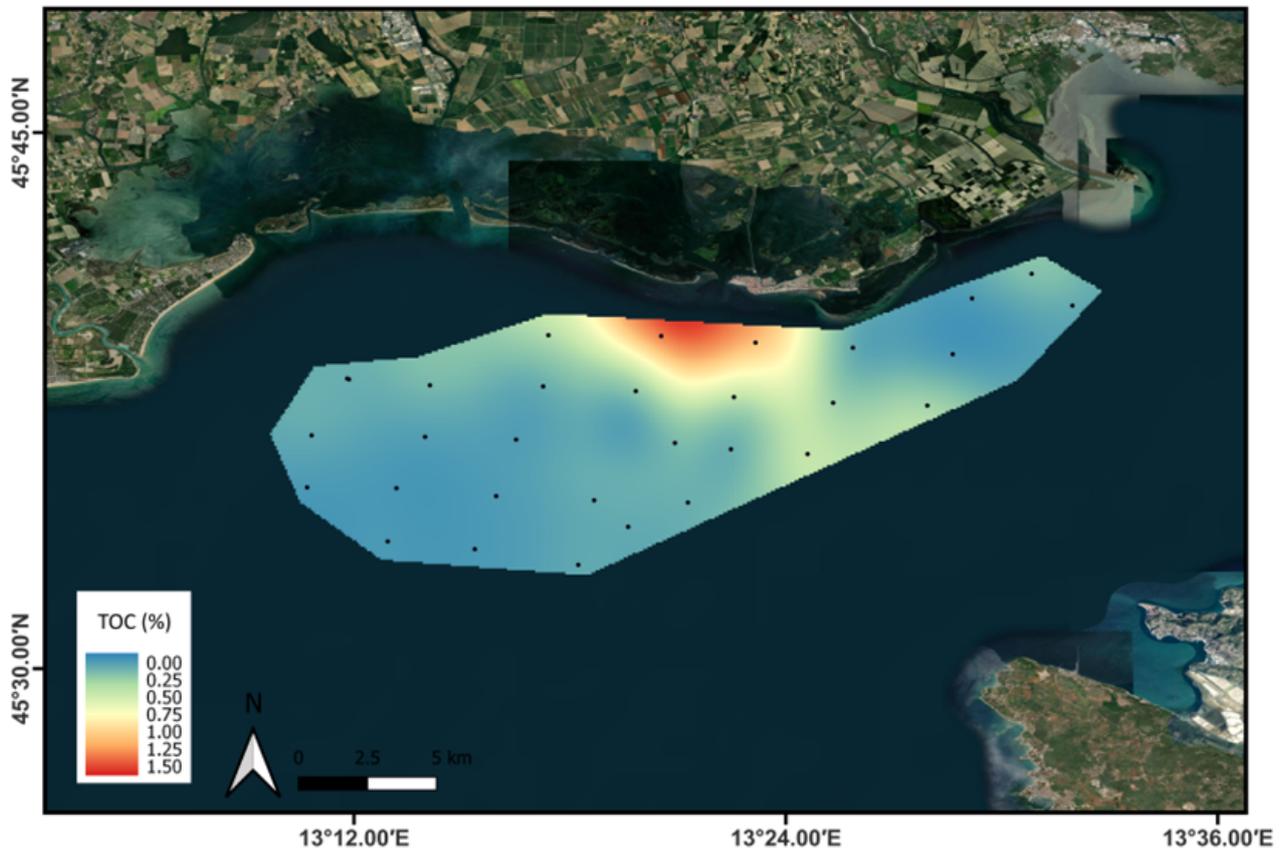


Figura 6.1.2.1. Distribuzione del contenuto di carbonio organico totale (TOC) nei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.

La composizione isotopica del carbonio organico totale ($\delta^{13}\text{C-SOM}$) nei sedimenti dell'area di pesca dei fasolari (Fig. 6.1.2.2; Tab. 6.1.2) è risultata mediamente più elevata ($-20.72 \pm 0.53 \text{ ‰}$) lungo la direttrice che da NW a SE collega le stazioni 165, A e 156 (poste in corrispondenza, rispettivamente, delle bocche di porto tidale di Lignano, S. Andrea e Porto Buso) alle stazioni 51 e 75. Nei sedimenti del resto dell'area indagata, con l'eccezione della stazione 32 (posta in corrispondenza della bocca di porto tidale di Primero), in cui è stato riscontrato il massimo valore di $\delta^{13}\text{C-SOM}$ (-19.63 ‰), la composizione isotopica del TOC è risultata caratterizzata da valori mediamente inferiori ($-21.82 \pm 0.35 \text{ ‰}$). In generale, tuttavia, i valori di $\delta^{13}\text{C-SOM}$ misurati nell'area di pesca dei fasolari rientrano all'interno del range di variabilità del fitoplancton marino (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti, Giani et al., 2009), suggerendo uno scarso contributo da parte degli apporti fluviali.

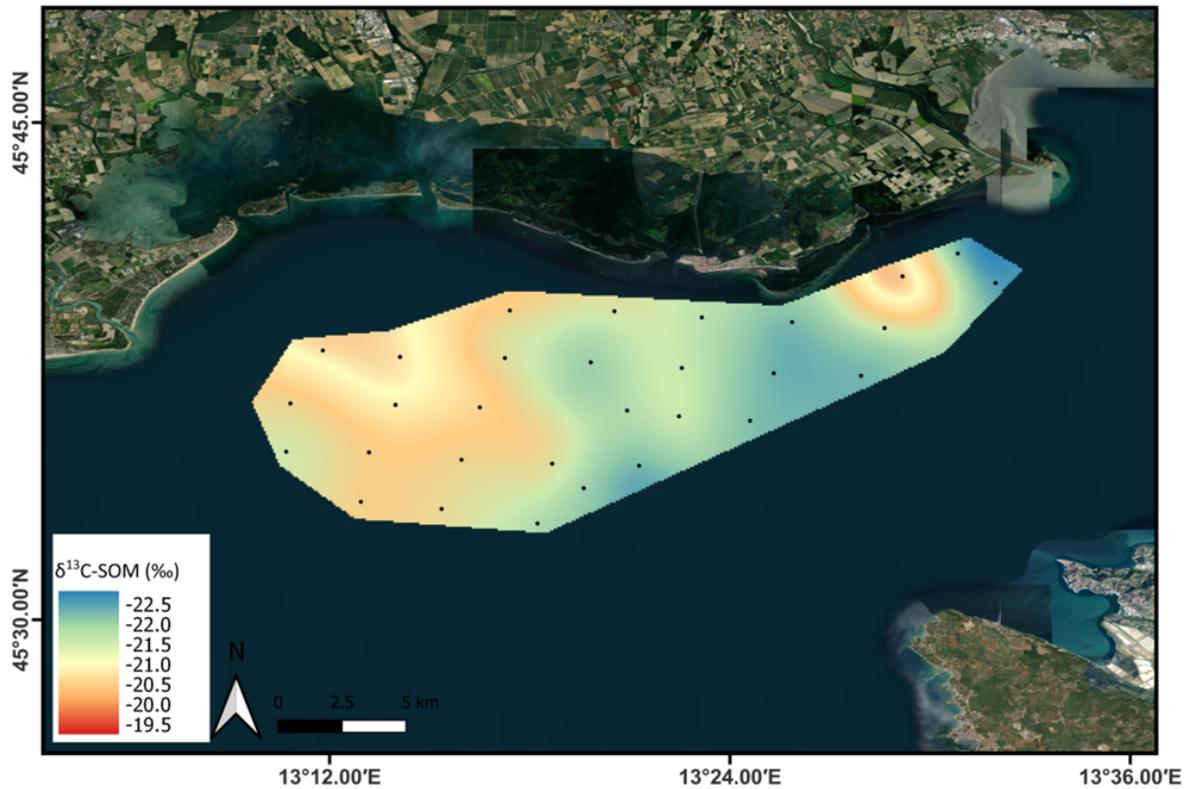


Figura 6.1.2.2. *Composizione isotopica del carbonio organico totale ($\delta^{13}\text{C-SOM}$) nei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.*

Un lieve gradiente costa-largo è stato evidenziato anche per il contenuto di azoto totale (TN), come per TOC e composizione granulometrica (Fig. 6.1.2.3; Tab. 6.1.2). I più alti valori di TN, infatti, sono stati riscontrati lungo la direttrice che, da NW a SE, collega le stazioni 8 e 123 (poste in corrispondenza della bocca di porto tidale della Fosa di Grado) alle stazioni 96 e 99, raggiungendo il massimo valore in questa ultima (0.19 %). Nella restante area di pesca il contenuto di TN è risultato mediamente inferiore e omogeneamente distribuito (0.05 ± 0.01 %).

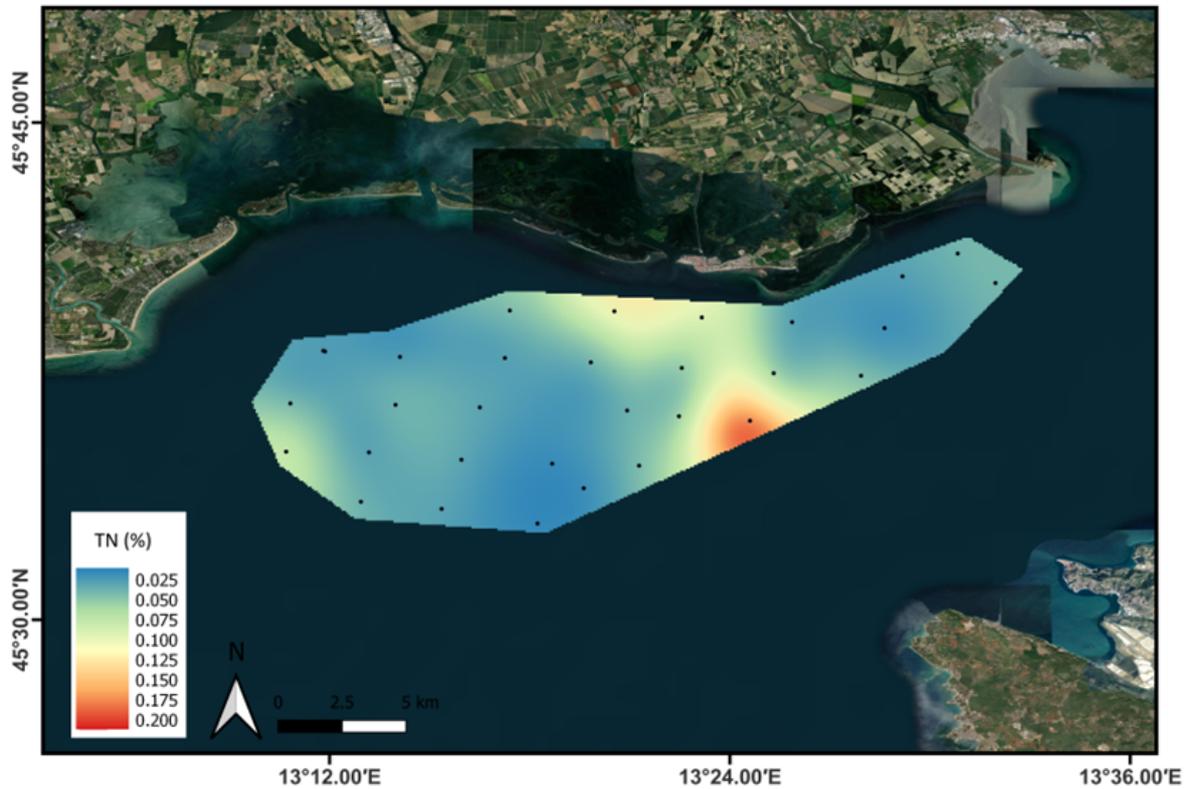


Figura 6.1.2.3. Distribuzione del contenuto di azoto totale (TN) nei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.

La composizione isotopica dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-SOM}$) nei sedimenti dell'area di pesca dei fasolari (Fig. 6.1.2.4; Tab. 6.1.2) è risultata variare tra 2.28 ‰, minimo misurato nella stazione D, e 6.48 ‰, massimo riscontrato nella stazione 64. Tali valori rientrano nel tipico range di variabilità della sostanza organica particellata marina (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti).

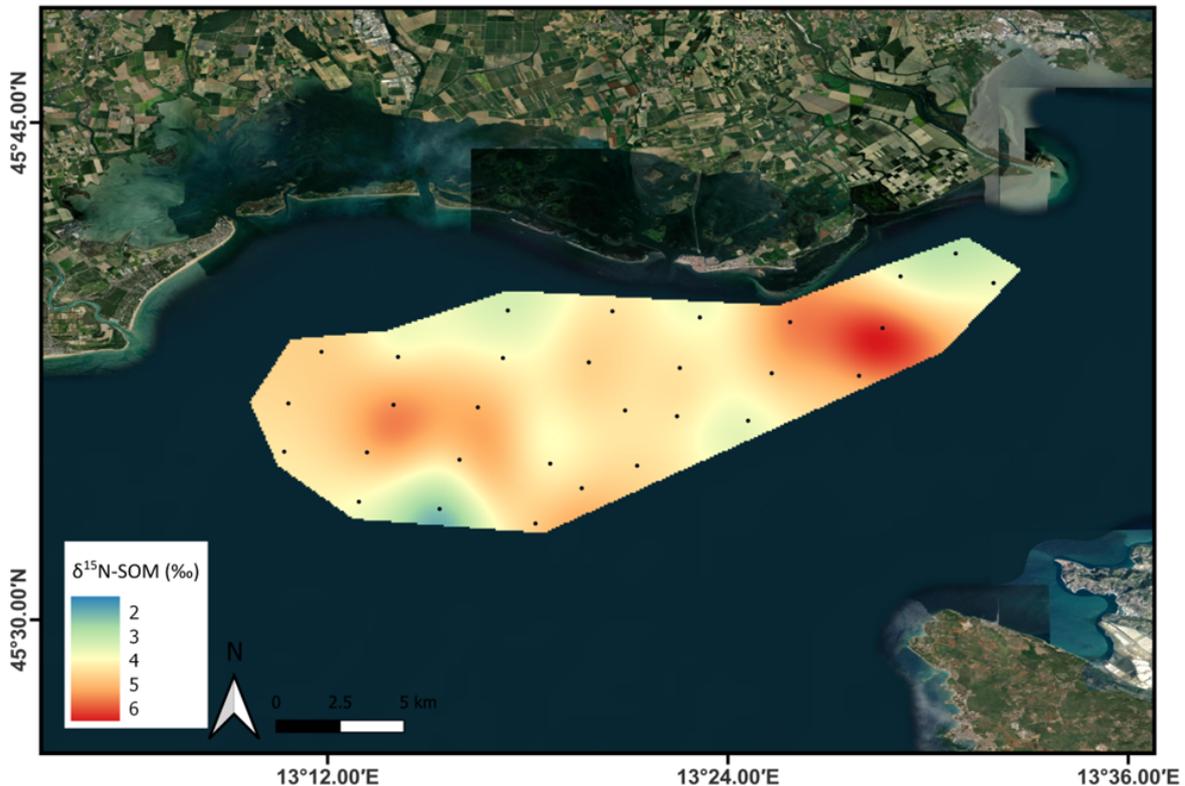


Figura 6.1.2.4. Distribuzione dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-SOM}$) nei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.

I valori più elevati del rapporto molare tra carbonio organico totale e azoto totale (TOC/TN; Fig. 6.1.2.5; Tab. 6.1.2), parametro comunemente utilizzato per determinare l'influenza di apporti terrestri e marini sui sedimenti superficiali (Meyers, 1997), sono stati riscontrati nelle stazioni corrispondenti alle bocche di porto tidale di Porto Buso (stazione 156, TOC/TN = 10.8) e Fosa di Grado (stazione 8, TOC/TN = 12.9 e 123, TOC/TN = 14.5). Tali valori rientrano nel range tipico di ambienti costieri (TOC/TN compreso tra 10 e 14; Meyers, 1997). Come evidenziato per il TOC, anche per il rapporto TOC/TN è evidente un lieve gradiente decrescente costa largo, lungo la direttrice NW-SE verso le stazioni 96 e 79 (TOC/TN = 9.2). I valori del rapporto TOC/TN riscontrati in questa area, compresi tra 5 e 10, sono indicativi di apporti di sostanza organica di origine prevalentemente marina (Meyers, 1997). Nella restante area indagata, il rapporto TOC/TN è risultato generalmente inferiore a 5, probabilmente per la presenza significativa di azoto inorganico adsorbito sui minerali argillosi (Spearman $R = 0.77$, $p < 0.01$; Ogrinc et al., 2005; Shubert & Calvert 2001).

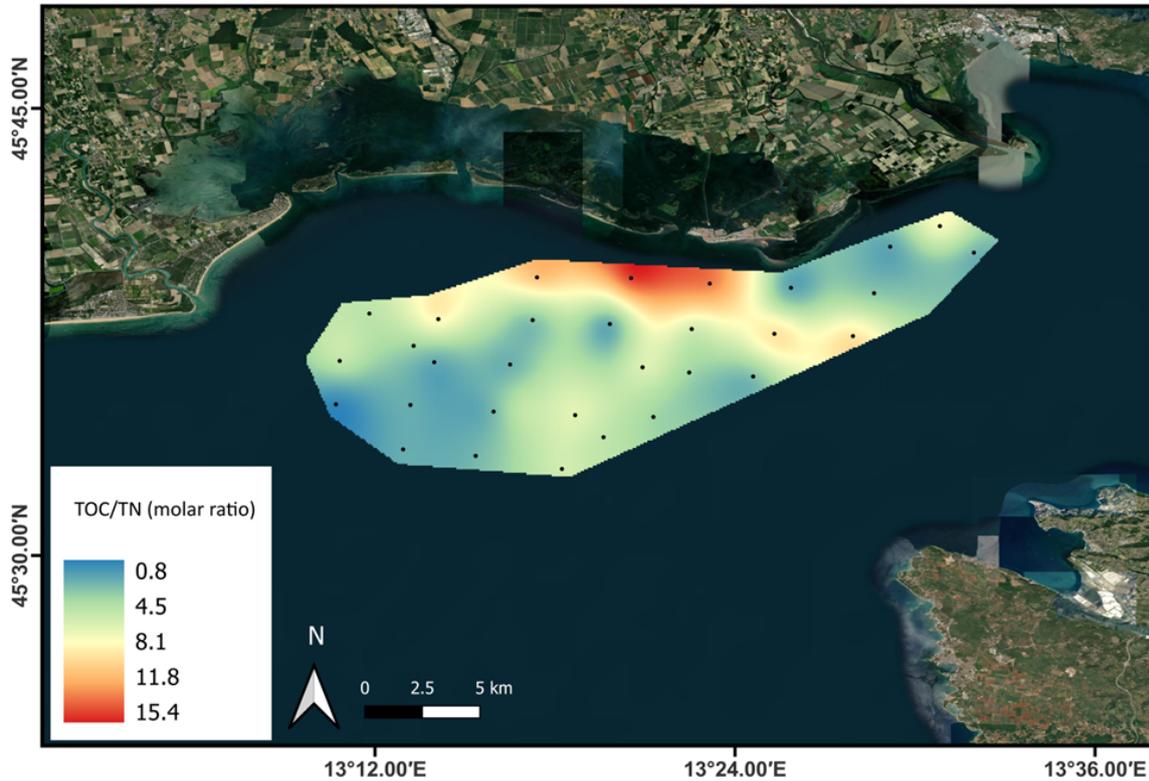


Figura 6.1.2.5. Distribuzione del rapporto molare tra carbonio organico e azoto totale (TOC/TN) nei sedimenti nelle aree di pesca dei fasolari.

6.2 Caratteristiche fisico-chimiche e trofiche delle aree a fasolari

Sulla base dei monitoraggi ambientali effettuati da ARPA-FVG e dell'ubicazione delle aree di pesca dei fasolari sono state individuate 4 stazioni, denominate nel seguito stazioni "Faro", disposte lungo un gradiente batimetrico costa-largo. In tali stazioni sono stati eseguiti campionamenti specifici per determinare le caratteristiche trofiche delle acque in prossimità del fondo, in diversi periodi stagionali. Nelle acque prossime al fondo sono state determinate le principali caratteristiche fisico-chimiche (temperatura, salinità, ossigeno disciolto) e biologiche (clorofilla). Inoltre è stato campionato stagionalmente il particolato sospeso per determinare quantitativamente il carbonio organico particolato, l'azoto particolato ed i rapporti degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto presenti nel particolato. Per caratterizzare la componente planctonica sono stati effettuati stagionalmente campionamenti di fitoplancton e di zooplancton. Su tali campioni sono state effettuate le determinazioni analitiche per quantificare il contenuto di carbonio organico, di azoto totale ed i rapporti degli isotopi stabili di carbonio ed azoto. Tali misure servono per caratterizzare le fonti di sostanza organica potenzialmente utilizzabili dai bivalvi filtratori. Le quattro stazioni "Faro" sono state posizionate lungo un transetto che dalla costa di Lignano si spinge verso il largo in direzione SE, a 4, 6, 8 e 11 miglia dalla costa (Fig. 6.2.1), coprendo una fascia batimetrica compresa tra 12 e 20 metri di profondità. Successivamente alla I campagna stagionale di misura, la posizione della stazione A prossima alla costa è stata modificata poiché in base ai risultati della campagna di pesca non risultavano presenti fasolari e quindi si è deciso di riposizionare tale stazione a 0.1 miglia in direzione NNE rispetto alla posizione originaria, ove risultavano presenti i bivalvi oggetto dello studio.

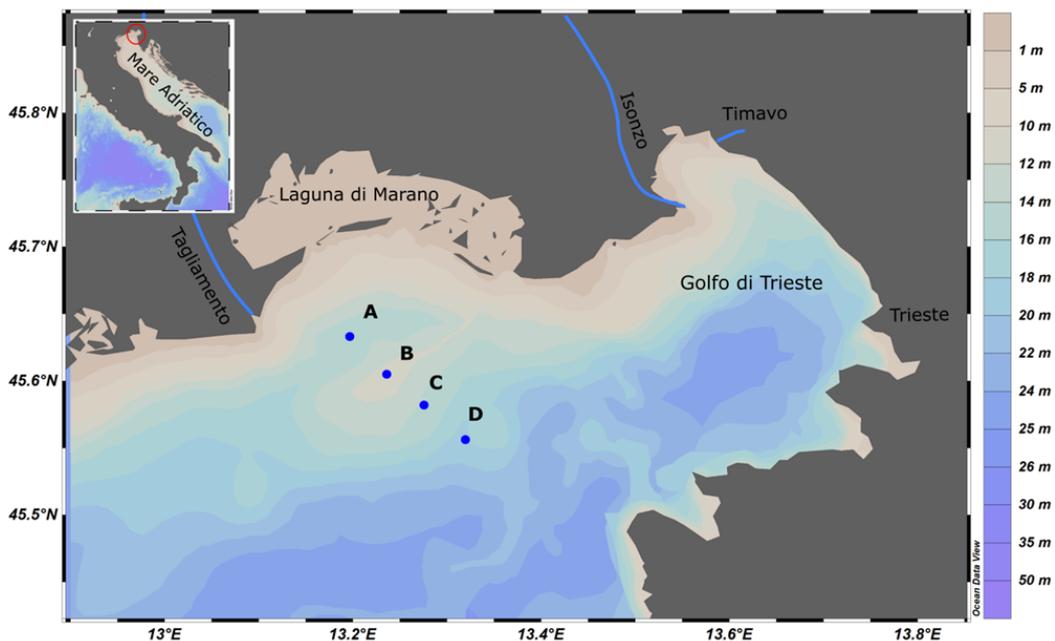


Figura 6.2.1. Mappa delle 4 stazioni "Faro" in cui sono stati eseguiti, stagionalmente, i campionamenti di acqua, sedimento superficiale e plancton .

Date di campionamento, coordinate e profondità					
Stazione	Data	Stagione	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E
A	17/06/2021	Primavera	15.50	45°37,0'	13°13,3'
B	17/06/2021	Primavera	12.00	45°36,3'	13°14,2'
C	15/06/2021	Primavera	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	15/06/2021	Primavera	20.50	45°33,4'	13°19,2'
A	31/08/2021	Estate	15.50	45°38,1'	13°11,9'
B	31/08/2021	Estate	12.50	45°36,3'	13°14,2'
C	30/08/2021	Estate	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	30/08/2021	Estate	20.50	45°33,4'	13°19,2'
A	19/11/2021	Autunno	15.50	45°38,1'	13°11,9'
B	19/11/2021	Autunno	12.50	45°36,3'	13°14,2'
C	17/11/2021	Autunno	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	17/11/2021	Autunno	20.75	45°33,4'	13°19,2'
A	18/02/2022	Inverno	15.70	45°38,1'	13°11,9'
B	18/02/2022	Inverno	12.70	45°36,3'	13°14,2'
C	17/02/2022	Inverno	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	17/02/2022	Inverno	20.70	45°33,4'	13°19,2'

Tabella 6.2.1. Coordinate, profondità e date dei campionamenti d'acqua, sedimento superficiale e plancton eseguiti stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

6.2.1 Caratteristiche idrologiche delle acque di fondo (area fasolari-stazioni "Faro")

Materiali e Metodi

Sono state condotte come previsto dal Progetto, in collaborazione con ARPA-FVG, le campagne stagionali nelle 4 stazioni "Faro" individuate, denominate A, B, C e D. Le coordinate e le date in cui sono stati effettuati i rilievi oceanografici ed i campionamenti sono riportate nella Tabella 6.2.1. In ciascuna stazione sono stati eseguiti i profili di temperatura, salinità, ossigeno disciolto e fluorescenza lungo la colonna d'acqua mediante sonda multiparametrica CTD (Idronaut 316 e 316plus). I campionamenti delle acque in prossimità del fondo sono stati effettuati in ogni stazione con una bottiglia Niskin orizzontale da 5 L. Subcampioni di acqua sono stati prelevati per la determinazione dell'ossigeno disciolto (O_2) e dei nutrienti inorganici (NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , $Si(OH)_4$). E' stato inoltre campionato stagionalmente il particolato sospeso per determinare la concentrazione di clorofilla *a* (Chl *a*), la concentrazione di carbonio organico particellato (POC), la concentrazione di azoto particellato (PN) e i rapporti degli isotopi stabili del carbonio e dell'azoto presenti nella sostanza organica particellata ($\delta^{13}C$ -POM e $\delta^{15}N$ -POM). I campioni destinati alla determinazione dell'ossigeno disciolto sono stati fissati con i reattivi previsti dal metodo Winkler immediatamente dopo il subcampionamento. L'analisi è stata completata in laboratorio, entro 24-48 ore dal campionamento, mediante titolazione potenziometrica con titolatore automatico Mettler Toledo G20 (Oudot et al., 1988). I subcampioni per la determinazione dei nutrienti e di POC e PN e relativi isotopi stabili ($\delta^{13}C$ -POM e $\delta^{15}N$ -POM) sono stati prelevati e analizzati come descritto in 2.1.1 e 2.1.2. I campioni destinati all'analisi della clorofilla *a* sono stati filtrati direttamente a bordo

su filtri Whatman GF/F (0.7 μm) da 47 mm di diametro immediatamente dopo i campionamenti e sono stati conservati a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ fino al momento dell'analisi, che è stata eseguita per via spettrofluorometrica dopo estrazione con acetone al 90 % (Lorenzen and Jeffrey, 1980). Le analisi statistiche per determinare le correlazioni tra variabili (test non parametrico di Spearman) e le differenze stagionali (test non parametrico di Mann-Whitney) sono state eseguite utilizzando Statistica (StatSoft Inc.).

Risultati e discussione

Nel **periodo tardo primaverile (giugno)** la stratificazione stagionale termalina interessa tutto il transetto con minimi di salinità in superficie nella stazione A (28.96, valore minimo delle 4 campagne), più vicina alla costa. Un nucleo di acque più fredde (13.99-14.49 $^{\circ}\text{C}$) e salate (37.60-37.77) si evidenzia tra i 16 metri di profondità ed il fondo nella stazione D, più lontana dalla costa (Fig. 6.2.1). La torbidità maggiore si rileva nelle acque superficiali e di fondo della stazione più vicina alla costa (A). I massimi di clorofilla si trovano tra i 10 ed i 15 metri di profondità. L'attenuazione dell'irradianza PAR (Radiazione Fotosinteticamente Attiva) rispetto alla superficie raggiunge i valori massimi ($\sim 1\%$ PAR superficiale) nelle acque di fondo delle stazioni A e D, mentre risulta leggermente inferiore nelle acque di fondo delle altre due stazioni C e B (2.7 e 5.1 % PAR superficiale), rispettivamente.

Le acque prossime al fondo risultano avere valori di ossigeno inferiori alla saturazione in tutte le stazioni tranne che in quella meno profonda (B), in tali acque si riscontrano anche i valori più bassi di pH (Fig. 6.2.1.1). La torbidità è più elevata nelle acque superficiali delle due stazioni costiere, con valori compresi tra 3.9 e 5 NTU, mentre nel resto della colonna risulta più omogenea, con valori compresi tra 3 e 4 NTU, tranne che nelle acque di fondo della stazione A dove si raggiunge un massimo di 5.15 NTU (Fig. 6.2.1.1).

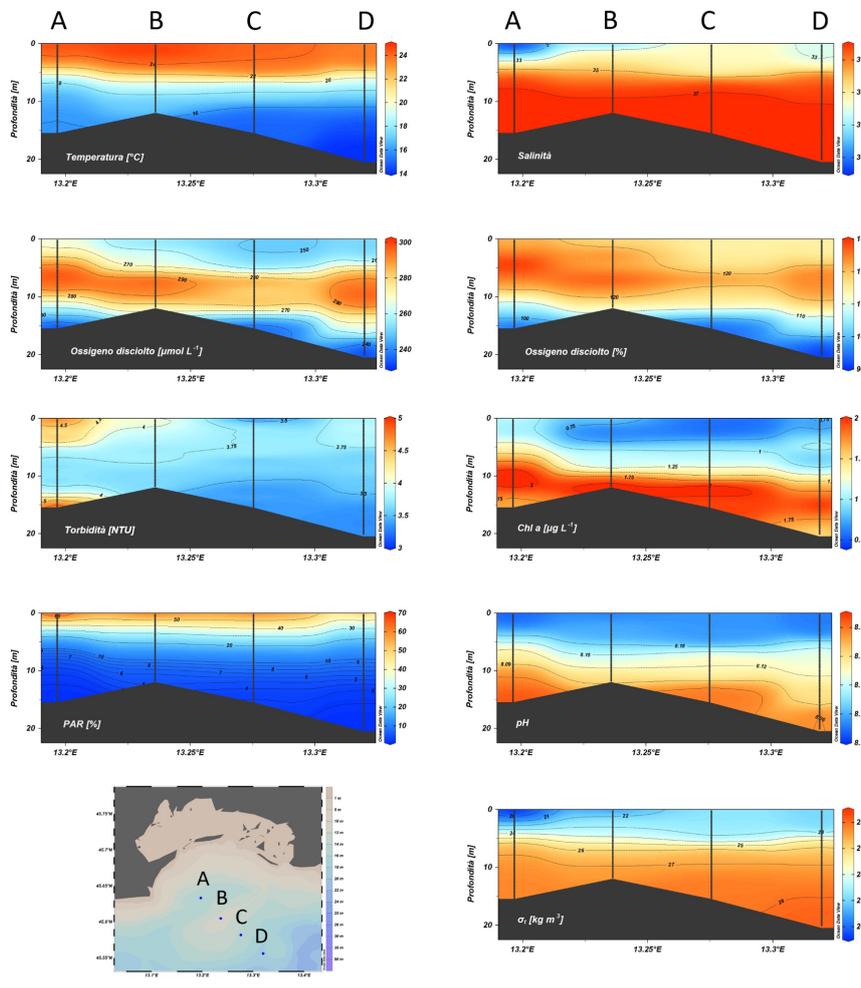


Figura 6.2.1.1. Distribuzione, in giugno 2021, di temperatura, salinità, ossigeno disciolto (concentrazione e percentuale di saturazione), anomalia di densità (σ_t), torbidità, clorofilla *a*, radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, espressa come percentuale della radiazione incidente in superficie) e pH in funzione della profondità lungo il transetto delle stazioni A, B, C e D.

In estate le acque sono ben rimescolate fino a 10 metri di profondità con valori di salinità elevati lungo tutto il transetto (Fig. 6.2.1.2). Un nucleo di acque con maggior salinità e leggermente più fredde si evidenzia nella stazione D, più distante dalla costa. In tale stazione, tra 18.5 m di profondità ed il fondo, si osserva un nucleo di acque dense, più fredde (21.76-20.74 °C) e salate (37.96-38.12). La concentrazione di ossigeno disciolto risulta superiore ai valori di saturazione lungo tutto il transetto indicando che c'è stato un rimescolamento delle acque che ha riossigenato le acque impoverite di ossigeno che erano presenti al di sotto del picnoclino nel periodo tardo primaverile. Soltanto il nucleo di acque dense, prossimo al fondo nella stazione D, risulta leggermente sottosaturo con un valore minimo di 98.5%. La torbidità è bassa (3.7 NTU) lungo tutto il transetto (Fig. 6.2.1.2). Un massimo di torbidità si evidenzia al fondo della stazione A, più vicina alla costa. Le concentrazioni di clorofilla *a* sono basse lungo tutto il transetto con valori più elevati nella stazione C al di sotto dei 10 metri e nella stazione D. Il pH è omogeneo (8.15) nello strato rimescolato, tra la superficie e i 10 metri di profondità con valori minimi nelle acque di fondo, in particolare nel nucleo di acque dense (8.11).

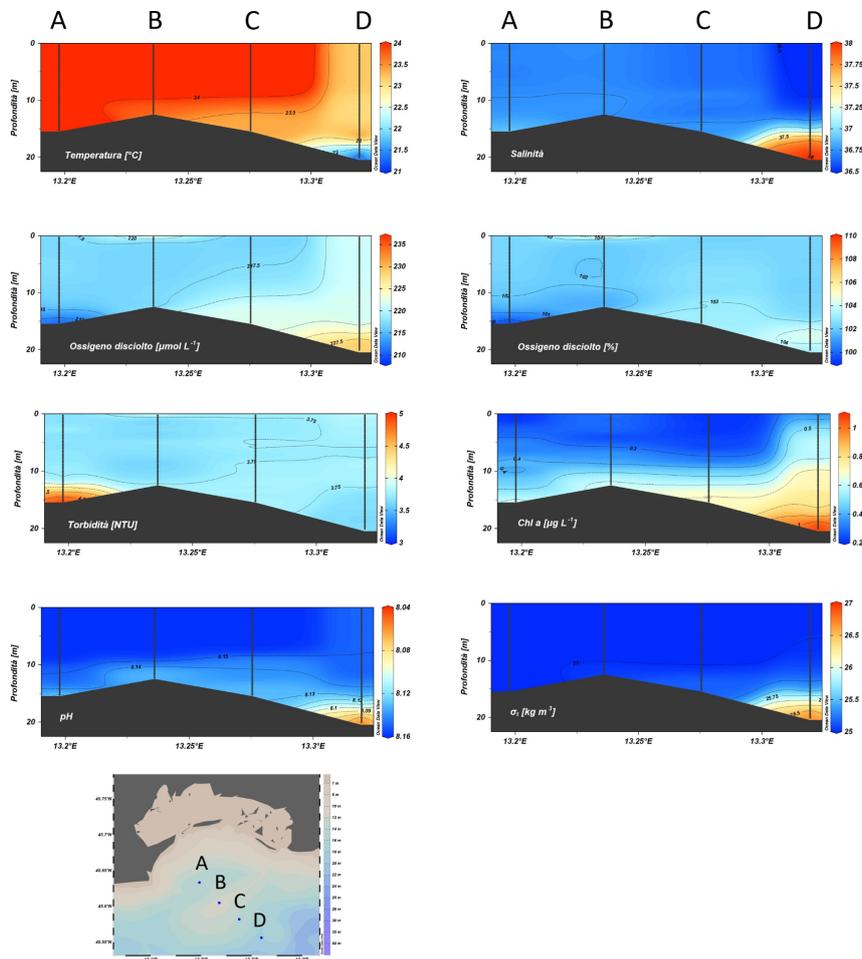


Figura 6.2.1.2. Distribuzione, in agosto 2021, di temperatura, salinità, ossigeno disciolto (concentrazione e percentuale di saturazione), anomalia di densità (σ_t), torbidità, clorofilla *a*, radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, espressa come percentuale della radiazione incidente in superficie) e pH in funzione della profondità lungo il transetto delle stazioni A, B, C e D.

In autunno le acque sono rimescolate con un nucleo di acque dense, più fredde e salate, che interessa le stazioni A, B e C, mentre nella stazione più al largo le acque sono più calde e meno salate (Fig. 6.2.1.3). Nei giorni 14, 15 e 16 novembre, immediatamente precedenti alla campagna, è infatti spirata bora con raffiche fino a 96 km h^{-1} . L'ossigeno disciolto presenta valori leggermente al di sotto della saturazione nelle due stazioni più costiere (95.8-97.9%) e valori leggermente più bassi nelle stazioni più al largo (90.4 -96.2 %) con minimi nelle acque superficiali e massimi tra 15/16 metri di profondità ed il fondo. La torbidità è bassa (<3 NTU) lungo tutto il transetto tranne che nella stazione più vicina alla costa (A) dove si riscontrano valori molto elevati tra 8 e 11 metri di profondità (Fig. 6.2.3). Valori così elevati potrebbero essere dovuti a residui di materiale detritico derivante dalla pulizia delle reti da pesca a strascico da parte dei pescherecci che operavano in aree prossimali. La PAR, per un problema tecnico, è stata misurata solo nelle due stazioni più distanti dalla costa (C e D). La percentuale di PAR che raggiunge il fondo è minima nella stazione D più distante dalla costa dove si raggiungono valori di 0.4%, che sono i minimi assoluti misurati nelle 4 campagne oceanografiche (Fig. 6.2.3). La clorofilla *a* presenta concentrazioni più elevate nella stazione al largo (D) e tra i 10 metri di profondità ed il

fondo nella stazione più vicina alla costa (A). I valori più elevati di pH si registrano nelle due stazioni costiere con acque più fredde.

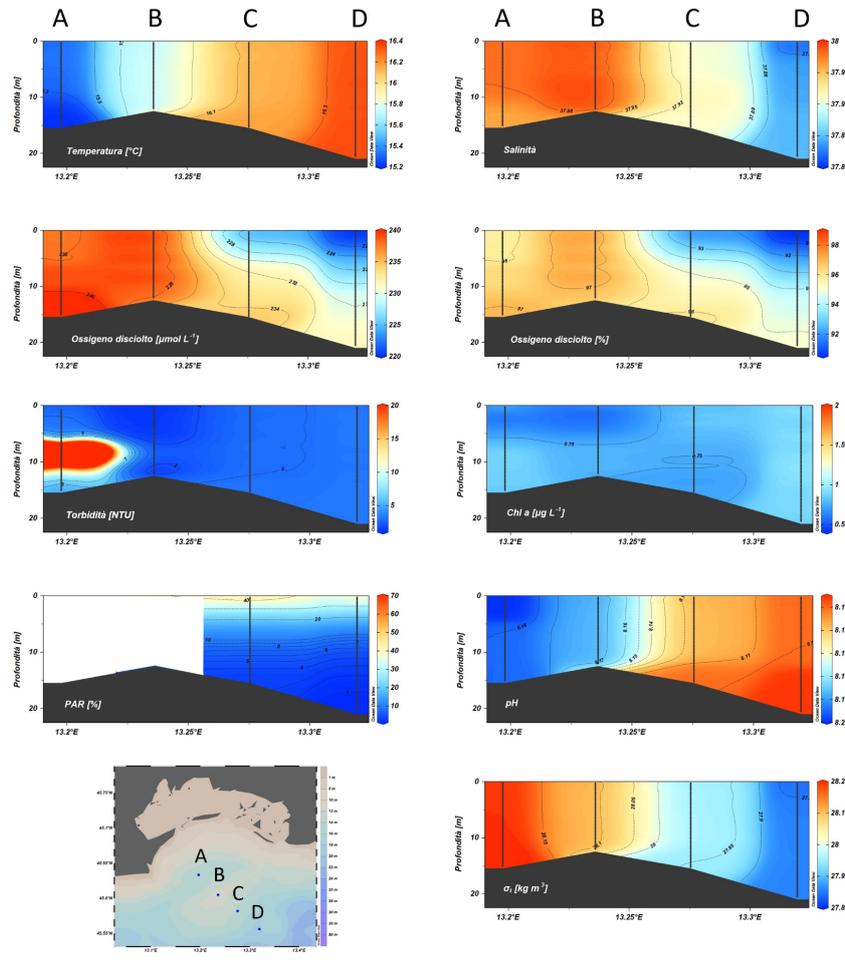


Figura 6.2.1.3. Distribuzione, in novembre 2021, di temperatura, salinità, ossigeno disciolto (concentrazione e percentuale di saturazione), anomalia di densità (σ_t), torbidità, clorofilla a, radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, espressa come percentuale della radiazione incidente in superficie) e pH in funzione della profondità lungo il transetto delle stazioni A, B, C e D.

Nel **periodo invernale (febbraio)**, si evidenzia una marcata stratificazione di acque dolci di origine fluviale, con salinità che raggiungono minimi di 35.89 (stazione A), che si estende fino alla stazione C. Nella stazione D, più distante dalla costa, la salinità risulta omogenea (38.5) e l'anomalia di densità raggiunge valori elevati pari a 29.9 kg m^{-3} (Fig. 6.2.1.4), che evidenziano che la perdita di calore invernale ha portato alla formazione delle acque dense nord adriatiche. Le acque fluviali risultano anche più torbide con il massimo in superficie nella stazione costiera; un valore molto elevato di torbidità si riscontra anche nell'acqua prossima al fondo della stazione D, presumibilmente per una risospensione dei sedimenti (Fig. 6.2.1.4). I valori di clorofilla più elevati si trovano nelle acque di fondo delle stazioni A e B, più vicine alla costa. Tutte le acque sono ben ossigenate e leggermente sovrassature. Il pH risulta più elevato nelle stazioni costiere che presentano una maggiore concentrazione di clorofilla. La luce fotosinteticamente attiva che raggiunge il fondo varia tra il 2 ed il 5 %

della luce incidente in superficie con il minimo nella stazione più vicina alla costa; la forte attenuazione della luce è dovuta alla maggiore torbidità delle acque di origine fluviale.

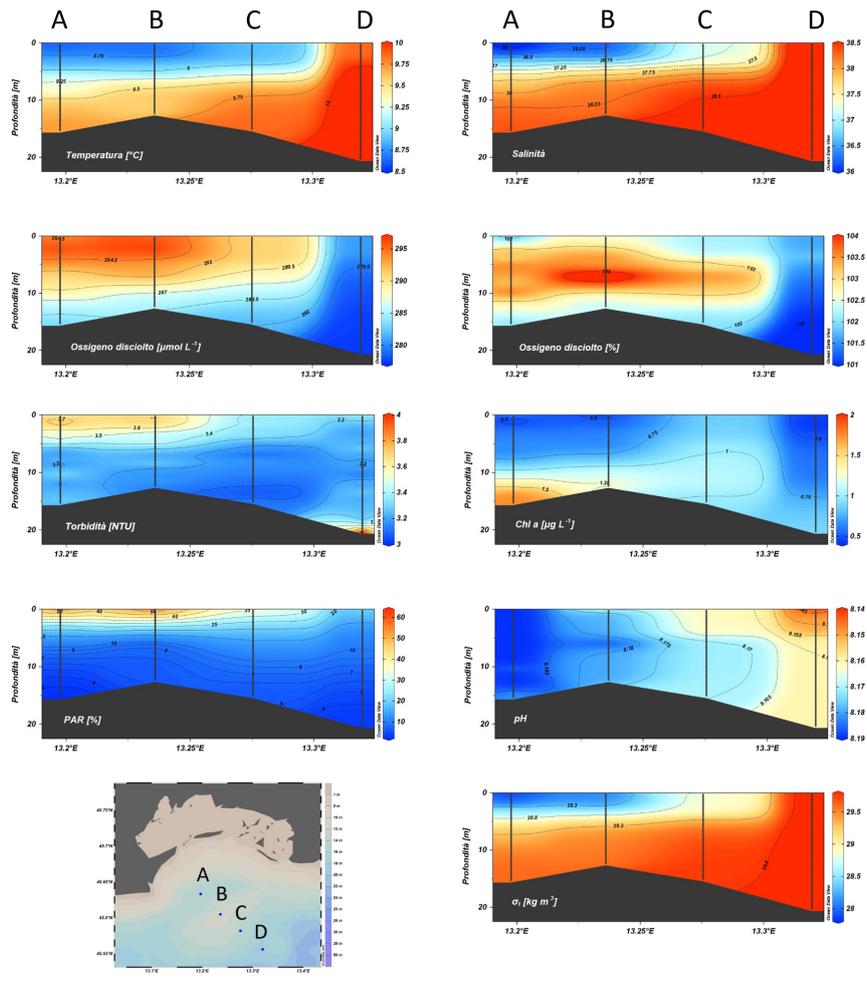


Figura 6.2.1.4. Distribuzione, in febbraio 2022, di temperatura, salinità, ossigeno disciolto (concentrazione e percentuale di saturazione), anomalia di densità (σ_t), torbidità, clorofilla a, radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, espressa come percentuale della radiazione incidente in superficie) e pH in funzione della profondità lungo il transetto delle stazioni A, B, C e D.

I risultati relativi alle analisi dei nutrienti inorganici, effettuate sui campioni d'acqua prelevati in prossimità del fondo nelle 4 stazioni "Faro", campionate nei diversi periodi stagionali, sono riportati nella Tabella 6.2.1.1.

Caratteristiche fisico-chimiche delle acque di fondo delle stazioni Faro															
Stazione	Data	Stagione	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E	Temperatura °C	Salinità	O ₂ μmol L ⁻¹	N-NH ₄ μmol L ⁻¹	N-NO ₂ μmol L ⁻¹	N-NO ₃ μmol L ⁻¹	DIN μmol L ⁻¹	P-PO ₄ μmol L ⁻¹	Si-Si(OH) ₄ μmol L ⁻¹	Chl a μg L ⁻¹
A	17/6/2021	Primavera	15.50	45°37,0'	13°13,3'	15.99	37.37	229	1.16	0.09	2.46	3.71	<DL	4.74	0.39
B	17/6/2021	Primavera	12.00	45°36,3'	13°14,2'	17.12	37.30	252	0.12	0.08	2.05	2.25	<DL	3.07	1.21
C	15/6/2021	Primavera	15.50	45°34,9'	13°16,5'	14.96	37.37	233	0.48	0.09	0.87	1.44	0.01	2.50	0.58
D	15/6/2021	Primavera	20.50	45°33,4'	13°19,2'	13.99	37.67	229	1.43	0.14	0.95	2.53	<DL	4.71	0.57
A	31/8/2021	Estate	15.50	45°38,1'	13°11,9'	24.41	36.95	208	0.34	0.03	<DL	0.37	<DL	1.91	0.45
B	31/8/2021	Estate	12.50	45°36,3'	13°14,2'	23.80	36.77	216	0.20	0.03	0.11	0.33	<DL	2.32	0.35
C	30/8/2021	Estate	15.50	45°34,9'	13°16,5'	23.39	36.77	223	0.04	0.03	0.13	0.20	<DL	2.60	0.51
D	30/8/2021	Estate	20.50	45°33,4'	13°19,2'	20.94	38.12	226	0.37	0.07	0.18	0.63	<DL	5.14	0.31
A	19/11/2021	Autunno	15.50	45°38,1'	13°11,9'	15.20	37.96	242	0.18	0.38	0.48	1.04	<DL	0.99	0.19
B	19/11/2021	Autunno	12.50	45°36,3'	13°14,2'	15.71	38.00	239	0.25	0.38	0.53	1.16	0.01	1.23	0.25
C	17/11/2021	Autunno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	16.17	37.91	235	0.27	0.37	0.40	1.03	0.02	0.80	0.13
D	17/11/2021	Autunno	20.75	45°33,4'	13°19,2'	16.35	37.85	232	0.30	0.31	0.64	1.25	<DL	1.82	0.46
A	18/2/2022	Inverno	15.70	45°38,1'	13°11,9'	9.73	38.37	283	0.14	0.25	1.62	2.01	0.03	3.96	0.67
B	18/2/2022	Inverno	12.70	45°36,3'	13°14,2'	9.57	38.26	285	0.13	0.25	1.59	1.97	0.04	3.67	0.58
C	17/2/2022	Inverno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	9.88	38.59	282	0.20	0.07	0.36	0.63	0.03	3.06	0.52
D	17/2/2022	Inverno	20.70	45°33,4'	13°19,2'	10.10	38.72	277	0.05	0.03	0.10	0.18	0.03	2.86	0.28

Tabella 6.2.1.1. Caratteristiche fisico-chimiche delle acque di fondo delle 4 stazioni "Faro". Temperatura, salinità e ossigeno disciolto (O₂) sono stati acquisiti mediante sonda multiparametrica. DIN: azoto inorganico disciolto; N-NH₄: ammonio, N-NO₃: nitrato; N-NO₂: nitrito; P-PO₄: fosfati; Si-Si(OH)₄: silicati; Chl a: clorofilla a. Limite di rilevabilità (DL) N-NO₃ = 0.02; P-PO₄ = 0.01.

Le concentrazioni di azoto inorganico disciolto (DIN, Fig. 6.2.1.5; Tab. 6.2.1.1), definito come la somma delle diverse frazioni di azoto (nitrito, nitrato e ammonio), sono variate tra un massimo di 3.71 μmol L⁻¹, osservato nella Stazione A in primavera, e un minimo di 0.18 μmol L⁻¹ misurato nella Stazione D in inverno. Nel complesso, concentrazioni più elevate di DIN hanno caratterizzato il periodo primaverile (2.48±0.94 μmol L⁻¹), valori più contenuti ed omogeneamente distribuiti tra le stazioni sono stati misurati nel periodo estivo (0.38±0.18 μmol L⁻¹) e in quello autunnale (1.12±0.10 μmol L⁻¹) mentre in inverno è stata osservata un'ampia variabilità (1.20±0.93 μmol L⁻¹) e un gradiente di concentrazione decrescente costa-largo.

Tra le diverse forme di azoto inorganico (Fig. 6.2.1.5; Tab. 6.2.1.1), il nitrito (N-NO₂) che corrisponde ad una fase intermedia dei processi di nitrificazione-denitrificazione, è presente in concentrazioni generalmente inferiori rispetto alle altre due forme azotate. Fatta eccezione per i valori più elevati osservati durante il periodo autunnale (0.36±0.03 μmol L⁻¹) e nelle stazioni più vicine alla costa (stazioni A e B, 0.25 μmol L⁻¹) durante la stagione invernale, le concentrazioni sono risultate piuttosto contenute (<0.14 μmol L⁻¹). Il suo contributo medio al DIN è variato tra una media di 4.4±1.7% in primavera e di 32.3 ±5.3% in autunno.

Il nitrato (N-NO₃), generalmente derivante da apporti di acque dolci, è risultato lo ione prevalente con un contributo medio al DIN pari al 52.5 ± 10.9%. Le concentrazioni sono risultate inferiori al limite di rilevabilità strumentale nella Stazione A in estate, mentre il massimo (2.46 μmol L⁻¹) è stato rilevato nella stessa stazione in primavera. In generale la più ampia variabilità è stata osservata in primavera e in inverno, quando le concentrazioni più elevate hanno caratterizzato le stazioni più costiere (A e B), e sono risultate in media 2.26±0.29 μmol L⁻¹, in primavera e 1.61±0.02 μmol L⁻¹, in inverno; diversamente concentrazioni più contenute hanno caratterizzato l'estate (0.11±0.07 μmol L⁻¹) e l'autunno (0.51 ±0.10 μmol L⁻¹).

Le concentrazioni dell'ammonio (N-NH₄), caratterizzate da un'ampia variabilità stagionale e spaziale, sono variate da un minimo di 0.04 μmol L⁻¹, osservato nella Stazione C, in estate, ed un massimo di 1.43 μmol L⁻¹ rilevato nella Stazione D, in primavera. Nel periodo estivo, tra le diverse forme di azoto, l'ammonio è risultato

ione prevalente con un contributo medio al DIN del $57.0 \pm 29.6\%$, ed un massimo di 90% nella Stazione A più vicina alla costa, mentre nelle altre stagioni il suo contributo è stato in media del $24.2 \pm 14.4\%$.

Le concentrazioni dei fosfati ($P-PO_4$) sono risultate inferiori o prossime al limite di rilevabilità strumentale in primavera, estate e autunno, mentre nel periodo invernale, il valore medio si è attestato sulle $0.03 \pm 0.00 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Fig. 6.2.1.6; Tab. 6.2.1.1).

I valori dei silicati ($Si-Si(OH)_4$) sono risultati compresi tra $0.80 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $5.14 \mu\text{mol L}^{-1}$, misurati rispettivamente nella Stazione C, in autunno e nella Stazione D, in estate (Fig. 6.2.1.6; Tab. 6.2.1.1). In generale, si osserva un gradiente di concentrazione decrescente costa-largo in primavera, limitato alle Stazioni A-B-C, e in inverno, mentre un gradiente opposto risulta evidente in estate. Diversamente, in autunno le concentrazioni sono risultate più contenute e spazialmente più omogenee ($1.21 \pm 0.44 \mu\text{mol L}^{-1}$).

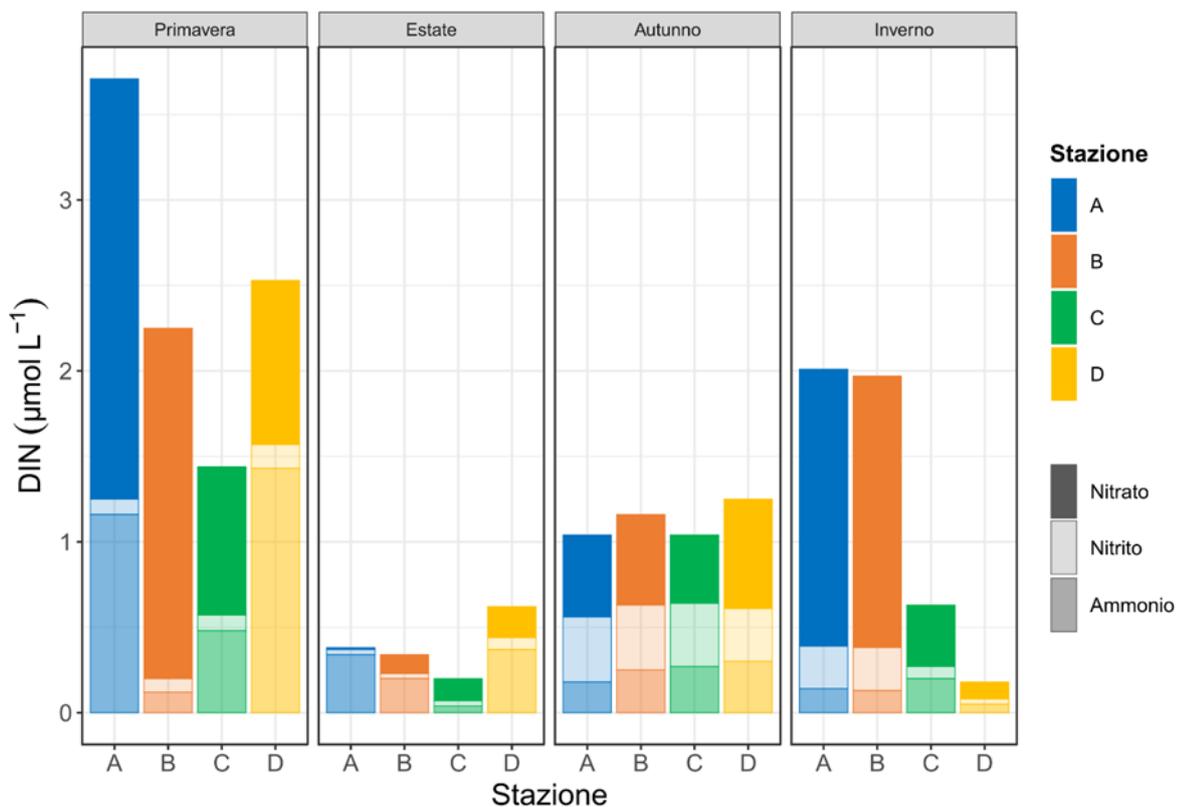


Figura 6.2.1.5. Concentrazione dell'azoto inorganico disciolto (DIN) e degli ioni azotati (nitrato, nitrito e ammonio) nelle acque di fondo campionate stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

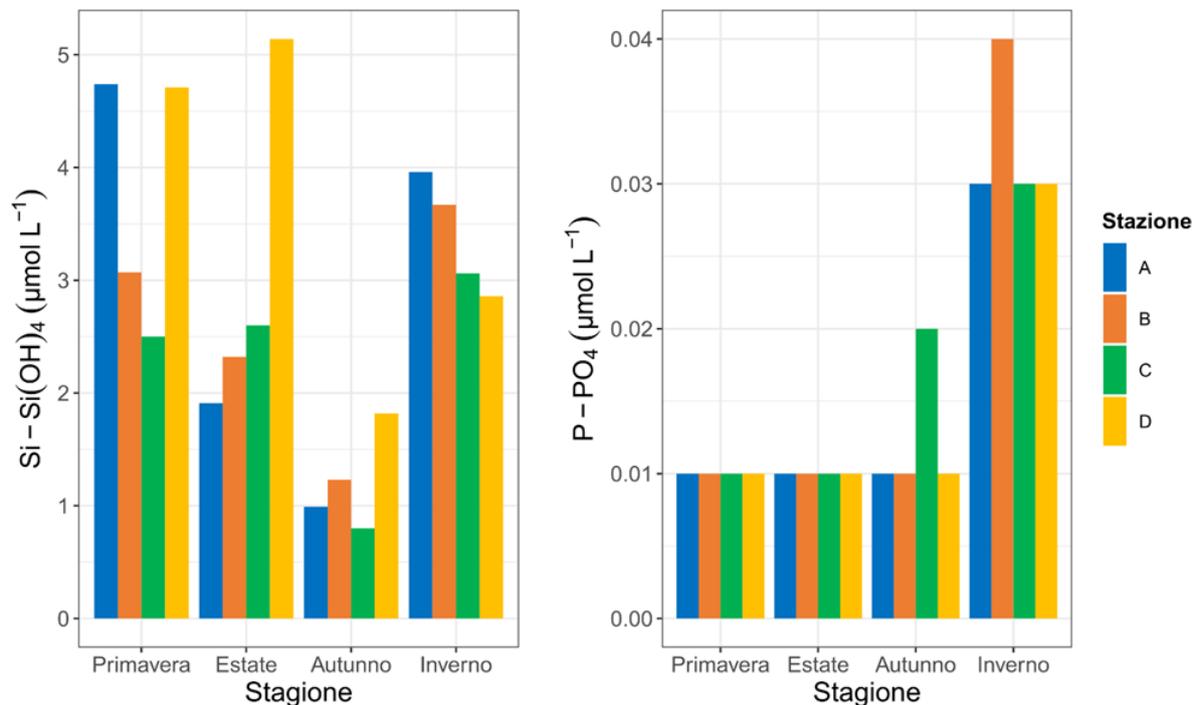


Figura 6.2.1.6. Concentrazione di silicati (Si-Si(OH)_4) e fosfati (P-PO_4) nelle acque di fondo campionate stagionalmente nelle 4 stazioni “Faro”.

La concentrazione di clorofilla *a* (Chl *a*) misurata stagionalmente al fondo delle quattro stazioni “Faro” (Fig. 6.2.1.7; Tab. 6.2.1.1) è risultata compresa tra $0.132 \mu\text{g L}^{-1}$ e $1.214 \mu\text{g L}^{-1}$, misurati rispettivamente in autunno, nella stazione C e in primavera, nella stazione B. La concentrazione di Chl *a* è risultata significativamente più bassa in autunno rispetto a quanto misurato in primavera e inverno (Mann-Whitney $Z = 2.02$; $p < 0.05$). La distribuzione dei valori di clorofilla nelle quattro stazioni “Faro” segue la tipica stagionalità dello sviluppo dei popolamenti fitoplanctonici nel golfo di Trieste (Mozetič et al., 1998; Fonda Umani et al., 2007; De Vittor et al., 2008; Cozzi et al., 2020), caratterizzata da valori più bassi in estate e picchi nel periodo tardo-invernale. Il secondo picco di maggiore concentrazione di Chl *a* che caratterizza generalmente il periodo autunnale non è stato rilevato nelle stazioni “Faro”, probabilmente a causa di una minore penetrazione della radiazione solare al fondo o perché il campionamento è stato effettuato successivamente alla fioritura.

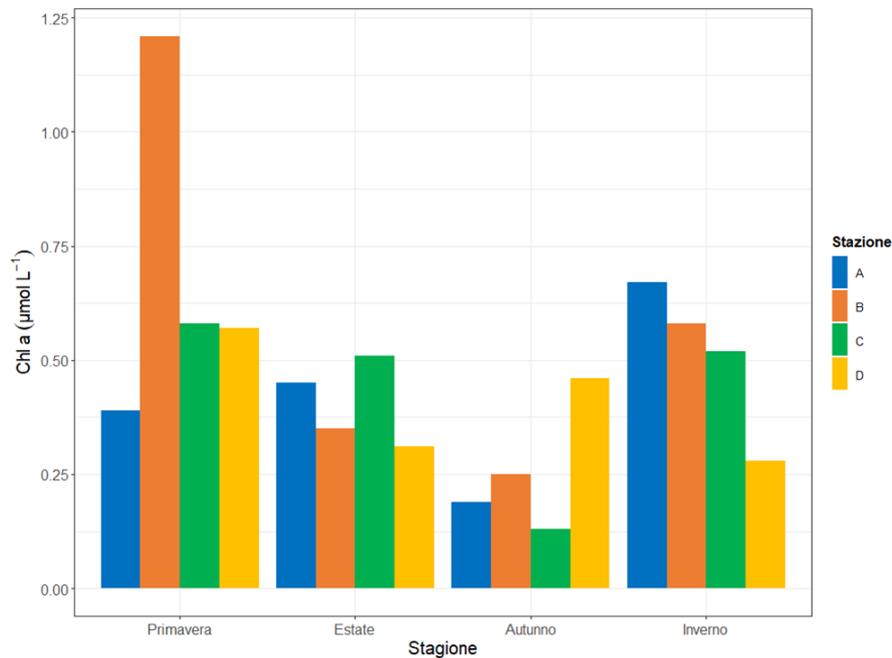


Figura 6.2.1.7. Concentrazione di clorofilla a nelle acque di fondo campionate stagionalmente nelle 4 stazioni “Faro”.

Nei monitoraggi effettuati da ARPA FVG, nell’area oggetto di studio, non vengono campionate le acque di fondo pertanto, per confrontare le misure condotte nelle stazioni “Faro”, sono stati selezionati i campionamenti a distanze non superiori a 4 metri dal fondo effettuati da ARPA nelle stazioni SMLG1, SMLG2 e SMLG3, che sono vicine alle stazioni “Faro” A, B, e D (Fig. 6.2.1.8).

Dal confronto si evince che le acque di fondo delle stazioni “Faro” sono più salate e più torbide delle acque più vicine al fondo monitorate negli anni 2015-2020, sono ben ossigenate e presentano concentrazioni inferiori di nutrienti. I rapporti tra azoto totale inorganico disciolto (DIN) e fosforo inorganico rimangono elevati in tutte le stazioni mentre si osserva una diminuzione del rapporto tra DIN e silicati, dovuto principalmente ad una riduzione delle concentrazioni di DIN. Va evidenziato che le acque dei monitoraggi dell’ARPA si trovano ad una distanza media maggiore dal fondo (1.4-3.6 m) rispetto a quelli dei campionamenti nelle stazioni “FARO” (0.4 m) e quindi l’incremento di salinità potrebbe essere dovuto al minor mescolamento con acque di origine fluviale ma anche, soprattutto nella stazione più profonda, all’ingresso di acque più salate trasportate dalla corrente adriatica orientale. Le acque di fondo risultano particolarmente povere di fosforo come si evidenzia dagli elevati rapporti DIN/PO₄. Confrontando tali valori con i valori medi trovati nelle acque di fondo del golfo di Trieste nel periodo 1999-2006 (Cossarini et al., 2012) si osserva che mentre i rapporti DIN/Si risultano simili i rapporti molarli DIN/PO₄ erano nettamente inferiori, soprattutto per una maggior concentrazione di fosfati (27-30). L’assunzione di nutrienti da parte dei popolamenti fitoplanctonici presenti nelle acque di fondo e da parte del fitobenthos potrebbe quindi essere limitata principalmente dalla carenza di fosforo oltre che, in rare situazioni, dalla penetrazione della luce. Ovviamente, un monitoraggio con una frequenza temporale maggiore sarebbe necessario per confermare tali osservazioni.

Stazione (periodo)	Dist. da fondo m	Sal	Chl a $\mu\text{g L}^{-1}$	Torb NTU	O ₂ $\mu\text{mol L}^{-1}$	O ₂ % sat	N-NH ₄ $\mu\text{mol L}^{-1}$	N-NO ₂ $\mu\text{mol L}^{-1}$	N-NO ₃ $\mu\text{mol L}^{-1}$	DIN $\mu\text{mol L}^{-1}$	P-PO ₄ $\mu\text{mol L}^{-1}$	Si-Si(OH) ₄ $\mu\text{mol L}^{-1}$	DIN/P-PO ₄ mol mol ⁻¹	DIN/Si mol mol ⁻¹	
SMLG1 (2015-17)	media	3.6	37.1	1.5	3.1	246	101	1.21	0.13	3.05	4.39	0.04	4.4	225	1.2
	ds	1.1	0.5	0.4	1.4	38	7	0.71	0.14	1.94	2.17	0.03	2.6	204	0.9
SMLG1 (2018-20)	media	2.3	37.2	1.3	3.4	257	107	2.31	0.47	3.83	6.60	0.45	5.0	168	0.8
	ds	1.3	0.7	0.4	1.6	35	8	5.78	0.67	2.48	8.37	1.28	3.5	223	0.5
Faro A (2021-22)	media	0.4	37.7	1.2	4.4	241	98	0.45	0.19	1.14	1.78	0.01	2.9	271	0.6
	ds	0.1	0.6	0.5	0.9	32	2	0.48	0.16	1.11	1.45	0.01	1.7	321	0.4
SMLG2 (2015-17)	media	1.8	37.3	1.1	2.6	242	99	0.90	0.26	3.12	4.27	0.23	4.6	288	1.3
	ds	1.2	0.6	0.4	1.5	30	8	0.93	0.30	2.20	2.55	0.70	3.3	273	0.8
SMLG2 (2018-20)	media	1.4	37.3	0.7	2.5	247	105	1.78	0.14	4.31	6.23	0.05	3.6	243	0.7
	ds	0.5	0.6	0.4	1.1	37	7	3.32	0.19	3.11	6.17	0.06	2.8	233	0.4
Faro B (2021-22)	media	0.4	37.6	1.2	3.0	249	100	0.18	0.18	1.07	1.43	0.01	2.6	165	0.6
	ds	0.1	0.7	0.7	1.3	27	8	0.06	0.16	0.90	0.87	0.01	1.1	190	0.3
SMLG3 (2015-17)	media	3.0	37.8	1.2	2.8	232	95	1.13	0.14	2.64	3.90	0.04	4.8	213	0.7
	ds	1.3	0.2	0.4	1.6	35	11	0.75	0.10	1.75	2.20	0.04	3.7	202	0.4
SMLG3 (2018-20)	media	2.6	38.0	1.0	2.4	262	105	0.54	2.72	3.24	3.84	0.08	6.2	99	0.7
	ds	1.6	0.2	0.4	0.9	34	10	0.45	4.50	1.38	1.59	0.09	2.6	73	0.4
Faro D (2021-22)	media	0.4	38.1	1.1	4.5	239	111	0.54	0.14	0.47	1.15	0.01	3.6	222	0.4
	ds	0.1	0.5	0.2	2.1	25	9	0.61	0.12	0.40	1.02	0.01	1.6	214	0.3

Tabella 6.2.1.2. Confronto tra le concentrazioni di nutrienti e di altri parametri oceanografici misurati nelle stazioni "Faro" (2021-2022) e nelle stazioni di monitoraggio dell'ARPA FVG più vicine (2015-2020). Sono stati considerati solo i dati disponibili per distanze dal fondo inferiori a 4 metri. I dati di salinità, clorofilla a, torbidità e ossigeno sono stati rilevati con sonda multiparametrica.



Figura 6.2.1.8. Stazioni di monitoraggio dell'ARPA FVG (SMLG1, SMLG2 e SMLG3) prossime alle stazioni "Faro" (A, A', B, C e D).

Caratterizzazione del particolato sospeso nelle acque di fondo delle stazioni Faro										
Stazione	Data	Stagione	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E	POC $\mu\text{mol L}^{-1}$	PN $\mu\text{mol L}^{-1}$	$\delta^{13}\text{C-POM}$ ‰	$\delta^{15}\text{N-POM}$ ‰	POC/PN molar ratio
A	17/6/2021	Primavera	15.50	45°37,0'	13°13,3'	26.15	-23.00	2.12	3.29	12.3
B	17/6/2021	Primavera	12.00	45°36,3'	13°14,2'	27.83	-23.21	3.53	5.04	7.9
C	15/6/2021	Primavera	15.50	45°34,9'	13°16,5'	22.11	-22.99	1.64	4.68	13.5
D	15/6/2021	Primavera	20.50	45°33,4'	13°19,2'	17.27	-23.51	0.66	5.19	26.2
A	31/8/2021	Estate	15.50	45°38,1'	13°11,9'	17.06	-23.15	2.52	4.41	6.8
B	31/8/2021	Estate	12.50	45°36,3'	13°14,2'	10.24	-22.72	0.78	5.02	13.2
C	30/8/2021	Estate	15.50	45°34,9'	13°16,5'	10.72	-22.97	0.52	5.48	20.7
D	30/8/2021	Estate	20.50	45°33,4'	13°19,2'	12.09	-23.09	1.00	5.48	12.1
A	19/11/2021	Autunno	15.50	45°38,1'	13°11,9'	8.10	-22.94	0.93	6.62	8.7
B	19/11/2021	Autunno	12.50	45°36,3'	13°14,2'	8.67	-22.09	0.98	6.28	8.9
C	17/11/2021	Autunno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	10.71	-22.99	0.96	4.88	11.1
D	17/11/2021	Autunno	20.75	45°33,4'	13°19,2'	11.32	-21.65	1.00	4.84	11.3
A	18/2/2022	Inverno	15.70	45°38,1'	13°11,9'	16.13	-26.54	1.23	3.06	13.1
B	18/2/2022	Inverno	12.70	45°36,3'	13°14,2'	9.60	-26.77	0.96	3.06	10.0
C	17/2/2022	Inverno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	9.48	-25.97	0.76	4.26	12.5
D	17/2/2022	Inverno	20.70	45°33,4'	13°19,2'	8.93	-25.59	1.53	6.39	5.8

Tabella 6.2.1.3. Caratterizzazione del particolato sospeso nelle acque di fondo delle stazioni "Faro". POC: carbonio organico particolato; PN: azoto particolato; $\delta^{13}\text{C-POM}$: composizione isotopica del carbonio organico particolato; $\delta^{15}\text{N-POM}$: composizione isotopica dell'azoto particolato; POC/PN: rapporto molare tra carbonio organico particolato e azoto particolato.

La concentrazione del carbonio organico particellato (POC), misurata stagionalmente al fondo delle quattro stazioni “Faro” (Fig. 6.2.1.9; Tab. 6.2.1.3), è risultata compresa tra $8.10 \mu\text{mol L}^{-1}$, minimo misurato in autunno nella stazione A, e $27.83 \mu\text{mol L}^{-1}$, massimo riscontrato in primavera nella stazione B. La concentrazione di POC è risultata mediamente più elevata in primavera (Mann-Whitney $Z = 2.31$; $p < 0.05$), stagione in cui è stato rilevato anche un lieve gradiente decrescente costa-largo. In estate e in inverno, la stazione costiera A è risultata caratterizzata da valori più elevati rispetto alle altre stazioni in cui la concentrazione di POC è risultata più omogenea. La concentrazione di POC rilevata nelle stazioni “Faro” è risultata compresa nel range di variabilità riscontrato per la stazione C1 (WP2; [Manna et al., 2021](#)).

La concentrazione di azoto particellato (PN) misurata stagionalmente al fondo delle quattro stazioni “Faro” (Fig. 6.2.1.9; Tab. 6.2.1.3) è risultata compresa tra $0.52 \mu\text{mol L}^{-1}$ e $3.53 \mu\text{mol L}^{-1}$, valori rilevati rispettivamente in estate, nella stazione C e in primavera, nella stazione B. La distribuzione spaziale dei valori di PN in primavera ed estate è risultata caratterizzata da un lieve gradiente decrescente costa-largo, mentre una maggiore omogeneità ha caratterizzato l’autunno e l’inverno. La correlazione significativa tra POC e PN (Spearman $R = 0.53$, $p < 0.05$) indica uno scarso contributo dell’azoto inorganico particellato.

Il rapporto molare POC/PN (Fig. 6.2.1.9; Tab. 6.2.1.3) è risultato generalmente compreso nel range di variabilità tipico di ambienti marini costieri, con l’eccezione dei valori elevati calcolati nella stazione D in primavera e nella stazione C in estate (rispettivamente 26.2 e 20.7, media nel resto dell’area: 10.5 ± 2.5) che indicano una maggiore influenza di apporti terrestri ([Meyers, 1997](#)). La correlazione tra POC e Chl a (Spearman $R = 0.58$, $p < 0.05$) conferma che la sostanza organica particellata nelle stazioni “Faro” ha origine prevalentemente fitoplanctonica, come già osservato in Nord Adriatico ([Giani et al., 2005](#)) e nel golfo di Trieste (Stazione C1, [Manna et al., 2021](#)).

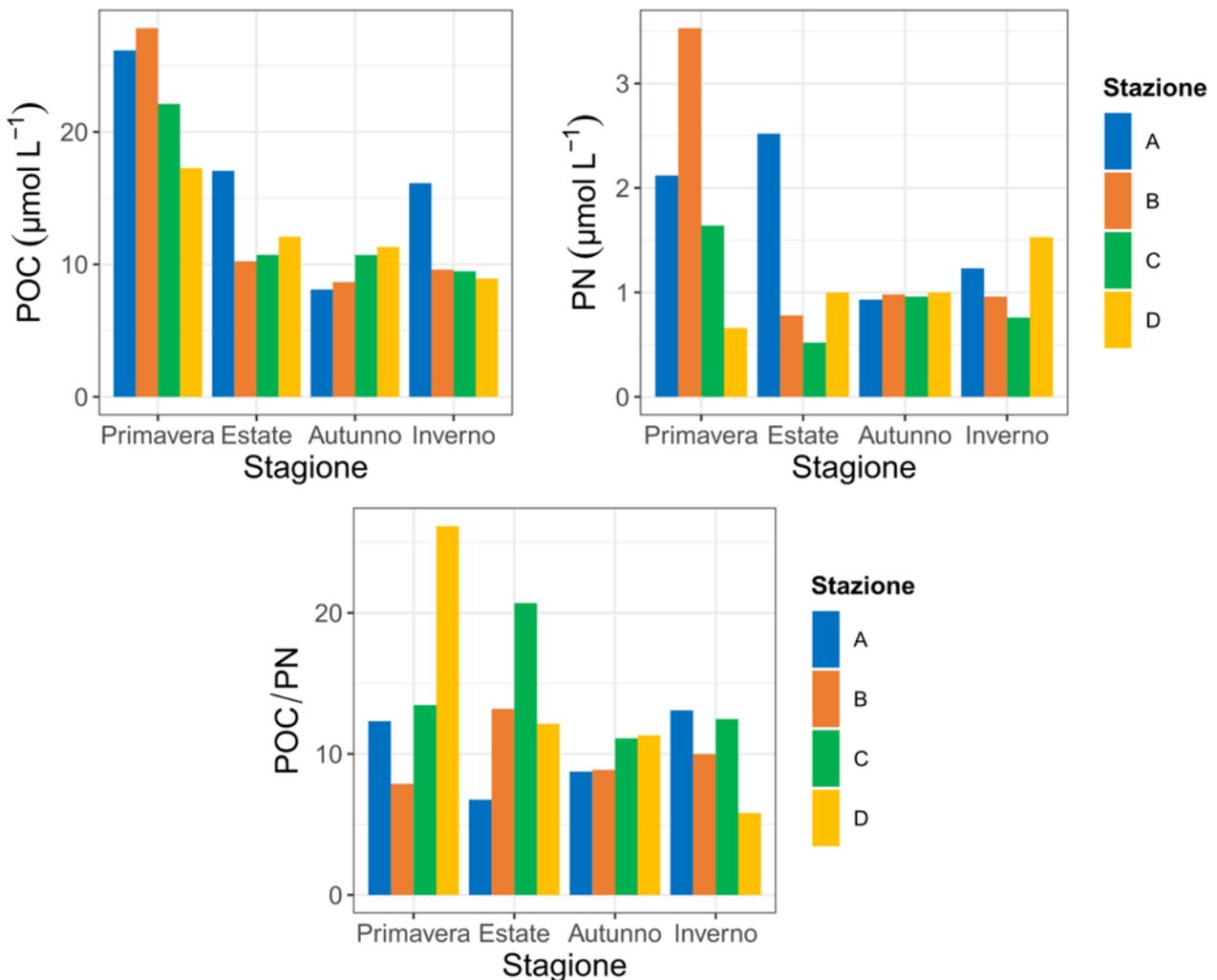


Figura 6.2.1.9. Concentrazione del carbonio organico particellato (POC) e dell'azoto totale particellato (PN), rapporto molare tra POC e PN (POC/PN) nelle acque di fondo campionate stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

La composizione isotopica del carbonio organico particellato ($\delta^{13}\text{C-POM}$) misurata stagionalmente al fondo nelle quattro stazioni "Faro" (Fig. 6.2.1.10; Tab. 6.2.1.3) è risultata compresa tra -26.77‰ , minimo rilevato in inverno nella stazione B, e -21.65‰ , massimo misurato in autunno nella stazione D. Valori mediamente più bassi hanno caratterizzato la stagione invernale (Mann-Whitney $Z = 2.31$; $p < 0.05$), in ogni caso i valori di $\delta^{13}\text{C-POM}$ rilevati nelle quattro stazioni "Faro" nel periodo indagato rientrano nel range tipico del fitoplancton marino, come identificato anche dal rapporto POC/PN (Fig. 6.2.1.9) (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti). La composizione isotopica dell'azoto particellato ($\delta^{15}\text{N-POM}$) misurata stagionalmente al fondo nelle quattro stazioni "Faro" (Fig. 6.2.1.10; Tab. 6.2.1.3) è risultata compresa tra 3.06‰ e 6.62‰ , valori riscontrati, rispettivamente, in inverno nella stazione B e in autunno nella stazione A. I valori di $\delta^{15}\text{N-POM}$ rilevati nelle quattro stazioni "Faro" nel periodo indagato rientrano nel range tipico del particellato marino (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti). Nel periodo analizzato, la composizione isotopica del particellato nelle stazioni "Faro" è risultata paragonabile a quanto riscontrato in precedenza nel golfo di Trieste (Fagnani et al., 2009).

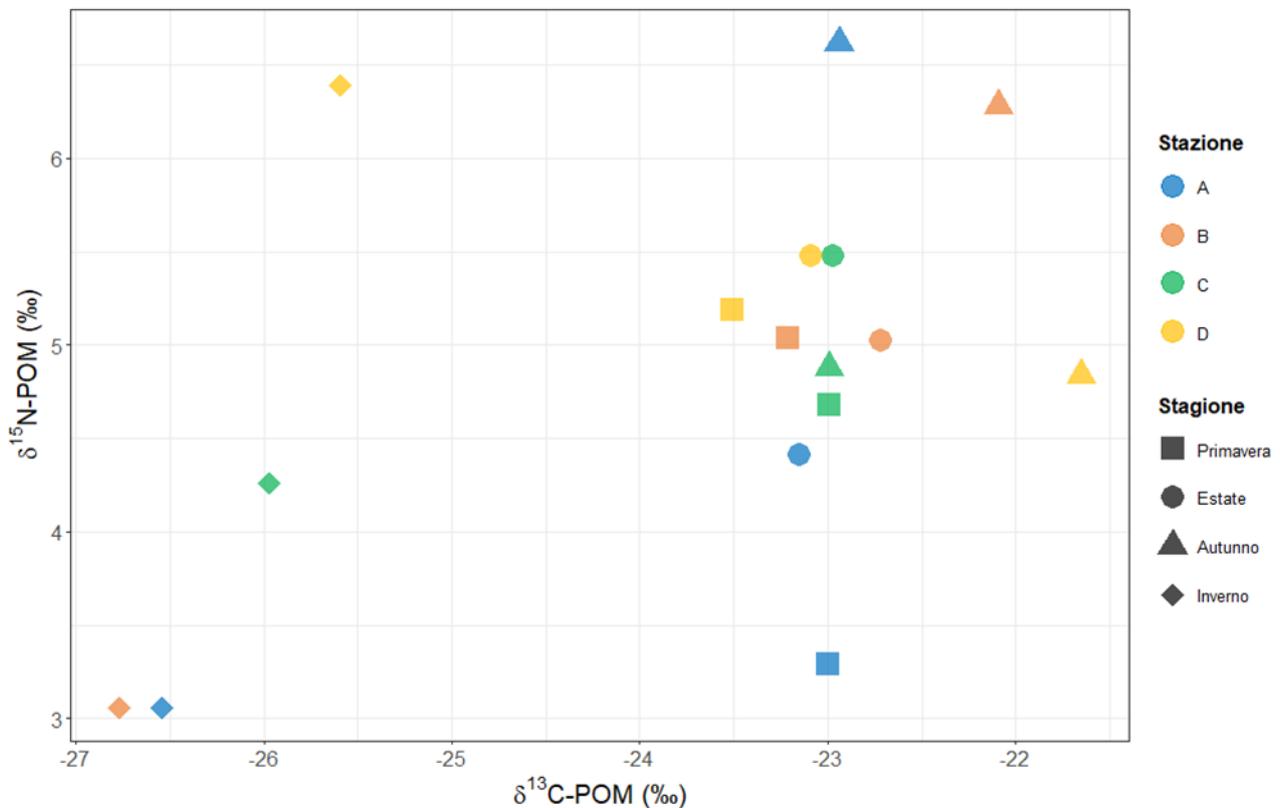


Figura 6.2.1.10. Composizione isotopica del carbonio organico particellato ($\delta^{13}\text{C-POM}$) e dell'azoto totale particellato ($\delta^{15}\text{N-POM}$) nelle acque di fondo campionate stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

6.2.2 Caratteristiche dei sedimenti

Materiali e Metodi

Contestualmente ai campionamenti stagionali in colonna d'acqua descritti in 6.2.1, sono stati prelevati anche campioni di sedimento superficiale (0-2 cm) mediante benna di Van Veen con superficie di presa di 0.1 m². Subaliquote di sedimento sono state prelevate e analizzate come descritto in 6.1.1 e 6.1.2 per la caratterizzazione granulometrica e la determinazione del contenuto di carbonio organico e azoto totale e della relativa composizione isotopica. Le analisi statistiche per determinare la correlazione tra variabili (test non parametrico di Spearman) sono state eseguite utilizzando Statistica (StatSoft, Inc.).

Risultati e Discussione

I risultati delle analisi granulometriche condotte sui campioni di sedimento raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni “Faro” indicano che, analogamente a quanto rilevato nelle 30 stazioni selezionate nelle aree di pesca dei fasolari, la sabbia rappresenta la classe dimensionale prevalente. Tale frazione è infatti presente in percentuali variabili tra 82.59 % (stazione A, primavera) e 98.86 % (stazione B, estate), mentre secondo per abbondanza, con percentuali comprese tra 0.55 % (stazione B, estate) e 10.18 % (stazione A, primavera), risulta essere il silt. L’argilla infine è variata tra 0.57 % (stazione B, primavera) e 7.23 % (stazione A, primavera). I sedimenti campionati stagionalmente presso le stazioni B, C e D e quelli raccolti ad agosto presso la stazione A sono tutti classificabili come sabbie, mentre i sedimenti raccolti presso la stazione A, durante le altre campagne stagionali, sono catalogabili come sabbie pelitiche (Fig. 6.2.2.1; Tab. 6.2.2.1) e riflettono la variabilità tessiturale riportata nelle carte morfo-batimetriche realizzate nel corso degli ultimi decenni per questo settore del golfo di Trieste (Brambati et al., 1983; Marocco et al., 1989; Gordini et al., 2004; Testa et al., 2020).

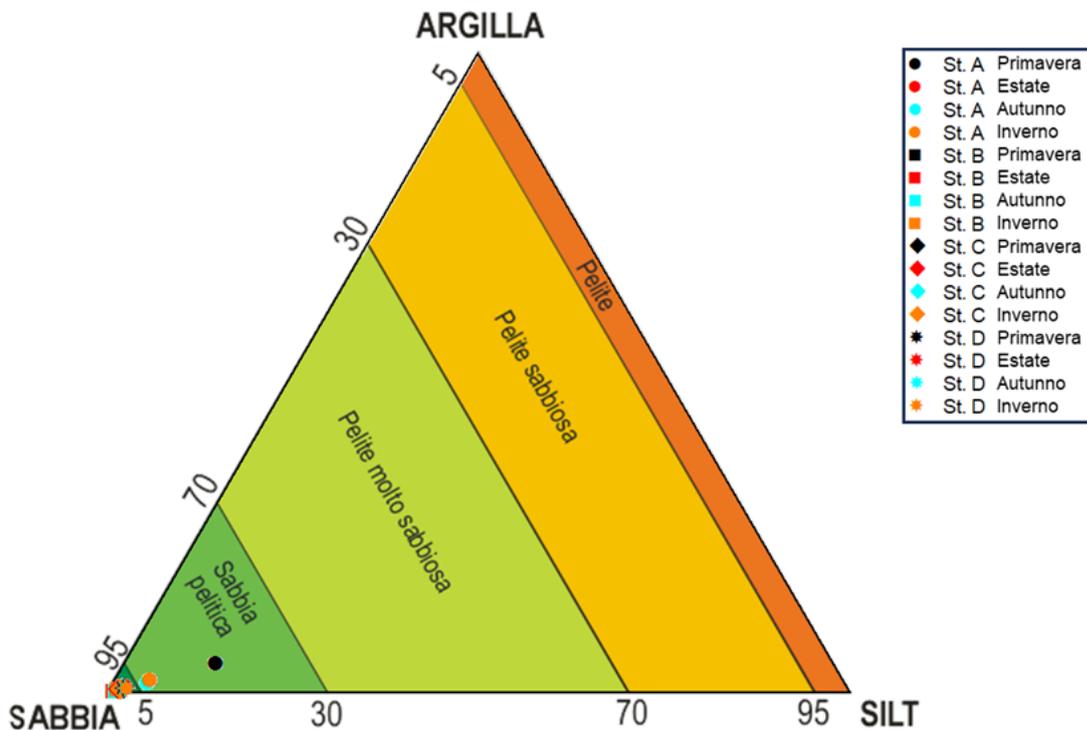


Figura 6.2.2.1. Diagramma ternario della composizione granulometrica dei sedimenti nelle stazioni “Faro”.

Caratteristiche dei sedimenti delle stazioni Faro													
Stazione	Data	Stagione	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E	Sabbia %	Silt %	Argilla %	TOC %	TN %	$\delta^{13}\text{C-SOM}$ ‰	$\delta^{15}\text{N-SOM}$ ‰	TOC/TN molar ratio
A	17/6/2021	Primavera	15.50	45°37,0'	13°13,3'	82.59	10.18	7.23	0.37	0.05	-21.62	4.96	8.2
B	17/6/2021	Primavera	12.00	45°36,3'	13°14,2'	98.41	1.02	0.57	0.08	0.03	-21.15	6.17	3.5
C	15/6/2021	Primavera	15.50	45°34,9'	13°16,5'	97.88	1.17	0.95	0.14	0.03	-20.89	5.39	5.9
D	15/6/2021	Primavera	20.50	45°33,4'	13°19,2'	97.10	1.93	0.97	0.13	0.02	-21.80	5.14	6.8
A	31/8/2021	Estate	15.50	45°38,1'	13°11,9'	96.84	1.62	1.53	0.10	0.04	-21.62	7.61	3.4
B	31/8/2021	Estate	12.50	45°36,3'	13°14,2'	98.86	0.55	0.59	0.09	0.05	-20.44	8.93	2.2
C	30/8/2021	Estate	15.50	45°34,9'	13°16,5'	97.91	1.19	0.89	0.09	0.02	-21.48	7.30	5.6
D	30/8/2021	Estate	20.50	45°33,4'	13°19,2'	96.48	2.24	1.28	0.14	0.05	-22.13	6.43	3.2
A	19/11/2021	Autunno	15.50	45°38,1'	13°11,9'	93.67	3.90	2.42	0.13	0.05	-20.47	4.62	2.9
B	19/11/2021	Autunno	12.50	45°36,3'	13°14,2'	98.61	0.81	0.58	0.07	0.08	-21.08	8.15	1.1
C	17/11/2021	Autunno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	97.62	1.28	1.09	0.10	0.04	-21.52	5.51	2.7
D	17/11/2021	Autunno	20.75	45°33,4'	13°19,2'	97.04	1.82	1.13	0.13	0.03	-21.86	5.43	5.5
A	18/2/2022	Inverno	15.70	45°38,1'	13°11,9'	92.89	4.07	3.04	0.18	0.03	-20.19	4.12	7.4
B	18/2/2022	Inverno	12.70	45°36,3'	13°14,2'	98.08	1.12	0.80	0.09	0.04	-21.33	6.61	2.6
C	17/2/2022	Inverno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	97.94	1.23	0.84	0.16	0.03	-20.88	6.10	7.0
D	17/2/2022	Inverno	20.70	45°33,4'	13°19,2'	96.57	2.04	1.39	0.16	0.03	-21.91	5.95	6.5

Tabella 6.2.2.1. *Composizione granulometrica (sabbia, silt e argilla) e caratterizzazione della sostanza organica dei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni “Faro”. TOC: carbonio organico totale; TN: azoto totale; $\delta^{13}\text{C-SOM}$: composizione isotopica del carbonio organico totale; $\delta^{15}\text{N-SOM}$: composizione isotopica dell’azoto totale; TOC/TN: rapporto molare tra carbonio organico totale e azoto totale.*

La distribuzione dei valori di carbonio organico totale (TOC) nei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni “Faro” (Fig. 6.2.2.2; Tab. 6.2.2.1) è risultata concorde con quella del contenuto pelitico dei sedimenti, infatti i due parametri sono risultati tra loro fortemente correlati (Spearman $R = 0.80$; $p < 0.01$), analogamente a quanto rilevato nelle 30 stazioni selezionate nelle aree di pesca dei fasolari (6.1.2) e in accordo con i risultati di altri studi condotti nel nord Adriatico (Faganeli et al., 1991; Calace et al., 2006; Giani et al., 2009). Il contenuto di TOC più elevato (0.37 %), infatti, è stato rilevato nella Stazione A in primavera, quando i sedimenti superficiali sono risultati caratterizzati da una minore percentuale di sabbia, mentre i valori di TOC più bassi hanno caratterizzato la Stazione B in ogni stagione, raggiungendo il minimo in autunno (0.07 %). Escludendo il valore massimo, è evidente un lieve incremento del contenuto di TOC in inverno in tutte le stazioni; i valori di TOC sono comunque risultati generalmente inferiori a 0.20 % in tutta l’area nel periodo indagato.

Il contenuto di azoto totale (TN) nei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni “Faro” (Fig. 6.2.2.2; Tab. 6.2.2.1), escludendo il valore massimo rilevato in autunno nella Stazione B (0.08 %), è risultato generalmente prossimo o di poco superiore al limite di rilevabilità (0.04 ± 0.01 %). È evidente un lieve gradiente decrescente costa-largo in primavera e autunno, mentre in estate e in inverno il contenuto di TN è risultato omogeneamente distribuito tra le stazioni indagate.

I più bassi valori del rapporto molare tra carbonio organico totale e azoto totale (TOC/TN; Fig. 6.2.2.2; Tab. 6.2.2.1) hanno sempre caratterizzato la Stazione B in tutte le stagioni (2.3 ± 1.0), probabilmente a causa del basso contenuto di TOC, mentre una maggiore variabilità è stata riscontrata nelle altre stazioni. In primavera e in inverno, i valori del rapporto TOC/TN sono risultati compresi tra 6.0 (Stazione C in primavera) e 8.2 (Stazione A in primavera), indicando la presenza di sostanza organica di origine prevalentemente marina (Meyers 1997). Nella stazione C, in estate, e nella stazione D, in autunno, sono stati rilevati valori di poco superiori a 5 (5.6 e 5.5, rispettivamente). I valori prossimi e inferiori a 5, rilevati nelle restanti stazioni, sono probabilmente dovuti alla presenza significativa di azoto inorganico adsorbito sui minerali argillosi (Ogrinc et al., 2005; Shubert and Calvert, 2001).

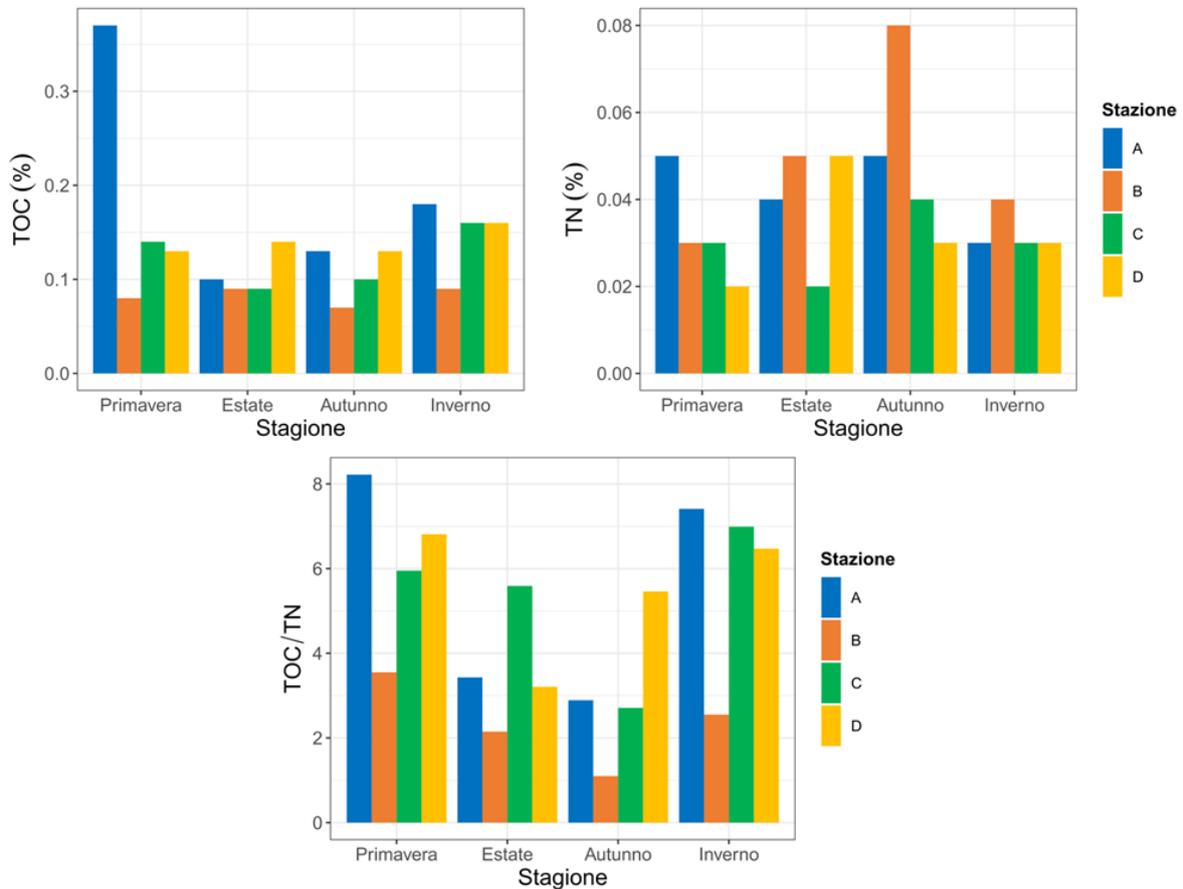


Figura 6.2.2.2. Contenuto di carbonio organico totale (TOC) e dell'azoto totale (TN), rapporto molare tra TOC e TN (TOC/TN) nei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

La composizione isotopica del carbonio organico totale ($\delta^{13}\text{C-SOM}$) nei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro" (Fig. 6.2.2.3; Tab. 6.2.2.1) è risultata compresa tra -22.13 ‰, minimo rilevato in estate nella Stazione D, e -20.19 ‰, massimo misurato in inverno nella Stazione A. La stazione D è risultata caratterizzata da valori di $\delta^{13}\text{C-SOM}$ mediamente più bassi in tutte le stagioni (-21.93 ± 0.14 ‰) rispetto alle altre stazioni indagate (Mann-Whitney $Z = 2.31$, $p < 0.05$). I valori di $\delta^{13}\text{C-SOM}$ rilevati nelle quattro stazioni "Faro" nel periodo indagato rientrano nel range tipico del fitoplancton marino, (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti), come identificato anche dal rapporto TOC/TN (Fig. 6.2.2.2).

La composizione isotopica dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-SOM}$) nei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro" (Fig. 6.2.2.3; Tab. 6.2.2.1) è risultata compresa tra 4.12 ‰ e 8.93 ‰, riscontrati, rispettivamente, in inverno, nella Stazione A e in estate, nella Stazione B. La stagione estiva è risultata caratterizzata da valori significativamente più elevati rispetto a quanto riscontrato in primavera (Mann-Whitney $Z = 2.31$, $p < 0.05$) e in inverno (Mann-Whitney $Z = 2.02$, $p < 0.05$). I valori di $\delta^{15}\text{N-SOM}$ rilevati nelle quattro stazioni "Faro" nel periodo indagato rientrano nel range tipico del particolato marino (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti).

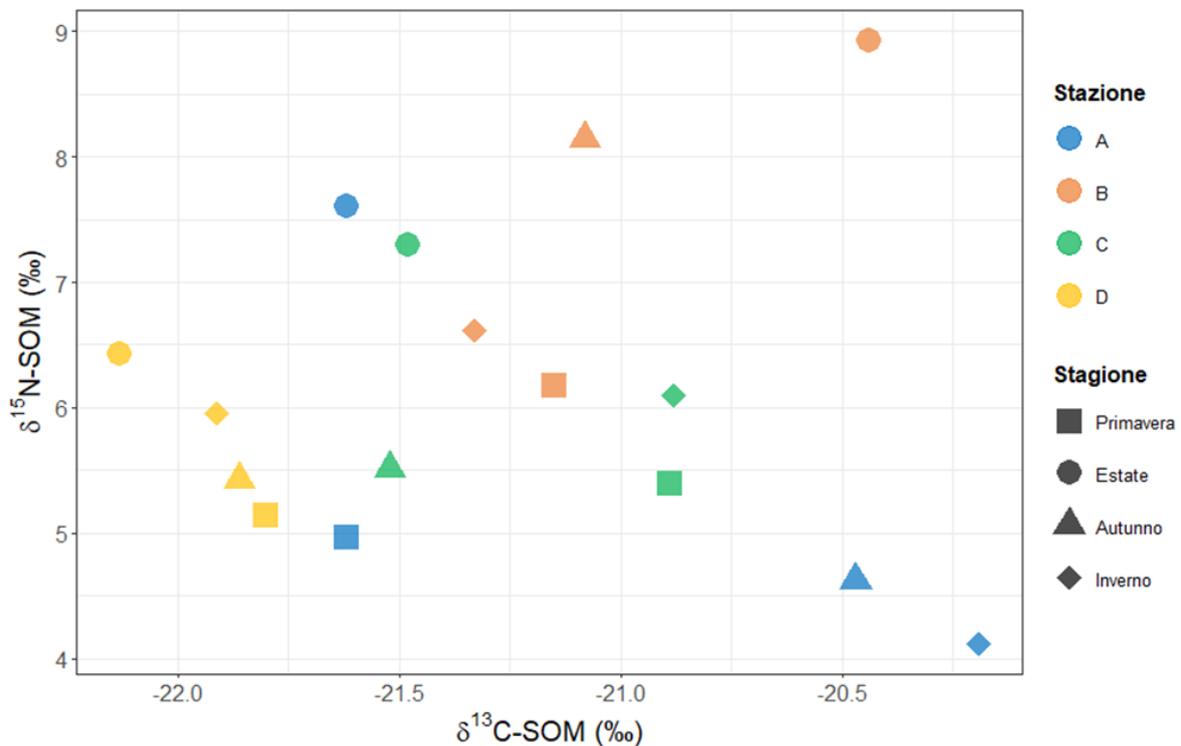


Figura 6.2.2.3. Composizione isotopica del carbonio organico totale ($\delta^{13}\text{C-SOM}$) e dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-SOM}$) nei sedimenti raccolti stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

6.2.3 Popolamenti planctonici presenti nelle aree a fasolari (area fasolari-stazioni "Faro")

Materiali e Metodi

Contestualmente ai campionamenti stagionali in colonna d'acqua e sedimento descritti in 6.2.1 e 6.2.2, sono stati prelevati anche campioni di fitoplancton e zooplancton per poter analizzare il loro contenuto isotopico (descritto in 6.2.4). I campioni sono stati raccolti eseguendo retinate verticali dal fondo fino alla superficie con retino con maglia da 20 μm (per il fitoplancton) e con retini con maglia da 50 μm e 200 μm (entrambi per lo zooplancton) e sono stati conservati al buio e al fresco fino al rientro in laboratorio. In ogni stazione sono state eseguite 2 retinate per il fitoplancton (un campione è stato fissato con formalina al 4 % per le analisi qualitative ed un campione è stato mantenuto al vivo per le analisi isotopiche), e due retinate per lo zooplancton (una con retino da 50 ed una seconda con retino da 200 μm). In laboratorio, i campioni di zooplancton raccolti con la rete di 50 μm sono stati filtrati su una rete da 200 μm , in modo da poter separare la frazione 50-200 μm (microzooplancton, MiZoo) utilizzata per la sola analisi isotopica. Il 10% dei campioni di zooplancton raccolto con retino da 200 μm (Mezoo) è stato fissato con una soluzione di formalina tamponata

(concentrazione finale 4 %) per le successive analisi quali-quantitative da condurre allo stereomicroscopio, mentre il restante campione è stato immediatamente utilizzato per le analisi isotopiche.

Per le analisi del popolamento fitoplanctonico, il campionamento con retino permette di filtrare una grande quantità di acqua concentrando gli organismi fitoplanctonici in un volume ridotto che viene raccolto in un piccolo bicchiere avvitato all'estremità della rete stessa. L'impiego di retini non è affidabile per una stima numerica della densità delle cellule algali espressa in numero di cellule per litro, per questo motivo accanto alla lista floristica è stata indicata con un puntino la presenza della specie quando era presente una sola cellula, mentre in caso di abbondanza è stata scelta una scala da un minimo di 1 a un massimo di 5. È stata scelta la procedura di analisi qualitativa per avere una conoscenza migliore e completa della diversità specifica della comunità e per poterla conseguentemente confrontare con i contenuti stomacali dei molluschi.

L'analisi del mesozooplankton (MeZoo) è stata eseguita utilizzando due stereomicroscopi: Leica 165C (120x) e Leica 205C (160x). Per risalire al numero totale di individui presenti in un metro cubo di acqua di mare (abbondanza= n ind. m^{-3}), il numero di individui identificati ed enumerati nella frazione considerata è stato rapportato al campione intero e successivamente diviso per il numero di metri cubi filtrati in ogni retinata. L'identificazione degli organismi mesozooplanktonici è stata condotta sino al livello tassonomico più basso raggiungibile, utilizzando i seguenti testi: [Avancini et al. \(2006\)](#), [Boltovskoy \(1999\)](#), [Castellani & Edwards \(2017\)](#), [Nishida \(1985\)](#), [Razouls et al. \(2016\)](#), [Rose \(1933\)](#), [Tregouboff & Rose \(1957\)](#). I nauplii di copepode, sebbene identificati ed enumerati, non sono stati inclusi nell'analisi dei risultati in quanto la loro abbondanza è troppo sottostimata a seguito del tipo di retino scelto per il campionamento (rete con vuoto di maglia di 200 μm).

Risultati e Discussione

Fitoplancton

Dai risultati dei campioni di retino emerge che nelle stazioni A, B, C e D campionate nelle 4 stagioni si riconosce una discreta diversità specifica, comprendente in totale 128 tra microalghe determinate come specie e quelle riconosciute fino a livello di genere o di classe. Considerando la lista floristica suddivisa nei gruppi principali, il numero dei taxa totali è la seguente: 55 taxa per le diatomee; 59 per le dinoficee; 5 coccolitofori (Allegato 6.2.3.1). Tra i flagellati vengono inoltre identificati 2 taxa tra i cercozoa, 1 nelle clorofite, 5 tra le ocofite e 1 taxon di aptofite, come riportato nella Tab.1. In particolare, il numero dei taxa va da un minimo di 22 riscontrato in febbraio 2022 ad un massimo di 65 del novembre 2021 (Fig. 6.2.3.1).

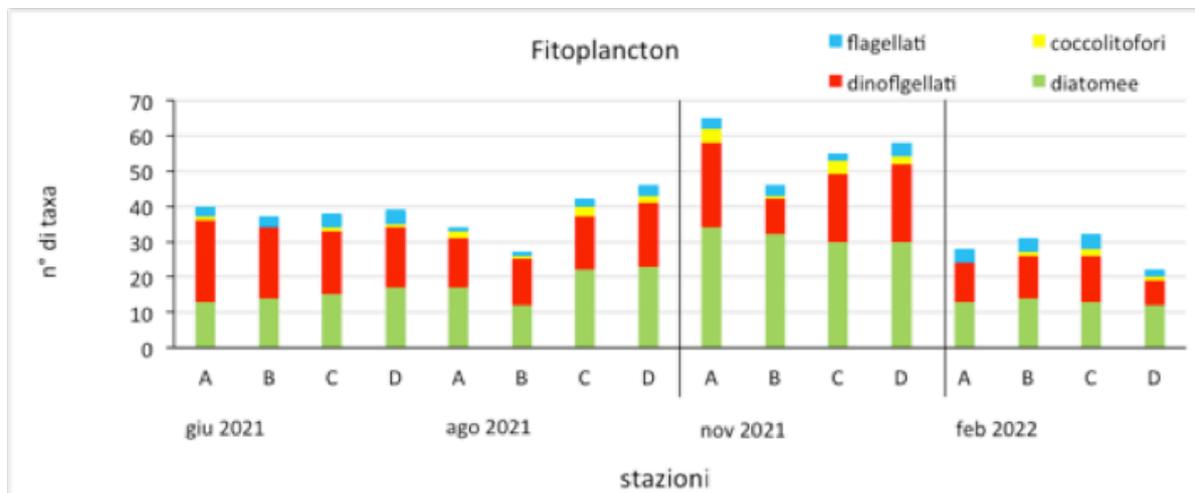


Figura 6.2.3.1 Gruppi principali del fitoplancton individuati nelle stazioni A, B, C e D campionate in primavera (giugno 2021), estate (agosto 2021), autunno (novembre 2021) e inverno (febbraio 2022).

Lo studio della componente fitoplanctonica rilevata per la prima volta nelle stazioni “Faro” (A, B, C e D) riporta microalghe già osservate in laguna di Grado e Marano (Cabrini et al., 1993; Vadrucci et al., 2008) e più in generale nel golfo di Trieste (Cabrini et al., 2012; Cerino et al., 2019). In laguna il plancton entra dall’ecosistema marino e le specie più adatte riescono a mantenersi e a riprodursi. *Bacteriastrium* sp., *Chaetoceros* sp.p., *Pseudonitzschia* sp. e *Thalassionema* sp.p. sono diatomee frequentemente osservate in primavera e autunno nel golfo di Trieste. I dinoflagellati sono sempre meno abbondanti e più tipicamente estivi anche nelle acque marine e *Noctiluca scintillans*, *Prorocentrum micans* e *Tripes fusus*, specie riscontrate in questo studio, sono costantemente state osservate nella stazione dell’Area Marina Protetta di Miramare che viene monitorata mensilmente dal marzo 1986 e rappresenta una lunga serie temporale fondamentale per riconoscere anche specie non indigene che si introducono con le acque di zavorra (Cabrini et al., 2019).

Mesozooplankton

L’abbondanza del mesozooplankton presente nelle stazioni “Faro” è variata da un minimo di 226.15 ind m⁻³, osservato nella stazione B in autunno, e un massimo di 6878.7 ind m⁻³, misurato nella Stazione A in inverno (Fig. 6.2.3.2). In nessuna delle stagioni si è osservato un chiaro gradiente costa-largo, ad eccezione dell’inverno durante il quale le abbondanze misurate nelle stazioni A e B sono state sensibilmente superiori a quelle delle stazioni C e D. Sono invece risultate statisticamente significative le differenze dovute alla stagionalità (ANOSIM: R=0.805, p<0.1 %). La lista dei 10 taxa maggiormente presenti nelle quattro stagioni è presentata in tabella 6.2.3.1.

Durante l’intero periodo di studio, i copepodi hanno rappresentato sempre la componente prevalente del mesozooplankton, con abbondanze percentuali varianti da un minimo di 45 % dell’intero popolamento, misurato nella stazione B in primavera, ad un massimo di 95,5 % osservato nella stazione A in inverno. Complessivamente sono stati identificati 26 taxa di copepodi, di cui 22 specie (compreso il taxon *Paracalanus parvus* complex), 3 generi (*Nannocalanus*, *Goniopsyllus* e *Microsetella*) e un ordine (Harpacticoida). In tutte le stagioni i taxa predominanti sono stati *Paracalanus parvus* complex e *Acartia* (*Acartiura*) *clausi* (ad eccezione dell’estate durante la quale *Acartia* non è stata molto abbondante) (Tab. 6.2.3.1), presenti sia come forme

adulte sia come giovanili (copepoditi). Altri taxa importanti sono stati le specie *Temora stylifera* (presente quasi esclusivamente in estate) e *Temora longicornis* (presente prevalentemente in inverno) e le specie appartenenti ai generi *Centropages* e *Oithona* (Tab. 6.2.3.1).

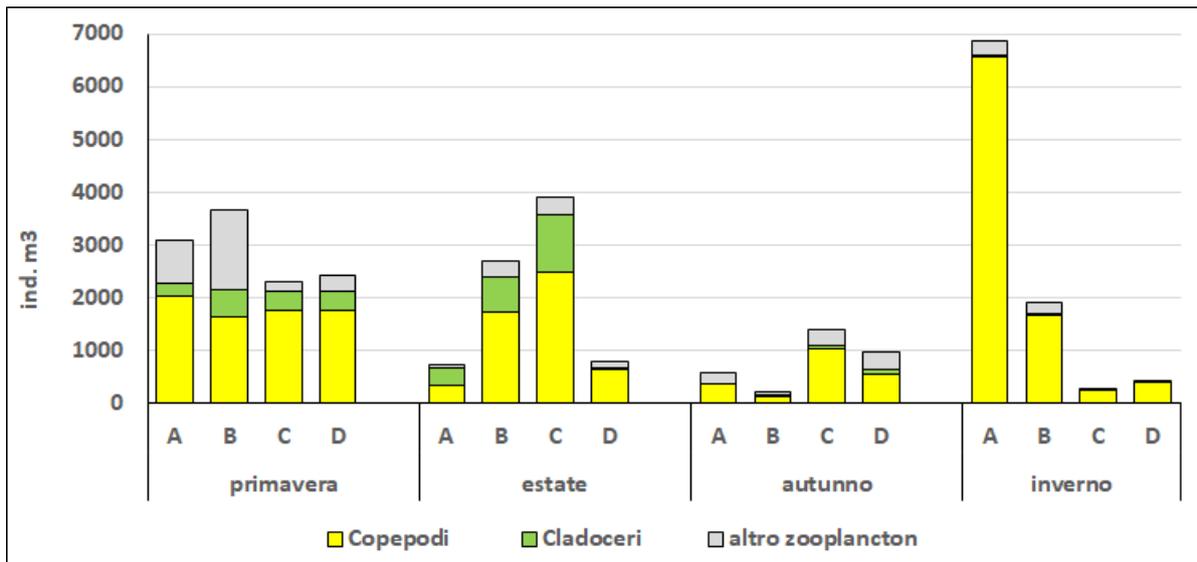


Figura 6.2.3.2 Abbondanza del mesozooplancton presente nelle stazioni A, B, C e D campionate in giugno (primavera), agosto (estate), novembre (autunno) 2021 e febbraio (inverno) 2022. La composizione faunistica è stata suddivisa nei seguenti gruppi: copepodi, cladoceri e altro zooplancton.

Mesozooplancton : 10 taxa principali in ordine di abbondanza percentuale							
Primavera		Estate		Autunno		Inverno	
Specie	%	Specie	%	Specie	%	Specie	%
<i>Acartia (Acartiura) clausi</i>	22,26	<i>Penilia avirostris</i>	22,98	<i>Paracalanus parvus comp</i>	25,83	<i>Acartia (Acartiura) clausi</i>	52,89
<i>Paracalanus parvus complex</i>	19,74	<i>Paracalanus parvus complex</i>	24,75	<i>Acartia (Acartiura) clausi</i>	11,24	<i>Paracalanus parvus complex</i>	16,04
Mollusca gastropoda larvae	12,03	<i>Temora stylifera</i>	17,84	<i>Ophiuroidea plutei</i>	10,24	<i>Oithona copepoditi</i>	4,96
<i>Oithona copepoditi</i>	10,66	<i>Oithona nana</i>	12,15	<i>Oncaea curta</i>	9,09	<i>Euterpina acutifrons</i>	4,12
<i>Pleopsis polyphaemoides</i>	7,90	Anthoathecata	3,42	Polychaeta larvae	6,75	<i>Oikopleura spp</i>	3,45
<i>Ophiuroidea plutei</i>	5,62	<i>Pseudoevadne tergestina</i>	2,82	<i>Penilia avirostris</i>	4,84	<i>Temora longicornis</i>	2,74
<i>Centropages copepoditi</i>	3,47	<i>Oikopleura spp</i>	2,79	<i>Oithona copepoditi</i>	4,17	<i>Oncaea curta</i>	2,59
<i>Evadne nordmanni</i>	2,22	<i>Centropages copepoditi</i>	2,69	<i>Euterpina acutifrons</i>	3,94	<i>Oithona similis</i>	2,28
<i>Penilia avirostris</i>	2,19	<i>Centropages ponticus</i>	1,75	<i>Oncaea copepoditi</i>	3,51	Calanoida copepoditi	1,42
<i>Oithona similis</i>	2,15	<i>Euterpina acutifrons</i>	1,69	Mollusca bivalvia larvae	3,26	<i>Oithona nana</i>	1,20
TOTALE	88,24	TOTALE	92,89	TOTALE	82,86	TOTALE	91,68

Tabella 6.2.3.1 Lista dei 10 principali taxa rinvenuti nelle stazioni "Faro" durante i campionamenti di giugno (primavera), agosto (estate), novembre (autunno) 2021 e febbraio (inverno) 2022. L'appartenenza ai diversi gruppi zooplanctonici è stata così indicata: copepodi (giallo), cladoceri (verde) e altro zooplancton (azzurro).

Primavera ed estate sono state caratterizzate dalla presenza dei cladoceri, praticamente assenti nelle altre stagioni (Fig. 6.2.3.2). Sono state identificate 6 specie di cladoceri, di cui la più abbondante è stata *Penilia avirostris* (specie tipicamente estiva). Le altre specie identificate sono *Evadne nordmanni* e *Pleopsis*

polyphaemoides (presenti prevalentemente in primavera), *Evadne spinifera*, *Podon intermedius* e *Pseudoevadne tergestina* (anche quest'ultima tipica del periodo estivo). Nei mesi più caldi, i cladoceri possono raggiungere abbondanze anche molto importanti, come accade tipicamente nel golfo di Trieste dove spesso possono arrivare a rappresentare oltre il 50% dell'intero popolamento mesozooplanctonico (Piontkovski et al., 2012; Morabito et al., 2018; Pierson et al., 2021). Ciononostante, nell'ultimo decennio si deve segnalare un importante decremento di questi organismi nel golfo (dati non pubblicati ottenuti nella stazione LTER_C1), tendenza osservata anche nelle stazioni "Faro". Infatti, sebbene i cladoceri (ed in particolare la specie *Penilia avirostris*) abbiano caratterizzato le stagioni più calde, la loro abbondanza massima, misurata nella stazione C in estate, è stata di soli 1034 ind m⁻³ mentre sono risultati quasi assenti (42 ind m⁻³) nella stessa stagione nella stazione D.

Mentre copepodi e cladoceri sono organismi prettamente oloplanctonici (che trascorrono l'intero ciclo vitale nel plancton), nel gruppo "Altro zooplancton" sono stati osservati principalmente organismi meroplanctonici, che vivono nel plancton soltanto in alcune fasi del loro ciclo vitale (più frequentemente nel periodo larvale o come uova) e pertanto presentano una forte stagionalità. I taxa maggiormente presenti sono stati le larve di gasteropodi (in primavera), bivalvi (in autunno) ed echinodermi (primavera e autunno). Si segnala inoltre la presenza di organismi oloplanctonici presenti tutto l'anno, quali le appendicolarie del genere *Oikopleura* che sono state particolarmente numerose in estate ed inverno (Tab. 6.2.3.1).

6.2.4 Isotopi stabili del carbonio ed azoto nel plancton (area fasolari-stazioni "Faro")

Materiali e Metodi

Le aliquote di campioni raccolti mediante retinate verticali (descritto in 6.2.3) destinate alle analisi isotopiche sono state trattate in laboratorio nella stessa giornata in cui è stato effettuato il campionamento. Subaliquote di ogni campione sono state filtrate su filtri Whatman GF/F (porosità nominale 0.7 µm, precombusti a 450°C per 4 ore) da 25 mm di diametro. I filtri destinati alla caratterizzazione della composizione isotopica del fitoplancton ($\delta^{13}\text{C}$ -Fito e $\delta^{15}\text{N}$ -Fito) e delle due frazioni di zooplancton ($\delta^{13}\text{C}$ -Zoo e $\delta^{15}\text{N}$ -Zoo di MiZoo e MeZoo) sono stati conservati a -80 °C fino al momento dell'analisi. La determinazione del contenuto di carbonio organico, azoto totale della relativa composizione isotopica è stata effettuata mediante spettrometro di massa a rapporto isotopico accoppiato con analizzatore elementare (EA-IRMS), come descritto in 6.1.2 per $\delta^{13}\text{C}$ -POM e $\delta^{15}\text{N}$ -POM. Le analisi statistiche per determinare le differenze stagionali (test non parametrico di Mann-Whitney) sono state eseguite utilizzando Statistica (StatSoft).

Risultati e Discussione

Isotopi stabili del carbonio ed azoto nel plancton delle stazioni Faro											
Stazione	Data	Stagione	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E	$\delta^{13}\text{C-Fito}$ ‰	$\delta^{15}\text{N-Fito}$ ‰	$\delta^{13}\text{C-MeZoo}$ ‰	$\delta^{15}\text{N-MeZoo}$ ‰	$\delta^{13}\text{C-MiZoo}$ ‰	$\delta^{15}\text{N-MiZoo}$ ‰
A	17/6/2021	Primavera	15.50	45°37,0'	13°13,3'	-21.14	7.40	-21.35	7.53	-19.65	7.38
B	17/6/2021	Primavera	12.00	45°36,3'	13°14,2'	-22.18	7.92	-21.12	6.98	-19.79	4.41
C	15/6/2021	Primavera	15.50	45°34,9'	13°16,5'	-21.80	4.58	-22.15	7.96	-21.95	7.82
D	15/6/2021	Primavera	20.50	45°33,4'	13°19,2'	-21.94	5.97	-22.06	9.18	-21.55	6.04
A	31/8/2021	Estate	15.50	45°38,1'	13°11,9'	-22.02	7.69	-21.28	6.39	-21.40	6.83
B	31/8/2021	Estate	12.50	45°36,3'	13°14,2'	-24.23		-21.10	6.53	-23.70	8.37
C	30/8/2021	Estate	15.50	45°34,9'	13°16,5'	-21.43	7.35	-21.08	6.56	-21.80	6.28
D	30/8/2021	Estate	20.50	45°33,4'	13°19,2'	-21.27	6.32	-21.09	6.46	-20.02	5.82
A	19/11/2021	Autunno	15.50	45°38,1'	13°11,9'	-21.08	7.33	-20.53	7.86	-19.56	6.87
B	19/11/2021	Autunno	12.50	45°36,3'	13°14,2'	-22.79		-20.52	8.66	-19.33	7.83
C	17/11/2021	Autunno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	-20.90	5.17	-19.79	8.59	-18.13	9.08
D	17/11/2021	Autunno	20.75	45°33,4'	13°19,2'	-20.47	6.12	-20.28	8.08	-19.15	6.31
A	18/2/2022	Inverno	15.70	45°38,1'	13°11,9'	-24.00	6.58	-26.66	5.67	-21.76	5.96
B	18/2/2022	Inverno	12.70	45°36,3'	13°14,2'	-23.73	6.00	-24.05	6.48	-22.96	5.39
C	17/2/2022	Inverno	15.50	45°34,9'	13°16,5'	-24.35	6.93	-24.37	6.36	-22.97	8.44
D	17/2/2022	Inverno	20.70	45°33,4'	13°19,2'	-24.48	5.87	-23.74	6.31	-21.58	5.30

Tabella 6.2.4.1. Composizione isotopica del carbonio organico ($\delta^{13}\text{C}$) e dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N}$) del plancton campionato stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro" mediante retini verticali. Fito: fitoplancton; MeZoo: zooplancton > 200 μm ; MiZoo: microzooplancton (frazione 50 - 200 μm).

La composizione isotopica del carbonio del fitoplancton ($\delta^{13}\text{C-Fito}$) è risultata compresa tra -24.48 ‰ e -20.47 ‰, minimo e massimo riscontrati nella stazione D, rispettivamente in inverno e autunno. Valori mediamente più bassi hanno caratterizzato la stagione invernale (Mann-Whitney $Z = 2.31$; $p < 0.05$), in ogni caso i valori di $\delta^{13}\text{C-Fito}$ rilevati nelle quattro stazioni "Faro" nel periodo indagato rientrano nel range tipico del fitoplancton marino (Fig. 6.2.4.1) (Hu et al., 2006 e riferimenti ivi contenuti). La composizione isotopica dell'azoto del fitoplancton ($\delta^{15}\text{N-Fito}$) è risultata compresa tra 4.58 ‰ e 7.92 ‰, valori riscontrati in primavera, rispettivamente nella stazione C e B. La stazione D, situata più al largo, è risultata caratterizzata da valori di $\delta^{15}\text{N-Fito}$ mediamente inferiori rispetto alla stazione A, più vicina alla costa (Mann-Whitney $Z = 2.31$; $p < 0.05$). La composizione isotopica del fitoplancton rientra nel range di variabilità del particellato nel golfo di Trieste (Faganeli et al., 2009).

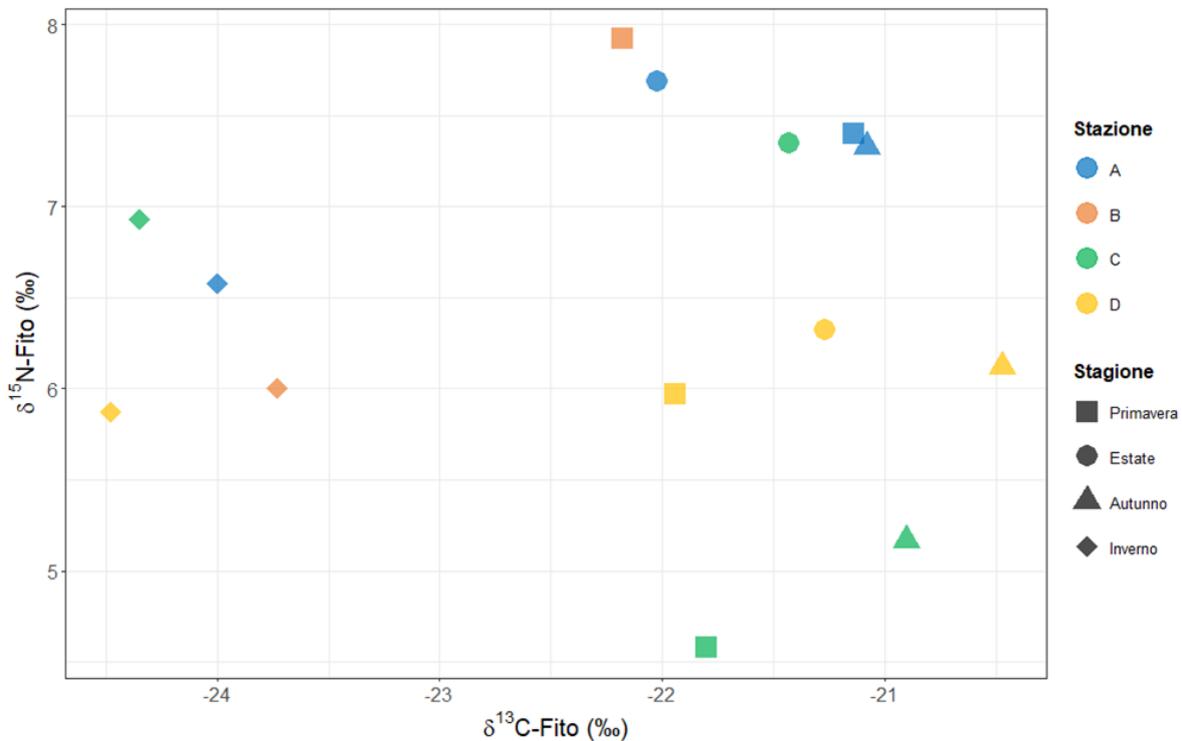


Figura 6.2.4.1. Composizione isotopica del carbonio organico ($\delta^{13}\text{C-Fito}$) e dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-Fito}$) del fitoplancton campionato stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro" mediante retini verticali.

La composizione isotopica del carbonio dello zooplancton ($\delta^{13}\text{C-Zoo}$) della frazione superiore a $200\ \mu\text{m}$ (MeZoo, Fig. 6.2.4.2) è risultata compresa tra $-26.66\ ‰$ e $-19.79\ ‰$, valori riscontrati, rispettivamente, in inverno nella stazione A e in autunno nella stazione C. Stagionalmente, i valori di $\delta^{13}\text{C-Zoo}$ del MeZoo sono risultati statisticamente diversi (Kruskal-Wallis $H = 10.08$; $p < 0.05$), con valori mediamente più bassi in inverno ($-24.70 \pm 1.33\ ‰$) e più elevati in autunno ($-20.28 \pm 0.35\ ‰$). La composizione isotopica dell'azoto dello zooplancton ($\delta^{15}\text{N-Zoo}$) della frazione superiore $200\ \mu\text{m}$ (MeZoo) è risultata compresa tra $5.67\ ‰$, minimo misurato in inverno nella stazione A, e $9.18\ ‰$, massimo rilevato in primavera nella stazione D.

La composizione isotopica del carbonio dello zooplancton ($\delta^{13}\text{C-Zoo}$) della frazione compresa tra 200 e $50\ \mu\text{m}$ (MiZoo, Fig. 6.2.4.2) è risultata compresa tra $-23.70\ ‰$ e $-18.13\ ‰$, valori riscontrati, rispettivamente, in estate nella stazione B e in autunno nella stazione C. La stagione autunnale è risultata caratterizzata da valori statisticamente più elevati (Mann-Whitney $Z = 2.31$; $p < 0.05$). La composizione isotopica dell'azoto dello zooplancton ($\delta^{15}\text{N-Zoo}$) della frazione compresa tra 200 e $50\ \mu\text{m}$ (MiZoo) è risultata compresa tra $4.41\ ‰$, minimo riscontrato in primavera nella stazione B, e $9.08\ ‰$, massimo misurato in autunno nella stazione C. Da un punto di vista di composizione isotopica, non si evidenziano differenze significative tra le due frazioni dimensionali dello zooplancton, i valori riscontrati sia per MeZoo (superiore a $200\ \mu\text{m}$) che per MiZoo (compreso tra 50 e $200\ \mu\text{m}$) rientrano infatti nel range di variabilità dello zooplancton in Adriatico (Fanelli et al., 2022) e del particellato nel golfo di Trieste (Faganeli et al., 2009).

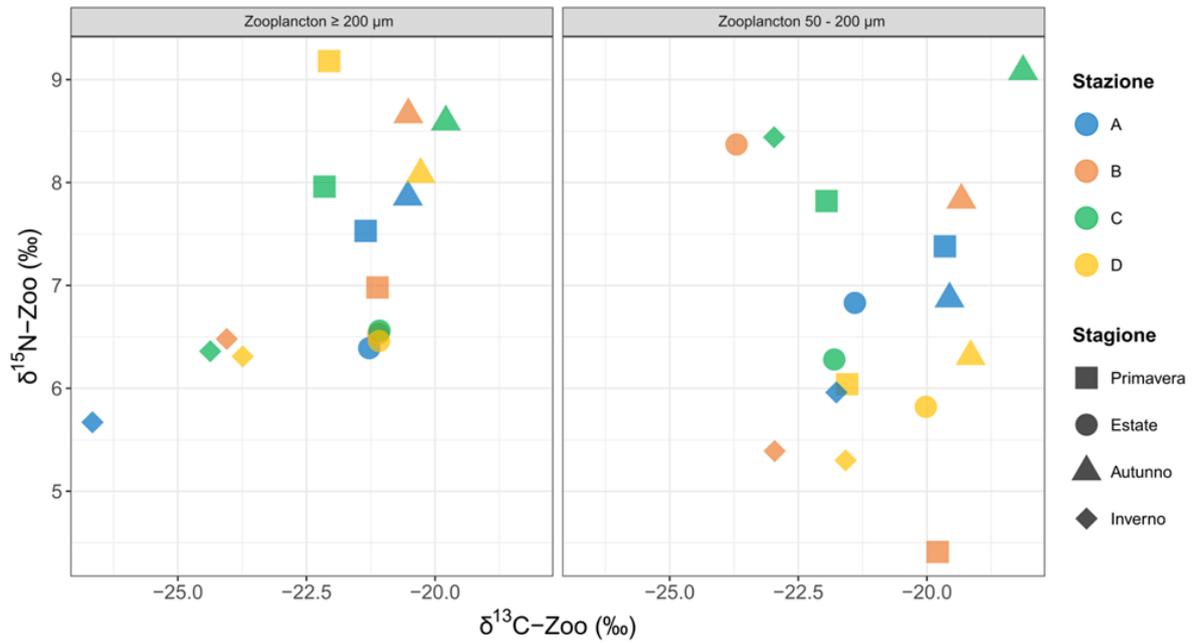


Figura 6.2.4.2. Composizione isotopica del carbonio organico ($\delta^{13}\text{C-Zoo}$) e dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-Zoo}$) dello zooplancton campionato stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro" mediante retini verticali.

6.3 Caratterizzazione del benthos nelle aree a fasolari

6.3.1 Caratterizzazione del benthos

Materiali e Metodi

Il campionamento del macrozoobenthos di dettaglio, alla massima risoluzione possibile, raccolto nelle 4 stazioni “Faro” (Fig. 6.1.1.1), è stato svolto seguendo le indicazioni riportate da [Gambi e Dappiano \(2003\)](#) e dai riferimenti ivi contenuti. In ognuna delle stazioni campionate, il sedimento è stato prelevato in tre repliche utilizzando una benna van Veen con una superficie di presa di 0.1 m². Il sedimento relativo ad ogni replica, una volta giunto a bordo dell'imbarcazione d'appoggio, è stato diluito con acqua di mare e vagliato su un setaccio con maglie di 500 µm.

Durante la vagliatura gli organismi più fragili sono stati raccolti (mediante pinzetta) onde evitare il loro danneggiamento. Al termine del lavaggio di ogni replica (bennata), il setaccio è stato accuratamente controllato affinché tra le maglie non vi fossero rimasti organismi potenzialmente trasferibili alle repliche e/o stazioni successive. Gli organismi sono stati quindi fissati in una soluzione di etanolo al 75-80%.

Una volta giunti in laboratorio, dopo la rimozione della soluzione di fissaggio ed un'opportuna sgocciolatura, i campioni sono stati posti in appositi contenitori dove sono state effettuate le operazioni di smistamento (*sorting*). Gli organismi sono stati separati dal sedimento residuo e divisi nei gruppi tassonomici di appartenenza: molluschi, policheti, crostacei, echinodermi e altri (poriferi, antozoi, briozoi, priapulidi, sipunculidi, nemertini, foronidei e ascidiacei). In seguito, tutti gli animali sono stati identificati fino al più basso livello tassonomico possibile e quindi contati. Nel caso di animali frammentati sono stati considerati solo quelli con parti del corpo che ne permettevano il riconoscimento (es. la parte cefalica). Per l'identificazione tassonomica sono stati consultati tra gli altri anche i testi elencati in [Morri et al. \(2004\)](#). La nomenclatura dei taxa e delle specie utilizzata in questo lavoro fa riferimento agli ultimi aggiornamenti disponibili sul portale di ricerca WoRMS (World Register of Marine Species).

Sulla base dei dati ottenuti dall'identificazione degli organismi campionati, è stato possibile stimarne la numerosità in specie e la relativa abbondanza.

Successivamente è stata valutata anche la diversità specifica (o biodiversità) qui definita come una misura dell'importanza delle diverse specie in un ecosistema, in termini di numero ed abbondanza relativa ([Legendre & Legendre, 1983](#)). Essa è quindi il risultato della reciproca influenza di alcuni parametri legati alla presenza e distribuzione delle specie, quali ricchezza specifica e equitabilità (o equipartizione). Al fine di valutare la diversità e le sue componenti, nelle comunità bentoniche indagate, tre specifici indici sono stati presi in considerazione:

- l'indice di ricchezza di Margalef (d), espresso dalla formula:

$d = S-1/\ln N$, dove S è il numero totale di specie ed N corrisponde al numero totale degli individui per Stazione campionata.

- l'indice di diversità di Shannon-Weaver (H'), espresso dalla formula:

$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$, dove p_i è la frequenza della specie i-esima.

Questo indice è di gran lunga il più usato in letteratura e misura la biodiversità assumendola come il grado di incertezza nell'estrarre casualmente una data specie da un insieme di specie campionate. Tale incertezza e conseguentemente la biodiversità, aumenta sia all'aumentare del numero di specie (ricchezza) nonché

all'aumentare dell'omogeneità delle loro distribuzioni (equitabilità) (Gray ed Elliott, 2009). Questo indice può variare da un valore minimo di $H' = 0$ (una sola specie presente), in questo caso non c'è alcuna incertezza, ad un valore massimo di $H' = \log_2 S$ che corrisponde alla massima incertezza, in cui tutte le specie sono equamente distribuite (massima omogeneità).

Per stimare il solo valore dell'omogeneità a partire dall'indice di Shannon è stato calcolato l'indice di equitabilità di Pielou (J'), con la formula:

$J' = H'/H_{max}$, dove H' è l'indice di Shannon misurato, mentre H_{max} corrisponde alla massima entropia possibile, ovvero quella che si otterrebbe assumendo tutte le specie presenti in egual numero. I valori di questo indice sono compresi tra 0 e 1, dove 1 rappresenta l'equidistribuzione massima.

Da un punto di vista prettamente multivariato, al fine di applicare l'analisi dei cluster alla matrice taxastazione, i valori di abbondanza sono stati preventivamente trasformati con radice quadra. La trasformazione si rende necessaria al fine di evitare di attribuire un'eccessiva importanza alle specie numericamente più abbondanti (Wilding, 2006). Alla matrice dei dati trasformati è stato applicato il coefficiente di similarità di Bray-Curtis, mediante il quale si è costruita una matrice triangolare di similarità tra le stazioni campionate. Questo coefficiente è espressamente consigliato da molti autori per lo studio di comunità bentoniche ed è considerato un'ottima misura della similarità, in quanto ben conserva la "distanza ecologica" delle comunità indagate (Clarke et al., 2014).

Per applicare una *cluster analysis* e suddividere le stazioni in gruppi, tra loro ecologicamente più simili, alla matrice di similarità ottenuta è stato applicato l'algoritmo di classificazione gerarchica del legame medio (*group average*), permettendo di rilevare le maggiori discontinuità all'interno dell'insieme di dati. Al fine di valutare la significatività dei gruppi derivanti dalla classificazione, evitando di operare un "taglio" arbitrario a un determinato livello di similarità dei dendrogrammi ottenuti, è stata applicata l'analisi SIMPROF (SIMilarities PROFile). Quest'analisi permette perciò di identificare quali gruppi di oggetti (le diverse stazioni nel nostro caso) scaturiti da una *cluster analysis* siano raggruppamenti significativi ad un determinato livello di probabilità scelto, nel nostro caso il 5% ($P < 0.05$) (Clarke et al., 2014).

Contestualmente alla classificazione, per ottenere dei raggruppamenti spaziali delle stazioni esaminate, le comunità sono state ordinate in uno spazio bidimensionale mediante un'analisi *nonmetric Multi-Dimensional Scaling* (*nMDS*). Questo metodo di ordinamento necessita di una matrice triangolare di similarità (o distanza) e si basa su un algoritmo iterativo che prevede un aggiustamento dei punti nello spazio in cui si desidera ottenere l'ordinamento, minimizzando lo stress tra la struttura delle distanze nello spazio originale (multidimensionale) e quella ottenuta nello spazio ridotto dell'ordinamento (2-D). Nel nostro caso la matrice triangolare utilizzata per l'analisi *nMDS* è la stessa utilizzata per la classificazione (*cluster analysis*) ovvero quella relativa ai valori di abbondanza trasformati con radice quadra ai quali si è applicato il coefficiente di similarità di Bray-Curtis.

Per testare l'esistenza di differenze tra le comunità delle diverse stazioni campionate è stata applicata un'analisi ANOSIM (*ANalysis Of SIMilarities*). Tale procedura, qui applicata configurando il fattore di variabilità "stazione" permette di verificare se le differenze fra due o più gruppi (definiti a priori) di osservazioni multivariate (le stazioni nel nostro caso) sono significative o meno (Clarke et al., 2014). Tutte le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software PRIMER V. 7.0 (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*).

Per quanto concerne l'identificazione delle diverse biocenosi (*sensu Pérès e Picard, 1964*), nonché delle specie caratteristiche associate, si fa riferimento a quelle descritte da Peres e Picard (1964), Peres (1967) e Pergent et al. (2007) per il Mediterraneo con le integrazioni specifiche per l'Alto Adriatico, presenti in Orel et al. (1987). A seguito dell'identificazione delle specie caratteristiche è stata poi calcolata l'affinità bionomica percentuale.

L'affinità bionomica percentuale è un indice qualitativo usato per descrivere e valutare la composizione bionomica di un popolamento. Individuate le specie caratteristiche, il suo algoritmo prevede innanzitutto, per ognuna delle k biocenosi, il calcolo del coefficiente di correzione C , corrispondente al "peso relativo" che ogni specie caratteristica di una determinata biocenosi ha nei confronti delle specie caratteristiche delle altre biocenosi. L'affinità assoluta per la biocenosi j -esima è costituita dall'abbondanza di specie della biocenosi j -esima nella stazione di rilevamento (n_j), moltiplicato per il complemento a cento del fattore di correzione C della biocenosi j -esima. Per rendere più semplice il confronto tra le varie stazioni, l'affinità assoluta viene trasformata in affinità percentuale, rapportando a 100 tutte le affinità bionomiche assolute presenti nella stazione (per il procedimento di calcolo si rimanda a [Pérès e Picard, 1964](#)).

Risultati e Discussione

Complessivamente nelle 4 stazioni "Faro" campionate (12 repliche), sono stati raccolti e identificati 3623 individui appartenenti a 193 diversi taxa di cui 165 identificati a livello della specie e appartenenti ai seguenti gruppi sistematici: Anellida (Policheti), Mollusca (bivalvi, gasteropodi e scafopodi), Crustacea (decapodi, anfipodi, isopodi, cumacei e misidacei) ed Echinodermata (oloturoidei, echinoidei, ofiuroidei e asteroidei). Gli organismi come Anthozoa, Nemertea, Platyhelminthes, Sipuncula, Pycnogonida, Ascidiacea e Cephalochordata sono stati accorpati nel gruppo "Altri".

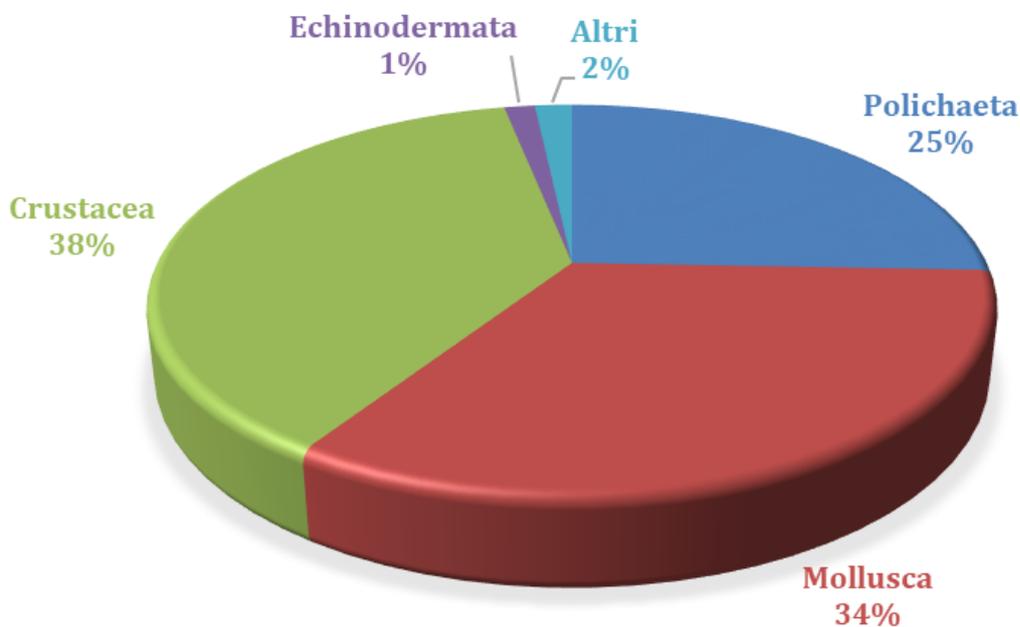


Figura 6.3.1.1. Valori di abbondanza relativa dei principali gruppi tassonomici del macrozoobenthos nel complesso delle 4 stazioni "Faro".

Come è possibile osservare nel grafico di Fig. 6.3.1.1 i taxa maggiormente rappresentati, nelle quattro stazioni "Faro", sono risultati, piuttosto chiaramente, i crostacei e i molluschi che sommati hanno contribuito a ben il

72% dell'intero popolamento. I policheti sono risultati il terzo taxon più abbondante, con il 25% del totale, mentre gli echinodermi e gli "altri" taxa hanno raggiunto solamente il 3% complessivo.

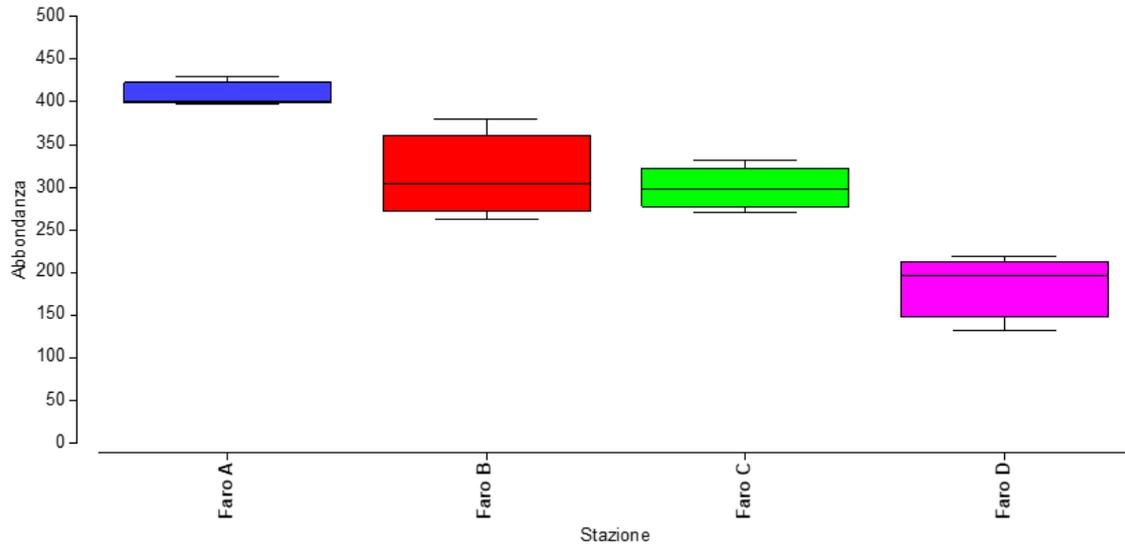


Figura 6.3.1.2. Box Plot con i valori di abbondanza assoluta misurata nelle 4 stazioni "Faro".

Nell'insieme l'abbondanza assoluta degli organismi macrozoobentonici campionati ha mostrato una distribuzione in diminuzione lungo il gradiente costa-largo (Fig. 6.3.1.2). La stazione con la più elevata abbondanza è risultata infatti la stazione più costiera, "Faro" A, con una media di 410 ± 18 (DS) organismi mentre, quella a minor abbondanza è risultata la stazione "Faro" D, posta più al largo, con una media di 183 ± 45 organismi campionati.

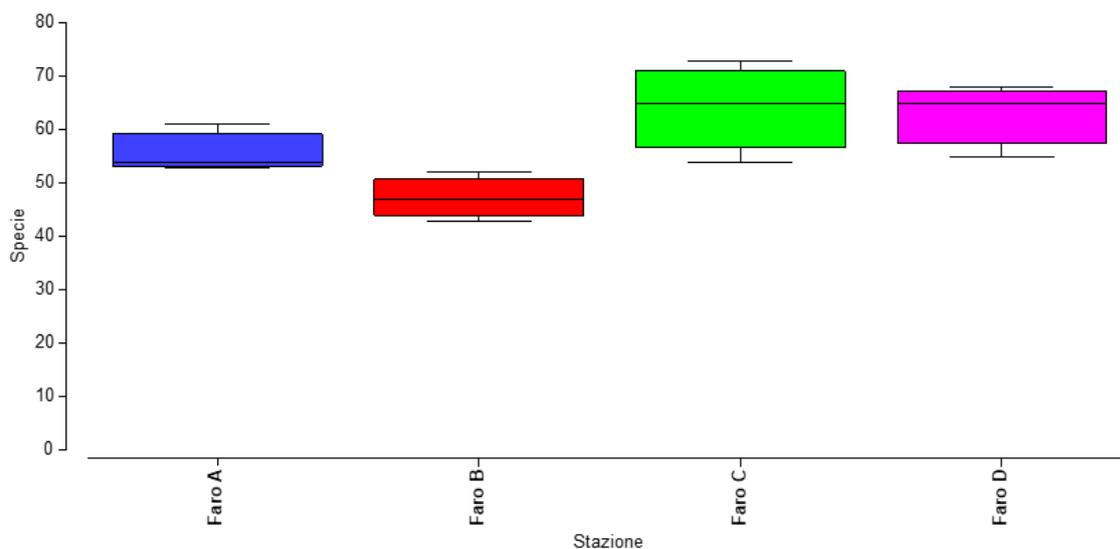


Figura 6.3.1.3. Box Plot con i valori di numerosità di specie misurata nelle 4 stazioni "Faro".

In termini di numerosità di specie osservate, le quattro stazioni “Faro” hanno mostrato un andamento reciprocamente piuttosto simile, con una media complessiva per replica di 57 ± 9 specie per stazione (Fig. 6.3.1.3). La stazione con il più alto numero di specie è risultata la stazione C con 64 ± 9 specie, mentre quella con il più basso numero di specie è risultata la stazione B con 47 ± 4 specie.

Considerando i valori della diversità specifica, qui espressi con l’indice di diversità di Shannon (H' ; \log_2) e riportati in Fig. 6.3.1.4 è possibile osservare come tutte le stazioni abbiano presentato valori di diversità molto elevati, superiori a $H' = 5$. La media del valore di diversità specifica nel complesso delle quattro stazioni “Faro” è risultata di $H' = 5.4 \pm 0.3$, tale valore configura come particolarmente elevata la biodiversità di comunità macrobentoniche di fondi mobili come queste (Gray, 2000).

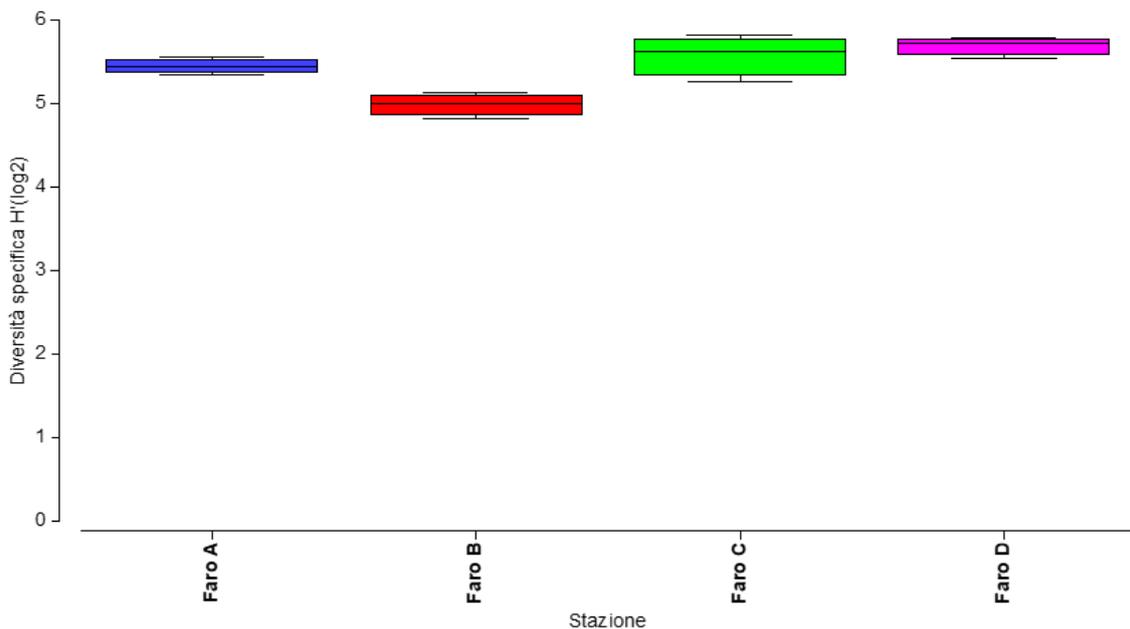


Figura 6.3.1.4. Box Plot con i valori di diversità specifica di Shannon (H' ; \log_2) misurata nelle 4 stazioni “Faro”.

I valori decisamente elevati della diversità specifica osservati, sono risultati contestualmente determinati sia da un'eccellente equipartizione delle abbondanze numeriche delle specie e sia da un'ottima ricchezza specifica. L'eccellente equipartizione numerica ha contribuito a determinare un'equitabilità molto elevata, ed estremamente poco variabile, in tutte le stazioni (Fig. 6.3.1.5), con una media complessiva di $J' = 0.96 \pm 0.02$. Anche la ricchezza specifica di Margalef è risultata piuttosto elevata con qualche variazione più marcata tra le stazioni rispetto all'equitabilità (Fig. 6.3.1.6). Come è possibile osservare dai grafici relativi, i valori leggermente meno elevati di diversità specifica (Fig. 6.3.1.4) osservati nella stazione “Faro” B sono stati prevalentemente determinati da una ricchezza specifica un po' inferiore in questa stazione rispetto alle altre, ciò risulta visibile sia dal minor numero di specie (Fig. 6.3.1.3) che dalla minor ricchezza di Margalef (Fig. 6.3.1.6) registrate in questa stazione.

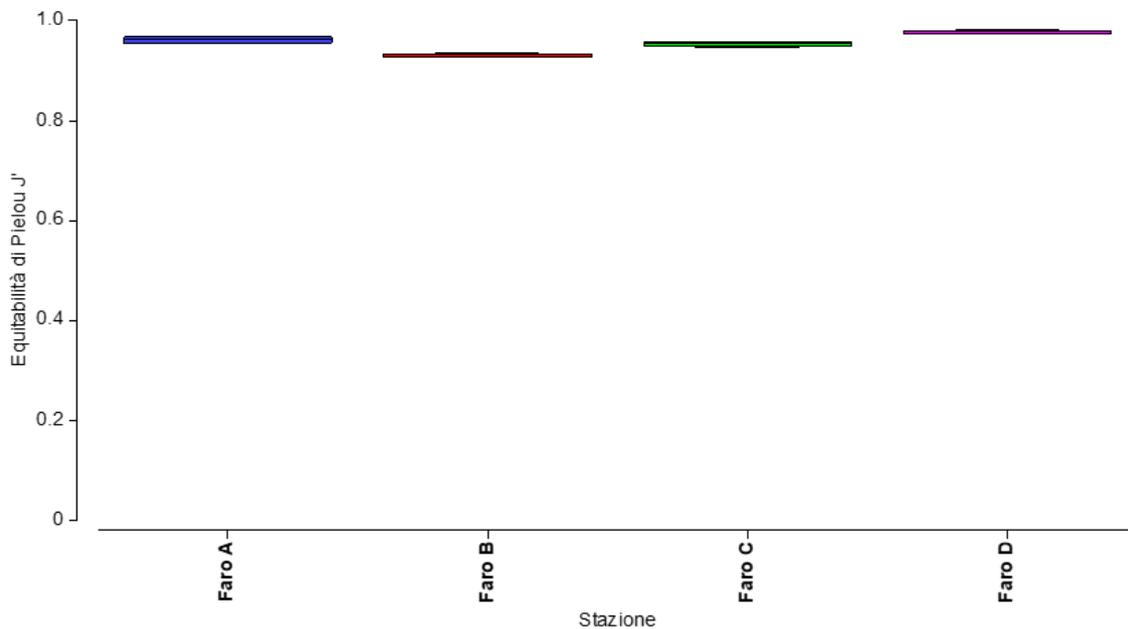


Figura 6.3.1.5. Box Plot con i valori di equitabilità di Pielou (J') misurata nelle 4 stazioni "Faro".

Complessivamente, nelle quattro stazioni "Faro", la ricchezza di Margalef ha mostrato un valore medio di $d = 11.3 \pm 1.8$ con il valore massimo registrato nella stazione "Faro" D con $d = 12.6 \pm 0.8$ e con il valore minimo registrato nella stazione "Faro" B con $d = 9.1 \pm 0.7$ (Fig. 6.3.1.6).

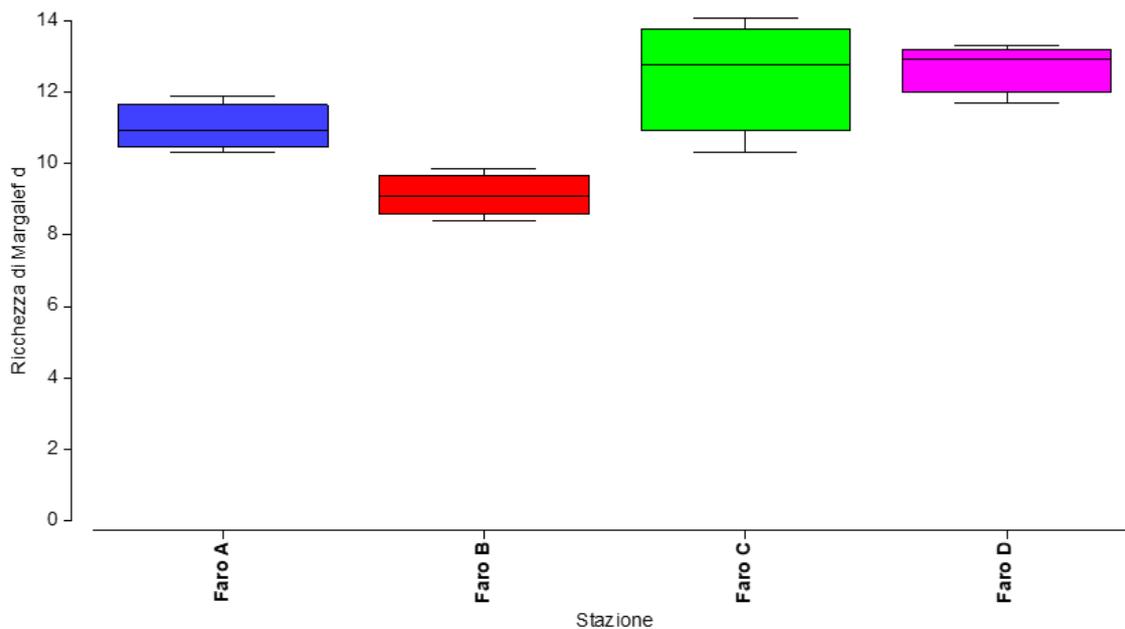


Figura 6.3.1.6. Box Plot con i valori di ricchezza di Margalef (d) misurata nelle 4 stazioni "Faro".

Considerando le comunità da un punto di vista multivariato, ovvero sia in termini di composizione tassonomica complessiva che di abbondanza delle specie presenti, le stazioni sono risultate chiaramente differenziarsi reciprocamente. Dall'ordinamento *nMDS* di Fig. 6.3.1.7, ottenuto dalla matrice triangolare di similarità di Bray-Curtis derivante dalle abbondanze complessive (previa trasformazione con radice quadra) di tutte le specie campionate, è possibile osservare come, le quattro stazioni "Faro", risultino chiaramente separate e comprese in quattro distinti gruppi coincidenti con quelli derivanti dall'analisi SIMPROF, condotta al 5% di significatività ($p < 0.05$) e derivante da una *cluster analysis* eseguita applicando il legame medio alla medesima matrice triangolare di similarità utilizzata per lo stesso ordinamento *nMDS*. L'unica parziale eccezione riguarda la replica A1 della stazione "Faro" A che non risulta compresa nel gruppo delle altre repliche della stessa stazione ma risulta comunque chiaramente più vicina e simile alle repliche della stazione A rispetto alle altre. La separazione significativa nell'espressione delle comunità macrozoobentoniche tra le stazioni "Faro" è risultata inoltre confermata anche dall'analisi ANOSIM condotta configurando come fattore di variabilità l'appartenenza delle repliche alle quattro stazioni "Faro". L'analisi ANOSIM ha infatti confermato l'esistenza di differenze altamente significative tra le quattro stazioni ($R = 0.972$; $P < 0.001$).

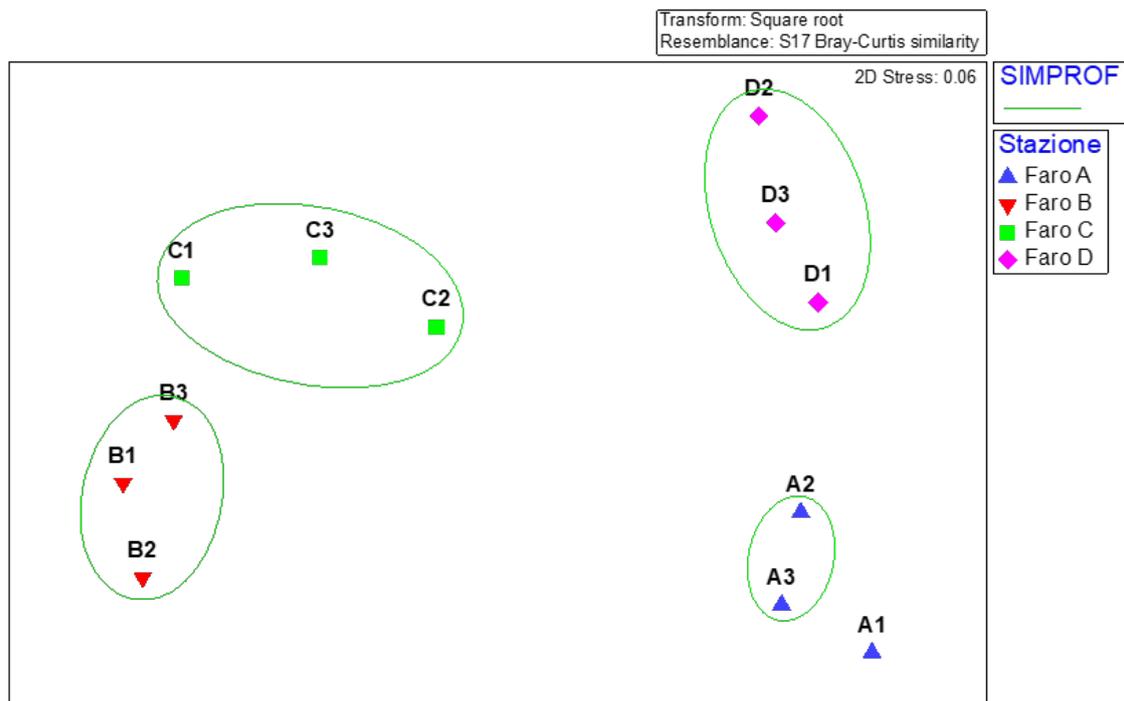


Figura 6.3.1.7. *nMDS* dell'insieme delle stazioni campionate. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMPROF) derivanti da una classificazione ottenuta dalla medesima matrice triangolare di similarità di Bray-Curtis utilizzata per produrre l'*nMDS* stesso.

Osservando l'ordinamento *nMDS*, oltre alla chiara separazione tra le repliche delle quattro stazioni "Faro", è possibile notare come le stesse non risultino distribuite lungo il gradiente costa largo. Le stazioni centrali rispetto al gradiente costa-largo, "Faro" B e "Faro" C, risultano infatti reciprocamente più simili (vicine nell'ordinamento) rispetto alle stazioni "Faro" A e "Faro" D, ovvero la più costiera e la più al largo, che risultano anch'esse più simili reciprocamente. In queste stazioni centrali rispetto al gradiente costa-largo ("Faro" B e

“Faro” C), l’espressione delle comunità macrozoobentoniche, risulta quindi reciprocamente più affine, esprimendo comunità che seppur separate, risultano più simili rispetto a quelle delle altre stazioni (“Faro” A e “Faro” D). In questo contesto, anche l’osservazione della distribuzione di *Callista chione* ci restituisce una situazione analoga. Considerando infatti l’abbondanza, espressa come individui al m² degli esemplari di fasolaro campionati con benna (da 0.1 m²), le stazioni che presentano la più alta densità di questa specie, sono risultate le due centrali (“Faro” B e “Faro” C) rispetto al gradiente costa-largo (Fig. 6.3.1.8).

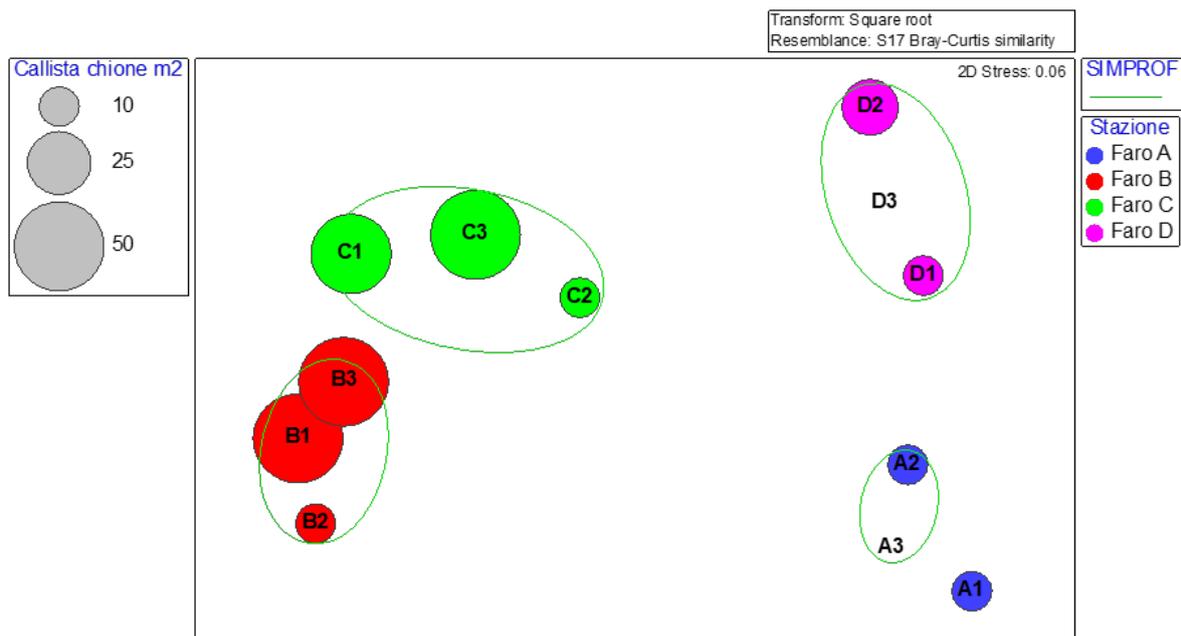


Figura 6.3.1.8. nMDS dell’insieme delle stazioni campionate, con cerchi proporzionali rispetto alla densità degli esemplari campionati di *Callista chione* espressa al m².

Durante questo studio, in ciascuna delle quattro stazioni “Faro” sono stati campionati esemplari di fasolaro ma con densità diverse. Nelle due stazioni centrali rispetto al gradiente costa largo il fasolaro è stato campionato in ciascuna delle tre repliche ed ha mostrato densità di 37 individui al m² nella stazione “Faro” B e 33 individui al m² nella stazione “Faro” C, mentre nelle rimanenti due stazioni il fasolaro è stato campionato in due delle tre repliche ed ha presentato densità inferiori e precisamente di 7 individui al m² nella più costiera stazione “Faro” A e 10 individui al m² nella più al largo stazione “Faro” D (Fig. 6.3.1.8).

Considerando i popolamenti bentonici da un punto di vista qualitativo, nella totalità delle quattro stazioni “Faro”, sono state osservate complessivamente ben 45 specie caratteristiche riconducibili a quattro principali biocenosi mediterranee (*sensu Pérès e Picard, 1964*). Nello specifico sono state campionate 18 specie caratteristiche della biocenosi circalitorale del Detritico Costiero (DC), 14 specie caratteristiche della biocenosi infralitorale delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC), 7 specie caratteristiche della biocenosi, indipendente dal piano bionomico, delle Sabbie Grossolane Soggette a Correnti di Fondo (SGCF) e 6 specie caratteristiche della biocenosi circalitorale dei Fanghi Terrigeni Costieri (VTC) (*Pérès & Picard, 1964; Pérès, 1967; Orel et al., 1987; Ruffo et al., 1998; Pergent et al., 2007*). La contemporanea presenza di biocenosi appartenenti sia al piano infralitorale (SFBC) che circalitorale (DC, VTC) non deve sorprendere in quanto nell’area campionata, il limite

tra i due piani bionomici si attesta all'incirca intorno ai 12-13 metri di profondità ed è quindi molto vicino rispetto alla profondità media di campionamento delle quattro stazioni "Faro" che è risultata di 14.7 ± 3 metri. Anche la contestuale presenza di biocenosi sabbiose o detritiche SFBC, SGCF e DC con la biocenosi fangosa dei VTC, ovvero biocenosi non legate da rapporti di evoluzione climacica diretta, non è da considerarsi anomala ed è comune in estese porzioni del golfo di Trieste e dei litorali Alto Adriatici Veneto-Friulani (Orel et al., 1987). Infatti, l'area di campionamento è ricompresa tra le foci dei due principali fiumi regionali, ovvero il Tagliamento e l'Isonzo, e può quindi risultare soggetta ad una certa instabilità del ritmo sedimentario, che si esplica soprattutto in occasione degli eventi di piena di questi corsi d'acqua, in particolare il fiume Tagliamento. In effetti in tutte le stazioni "Faro" campionate, sono risultate presenti alcune specie di molluschi bivalvi, indicatrici della condizione edafica dell'instabilità del ritmo sedimentario come *Nucula nucleus*, *Varicorbula gibba* e *Moerella distorta*.

Considerando i dati di affinità bionomica percentuale derivanti dalla presenza/assenza delle specie caratteristiche delle diverse biocenosi, individuate nelle quattro stazioni "Faro" (Fig. 6.3.1.9), è possibile notare come la densità dei fasolari campionati (Fig. 6.3.1.8) sia risultata direttamente proporzionale alla somma dell'affinità bionomica per le biocenosi del Detritico Costiero (DC) e delle sabbie Grossolane Soggette a Correnti di Fondo (SGCF) (le due biocenosi indicate con toni di blu nei grafici di Fig. 6.3.1.9).

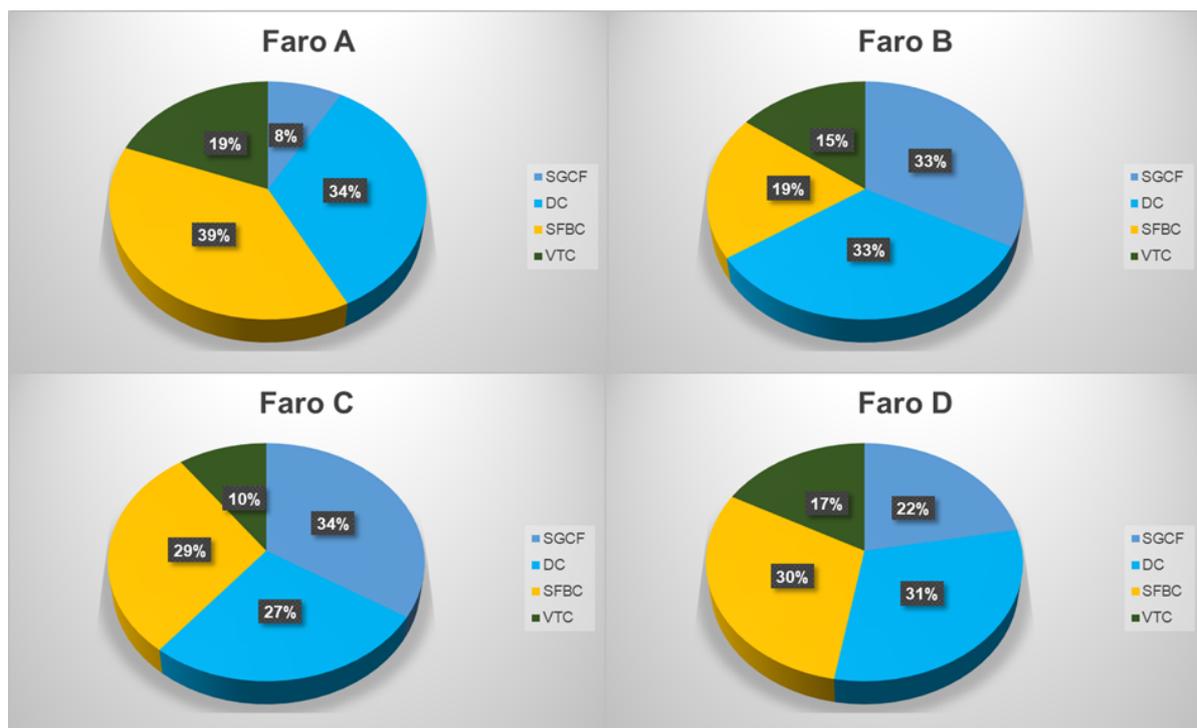


Figura 6.3.1.9. Valori di affinità bionomica percentuale delle principali biocenosi osservate nelle quattro stazioni "Faro" campionate.

Nelle due stazioni centrali rispetto al gradiente costa-largo ("Faro" B e "Faro" C) le biocenosi DC e SGCF, infatti, superano sommate il 60% di affinità mentre risulta ridotta l'affinità per le Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC) e per i Fanghi Terrigeni Costieri (VTC). La presenza dei fasolari sembra perciò molto strettamente legata al realizzarsi delle condizioni edafiche che conducono verso l'espressione della biocenosi SGCF in una matrice di

fondale con spiccata affinità per il DC. La biocenosi SGCF è l'unica biocenosi indicata come indipendente dal piano bionomico (Pérès & Picard, 1964; Pergent et al., 2007) e le condizioni per il suo instaurarsi, possono verificarsi contestualmente sia nell'infralitorale che nel circalitorale ma, nel complesso, risulta spesso poco comune e limitata in termini di spazio occupato, soprattutto nell'Adriatico Settentrionale. Inoltre, le specie caratteristiche per questa biocenosi risultano molto spesso estremamente esigenti circa le condizioni edafiche che ne consentono l'instaurarsi, riducendosi in numero o scomparendo non appena tali condizioni mutano anche limitatamente. Il *Branchiostoma lanceolatum*, ovvero l'anfiosso, è il tipico esempio della sensibilità delle specie caratteristiche di questa biocenosi, infatti, non appena cala la percentuale di sabbie (generalmente sotto il 96-97%) e/o cala l'intensità delle correnti che insistono su di esse, l'anfiosso scompare piuttosto rapidamente dal popolamento bentonico. Il fasolaro non appare altrettanto esigente infatti sembra manifestare il suo optimum proprio in quei fondali che esprimono contestualmente una spiccata affinità per le biocenosi DC e SGCF, ovvero fondali costituiti da una quasi esclusiva matrice sabbiosa, con buona presenza di detrito conchigliare organogeno, su cui agisca un idrodinamismo relativamente sostenuto ma solo limitatamente alla componente orizzontale, ovvero relativa alle correnti al fondo e non turbolenta, cioè legata al moto ondoso. Infatti, se bastasse la percentuale di sabbia presente, per definire la presenza e l'abbondanza dei fasolari, allora questi dovrebbero risultare altrettanto presenti, anche in zone più costiere dove è possibile trovare sabbie pure (> 95%) o quasi pure a profondità inferiori, ovvero comprese tra 1 e 7/8 metri di profondità. In queste aree più costiere dove la percentuale di sabbia è del tutto analoga rispetto a quella tipica delle "zone a fasolari" agiscono condizioni edafiche molto differenti, infatti, qui l'idrodinamismo è più impulsivo (mareggiate) e dirompente, ovvero legato prevalentemente al moto ondoso, il quantitativo di detrito organogeno è molto scarso e non c'è la costante presenza di correnti lambenti il fondale. In queste aree infralitorali, infatti, si esplicano perfettamente le condizioni che esprimono un'altra biocenosi, quella delle Sabbie Fini Ben Calibrate (SFBC) dove generalmente risulta abbonata un altro mollusco oggetto di pesca commerciale, ovvero la vongola adriatica *Chamelea gallina* che può costituire estese *facies*.

La buona concordanza tra l'espressione complessiva delle comunità macrozoobentoniche valutate quantitativamente (Fig. 6.3.1.8), con l'espressione prettamente qualitativa derivante dall'analisi biocenotica (Fig. 6.3.1.9), contestualmente considerata anche confrontando l'abbondanza osservata del fasolaro nelle quattro stazioni "Faro", delinea quindi una somma di caratteristiche ambientali, strettamente pertinenti ai fondali (edafiche), che sembrano dover coesistere affinché il fasolaro risulti nel suo optimum ecologico ed esprima quindi le abbondanze (*facies* a fasolaro), compatibili con uno sfruttamento commerciale della risorsa.

6.3.2 Caratterizzazione isotopica del popolamento microbentonico

Materiali e Metodi

Contestualmente ai campionamenti stagionali in colonna d'acqua, del sedimento e dei popolamenti planctonici descritti in 6.2, sono stati prelevati anche campioni di sedimento superficiale (0-1 cm) per la determinazione dei rapporti degli isotopi stabili di carbonio e azoto nel popolamento microbentonico. Per

ogni campione, sono state prelevate aliquote di circa 100 mL di sedimento. Una volta in laboratorio, per ottenere materiale sufficiente per svolgere i test del relativo protocollo e le successive analisi isotopiche, il campione di sedimento prelevato è stato ulteriormente suddiviso in aliquote di circa 15 mL che sono state poi conservate a -20°C . Al fine di separare la frazione microbentonica dalle particelle di sedimento e distruggere un'eventuale matrice gelatinosa/mucosa che potrebbe inglobare le cellule, 15 mL di sedimento sono stati risospesi in milliQ (volume finale 50 mL) e sono stati trattati con ultrasuoni mediante un sonicatore Misonix XL2020 (2 cicli di 1 minuto ciascuno intervallati da un 1 minuto di pausa). Successivamente, il campione è stato trasferito in Falcon da 50 mL ed è stata eseguita una centrifugazione (5000 rpm per 5 minuti) mediante una centrifuga Eppendorf 5804R per separare la frazione solida da quella liquida. Una volta rimosso il surnatante, sono stati aggiunti 15 mL di Ludox HS-40 assoluto (adattato da [De Jonge, 1979](#)). Dopo una delicata miscelazione, è stata eseguita un'ulteriore centrifugazione (5000 rpm per 5 minuti) per consentire la separazione delle frazioni in base alla loro densità mediante il Ludox. Tutto il surnatante è stato prelevato e setacciato con un setaccio Nitex (\emptyset maglie = 200 μm) per rimuovere la frazione più grossolana (compresi gli organismi meiofaunali $>200 \mu\text{m}$) mentre il flow-through è stato raccolto in un becker (adattato da [Levin & Currin, 2012](#)). Il campione rimanente è stato lavato con milliQ su un setaccio Nitex (\emptyset maglie = 20 μm) per rimuovere il Ludox. La frazione solida raccolta sul setaccio è stata risospesa in milliQ e suddivisa in due aliquote che sono state filtrate ciascuna su un filtro Whatman GF/F (porosità nominale 0.7 μm , precombusti a 450°C per 4 ore) da 25 mm di diametro. I filtri sono stati conservati a -20°C fino alle analisi di laboratorio per la determinazione dei rapporti di isotopi stabili di carbonio e azoto ($\delta^{13}\text{C-MB}$ e $\delta^{15}\text{N-MB}$) come descritto in 6.1.2 rispettivamente per $\delta^{13}\text{C-POM}$ e $\delta^{15}\text{N-POM}$.

Risultati e Discussione

La composizione isotopica del microbenthos è riportata in Tabella 6.3.2.1. A causa della complessità delle procedure di estrazione del microbenthos dal sedimento e del basso segnale analitico di azoto sugli estratti, non è stato possibile determinare $\delta^{15}\text{N-MB}$ in tutti i campioni. La composizione isotopica del carbonio del microbenthos ($\delta^{13}\text{C-MB}$) è risultata compresa tra -27.78‰ e -23.12‰ , valori riscontrati nella stazione B, rispettivamente in inverno e in autunno, mentre la composizione isotopica dell'azoto ($\delta^{15}\text{N-MB}$) è risultata compresa tra 3.78‰ e 9.63‰ , valori misurati, rispettivamente, in autunno nella stazione D e in primavera nella stazione C. La composizione isotopica del MB è scarsamente documentata in bibliografia, tuttavia i valori di $\delta^{15}\text{N-MB}$ sono risultati paragonabili a quanto riscontrato da [Lee et al. \(2021\)](#) sul microfitobenthos, mentre valori inferiori sono stati rilevati per $\delta^{13}\text{C-MB}$. La composizione isotopica del carbonio del MB è risultata comparabile a $\delta^{13}\text{C-POM}$ del fiume Isonzo, ma i risultati relativi alle analisi condotte sui sedimenti e sulle acque di fondo (6.2) indicano uno scarso contributo del particolato fluviale al sedimento e al particolato delle stazioni "Faro". Considerate la complessità dell'estrazione di questa frazione dal sedimento e dell'influenza di molteplici tipologie di organismi sul materiale estratto, si ritiene necessario eseguire ulteriori test di laboratorio per una migliore interpretazione dei dati ottenuti.

Caratterizzazione del microbenthos				
Stazione	Data	Stagione	$\delta^{13}\text{C-POM}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N-POM}$ (‰)
A	17/06/2021	Primavera	-25.84	8.65
B	17/06/2021	Primavera	-25.12	
C	15/06/2021	Primavera	-26.00	9.63
D	15/06/2021	Primavera	-27.71	9.50
A	31/08/2021	Estate	-25.09	6.05
B	31/08/2021	Estate	-26.63	7.92
C	30/08/2021	Estate	-27.70	
D	30/08/2021	Estate	-27.43	
A	19/11/2021	Autunno	-25.76	7.13
B	19/11/2021	Autunno	-23.12	3.99
C	17/11/2021	Autunno	-25.62	4.38
D	17/11/2021	Autunno	-26.80	3.78
A	18/02/2022	Inverno	-26.14	
B	18/02/2022	Inverno	-27.78	6.69
C	17/02/2022	Inverno	-27.52	7.85
D	17/02/2022	Inverno	-26.89	4.49

Tabella 6.3.2.1. Composizione isotopica del carbonio organico ($\delta^{13}\text{C-MB}$) e dell'azoto totale ($\delta^{15}\text{N-MB}$) del microbenthos campionato stagionalmente nelle 4 stazioni "Faro".

WP 7. Dieta e livello trofico dei fasolari



7.1 Descrizione della dieta tramite analisi degli isotopi

Uno stesso elemento chimico può essere presente con diverse forme isotopiche, ossia con diverse masse atomiche in ragione di un diverso numero di neutroni. Nel caso di Carbonio ed Azoto le forme più abbondanti sono rispettivamente il ^{12}C e il ^{14}N , ma esistono anche forme meno abbondanti quali il ^{13}C e ^{15}N , che hanno proprietà chimiche molto simili. Questi isotopi si definiscono stabili in quanto non radioattivi.

L'analisi degli isotopi stabili di C e N costituisce un valido strumento di indagine ecologica per lo studio delle reti trofiche e del ruolo trofico di singole specie. I tessuti corporei di un consumatore sono costituiti dagli atomi di ciò che mangiano (fonti alimentari-prede) e ne riflettono, grossolanamente, la composizione isotopica. Inoltre, un qualsiasi consumatore, con un processo detto arricchimento, tende ad accumulare nei suoi tessuti l'isotopo più pesante (^{13}C e ^{15}N) assimilato attraverso le sue risorse. L'arricchimento (frazionamento) dell'isotopo pesante è dovuto a processi fisiologici, biochimici e biofisici ed equivale a circa 1‰ per C e 3‰ per N. Seguendo questo semplice principio, i rapporti tra isotopi pesanti e leggeri di C ed N in un organismo, riferiti a degli standard internazionali ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ detti anche $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$), sono usati per costruire un grafico cartesiano trofico con ascissa $\delta^{13}\text{C}$ e ordinata $\delta^{15}\text{N}$. In tale grafico, un consumatore si trova più in alto (di circa 3‰) e più a destra (di circa 1‰) rispetto alle sue fonti alimentari. Attraverso questi grafici è quindi possibile valutare le interazioni tra specie. In particolare, sottraendo la quantità di frazionamento dai valori isotopici del consumatore di interesse, si può avere una prima stima delle più importanti prede assimilate. Attraverso semplici equazioni e/o modelli matematici più complessi è possibile valutare il contributo delle diverse fonti alimentari alla dieta di un organismo e la sua posizione trofica (livello trofico). In un generico ecosistema possono essere individuate convenzionalmente quattro posizioni trofiche (TP) discrete attraverso le quali fluisce energia: livello 1 - dato dai produttori primari o dal detrito, livello 2 - erbivori, livello 3 - predatori di erbivori, livello 4 - predatori di carnivori. Nella realtà, un consumatore può posizionarsi anche tra due livelli discreti e avere quindi un ruolo trofico-funzionale intermedio. In questo caso il valore del TP non sarà un numero intero bensì un decimale.

Date di campionamento, coordinate e profondità					
Stazione	Data	Stagione	Profondità (m)	Latitudine N	Longitudine E
A	08/07/2021	Primavera	15.50	45°37,0'	13°13,3'
B	08/07/2021	Primavera	12.00	45°36,3'	13°14,2'
C	08/07/2021	Primavera	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	08/07/2021	Primavera	20.50	45°33,4'	13°19,2'
A	30/08/2021	Estate	15.50	45°38,1'	13°11,9'
B	30/08/2021	Estate	12.50	45°36,3'	13°14,2'
C	30/08/2021	Estate	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	30/08/2021	Estate	20.50	45°33,4'	13°19,2'
A	13/12/2021	Autunno	15.50	45°38,1'	13°11,9'
B	13/12/2021	Autunno	12.50	45°36,3'	13°14,2'
C	13/12/2021	Autunno	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	13/12/2021	Autunno	20.75	45°33,4'	13°19,2'
A	28/02/2022	Inverno	15.70	45°38,1'	13°11,9'
B	28/02/2022	Inverno	12.70	45°36,3'	13°14,2'
C	28/02/2022	Inverno	15.50	45°34,9'	13°16,5'
D	28/02/2022	Inverno	20.70	45°33,4'	13°19,2'

Tabella 7.1.1. Coordinate, profondità e date di campionamento dei fasolari nelle 4 stazioni “Faro”.

Materiali e Metodi

Nelle 4 stazioni di riferimento (“Faro”), sono stati acquisiti campioni biologici di fasolaro (*Callista chione*) e delle sue potenziali fonti alimentari (prede) per lo studio della dieta con l’approccio degli isotopi stabili di carbonio (C) e azoto (N). Dalla primavera del 2021 all’inverno del 2022, è stato effettuato un prelievo stagionale di 10 individui di *C. chione* per 2 classi dimensionali (piccoli e grandi). Le date di campionamento e le coordinate geografiche sono riportate nella Tabella 7.1.1. I fasolari, dopo essere stati raccolti da pescatori professionali con draghe idrauliche, sono stati conservati a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Successivamente, è stata misurata la lunghezza delle valve con un calibro per ottenere 3 individui (repliche) per ogni stagione e per ogni stazione, di 2 classi di taglia, rispettivamente, di 30-40 mm (piccoli) e 50-60 mm (grandi). Da questi campioni (96 in totale), è stata prelevata una porzione di piede per la determinazione del contenuto di carbonio organico, azoto totale e della relativa composizione isotopica. Ogni campione è stato sciacquato con acqua distillata per eliminare il sale marino e riposto in una provetta. I campioni sono stati liofilizzati e ridotti in polvere sottile per mezzo di pestello e mortaio in agata. Aliquote di 1 mg di fasolaro essiccato e omogeneizzato sono state pesate con bilancia di precisione all’interno di capsule in stagno. La concentrazione di carbonio e azoto è stata misurata utilizzando un analizzatore elementare CHNS Flash 2000 secondo il metodo di [Pella e Colombo \(1973\)](#). Concentrazioni note di standard (acetanilide, atropina, BBOT) sono state analizzate per la calibrazione dello strumento e l’accuratezza dell’analisi è stata misurata su materiale certificato (PACS-1, BCSS-1, National Research Council Canada). La concentrazione di carbonio e azoto è espressa in percentuale su peso secco. I limiti di quantificazione sono pari a 0.06 % per il carbonio organico totale e 0.005 % per l’azoto totale su peso secco. La determinazione dei rapporti tra gli isotopi stabili del carbonio $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) e dell’azoto $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}$) è stata effettuata mediante spettrometro di massa isotopica (IRMS) “Thermo Scientific Delta V Advantage”,

accoppiato con un analizzatore elementare CHNS “Thermo Scientific Flash 2000”. I rapporti isotopici $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ sono espressi rispettivamente, come deviazione per mille (‰) dallo standard internazionale VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) e dell'azoto atmosferico, come indicato in 2.1.2. L'analisi isotopica delle potenziali prede (cioè, il particolato organico sospeso POM, e sedimentario SOM, il microfitoplancton, Fito, e lo zooplancton in 2 classi dimensionali: MiZoo di 50-200 μm MeZoo di oltre i 200 μm) è stata condotta come descritto nel paragrafo 6.2. Oltre alle fonti alimentari elencate, sono stati anche considerati come termine di confronto il POM dell'Isonzo (descritto in 2.2) e il microbenthos (MB, descritto in 6.3). Il MB è stato ottenuto dopo numerosi tentativi di messa a punto del protocollo di analisi. Infatti si tratta di un campione biologico molto difficile da trattare e i metodi per le analisi isotopiche sono scarsamente documentati in bibliografia. La firma isotopica del MB, da queste analisi preliminari, è risultata molto simile al POM dell'Isonzo. Il MB e il POM dell'Isonzo hanno mostrato valori isotopici molto distanti dal resto della rete trofica considerata. Pertanto, le due fonti alternative sono state inserite nel grafico trofo-dinamico complessivo, a scopo descrittivo, ma non sono state considerate nelle successive analisi.

È stata effettuata un'analisi della varianza (permutational MANOVA) a 3 fattori sui valori isotopici ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) del fasolaro per verificare l'esistenza di differenze di media significative, nel tempo (stagioni, fattore fisso), nello spazio (stazioni, fattore fisso) e tra le 2 classi di taglia (fattore fisso) del fasolaro. Inoltre, per valutare il contributo relativo delle diverse fonti alimentari (sorgenti di materia organica) alla dieta di *C. chione*, è stato applicato un metodo statistico Bayesiano (Bayesian Mixing Models-MixSiar) in ambiente R (R core Team 2022). Per l'applicazione del metodo Bayesiano, è necessario fornire al modello degli input come la media e la deviazione standard dei valori isotopici del consumatore (fasolaro) e delle sue prede, così come i parametri (media e deviazione standard) per il frazionamento isotopico (TDF), sia per il carbonio che per l'azoto. Dopo consulto bibliografico, qui è stato utilizzato un TDF di 1.3 ± 0.5 per C e 2 ± 1 per N. Considerate le risorse che caratterizzano maggiormente la dieta, è stata calcolata la posizione trofica media di *C. chione* attraverso l'equazione lineare $TP = [(\delta^{15}\text{N}_c - \delta^{15}\text{N}_b) (2)^{-1}] + TP_b$. Dove TP= posizione trofica, $\delta^{15}\text{N}_c$ =firma isotopica del fasolaro, $\delta^{15}\text{N}_b$ = firma isotopica media del baseline (risorse alimentari più importanti), parametro 2=TDF medio, TP_b = posizione trofica del baseline, qui equivale a 1.

Risultati e Discussione

L'analisi della varianza ha mostrato valori medi di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ del fasolaro significativamente diversi tra le stagioni ($F_{3,64}=2.75$, $p=0.002$) e tra le stazioni ($F_{3,64}=4.71$, $p=0.001$) mentre non è risultata alcuna differenza tra le due classi di taglia esaminate e nelle interazioni tra fattori. Risultano valori più elevati di $\delta^{15}\text{N}$ in autunno e inverno e nella stazione B, mentre il $\delta^{13}\text{C}$ risulta più impoverito in estate e nella stazione D. I valori di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ risultano lievemente più arricchiti nelle stazioni B e C (Fig. 7.1.1).

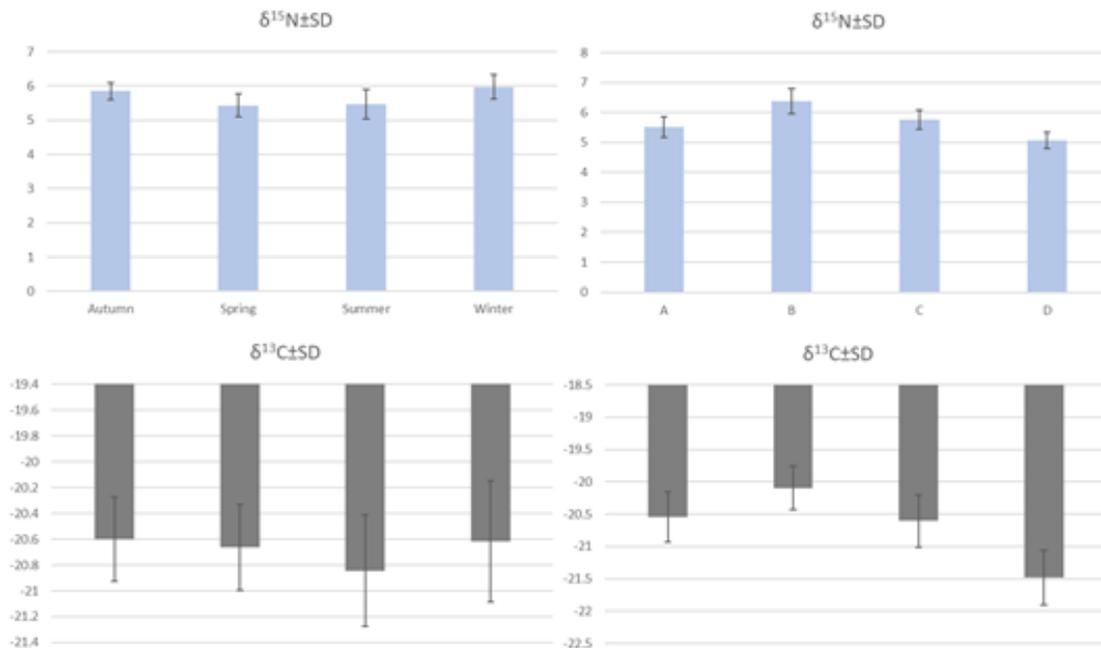


Figura 7.1.1. Media e deviazione standard (SD) degli isotopi stabili ($\delta^{15}N$ e $\delta^{13}C$) del fasolaro ($n=6$, pooled size), nelle stagioni (pannelli a sinistra) e nelle stazioni "Faro" (pannelli a destra).

Il grafico trofodinamico (Fig. 7.1.2) mostra i valori mediati tra tutte le stagioni e stazioni incluso le due fonti alimentari MB e POM dell'Isonzo, che sono state successivamente escluse dall'analisi. Il fasolaro, al netto del frazionamento (clam_nf) si posiziona tra la SOM e la POM. La POM e la SOM sono le due fonti alimentari più importanti, seguite da un contributo di tutte le altre prede che normalmente equivale a circa il 3-5% (Fig. 7.1.3, Tab. 7.1.2). Il contributo medio della SOM e della POM cambia significativamente tra le stagioni e non tra le stazioni. In particolare, in autunno e in estate la dieta del fasolaro è caratterizzata da circa il 70% di POM mentre la SOM costituisce circa il 60% in primavera ed inverno (NMDS Fig. 7.1.4). Questo risultato è confermato dal confronto a coppie (pairwise) effettuato sulle distribuzioni a posteriori (MixSIAR Bayesian model) delle diverse risorse alimentari (Fig. 7.5). Il livello trofico (TP) di *C. chione* equivale a 1.42 ± 0.33 cioè circa mezzo livello trofico in più rispetto alla SOM e la POM.

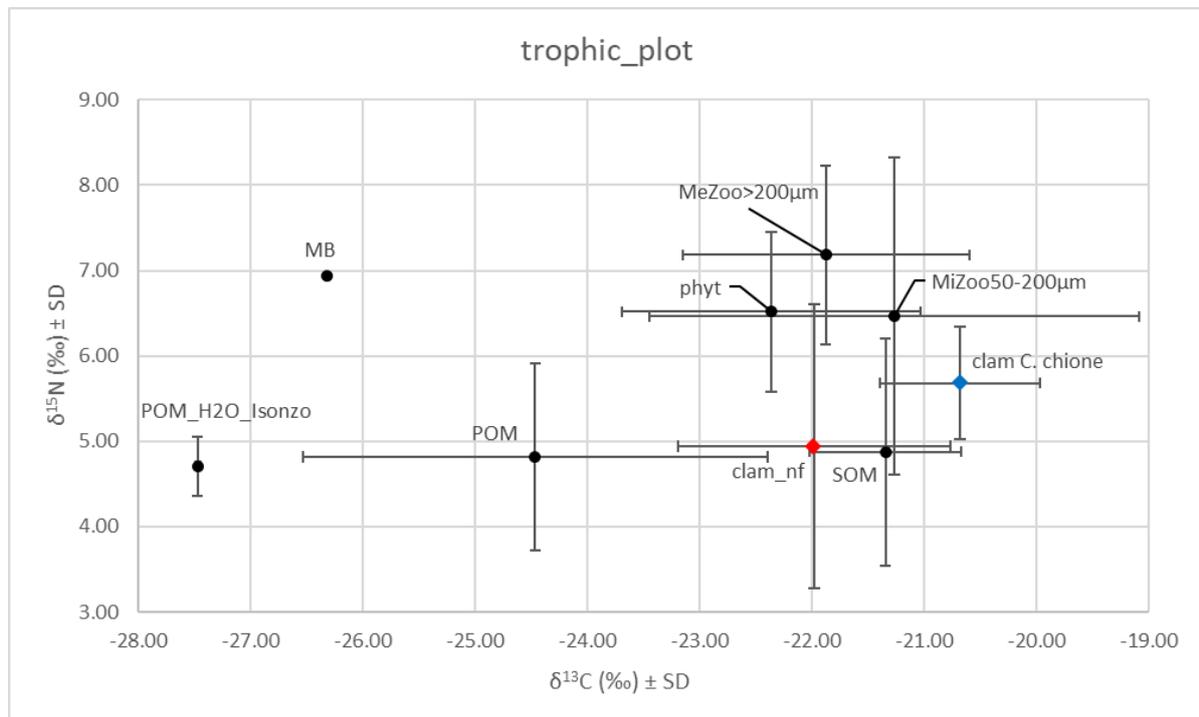


Figura 7.1.2. Media e deviazione standard (SD) di tutte le fonti alimentari (prede) e di *C. chione*. La media è calcolata tra tutte le stagioni e le stazioni ($n=6$). Pallini neri= fonti alimentari, rombo blu= fasolario, rombo rosso= fasolario al netto del frazionamento. Le risorse più vicine a clam_nf (cioè SOM e POM) sono le prede più importanti.

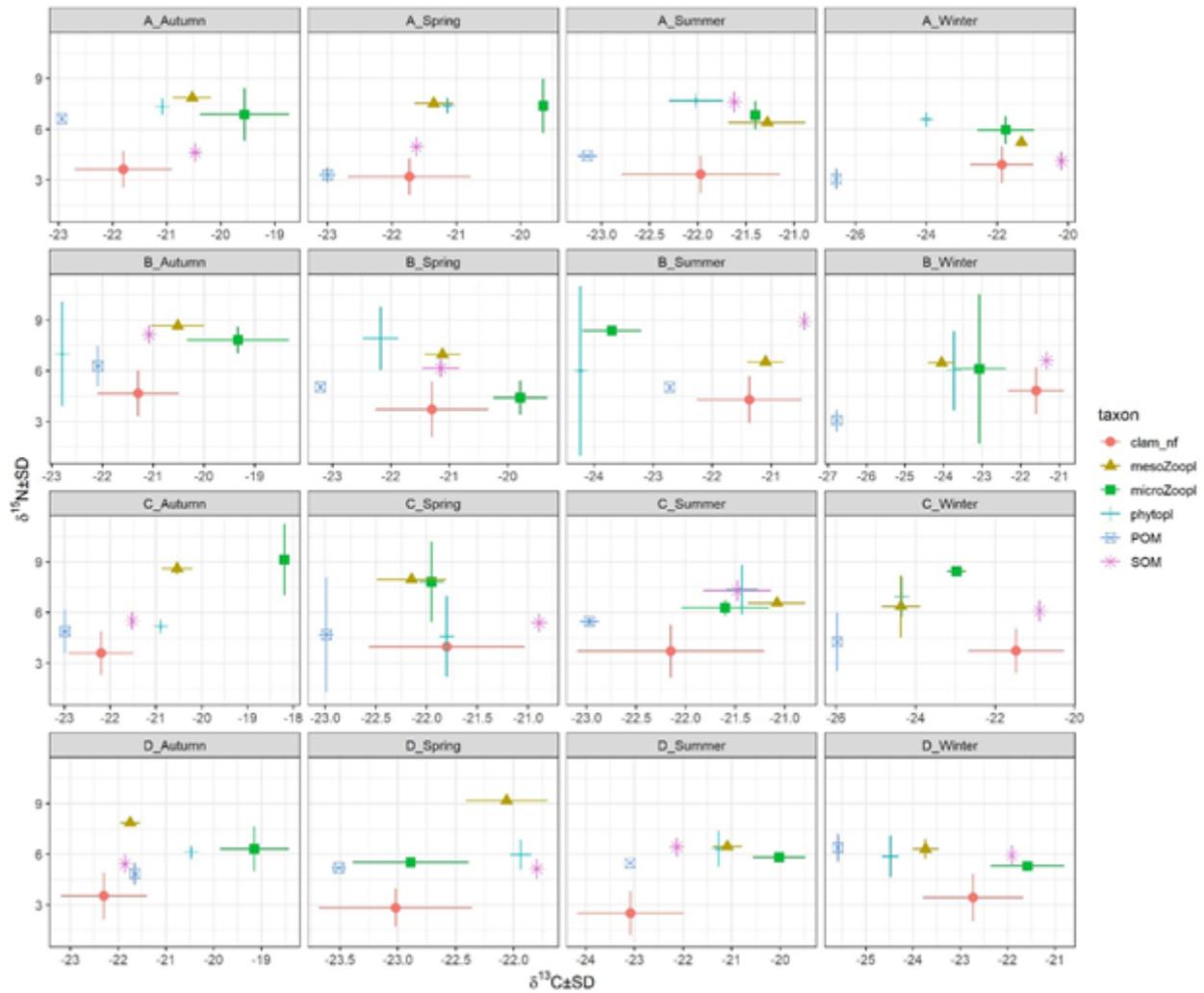


Figura 7.1.3. Media e deviazione standard dei valori isotopici del fasolario al netto del frazionamento (*clam_nf*) e delle sue potenziali risorse alimentari. In riga le stazioni e in colonna le stagioni.

Contributo percentuale di ogni risorsa alimentare (prey) alla dieta del fasolaro										
Stagione	Stazione	Prey	Media	SD	0.025	0.05	0.25	0.5	0.75	0.95
Primavera	A	MeZoo ≥ 200 µm	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.09
Primavera	A	MiZoo 50-200 µm	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.15
Primavera	A	Fito	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10
Primavera	A	POM	0.30	0.07	0.17	0.19	0.25	0.30	0.35	0.42
Primavera	A	SOM	0.61	0.11	0.33	0.44	0.56	0.62	0.68	0.75
Primavera	B	MeZoo ≥ 200 µm	0.05	0.05	0.00	0.00	0.02	0.04	0.07	0.14
Primavera	B	MiZoo 50-200 µm	0.04	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.19
Primavera	B	Fito	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.11
Primavera	B	POM	0.09	0.05	0.02	0.03	0.06	0.08	0.12	0.17
Primavera	B	SOM	0.79	0.13	0.45	0.59	0.75	0.82	0.87	0.93
Primavera	C	MeZoo ≥ 200 µm	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06
Primavera	C	MiZoo 50-200 µm	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10
Primavera	C	Fito	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.07
Primavera	C	POM	0.33	0.07	0.21	0.22	0.29	0.33	0.38	0.45
Primavera	C	SOM	0.61	0.09	0.41	0.46	0.57	0.62	0.67	0.74
Primavera	D	MeZoo ≥ 200 µm	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Primavera	D	MiZoo 50-200 µm	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
Primavera	D	Fito	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
Primavera	D	POM	0.72	0.07	0.58	0.61	0.68	0.72	0.76	0.82
Primavera	D	SOM	0.26	0.07	0.13	0.15	0.21	0.26	0.30	0.37
Estate	A	MeZoo ≥ 200 µm	0.27	0.15	0.00	0.01	0.18	0.29	0.38	0.49
Estate	A	MiZoo 50-200 µm	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.07
Estate	A	Fito	0.05	0.11	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.34
Estate	A	POM	0.55	0.13	0.26	0.31	0.47	0.55	0.63	0.74
Estate	A	SOM	0.11	0.13	0.01	0.01	0.03	0.06	0.12	0.44
Estate	B	MeZoo ≥ 200 µm	0.54	0.25	0.00	0.00	0.49	0.62	0.70	0.81
Estate	B	MiZoo 50-200 µm	0.03	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10
Estate	B	Fito	0.05	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.25
Estate	B	POM	0.19	0.08	0.05	0.06	0.13	0.19	0.25	0.34
Estate	B	SOM	0.19	0.24	0.01	0.02	0.05	0.09	0.18	0.77
Estate	C	MeZoo ≥ 200 µm	0.17	0.12	0.00	0.00	0.07	0.17	0.26	0.37
Estate	C	MiZoo 50-200 µm	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
Estate	C	Fito	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.16
Estate	C	POM	0.67	0.11	0.42	0.48	0.60	0.67	0.75	0.85
Estate	C	SOM	0.12	0.11	0.01	0.02	0.04	0.07	0.14	0.39
Estate	D	MeZoo ≥ 200 µm	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.09
Estate	D	MiZoo 50-200 µm	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Estate	D	Fito	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05
Estate	D	POM	0.92	0.05	0.80	0.83	0.89	0.93	0.95	0.97
Estate	D	SOM	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.11
Autunno	A	MeZoo ≥ 200 µm	0.07	0.04	0.00	0.01	0.03	0.06	0.09	0.15
Autunno	A	MiZoo 50-200 µm	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.07
Autunno	A	Fito	0.05	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.16
Autunno	A	POM	0.56	0.10	0.35	0.39	0.51	0.57	0.63	0.71
Autunno	A	SOM	0.31	0.10	0.13	0.15	0.24	0.30	0.37	0.47
Autunno	B	MeZoo ≥ 200 µm	0.15	0.09	0.00	0.01	0.08	0.14	0.21	0.30
Autunno	B	MiZoo 50-200 µm	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.13
Autunno	B	Fito	0.06	0.09	0.00	0.00	0.01	0.03	0.08	0.25
Autunno	B	POM	0.22	0.10	0.06	0.08	0.15	0.22	0.29	0.39
Autunno	B	SOM	0.53	0.15	0.22	0.27	0.43	0.53	0.63	0.77
Autunno	C	MeZoo ≥ 200 µm	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.09
Autunno	C	MiZoo 50-200 µm	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04
Autunno	C	Fito	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09
Autunno	C	POM	0.62	0.08	0.45	0.48	0.57	0.63	0.68	0.76
Autunno	C	SOM	0.30	0.09	0.15	0.17	0.24	0.30	0.36	0.47
Autunno	D	MeZoo ≥ 200 µm	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
Autunno	D	MiZoo 50-200 µm	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Autunno	D	Fito	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04
Autunno	D	POM	0.89	0.05	0.78	0.80	0.86	0.89	0.92	0.95
Autunno	D	SOM	0.09	0.04	0.03	0.03	0.06	0.08	0.11	0.17
Inverno	A	MeZoo ≥ 200 µm	0.08	0.07	0.00	0.00	0.02	0.06	0.12	0.22
Inverno	A	MiZoo 50-200 µm	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.14
Inverno	A	Fito	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.15
Inverno	A	POM	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09
Inverno	A	SOM	0.81	0.08	0.64	0.67	0.76	0.81	0.86	0.92
Inverno	B	MeZoo ≥ 200 µm	0.11	0.09	0.00	0.00	0.03	0.09	0.16	0.26
Inverno	B	MiZoo 50-200 µm	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.15
Inverno	B	Fito	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.14
Inverno	B	POM	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03
Inverno	B	SOM	0.82	0.09	0.65	0.67	0.76	0.82	0.89	0.96
Inverno	C	MeZoo ≥ 200 µm	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07	0.13
Inverno	C	MiZoo 50-200 µm	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.07
Inverno	C	Fito	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.07
Inverno	C	POM	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10
Inverno	C	SOM	0.87	0.05	0.75	0.78	0.84	0.87	0.90	0.94
Inverno	D	MeZoo ≥ 200 µm	0.03	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.12
Inverno	D	MiZoo 50-200 µm	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.11
Inverno	D	Fito	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09
Inverno	D	POM	0.22	0.05	0.12	0.14	0.19	0.22	0.25	0.28
Inverno	D	SOM	0.70	0.08	0.54	0.61	0.68	0.71	0.74	0.78

Tabella 7.1.2. Valori del contributo percentuale di ogni risorsa alimentare (prey) alla dieta del fasolaro. Sono riportati per ogni stagione e stazione, i valori medi, la deviazione standard e i valori assunti a diversi percentili delle curve di probabilità stimate dal modello MixSIAR.

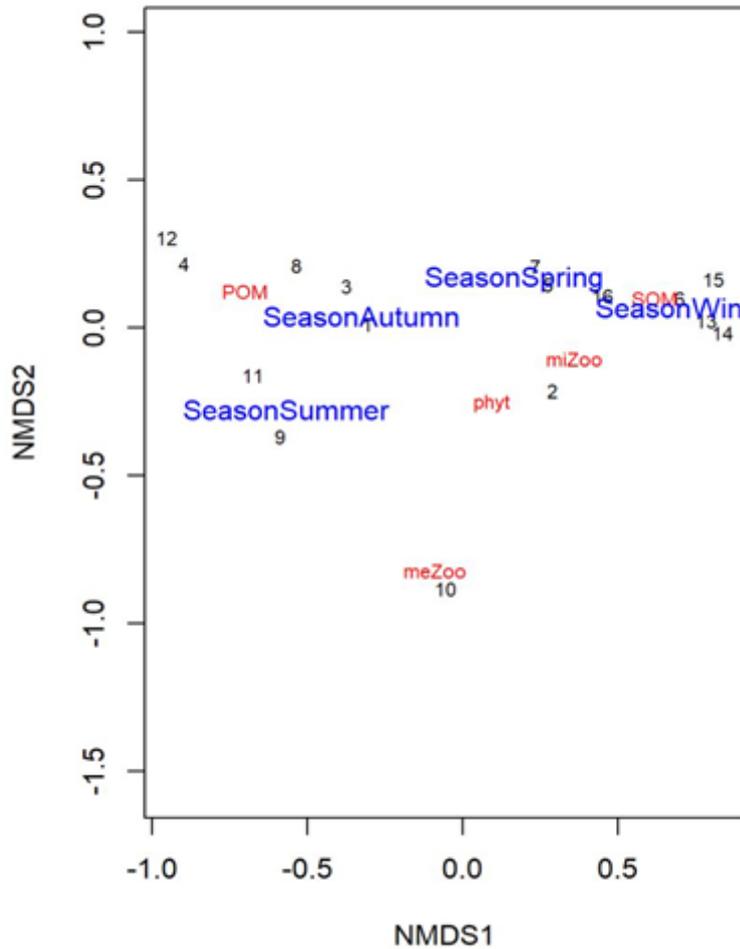


Figura 7.1.4. Non Metric Dimensional Scaling (NMDS) effettuato sui valori medi isotopici delle prede nelle 4 stazioni nelle diverse stagioni (ntot=16).

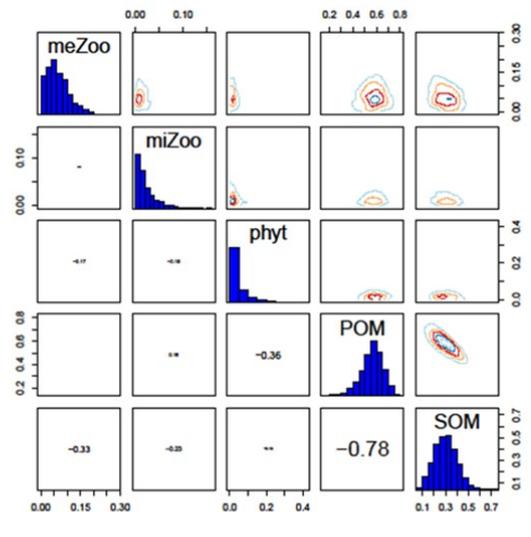


Figura 7.1.5. Pairwise tra le diverse risorse alimentari del fasolaro. La SOM e la POM sono inversamente correlate: quando la SOM contribuisce di più alla dieta, la POM assume valori più bassi. Phyt indica il fitoplancton

I risultati confermano che il fasolaro (*C. chione*) si nutre principalmente di materia organica particellata, nella sua forma sospesa (POM) e sedimentaria (SOM). Il contributo delle altre sorgenti organiche sebbene molto più esiguo non è trascurabile. Probabilmente prede come il mesozooplankton e il microzooplankton non vengono catturate direttamente ma acquisite attraverso il particolato. L'alternanza dell'importanza di POM e SOM suggerisce uno switch nel meccanismo di approvvigionamento del particolato da parte del fasolaro, forse indotto dalle condizioni idrodinamiche e fisiche (es. temperatura) o altri fattori di disturbo. Questo significa che in inverno e in primavera, il fasolaro può ingerire grosse quantità di particolato sedimentario risospeso oppure cibarsi direttamente di sedimento. In quest'ultimo caso il suo feeding habit risulterebbe nuovo, rispetto a quanto si conosce da letteratura. Oltre ad alimentarsi quindi come un active suspension feeder (in estate e autunno), agirebbe anche come un deposit feeder (in inverno e primavera).

7.2 Descrizione della dieta tramite analisi dei contenuti stomacali

Materiali e Metodi

Contestualmente al prelievo di campioni di *C. chione* per la valutazione della dieta tramite analisi degli isotopi stabili (descritto in 7.1), sono stati prelevati anche 20 individui per ogni taglia (giovani e adulti) per la

descrizione della dieta tramite l'analisi dei contenuti stomacali (Tab. 7.2.1). Individui di taglia sia piccola sia grande sono stati raccolti stagionalmente in luglio, agosto, dicembre 2021 e febbraio 2022 in due stazioni denominate "Faro" A e D per effettuare l'analisi del contenuto stomacale (Tab. 7.2.1). In agosto 2021, le indagini sui molluschi sono state effettuate anche nelle stazioni B e C (7.2.1). Il metodo consisteva nel liberare i molluschi dalla conchiglia, isolare la parte molle e individuare la ghiandola digestiva per identificare l'eventuale presenza di teche di dinofitofite, frustuli di diatomee, microalghe nude e di ogni altro materiale riconoscibile ingerito. L'analisi dei contenuti stomacali è stata svolta per ogni taglia piccola e grande.

Campionamento per l'analisi dei contenuti stomacali			
Stazione	Data	Fasolari Piccoli	Fasolari Grandi
A	08/07/2021	nr	X
D	08/07/2021	nr	X
A	30/08/2021	X	X
B	30/08/2021	X	X
C	30/08/2021	X	X
D	30/08/2021	X	X
A	13/12/2021	nr	X
D	13/12/2021	nr	X
A	28/02/2022	nr	X
D	28/02/2022	X	X

Tabella 7.2.1. Campionamento dei fasolari nelle stazioni "Faro" per la descrizione della dieta tramite l'analisi dei contenuti stomacali. nr: materiale non riconoscibile.

Risultati e Discussione

Nelle ghiandole digestive di tutti i fasolari si osservavano numerose particelle non riconoscibili (Fig. 7.2.4) e molti aggregati di materiale già probabilmente digerito come documentato nelle Fig. 7.2.7 e 7.2.8. Più difficilmente sono state individuate delle teche di dinofitofite o frustuli di diatomee. Una tecca di *Prorocentrum* sp. è stata osservata nello stomaco di un fasolario grande campionato nella stazione B in agosto 2021 (Fig. 7.2.2) e nello stesso mese una larva non determinata (Fig. 7.2.3) nello stomaco di un fasolario grande campionato nella stazione A. Un frustulo di diatomea, presumibilmente appartenente al genere *Navicula* è stato osservato nello stomaco di un fasolario grande campionato nella stazione C in agosto 2021 (Fig. 7.2.5). Nella stazione D, in dicembre 2021, nello stomaco di un fasolario grande sono state ritrovate teche di *Prorocentrum* sp. (Fig. 7.2.9 e 7.2.10). I fasolari si alimentano filtrando l'acqua e mantenendo plancton e materiale sospeso (batteri, fitoplancton, piccoli protozoi ciliati, resti organici, larve e uova di un gran numero di specie) che si trova nel fondo o cade dalla colonna d'acqua. Le particelle più fini progrediscono fino all'apertura della bocca e nella cavità boccale, incanalate nell'esofago formano un cordone mucoso raggiungono lo stomaco dove lo stilo cristallino le frantuma. La rotazione dello stilo spinge di continuo materiale parzialmente digerito verso lo stomaco, le sostanze indigerite vengono convogliate all'intestino, la

digestione è sia extracellulare, soprattutto nello stomaco, che intracellulare, soprattutto nell'epatopancreas. Pertanto difficilmente si possono trovare teche o frustuli interi nello stomaco poiché l'azione dello stilo cristallino è continua ed immediata.

Conclusioni

Nei contenuti stomacali le uniche teche riconoscibili appartengono alla dinoficea *Prorocentrum* sp. e un frustulo presumibilmente del genere *Navicula* sp., poiché di difficile interpretazione al microscopio ottico invertito. Considerata la continua e costante azione dello stilo cristallino che frantuma immediatamente le teche e i frustuli duri delle microalghe, la corrispondenza tra la comunità fitoplanctonica monitorata in acqua e quelle poche teche trovate nei contenuti stomacali è di difficile interpretazione. Ad oggi non c'è conoscenza in letteratura sulla determinazione del cibo ingerito da *Callista chione*, pertanto è stato di notevole interesse questo primo contributo.

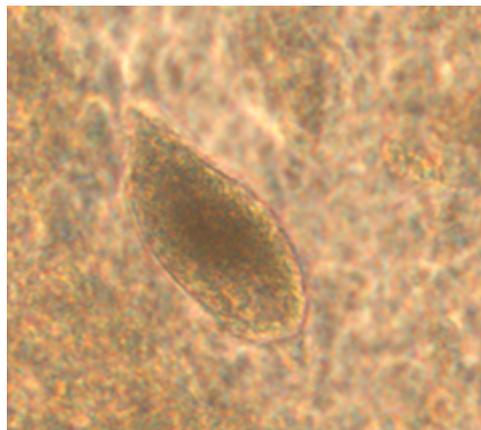


Figura 7.2.2. Teca di *Prorocentrum* sp. nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione B, agosto 2021.

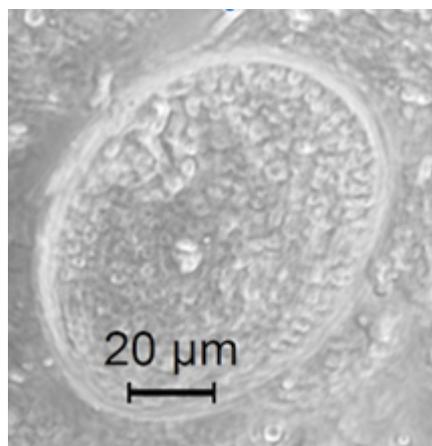


Figura 7.2.3. Larva non determinata nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione A, agosto 2021.

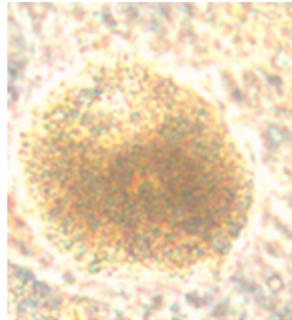


Figura 7.2.4. Particella non determinata nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione A, agosto 2021.



Figura 7.2.5. Frustulo di diatomea non determinata nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione C, agosto 2021.

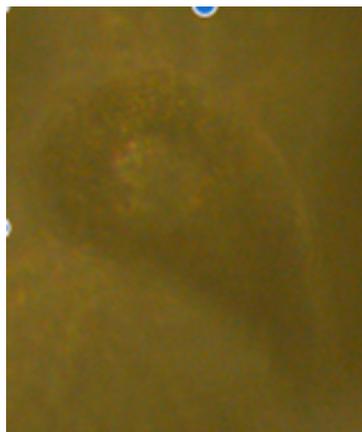


Figura 7.2.6. Dinoficea atecata non determinata nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione D, dicembre 2021.

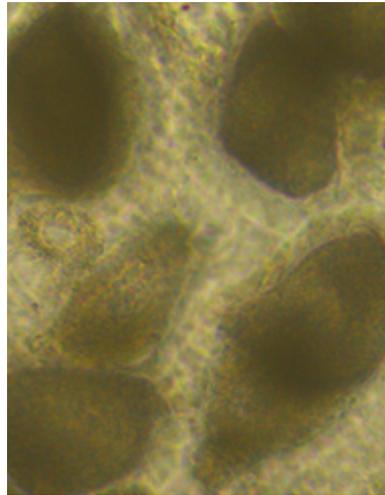


Figura 7.2.7. Forme non identificate nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione D, dicembre 2021.

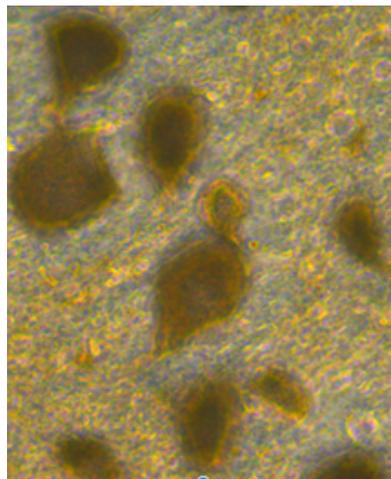


Figura 7.2.8. Aggregati di materiale non determinato nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione D, dicembre 2021.

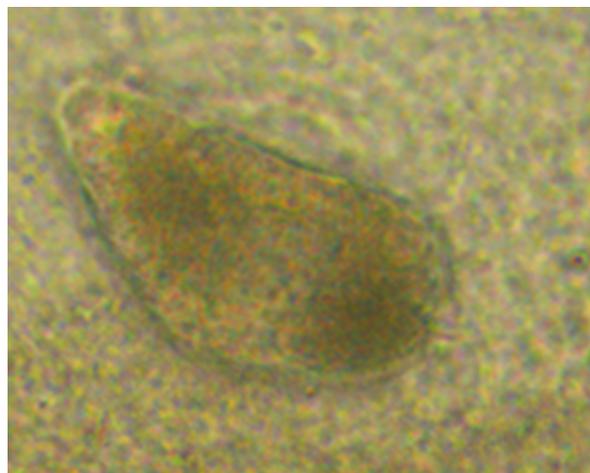


Figura 7.2.9. Teca di *Prorocentrum* sp. nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione D, dicembre 2021.

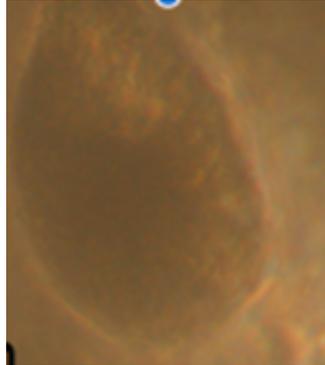


Figura 7.2.10. Teca di *Prorocentrum* sp. nello stomaco di un fasolaro grande campionato nella stazione D, dicembre 2021.

In conclusione, i risultati dello studio dei contenuti stomacali e l'approccio isotopico hanno evidenziato che il fasolaro si ciba principalmente di materia organica particellata (60-70%). Il particellato, di cui il fasolaro si nutre, deriva sia dalla colonna d'acqua che dal sedimento ed è costituito da numerose componenti vegetali e animali soprattutto di origine marina. Il contributo di ognuna delle altre risorse alimentari planctoniche, considerate in questo studio, si attesta intorno al 5% in media. La dieta è risultata significativamente variabile nelle diverse stazioni Faro e nelle stagioni. In particolare, il fasolaro si nutre principalmente di SOM in inverno e in primavera e di POM in estate e autunno. Questo cambio di dieta potrebbe essere relazionato sia a fattori naturali come cambi di idrodinamismo o temperatura ma anche a fattori di disturbo come la pesca di fondo. Il fasolaro si situa a circa mezzo livello trofico in più rispetto alle sue fonti alimentari di base. Questo risultato indica che il fasolaro è un consumatore primario.



FEAMP
PO 2014-2020
Fondo europeo per gli
affari marittimi e la pesca



**REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA**

WP 8. Modelli di vocazione sulla distribuzione dei fasolari



8.1 Integrazione dei dati e produzione di mappe

Materiali e Metodi

In questa prima parte del WP8, sono stati utilizzati i dati provenienti dai campionamenti di fasolari effettuati nel presente progetto in 88 stazioni nel 2022-2023 (vedi WP 3.1) (Fig. 8.1.1) per calcolare la densità e la biomassa degli individui superiori alla taglia commerciale (40 mm). Mentre per la densità ciò è stato possibile ed è stata calcolata come rapporto fra il numero di individui maggiore di 40 mm e l'area pescata (ind/m²), per la biomassa non è stato possibile in quanto era disponibile solo il peso totale e non quello dei singoli individui.

Sono stati poi sovrapposti su mappa i dati di densità degli individui maggiori della taglia commerciale e quelli dei parametri chimico-fisici delle acque, il tipo di sedimento e il contenuto di sostanza organica dello stesso nell'area oggetto di pesca dei fasolari, con lo scopo di poter fare un primo confronto visivo sulla relazione tra fasolari e parametri ambientali. Un'indagine più approfondita con il fine di evidenziare relazioni statisticamente significative tra i fattori ambientali e la presenza, biomassa e densità dei fasolari verrà fatta nel paragrafo successivo (WP8.2) attraverso correlazioni e modelli di regressione, anche con l'obiettivo finale di sviluppare modelli vocazionali.

I campioni di sedimento sono stati raccolti nel 2021-2022 in un sottoinsieme di 30 stazioni delle 88 citate sopra (Fig. 8.1.1), sono stati caratterizzati dal punto di vista granulometrico (percentuale di sabbia, limo, argilla), e analizzati in laboratorio per la determinazione della concentrazione di carbonio organico totale (TOC) e azoto totale (TN) e della caratterizzazione dei relativi isotopi stabili ($\delta^{13}\text{C-SOM}$ e $\delta^{15}\text{N-SOM}$) (vedi WP 6.1 per dettagli).

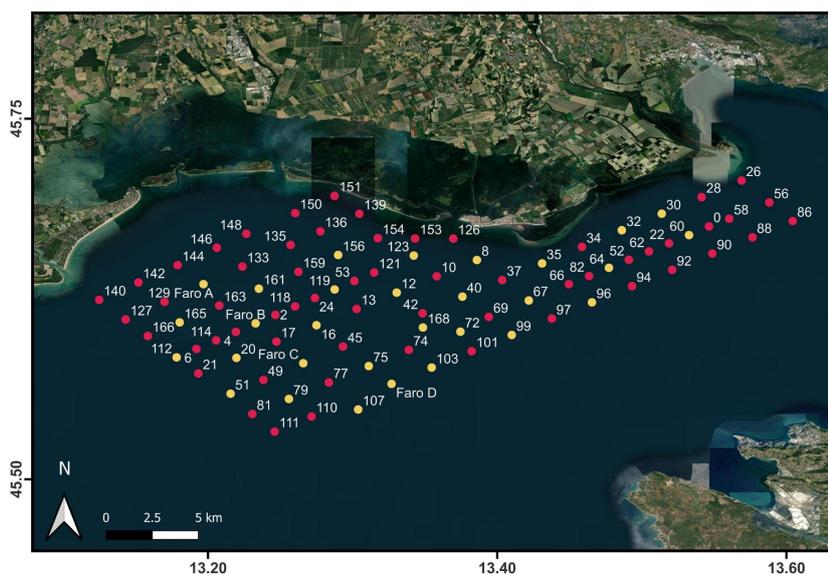


Figura 8.1.1. Stazioni di campionamento dei fasolari, in quelle in giallo è stato campionato anche il sedimento e la sostanza organica contenuta in esso.

I dati dei parametri chimico-fisici dell'acqua, provengono dal monitoraggio marino costiero dell'ARPA-FVG e sono stati raccolti mensilmente nelle stazioni presenti nell'area di studio (Fig. 8.1.2). I dati di temperatura, pH, clorofilla, salinità ed ossigeno di fondo sono riferiti al periodo 2006-2022; mentre i nutrienti (nitrati, fosfati, TN, TP) sono relativi al periodo 2009-2022, e prelevati solo sulla superficie dell'acqua. Per i nutrienti è stato calcolato anche il rapporto molare NO_3/PO_4 . Per ognuno di questi parametri è stata calcolata la mediana sull'intero periodo di campionamento delle variabili e riportata su mappa.

Tutti i dati, sia di sedimento che delle acque, sono stati interpolati sull'area di pesca dei fasolari su una griglia raster di lato 100 m con l'algoritmo multivel b-spline (Lee et al., 1997). Dati sulla profondità dell'acqua sono stati ottenuti da gebco.net, relativi all'anno 2022, in formato raster su un grigliato di 500m, e sono stati scalati su un grigliato di 100 m considerando l'area in esame. Tutte le analisi e le mappe sono state prodotte con il software QGIS v. 3.22 (QGIS.org, 2023. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>).

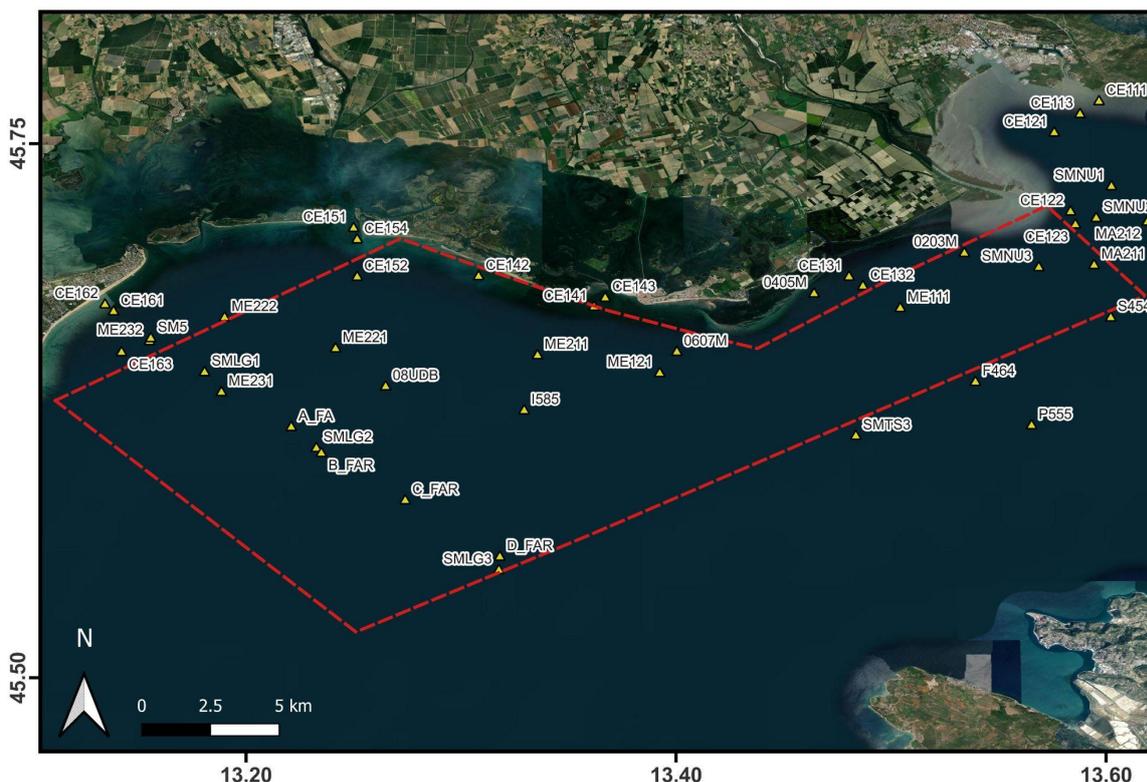


Figura 8.1.2. Stazioni di campionamento della qualità dell'acqua di ARPA-FVG nell'area di pesca dei fasolari (evidenziata in rosso).

Risultati e Discussione

Dai campionamenti di fasolari, è risultato che la maggior parte degli individui si rinviene in un'area circoscritta di circa 100 km² rispetto ai 500 km² che sono stati campionati. Quest'area è situata a largo della laguna di

Grado-Marano, a circa 6 miglia nautiche (Fig. 8.1.3). La densità degli individui di *C. chione* maggiore della taglia commerciale (40 mm), non differisce molto dalla densità calcolata su tutte le taglie (vedi WP 3.1), poiché l'attrezzo utilizzato dai pescatori per il campionamento della risorsa nelle 88 stazioni è ottimizzato per il prelievo degli stessi. In media, per gli individui sopra la taglia commerciale sono stati trovati 0.45 ± 0.87 ind/m² con un massimo di 4.38 ind/m². I più alti valori di densità sono stati trovati nelle stazioni 4, "Faro" B, 24 e 13, con più di 2.50 ind/m².

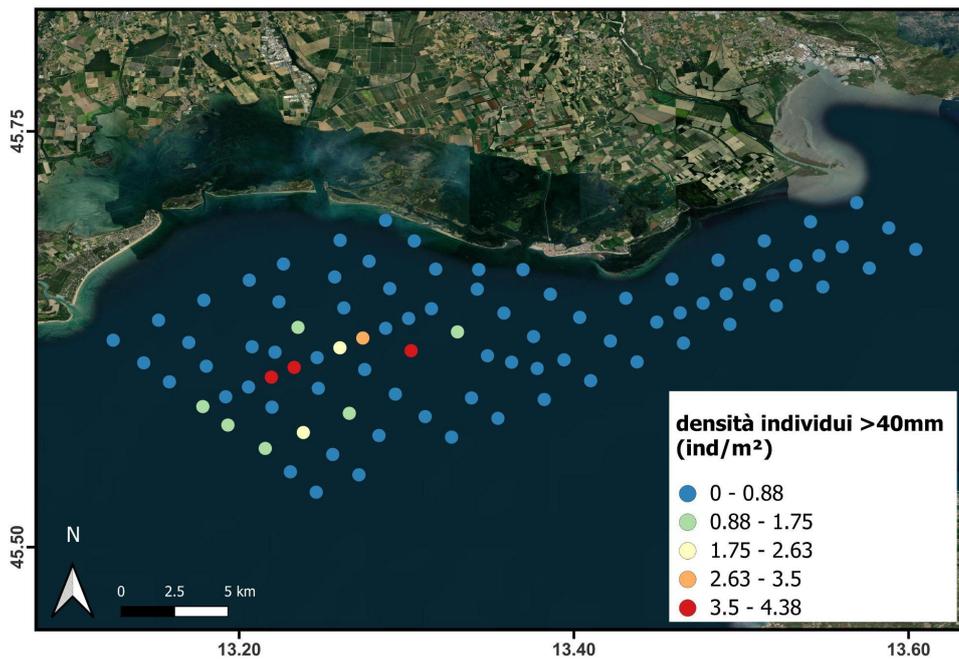


Figura 8.1.3. Densità degli individui di *C. chione* superiori alla taglia commerciale (40 mm).

Mettendo in relazione la densità dei fasolari con i parametri ambientali, si nota che i valori più alti di densità (> 4 ind/m²) si riscontrano in aree dove le percentuali di sabbia sono tra le più elevate (superiori a 92 %), aumentando con la distanza dalla costa e lungo la direttrice NE-SW, dalle stazioni 123 e 8 fino alle stazioni 20 e 79 (Fig. 8.1.4). Fa eccezione un'ampia area tra Grado e la foce dell'Isonzo dove il sedimento è composto da sabbia ma la densità non supera un individuo al metro quadro, probabilmente a causa di una maggiore temperatura sul fondo e minore profondità (vedi in seguito). In termini di materia organica nel sedimento, il carbonio organico totale, così come l'azoto totale, presentano valori più bassi in presenza di valori medio-alti di densità di fasolari (> 1 ind/m²). In particolare il TOC va da un minimo di 0.07% ad un massimo di 1.50% in tutta l'area, mentre il TN varia da 0.03% a 0.19%, con valori minori di 0.30% per il TOC e di 0.08% per il TN dove c'è più densità di fasolari (Fig. 8.1.4). Tale andamento è concorde con la composizione granulometrica dell'area, caratterizzata essenzialmente da sabbie che trattengono meno materia organica delle peliti (Faganeli et al., 1991; Calace et al., 2006; Giani et al., 2009). La composizione isotopica di carbonio e azoto ($\delta^{13}\text{C-SOM}$ e $\delta^{15}\text{N-SOM}$) nei sedimenti dell'area di pesca è risultata invece medio-alta in associazione con le maggiori densità calcolate (Fig. 8.1.4). I valori di $\delta^{13}\text{C-SOM}$ sono inclusi tra -20.40 ‰ e -21.80 ‰, mentre per il $\delta^{15}\text{N-SOM}$ tra 4.00 ‰ e 5.20 ‰. Fanno eccezione le stazioni 32 e 64 (poste nelle vicinanze della bocca di porto tidale di Primero), in cui sono stati riscontrati rispettivamente il massimo valore di $\delta^{15}\text{N-SOM}$ (6.00 ‰) e valori

molto alti di $\delta^{13}\text{C-SOM}$ (-19.63‰), ma in cui la densità dei fasolari è bassa ($< 1\text{ ind/m}^2$). Il rapporto molare TOC/TN presenta valori molto variabili, come descritto anche nel WP 6.1, e molto più alti (11-15) nella zona costiera in presenza degli apporti terrigeni (stazioni 123 e 8), mentre dove si trovano la maggior parte dei fasolari il valore si attesta tra 2.32 e 8.30 (Fig. 8.1.4).

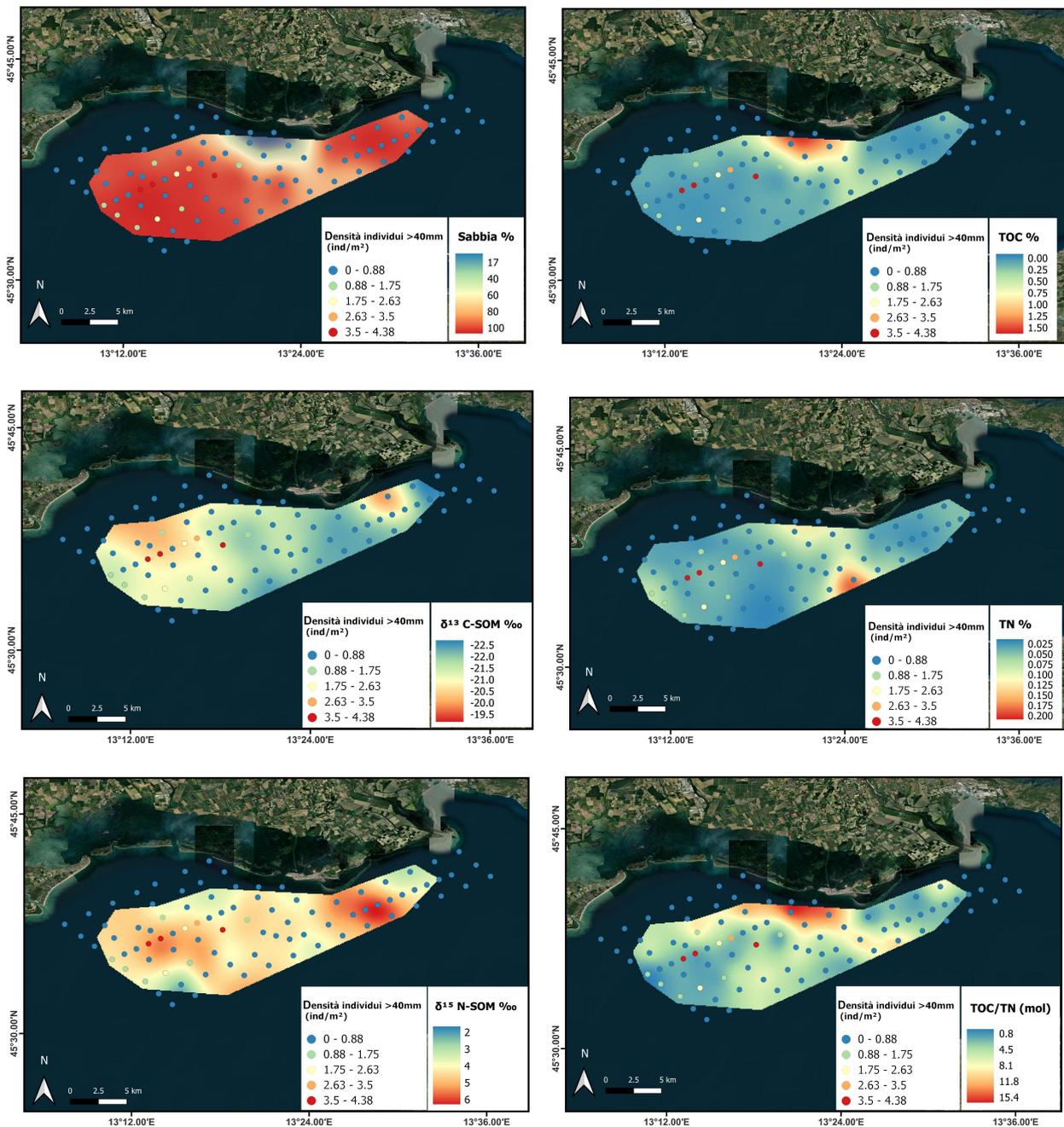


Figura 8.1.4. Mappe della densità degli individui di *C. chione* di taglia superiore a 40 mm sovrapposta al tipo di sedimento (sabbia) e al contenuto di sostanza organica in esso.

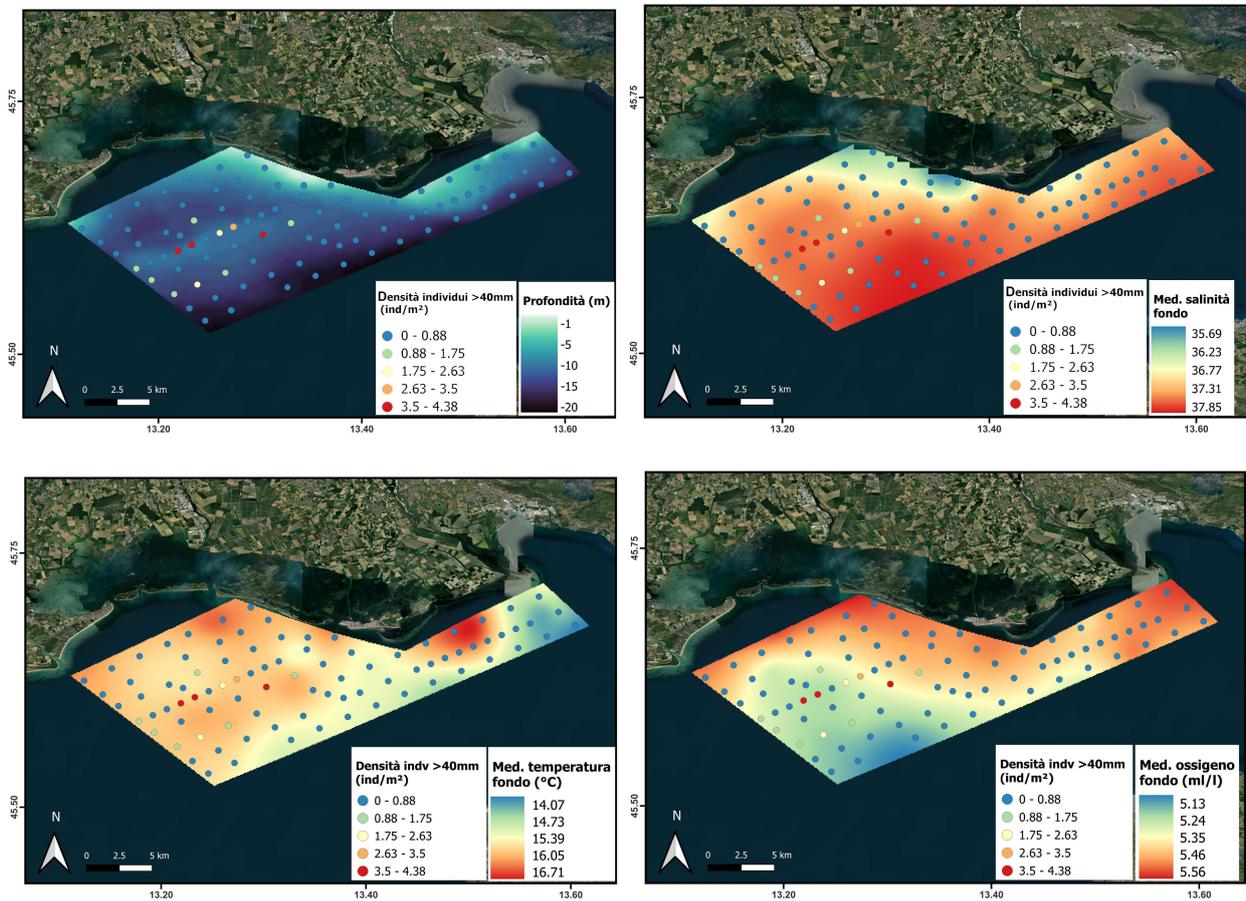
Così come la granulometria, la profondità sembra essere uno dei fattori rilevanti nel determinare la maggiore presenza dei fasolari superiori a 40 mm di taglia (Fig. 8.1.5). Infatti, valori medio-alti di densità (> 0.88 ind/m²) si ritrovano tra 12 e 16 metri di profondità, contrariamente alle stazioni poste entro i 10 m, soprattutto di fronte la laguna di Grado-Marano, ed oltre i 16 m di profondità, dove la densità è tra 0 e 0.88 ind/m². In termini di parametri chimico-fisici dell'acqua, l'area con la maggiore densità è caratterizzata da acque con valori mediani alti di salinità sul fondo (circa 37.50), rispetto al range di salinità che si registra nell'intera area di pesca (35.70-37.85), e acque mediamente calde (15.60-15.90 °C) rispetto alla minima (14.07 °C) e massima (16.71 °C) temperatura mediana registrata (Fig. 8.1.5). Valori mediani più alti di temperatura sul fondo (> 16 °C) sono stati registrati nelle stazioni nei pressi della bocca di porto tidale di Primero e bocca d'Anfora dove non sono stati trovati fasolari o sono stati trovati in bassa densità (< 0.16 ind/m²) (Fig. 8.1.5). Questa zona è caratterizzata sia da una bassa profondità (circa 5-7 m) sia dallo scarico delle acque reflue del depuratore di Grado. La poca presenza dei fasolari in questa zona, nonostante il sedimento sia adeguato poiché composto per lo più da sabbia, potrebbe essere dovuto all'effetto combinato della bassa profondità ed alta temperatura. Tutto il tratto costiero è anche caratterizzato da un maggior contenuto di ossigeno disciolto sul fondo (5.40-5.56 mL/L). Al contrario, l'area in cui i fasolari sono più presenti, ha dei valori mediani di ossigeno sul fondo più bassi, che si attestano tra 5.22 e 5.41 mL/L, rispetto al resto della zona di pesca, a seguito dell'aumentare della profondità (Fig. 8.1.5). La clorofilla sul fondo ha una concentrazione maggiore nell'area sotto costa, come in genere ci si aspetta, con valori medio-alti (1.30-1.42 µg/L), rispetto all'area di pesca, in alcune stazioni prossime alle bocche lagunari (es. 37, 142, 144), ma una mediana minore (1.00-1.12 µg/L) dove c'è più densità di fasolari (Fig. 8.1.5).

La concentrazione mediana dei nitrati è maggiore nella zona costiera (11-17.80 µM) in prossimità dell'immissione di acque dolci, e molto inferiore (3.50-6.20 µM) nell'area di maggiore densità dei fasolari, mentre la mediana dei fosfati è quasi sempre prossima al limite di rilevabilità o sotto di esso (0.01 µM) in quasi tutta l'area di pesca ed aumenta solo in prossimità della foce dell'Isonzo (0.03 µM) (Fig. 8.1.5). Il rapporto molare NO₃/PO₄ tende così ad essere più basso (119-560) dove c'è maggiore densità di fasolari, rispetto alla costa (600-1106). Infine, l'azoto totale e il fosforo totale presentano valori maggiori nelle aree antistanti la foce del Tagliamento e dell'Isonzo e bocca d'Anfora, rispettivamente 23.00-30.00 µM e 0.08-0.09 µM, mentre sono più bassi a largo e nella zona con maggiori densità dei fasolari (11.40-16.52 µM e 0.06-0.07 µM).

In conclusione, questa prima indagine esplorativa sulla distribuzione e densità dei fasolari maggiori di 40 mm e la loro relazione con i parametri ambientali, seppur limitata dall'incertezza legata a dati interpolati sulla base di stazioni di monitoraggio sparse e non omogenee, e dal fatto che i nutrienti erano disponibili solo per la superficie dell'acqua, ha permesso di avere un quadro più dettagliato sullo stato della risorsa in esame e le possibili relazioni con i parametri ambientali. In sintesi, è emerso che i fasolari tendono ad essere circoscritti in un'area piuttosto ristretta del golfo di Trieste, in cui è possibile trovare valori alti di densità. Tra i parametri ambientali che possono influire su questa distribuzione, il tipo di sedimento, ed in particolare la sabbia, in cui si registra un basso contenuto di TOC e TN, svolge con molta probabilità un ruolo determinante. Anche la profondità sembra rappresentare un importante fattore per questa specie in quanto oltre il range di 12-16 metri, la densità degli individui maggiori di 40 mm diminuisce fortemente. Tra i parametri chimico-fisici dell'acqua, la temperatura e la salinità sembrano essere importanti per questa specie, preferendo acque salate

e con una temperatura massima non superiore a 26 °C. Per quanto riguarda l'effetto dei nutrienti disciolti in acqua, l'interpretazione di un loro possibile effetto sulla densità dei fasolari risulta più difficile in quanto disponibili solo per la superficie dell'acqua, tuttavia l'area con maggiore presenza di fasolari sembra essere caratterizzata da minori concentrazioni di nutrienti. Non è da escludere che la maggiore presenza dei fasolari in quell'area sia dovuta ad un'interazione di più fattori, non solo parametri dell'acqua e del sedimento.

Nel paragrafo successivo (WP 8.2) verrà investigato con maggior dettaglio l'effetto dei diversi fattori ambientali sulla distribuzione, biomassa e densità dei fasolari attraverso correlazioni e modelli di regressione, e saranno sviluppati modelli vocazionali per questa specie.



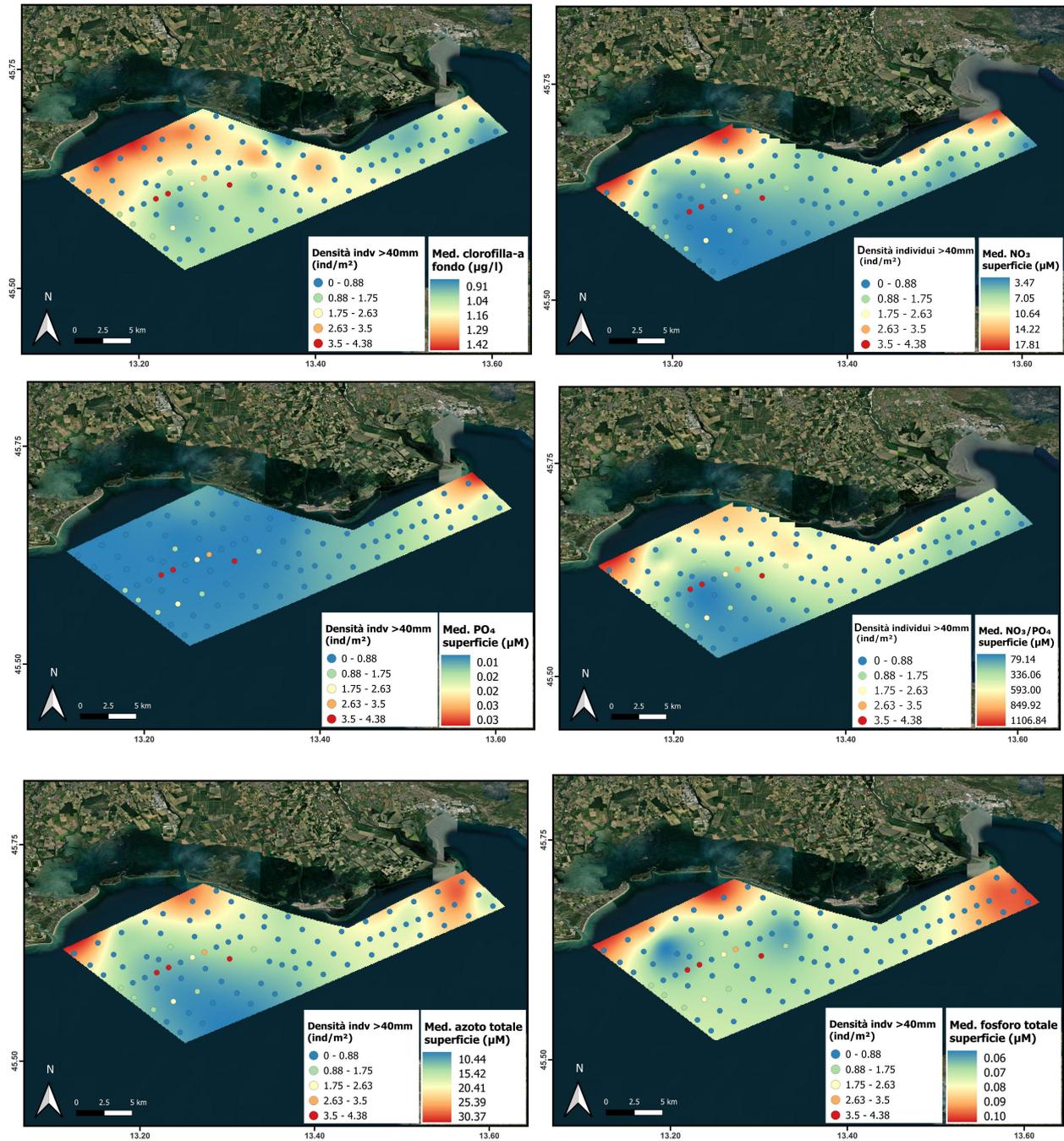


Figura 8.1.5. Mappe della densità degli individui di *C. chione* di taglia superiore a 40 mm sovrapposta ai parametri chimico-fisici dell'acqua e alla profondità nell'area di raccolta.

8.2 Modelli vocazionali

Materiali e Metodi

Lo scopo di questo task era di produrre dei modelli vocazionali per i fasolari che legassero la presenza della specie ai principali fattori ambientali. Nella letteratura scientifica non esistono al presente studi modellistici sulla suitability ambientale per tale specie, nonostante sia una specie diffusa in Atlantico dalle Isole Britanniche, lungo le coste francesi, spagnole e portoghesi, e in tutto il Mediterraneo (GBIF.org, 2023). Gli unici parametri ambientali descrittivi l'habitat di *C. chione* citati in letteratura sono la presenza di substrato sabbioso e la profondità della colonna d'acqua, compresa tra 10 e 180 m (Valli et al., 1983-1984; Valli et al., 1994; Mattei e Pelizzato, 1997; Metaxatos, 2004; Moura et al., 2008; Ezgeta-Balić et al., 2011; Coglievina et al., 2014; Baeta et al., 2014; Galimany et al., 2015; Baro et al., 2018; Purroy et al., 2018; Urra et al., 2018; Bouzaidi et al., 2020).

I dati della distribuzione della specie *C. chione* utilizzati per la creazione dei modelli sono quelli raccolti nel presente progetto in 88 stazioni di campionamento nel 2022-2023 (vedi WP 3.1). In particolare, come variabili risposta per i modelli sono stati utilizzati la presenza/assenza dei bivalvi, la biomassa totale di tutte le taglie (g/m^2), e la densità di individui più grandi della taglia commerciale ($> 40 \text{ mm}$) (n. individui/m^2), e. La biomassa è stata calcolata come rapporto fra il peso totale raccolto e l'area pescata, e la densità di individui più grandi della taglia commerciale, come rapporto fra il numero di individui di lunghezza maggiore della taglia commerciale (40 mm) e l'area pescata. Per ognuna di queste variabili di risposta è stato costruito un modello sull'area di campionamento dei fasolari e poi estrapolato all'intero golfo di Trieste. Dato che i dati su cui è stato sviluppato il modello sono stati pescati dai pescatori con un attrezzo di pesca selettivo per individui più grandi della taglia commerciale, gli eventuali individui di taglia inferiore presenti nelle misure sono dovuti a casi di intasamento dell'attrezzo di pesca e sono perciò non rappresentativi della reale distribuzione e numerosità degli individui giovani. Per tale ragione nessun modello vocazionale è stato sviluppato specificatamente sulle coorti giovanili dei fasolari.

Come predittori, sono state utilizzate le variabili della composizione dei sedimenti e contenuto organico determinati nel presente progetto nell'area di interesse (vedi WP 6.1) e le variabili della qualità delle acque derivate dalla rete di monitoraggio marino-costiero dell'ARPA-FVG nel golfo di Trieste, integrate con dati dei campionamenti Acegas nel 2017-2022 alle stazioni C1, 0P, 0M, 0D e MA213 (Fig. 8.2.1). Le variabili di qualità dell'acqua sono riferite al periodo 2006-2022 per temperatura, pH, clorofilla, salinità ed ossigeno e sono state misurate al fondo; mentre i nutrienti (nitrati, nitriti, ammonio, fosfati, silicati, TN, TP) sono relativi al periodo 2009-2022, e sono stati misurati solo alla superficie della colonna d'acqua. Per ognuna di esse è stata calcolata la mediana, il valore massimo e il valore minimo sull'intero periodo di campionamento.

In tabella A.8.2.1 sono riportate tutte le variabili ambientali considerate per la costruzione dei modelli di vocazione di *C. chione*, con le statistiche principali, le unità di misura, l'origine dei dati e l'anno di riferimento.

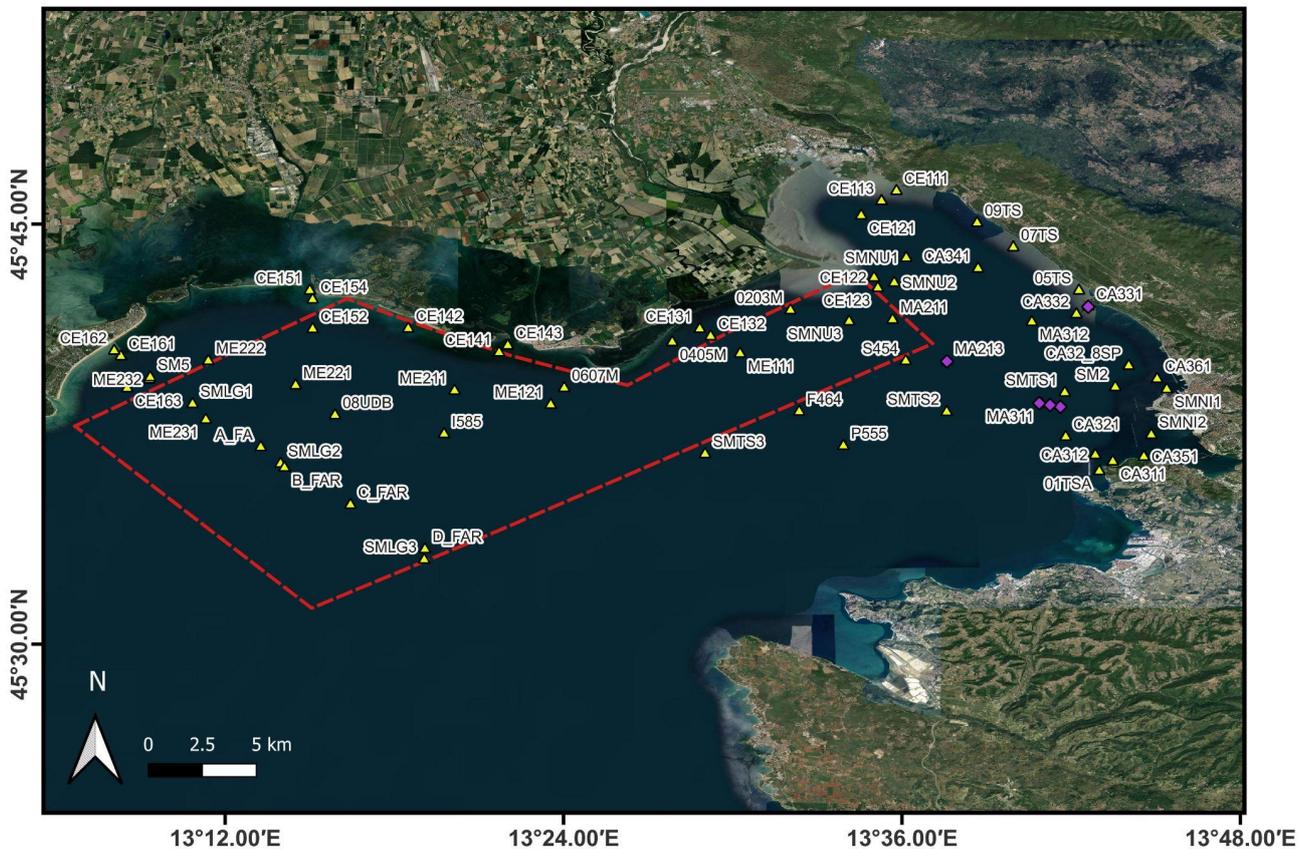


Figura 8.2.1. Stazioni di campionamento della qualità dell'acqua di ARPAFVG (in giallo) e di ACEGAS (in viola) nel golfo di Trieste. In rosso è evidenziata l'area di campionamento dei fasolari di questo progetto.

I dati chimico-fisici delle acque sono stati interpolati su una griglia raster di lato 500 m estesa a tutto il golfo di Trieste, utilizzando l'algoritmo multiviel b-spline (Lee et al., 1997) di QGIS v. 3.22. I dati di sedimento sono stati interpolati con la stessa metodica, ma su un'area più ristretta, cioè solo nell'area di campionamento dei fasolari (vedi WP 6.1); per il resto del golfo, è stata utilizzata una mappa della percentuale di sedimenti prodotta interpolando dati sedimentologici con una risoluzione di 1 km gentilmente concessa dal prof. Chris Jenkins dell'Università del Colorado (per maggiori dettagli: Bostock et al., 2018 e Jenkins, 2018). Le metriche di interpolazione usate sono state la distanza geografica e la differenza di profondità (3-metric IDW) (Jenkins, 2018). Tale mappa è stata poi scalata su un grigliato continuo con risoluzione di 500 m.

Dati sulla profondità dell'acqua sono stati ottenuti da gebco.net, relativi all'anno 2022, già in formato raster su un grigliato di 500 m.

Modelli statistici

Sono state implementate due tipologie di modelli statistici (Fig. 8.2.2):

- Per predire la presenza/assenza dei fasolari è stato utilizzato un modello lineare generalizzato (GLM) con funzione di collegamento binomiale (questo metodo è equivalente alla tradizionale regressione logistica).
- Per predire la biomassa totale e la densità di individui di lunghezza maggiore della taglia commerciale nei siti in cui sono presenti, sono stati utilizzati due modelli lineari generalizzati (GLM) con funzione di collegamento Gamma.

I modelli lineari generalizzati sono estensioni del modello lineare che consentono di modellare risposte non lineari mantenendo un certo grado di interpretabilità dei risultati. Infatti, come per i modelli lineari, l'influenza di un generico predittore sulla variabile di risposta viene espressa in termini di pendenze (Guisan et al., 2002). I modelli sono stati implementati nell'ambiente di calcolo R (v4.3.0) utilizzando la funzione `stats::glm`.

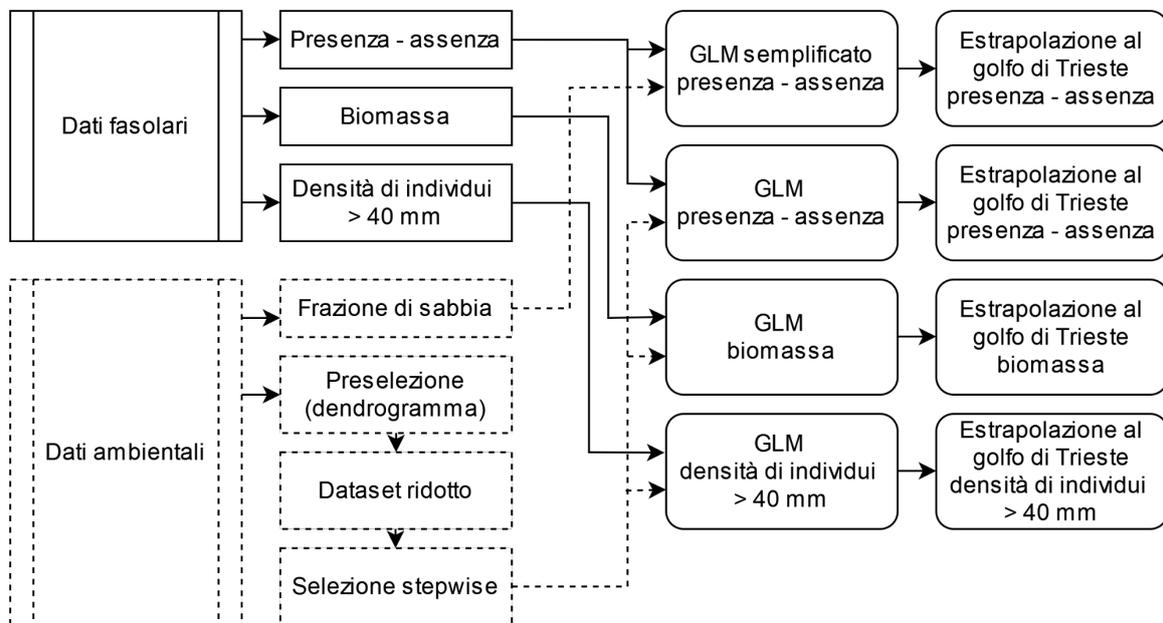


Figura 8.2.2. Diagramma di flusso degli step seguiti per la generazione dei modelli statistici. Nota: GLM: modello lineare generalizzato.

Selezione dei predittori

Visto il grande numero di predittori disponibili per costruire il modello, si è reso necessario svolgere una preselezione. Come primo step sono state calcolate tutte le coppie di correlazioni fra i diversi predittori (utilizzando la correlazione di Spearman, ρ). In seguito, la distanza fra coppie di predittori è stata calcolata come $dist = 1 - |\rho|$: in questo modo a coppie di predittori scarsamente correlati sono assegnate distanze maggiori e a coppie di predittori altamente correlate sono assegnate distanze minori. La matrice di distanze così ottenuta è utilizzata per generare un dendrogramma utilizzando la funzione `stats::hclust` (Fig. 8.2.3). L'algoritmo utilizzato per calcolare il dendrogramma è un metodo agglomerativo a linkage completo (Legendre and Legendre, 1998). In seguito, il dendrogramma è stato tagliato ad una profondità corrispondente al valore 0.5 di correlazione per identificare 14 cluster di predittori fortemente correlati tra di loro. Per ogni cluster è



stato selezionato un solo predittore rappresentativo sulla base di considerazioni ecologiche. Tramite questa procedura, il subset di predittori selezionato è risultato essere il seguente: sal_max, TN, d15N_TN, po4_median, tp_median, depth, T_max, no3_median, sand, tn_min, o2_min, po4_max, tn_max (Tabella A.8.2.1).

Per verificare la mancanza di multicollinearità tra i predittori selezionati è stata svolta un'analisi del Variance Inflation Factor (funzione `usdm::vifstep`). L'analisi ha confermato la mancanza di multicollinearità tra i predittori selezionati, e quindi tutti i 14 parametri sono stati utilizzati per la costruzione del modello di habitat suitability.

Al fine di costruire modelli di regressione parsimoniosi (cioè modelli che bilanciano complessità e capacità esplicativa), una seconda procedura di selezione è stata svolta durante la costruzione del modello. Una procedura di tipo stepwise basata sul criterio di informazione di Akaike (AIC, una metrica che considera la capacità di fit del modello e la sua complessità; [Cavanaugh et al., 2019](#)) ha trattenuto per ogni modello fittato il minor numero di predittori. Per ogni modello sono state testate anche le interazioni tra coppie di predittori. Per temperatura e profondità sono state inseriti anche dei termini quadratici per rilevare anche eventuali dipendenze non-lineari. Considerato che il singolo predittore con il potere esplicativo più alto è la percentuale di sabbia nel sedimento, un ulteriore modello "semplice" è stato costruito solo in funzione di questo unico predittore.

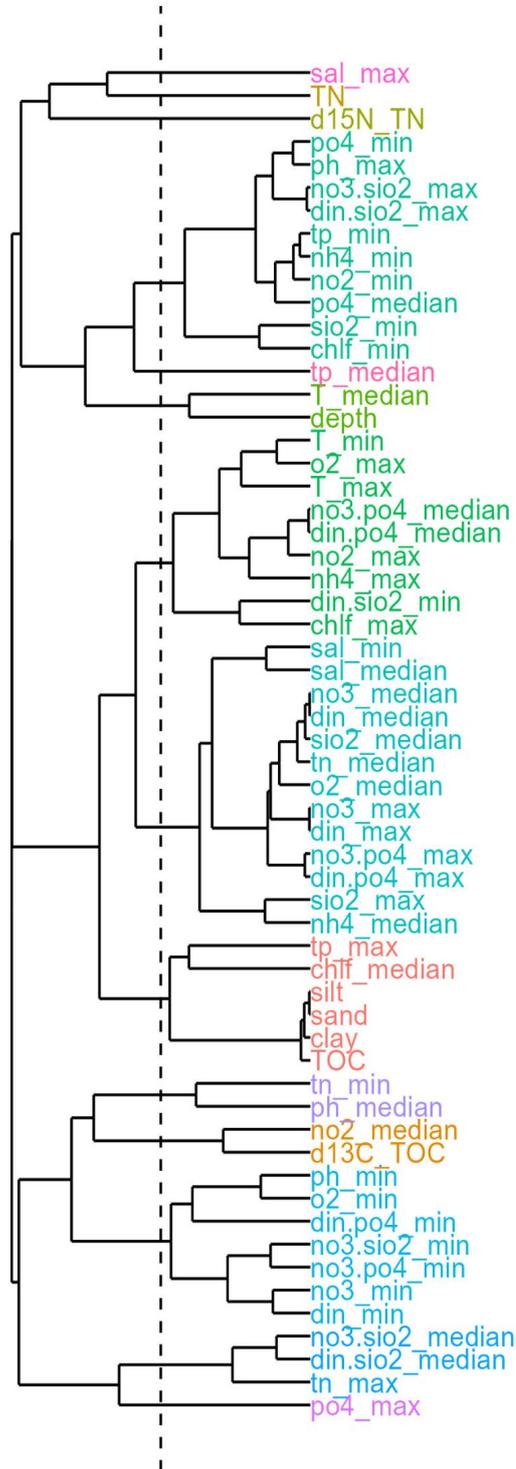


Figura 8.2.3. Dendrogramma delle distanze tra predittori basate sui valori assoluti della correlazione di Spearman tra predittori, ottenuto con un metodo agglomerativo a linkage completo. La linea tratteggiata rappresenta una distanza pari ad una correlazione di Spearman di 0.5.

Metriche di performance dei modelli

Per i GLM binomiali l'utilizzo di metriche classiche come l' R^2 non sono consigliate, sono pertanto state utilizzate le seguenti metriche di performance (Allouche et al., 2006):

- Area under the Receiving Operational Curve (AUC): descrive la capacità classificatrice del modello e varia fra 0.5 (classificatore random) e 1 (classificatore perfetto).
- Accuracy: numero di previsioni corrette sul numero totale di previsioni, varia fra 0 (cattivo classificatore) e 1 (classificatore perfetto).

Queste metriche sono state calcolate seguendo la seguente procedura: (1) il dataset è stato diviso in due parti, un sub-dataset per effettuare il fit del modello (70 % dei dati) ed un sub-dataset per effettuare la validazione del modello (30 % dei dati). In seguito, (2) il modello è stato fittato 10 volte secondo uno schema di cross-validazione a 10 pieghe e le metriche di performance sono state calcolate per ognuno di questi modelli. Infine, (3) le metriche di performance sono state valutate sul dataset di testing (dataset indipendente).

Per i GLM-Gamma sulla biomassa totale e di individui > 40 mm un valore di pseudo- R^2 è stato calcolato come rapporto tra varianza totale e varianza spiegata.

Entrambi i tipi di modello sono inoltre stati valutati generando dei plot diagnostici per valutare la validità delle assunzioni del modello: (1) la variabile modellata deve essere approssimativamente distribuita come la funzione di collegamento (verificato tramite q-q plot); (2) i residui devono essere distribuiti normalmente; (3) la varianza dei residui non deve dipendere dalla loro media (condizione di omoschedasticità). Queste condizioni sono state verificate utilizzando il pacchetto di R DHARMA (Hartig, 2022). Tutte questi plot diagnostici sono in appendice.

I modelli migliori per presenza/assenza, per la biomassa totale e per la densità di individui > 40mm sono stati anche estrapolati all'area dell'intero golfo di Trieste, per verificare l'esistenza di altre aree di vocazione potenziale per la risorsa.

Risultati e Discussione

GLM per presenza/assenza (modello “complesso”)

Per questo modello sono stati utilizzati tutti i predittori in Tabella A.8.2.1. In Tabella 8.2.1 viene riportato il sommario del modello ottenuto tramite stepwise selection. I predittori trattenuti sono: la concentrazione di nitrato mediana, la frazione di sabbia, la concentrazione di ortofosfato mediano, e la concentrazione minima di ossigeno disciolto.

Per i plot diagnostici, fare riferimento alla Fig. A8.2.1 (in appendice), per una rappresentazione grafica delle dipendenze funzionali del modello, fare riferimento alla Fig. A8.2.2 (in appendice).

Variabile	Estimate	Std.Error	z.value	p-val
(Intercept)	-7.7278	3.960877	-1.95103	0.051053.
no3_median	-1.45835	0.355998	-4.0965	4.19E-05***
sand	0.210515	0.058693	3.586716	0.000335***
po4_median	-505.973	142.2563	-3.55677	0.000375***
o2_min	3.362651	1.162261	2.893198	0.003813**

Tabella 8.2.1. Per ogni variabile sono riportate: la stima del coefficiente della variabile (Estimate) e il suo errore standard (Std.Error), il valore del coefficiente normalizzato (z.value), e il p-value (p-val). I simboli vicino al valore di p-value rappresentano il livello di significatività: \cdot : $p < 0.1$; *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$.

Il modello finale ha una devianza nulla di 120.86 su 87 gradi di libertà, e una devianza residua di 43.27 su 83 gradi di libertà, con un valore finale di AIC = 53.27. Le metriche di performance sono le seguenti: AUC = 0.90; Accuracy = 0.84 ± 0.14 (training) e Accuracy = 0.80 (test).

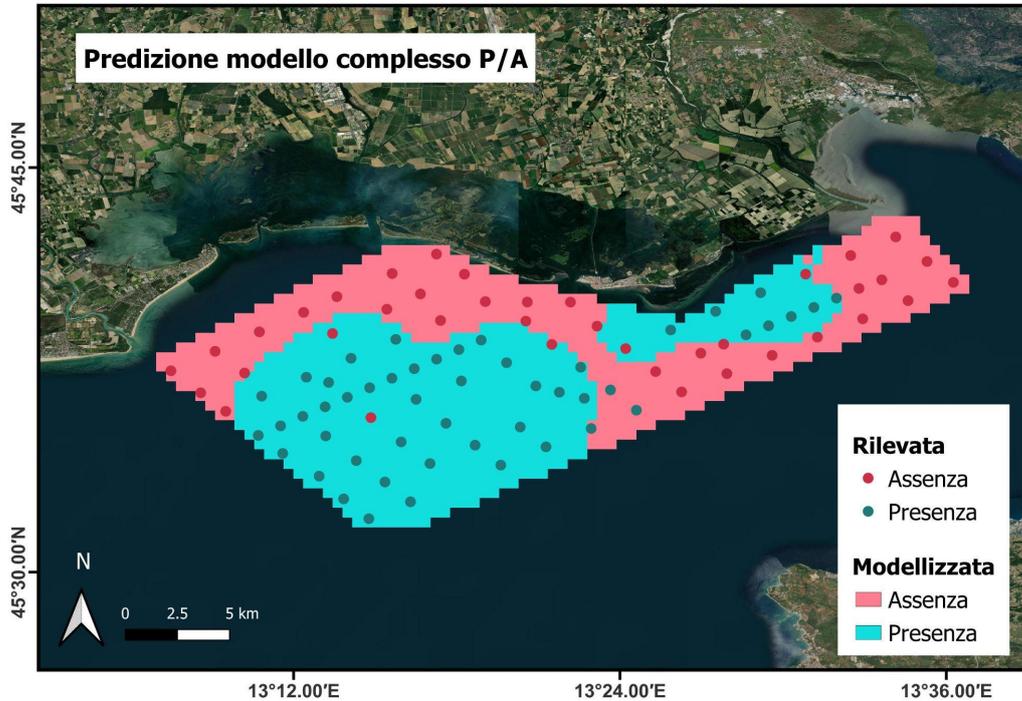


Figura 8.2.3. Distribuzione di *C. chione* predetta con il modello complesso rispetto alla presenza/assenza reale rilevata nei punti di campionamento.

GLM per presenza/assenza in funzione del contenuto di sabbia (modello "semplice")

Il potere esplicativo del modello semplice, costruito cioè solo in funzione della percentuale di sabbia nel sedimento (Tabella 8.2.2), è più basso rispetto al modello fittato su tutti i predittori disponibili (modello complesso), ma ha comunque performance accettabili e può essere utilizzato come prima approssimazione per predire la presenza/assenza di *C. chione*.

Per i plot diagnostici, fare riferimento alla Fig. A.8.2.3 (in appendice), per una rappresentazione grafica delle dipendenze funzionali del modello, fare riferimento alla Fig. A.8.2.4 (in appendice).

Variabile	Estimate	Std.Error	z.value	p-val
(Intercept)	-8.8179	3.347601	-2.6341	0.008436**
sand	0.101406	0.036593	2.771197	0.005585**

Tabella 8.2.2. Per ogni variabile sono riportate: la stima del coefficiente della variabile (Estimate) e il suo errore standard (Std.Error), il valore del coefficiente normalizzato (z.value), e il p-value (p-val). I simboli vicino al valore di p-value rappresentano il livello di significatività: \cdot : $p < 0.1$; $*$: $p < 0.05$; $**$: $p < 0.01$; $***$: $p < 0.001$

Il modello finale ha una devianza nulla di 85.37 su 61 gradi di libertà, e una devianza residua di 75.23 su 60 gradi di libertà, con un valore finale di AIC = 79.23. Le metriche di performance sono le seguenti: AUC = 0.79; Accuracy = 0.70 ± 0.18 (training) e Accuracy = 0.65 (test).

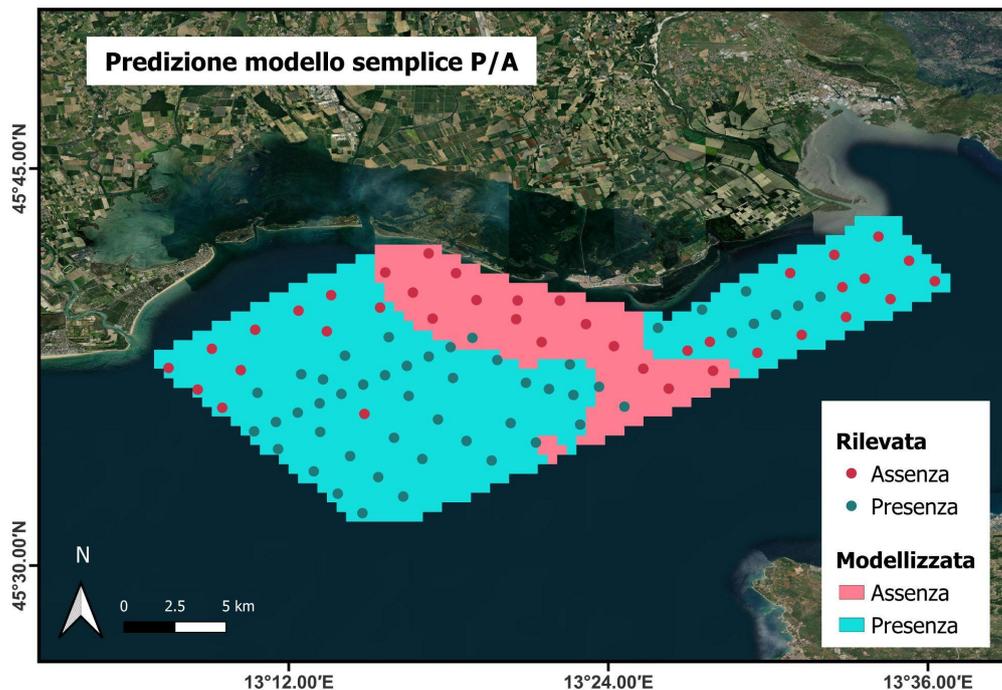


Figura 8.2.4. Distribuzione di *C. chione* predetta con il modello semplice rispetto alla presenza/assenza reale rilevata nei punti di campionamento.

GLM su dati di biomassa totale

Per questo modello sono stati utilizzati tutti i predittori in Tabella A.8.2.1. Per evitare l'effetto dei troppi zeri il modello è stato calibrato solo sui punti di presenza osservata dei fasolari. Viene riportato il sommario del modello ottenuto tramite stepwise selection (Tab. 8.2.3) I predittori selezionati sono la concentrazione minima di azoto totale in acqua, la frazione di sabbia (con termine lineare non significativo e termine quadratico significativo), e la profondità (termine sia lineare che quadratico). Inoltre è stato selezionato anche in termine di interazione fra la frazione di sabbia e l'azoto minimo nella colonna d'acqua. Si osserva che la dipendenza dalla frazione di sabbia è stata trattenuta dalla procedura di selezione stepwise ma i termini non sono significativi.

Per i plot diagnostici, fare riferimento alla Fig. A.8.2.5 (in appendice), per una rappresentazione grafica delle dipendenze funzionali del modello, fare riferimento alla Fig. A.8.2.6 (in appendice).

Variabile	Estimate	Std.Error	z.value	p-val
(Intercept)	-1.97487	18.56893	-0.10635	0.915821
tn_min	-4.47422	2.148766	-2.08223	0.043603.
l(depth^2)	-0.0213	0.006986	-3.04947	0.004005**
depth	-0.50342	0.198347	-2.53809	0.015041*
sand	0.299817	0.343765	0.872156	0.388202
l(sand^2)	-0.00303	0.001803	-1.68289	0.099998
tn_min:sand	0.05006	0.022447	2.230087	0.031277*

*Tabella 8.2.3. Per ogni variabile sono riportate: la stima del coefficiente della variabile (Estimate) e il suo errore standard (Std.Error), il valore del coefficiente normalizzato (z.value), e il p-value (p-val). I simboli vicino al valore di p-value rappresentano il livello di significatività: .: $p < 0.1$; *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$.*

Il modello finale ha una devianza nulla di 50.17 su 46 gradi di libertà, e una devianza residua di 32.3 su 42 gradi di libertà, con un valore finale di AIC = 405.15. Il valore di pseudo-R2, calcolato come rapporto tra devianza residua e devianza nulla è di 0.36.

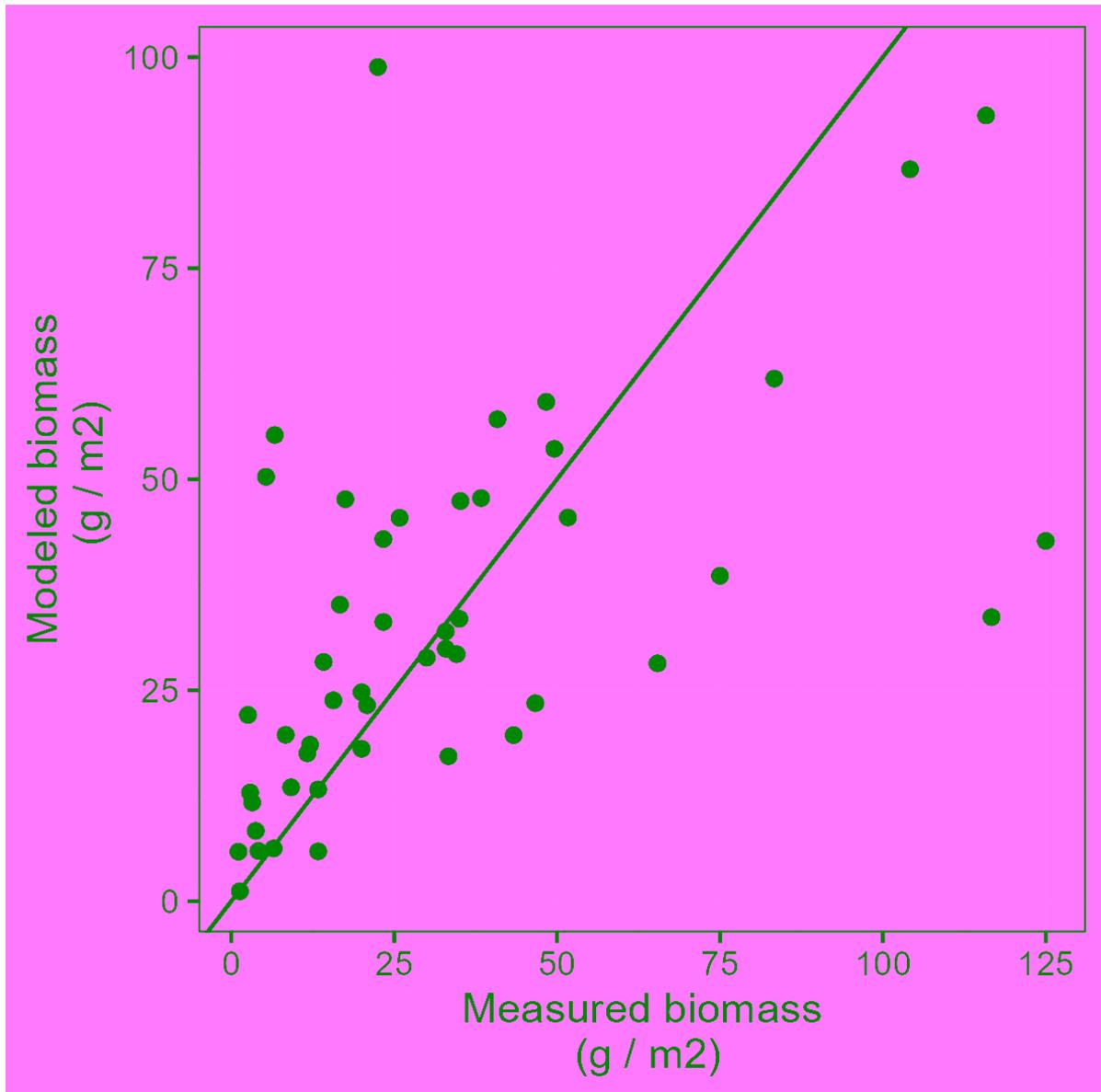


Figura 8.2.5. Confronto fra valori misurati e modellati per il modello GLM sulla biomassa totale. La diagonale rappresenta la linea 1:1.

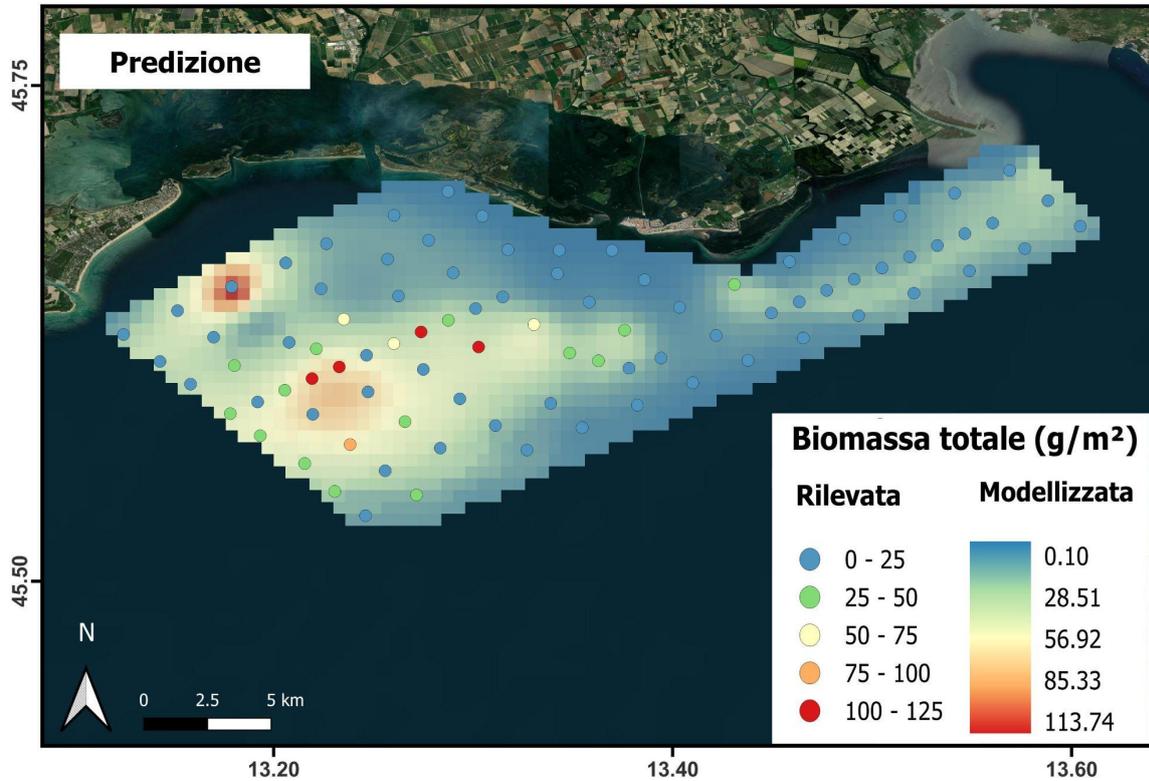


Figura 8.2.6. Valori di biomassa totale al metro quadro di C. chione predetta dal modello rispetto a quella rilevata nei punti di campionamento.

GLM su dati di densità di individui > 40 mm

La predizione della densità dei fasolari è stata fatta solo per individui della taglia commerciale. Infatti, l'attrezzo utilizzato dai pescatori per il campionamento della risorsa nelle 88 stazioni è ottimizzato per il prelievo degli organismi di taglia commerciale. Quindi le classi di taglia inferiori potrebbero non essere adeguatamente rappresentate nei campioni.

Per questo modello sono stati utilizzati tutti i predittori in Tabella A.8.2.1. Nella tabella 8.2.4 viene riportato il sommario del modello ottenuto tramite stepwise selection. I predittori selezionati sono la frazione di sabbia, la concentrazione massima di nitrati in acqua, e la temperatura massima (termine sia lineare che quadratico, seppur solamente marginalmente significativi). Il termine quadratico sulla temperatura massima identifica un optimum corrispondente ad una temperatura massima di 25°C.

Per i plot diagnostici, fare riferimento alla Fig. A.8.2.7 (in appendice), per una rappresentazione grafica delle dipendenze funzionali del modello, fare riferimento alla Fig. A.8.2.7 (in appendice).

Variabile	Estimate	Std.Error	z.value	p-val
(Intercept)	-176.528	84.28737	-2.09436	0.042021*
sand	0.064218	0.018808	3.414356	0.001384**
no3_median	-0.37707	0.094981	-3.96999	0.000262***
T_max	14.03612	7.099158	1.977152	0.054311.
I(T_max^2)	-0.27735	0.149081	-1.86039	0.069523

Tabella 8.2.4 Per ogni variabile sono riportate: la stima del coefficiente della variabile (Estimate) e il suo errore standard (Std.Error), il valore del coefficiente normalizzato (z.value), e il p-value (p-val). I simboli vicino al valore di p-value rappresentano il livello di significatività: .: $p < 0.1$; *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$; ***: $p < 0.001$

Il modello finale ha una devianza nulla di 72.98 su 48 gradi di libertà, e una devianza residua di 43.21 su 44 gradi di libertà, con un valore finale di AIC = 532.5. Il valore di pseudo-R², calcolato come rapporto tra devianza residua e devianza nulla è di 0.41.

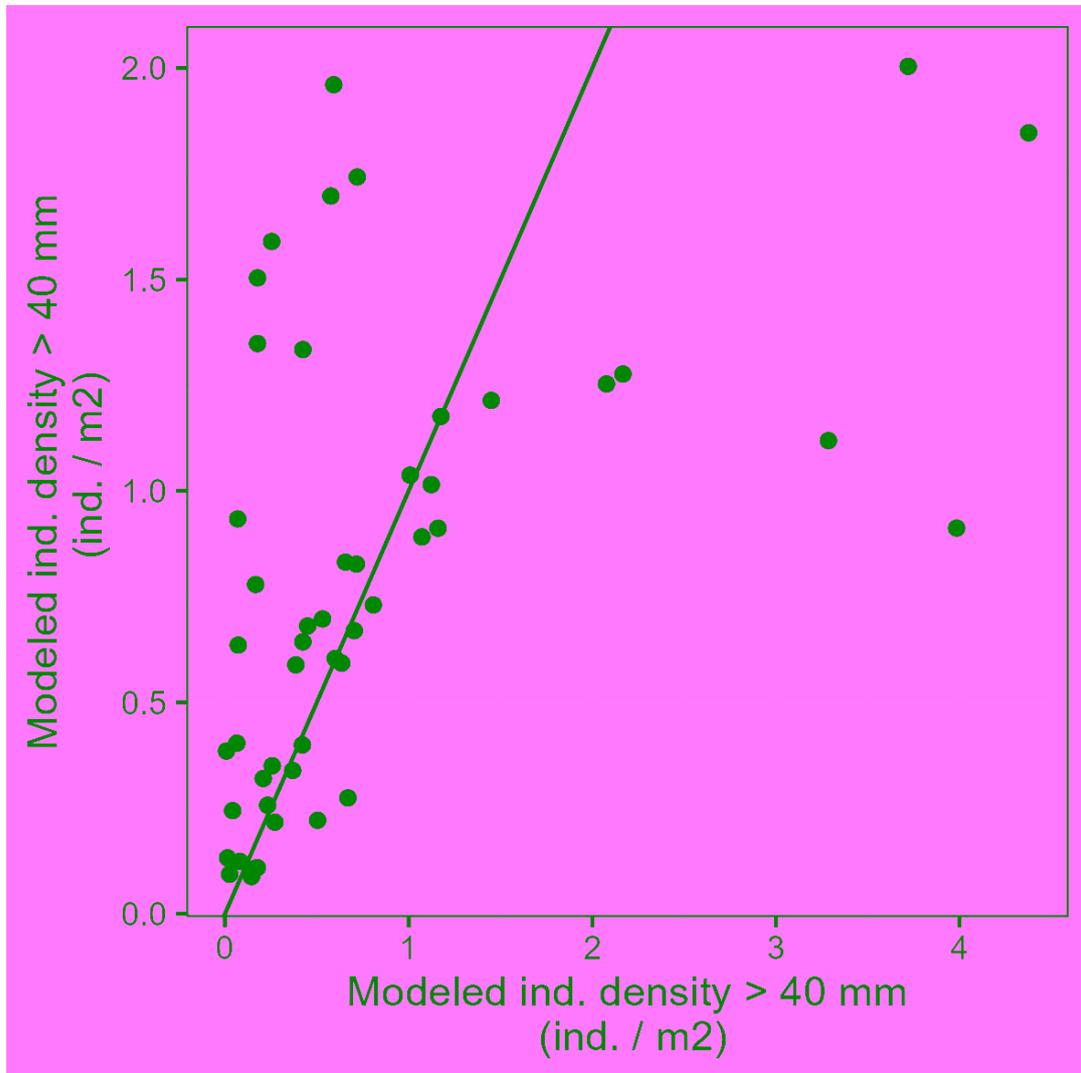


Figura 8.2.7. Confronto fra valori misurati e modellati per il modello GLM sulla biomassa totale. La diagonale rappresenta la linea 1:1.

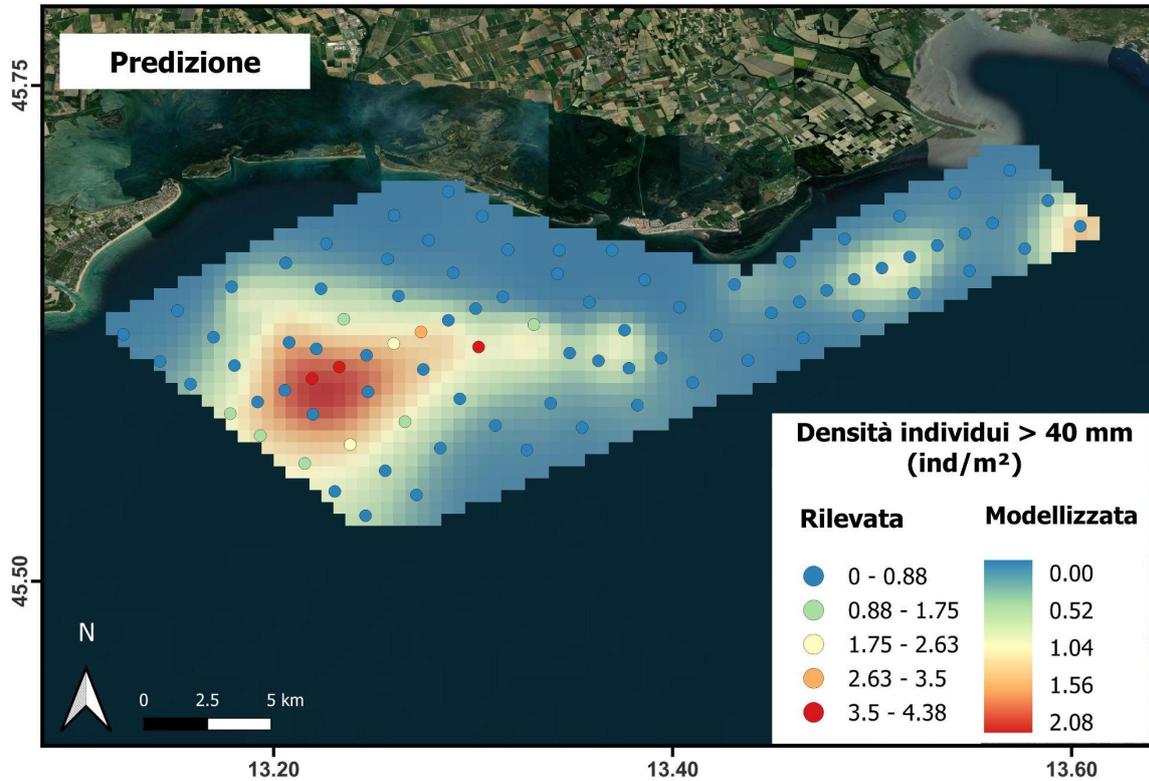


Figura 8.2.8. Densità di individui di *C. chione* > 40mm predetta dal modello rispetto a quella rilevata nei punti di campionamento.

Estrapolazione dei modelli all'area del golfo di Trieste

I risultati dell'estrapolazione all'intera area del golfo di Trieste del modello complesso e del modello semplice per la presenza/assenza dei fasolari è presentata in Fig. 8.2.9 e Fig. 8.2.10.

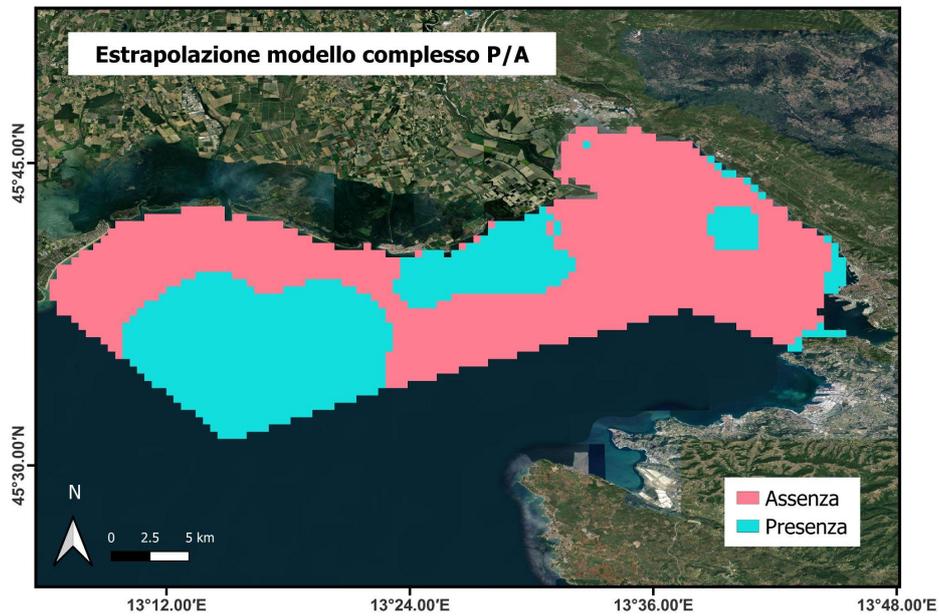


Figura 8.2.9. Distribuzione di *C. chione* ottenuta con il modello complesso estrapolata per il golfo di Trieste.

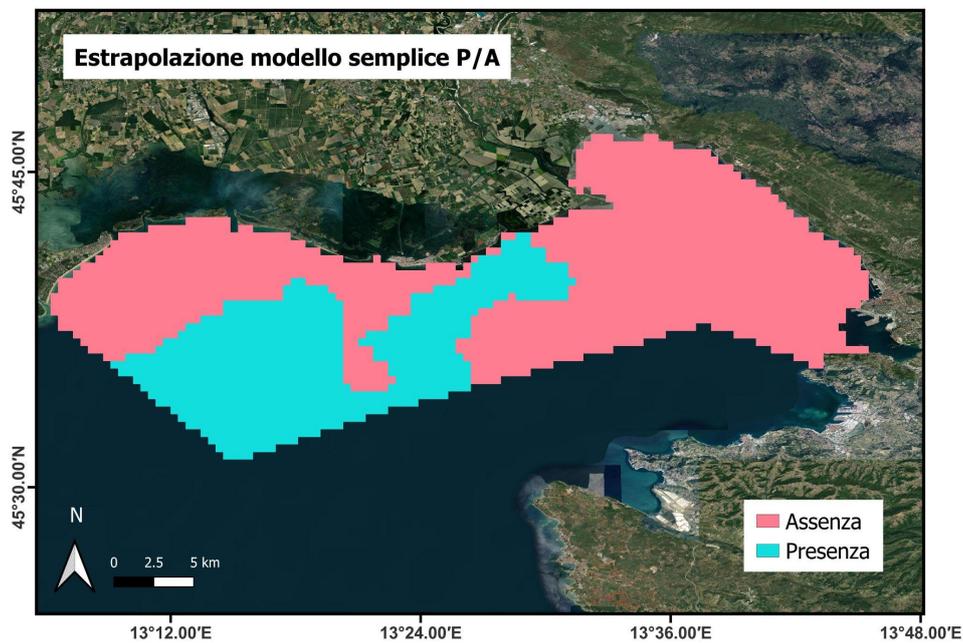


Figura 8.2.10. Distribuzione di *C. chione* ottenuta con il modello semplice estrapolata per il golfo di Trieste.

Il risultato dell'estrapolazione all'intera area del golfo di Trieste del modello per la biomassa totale e del modello per la densità di individui dei fasolari sopra la taglia commerciale è invece rappresentata in Fig. 8.2.11 e Fig. 8.2.12. In questo caso, l'estrapolazione è stata fatta solo nelle aree di presenza predetta dal modello

complesso di presenza/assenza. In questo modo, il modello di presenza/assenza delimita le aree di possibile presenza della risorsa.

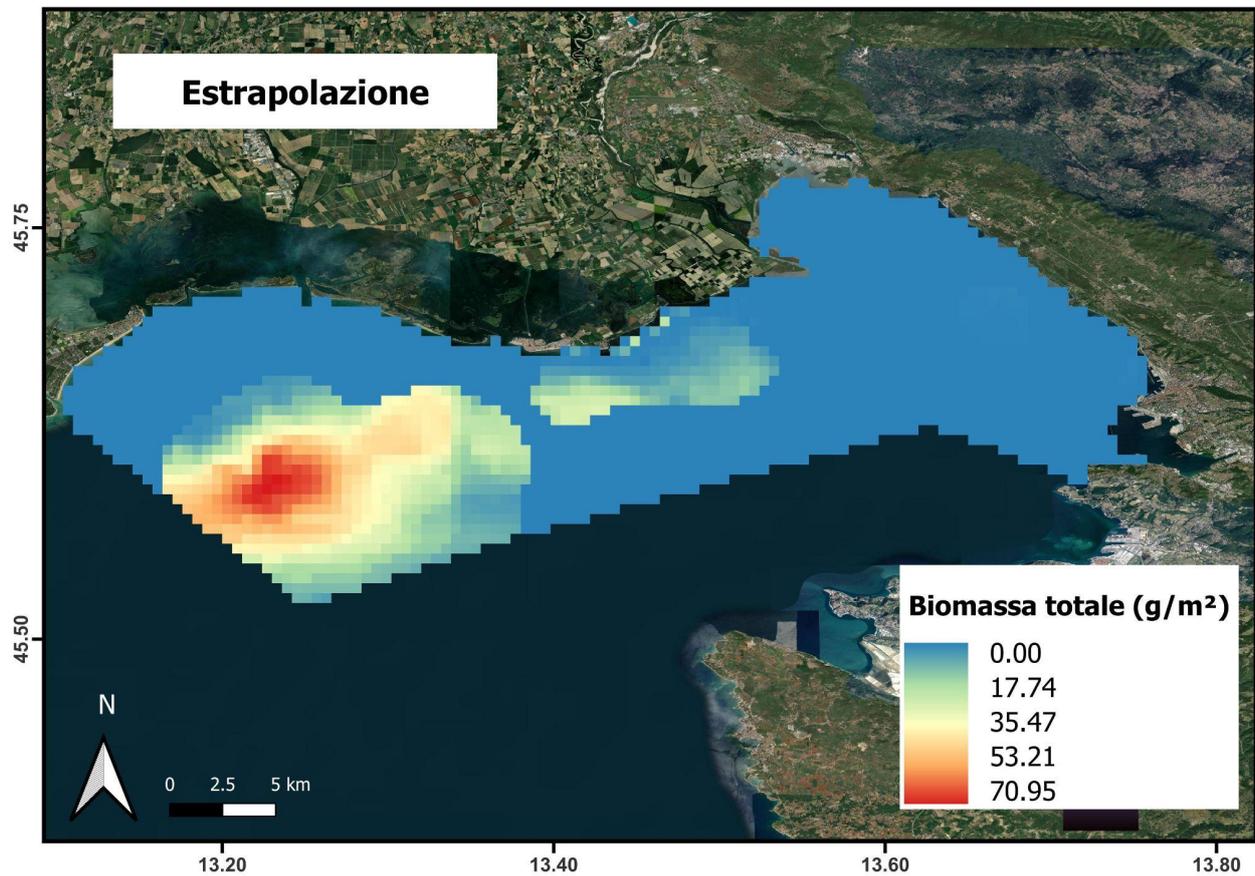


Figura 8.2.11. Estrapolazione del modello sulla biomassa totale di *C. chione* al golfo di Trieste, ritagliato per le aree di presenza predette dal modello complesso di presenza/assenza.

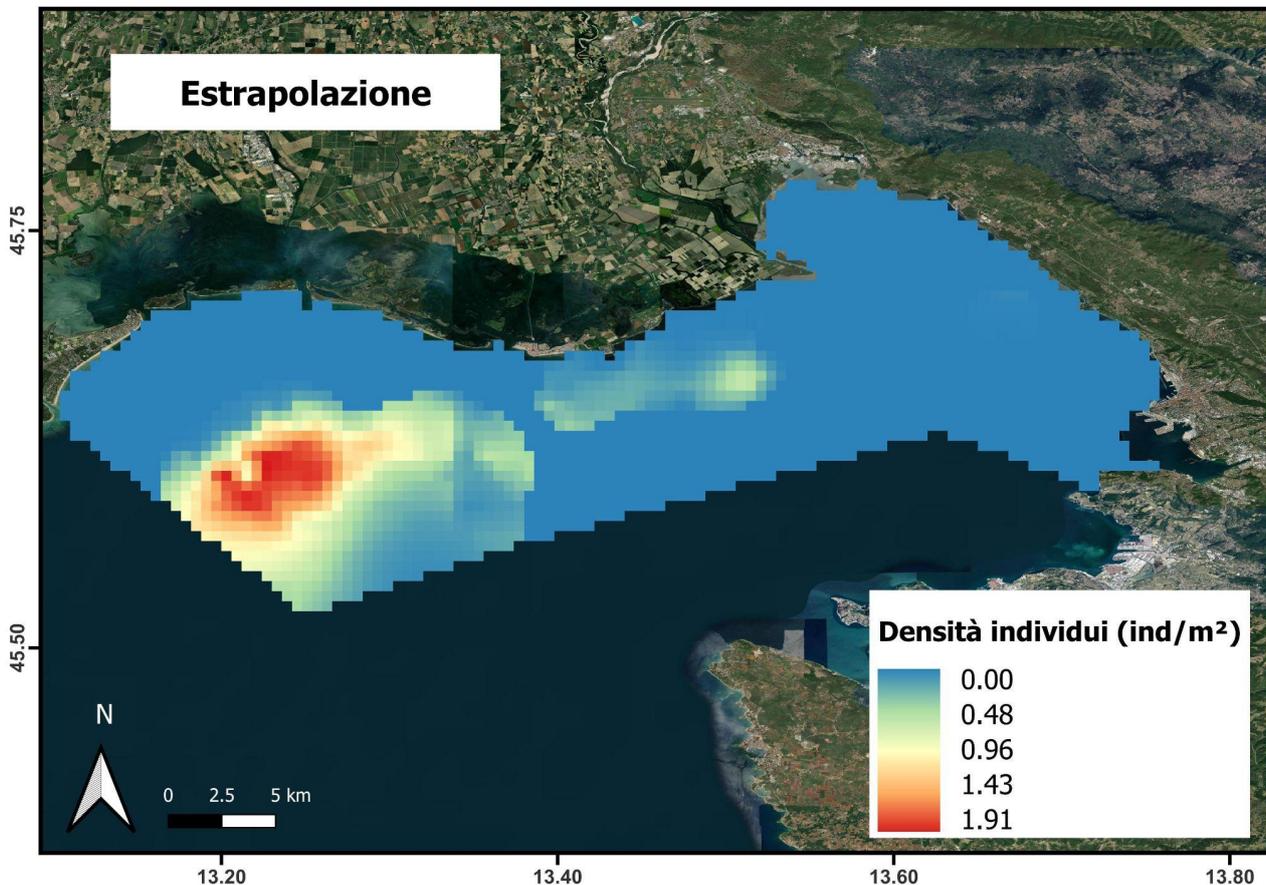


Figura 8.2.12. Estrapolazione del modello sulla densità di individui di *C. chione* >40 mm al golfo di Trieste, ritagliato per le aree di presenza predette dal modello complesso di presenza/assenza.

Nel presente lavoro è stato prodotto un modello vocazionale per *C. chione* che rappresenta il primo tentativo del genere anche considerando la letteratura scientifica internazionale. Con le procedure applicate si è potuto chiarire quali sono i parametri che influiscono sulla presenza ovvero assenza della specie nel golfo di Trieste, ma anche di capire quali variabili ambientali ed in che modo influiscono sulla biomassa totale della risorsa e sulla densità di individui di taglia commerciale. Quindi il modello di presenza/assenza può essere usato come primo passo nell'individuazione delle aree adatte alla specie, mentre i modelli di biomassa o di densità di individui servono a raffinare l'informazione, ottimizzando lo sfruttamento della risorsa.

Tra i predittori utilizzati, la percentuale di sabbia è il singolo predittore con potere esplicativo più elevato ed uno dei pochi che viene identificato anche nella letteratura scientifica. Tuttavia, il modello che utilizza la sola percentuale di sabbia come predittore non raggiunge le performance del modello complesso e in particolare sbaglia nel predire la presenza della risorsa sia sottocosta verso Marano, sia al largo dell'estuario dell'Isonzo. Aggiungendo altri parametri, ed in particolare la concentrazione mediana di NO₃ e PO₄ in superficie e la concentrazione minima di ossigeno al fondo, le performance del modello aumentano notevolmente, riuscendo a ricostruire in maniera molto fedele le aree di presenza e di assenza osservate nell'area di studio. Questo significa che la percentuale di sabbia non è un predittore perfetto della presenza di *C. chione*. La ragione di ciò potrebbe essere nella non sufficiente risoluzione degli strati di composizione del fondale, oppure

nel non sufficiente dettaglio con cui la composizione del fondale è stata determinata. Le aree di non corretta predizione del modello di presenza/assenza semplice potrebbero presentare una composizione più spostata verso le sabbie pelitiche, non correttamente individuate nella mappatura della composizione del fondale. Le mediane dei due nutrienti in superficie sono inversamente legate alla presenza della specie (Fig. A.8.2.2): questi due parametri possono essere legati ad influenze di acque di origine terrigena e quindi denotano che *C. chione* preferisce aree a non elevato stato trofico. Inoltre, ci si può aspettare che aree sottoposte a maggiore influenza terrigena siano anche soggette a maggiore sedimentazione di materiale fine (p.es. limo). Infine, la relazione con l'ossigeno minimo rivela l'ovvia esigenza delle specie bentoniche di avere a disposizione sufficiente ossigeno per la respirazione, escludendo quindi tutte quelle aree in cui i livelli di ossigeno non sono sufficienti alla sopravvivenza.

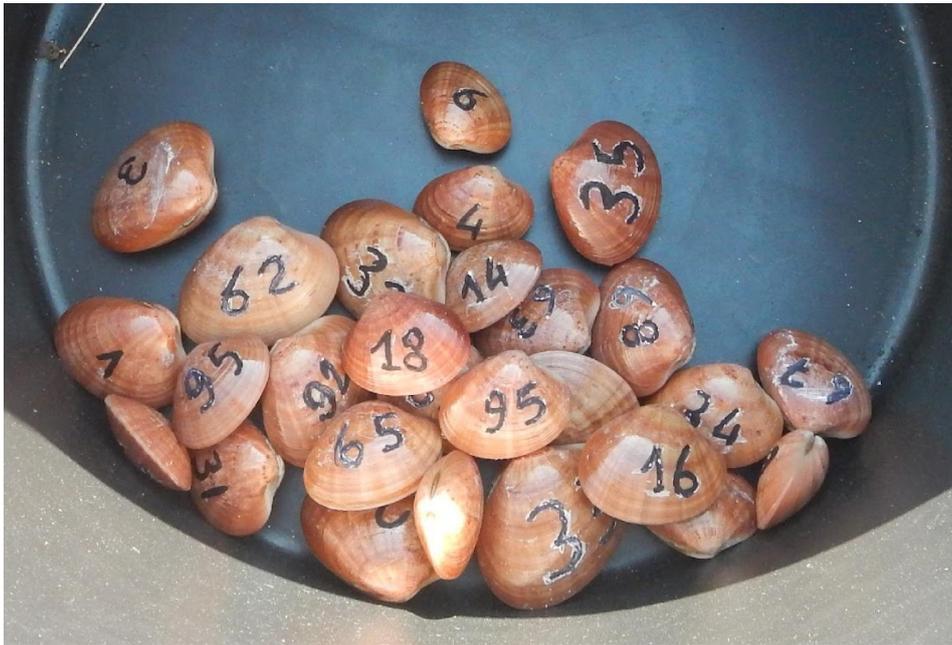
Ulteriori informazioni sulle preferenze ambientali di *C. chione* si possono avere dall'esame delle variabili selezionate nei modelli di biomassa totale e di densità di individui della taglia commerciale. In particolare, nel primo dei due modelli oltre alla sabbia, risultano importanti l'azoto totale minimo del sedimento e la profondità. Per la sabbia le biomasse più elevate si registrano sopra una percentuale del 90% di sabbia, mentre per la profondità l'ottimo si situa intorno ai 12 metri. Significativo anche il termine di interazione frazione di sabbia e azoto totale del sedimento che mostra che sebbene la specie preferisca una maggiore percentuale di sabbia, dove di solito c'è un minore contenuto di sostanza organica, quest'ultima deve essere comunque a valori sostenuti per supportare la biomassa della popolazione di fasolari (Fig. A.8.2.6).

Nel modello di densità di individui oltre a variabili già viste, come la concentrazione mediana di NO_3 nelle acque superficiali e la frazione di sabbia nel sedimento, come predittore importante compare anche la temperatura massima al fondo. La relazione funzionale della risposta a questa variabile mostra che con temperature massime oltre i 25°C la densità di individui di taglia commerciale diminuisce (Fig. A.8.2.8).

Nel complesso quindi possiamo dire che la specie *C. chione* preferisce substrati ad alto contenuto di sabbia, a stato trofico non troppo elevato, e con sufficiente ossigenazione al fondo. Tali caratteristiche nella zona di studio si verificano soprattutto intorno ai 12 m di profondità. Inoltre, la crescita è favorita da temperature massime al fondo non superiori ai 25°C . In base a queste informazioni si può estrapolare l'area di possibile presenza della specie in zone non coperte dal monitoraggio. Nel caso del golfo di Trieste tuttavia sembra che nessuna area sia potenzialmente favorevole allo sfruttamento di questa risorsa, tranne quella attualmente oggetto di pesca ed esplorata nel presente progetto. I modelli sono potenzialmente applicabili anche in altre realtà dove la risorsa viene pescata (p.es. Veneto), ma ovviamente l'estrapolazione ad aree con caratteristiche diverse è ad elevato rischio di errore. La nicchia realizzata della specie nel golfo di Trieste, e ricostruita in questo progetto, potrebbe non coincidere con le nicchie realizzate in altre aree di presenza. Va anche ricordato che le variabili ambientali usate per sviluppare i modelli di vocazione sono comunque derivate da interpolazioni spaziali a partire da dati non molto fitti nello spazio, e in molti casi (p.es. nutrienti) prese in superficie, quando la specie risente sicuramente di più di condizioni specifiche del fondo.

Tuttavia, le variabili selezionate sembrano tutte ecologicamente rilevanti per la crescita di una specie bentonica e consistenti con quanto riferito in letteratura. Inoltre, permettono esercizi di predizione rispetto a condizioni passate in modo da stimare possibili cambiamenti nella distribuzione della specie nel passato, oppure rispetto a scenari di condizioni future per valutare strategie di gestione della risorsa.

WP 9. Esperimenti di rideposizione dei fasolari



9.1 Prelievo, marcatura e rideposizione dei fasolari

Materiali e Metodi

Tutte le attività di campionamento sono state effettuate in collaborazione con CO.GE.MO. (Consorzio per la gestione della pesca dei molluschi bivalvi nel compartimento marittimo di Monfalcone) e Shoreline. Più precisamente i campionamenti sono stati effettuati con le seguenti imbarcazioni:

- M/P “Zeus” matricola 1MN2182 del Compartimento Marittimo di Grado;
- M/P “Viking II” matricola 1MN2151 del Compartimento Marittimo di Grado;
- M/P “Sparviero” matricola 1MN2298 del Compartimento Marittimo di Grado.

Nelle giornate 11/08/2021, 30/08/2021 e 15/09/2021 sono stati prelevati complessivamente 800 individui di fasolari provenienti dallo stesso banco (posizione indicativa 45°36.5' N; 13°14.0' E) utilizzando la draga idraulica (o turbosoffiante) adattata alla pesca dei fasolari, dotata di cesto di raccolta largo 2.4-2.5 m. Gli individui raccolti sono stati mantenuti allo stato vitale, coperti con panni bagnati e riposti in contenitori refrigerati. Nel più breve tempo possibile sono stati misurati con un calibro a orologio e sono stati marcati incidendo sul periostraco un codice identificativo. L'incisione è stata fatta a livello superficiale (per non indebolire la conchiglia compromettendo la sopravvivenza del mollusco) con frese di marca Dremmel e le incisioni sono state ripassate con pennarelli indelebili di colore nero. Tutte le operazioni sono state svolte con personale tecnico e scientifico imbarcato.



Figura 9.1.1. Momento della marcatura degli esemplari di *Callista chione* tramite incisione dei codici identificativi sul periostraco delle conchiglie.

Successivamente, grazie all'intervento di personale subacqueo specializzato, 200 individui marcati di fasolaro sono stati riposizionati su ciascuna delle 4 stazioni "Faro", all'interno di campi di metri 20 x 20 delimitati ai 4 vertici da mattoni in cemento collegati tra loro da una sottile sagola, per renderne più semplice l'individuazione subacquea. Ogni stazione è stata georiferita rispetto alla posizione centrale. Tutti i pescatori afferenti al CO.GE.MO sono stati informati sulle coordinate delle aree di riposizionamento, in modo da evitare la pesca su tali posizioni che ospitavano l'esperimento.



Figura 9.1.2. Preparazione all'immersione per la rideposizione degli esemplari marcati di *Callista chione* sulla stazione "Faro".

Dopo 18-19 mesi di permanenza sulle stazioni "Faro" si è provveduto al recupero dei fasolari marcati, più precisamente nelle giornate del 02/02/2023 e del 23/03/2023. In un primo momento il recupero è stato effettuato tramite gli operatori subacquei, per poi passare all'utilizzo della draga idraulica, eseguendo ripetute cale concentrate sull'area del riposizionamento. Gli individui marcati che sono stati rinvenuti, sia vivi che morti (rinvenimento delle valve marcate), sono stati trasportati in laboratorio per le successive analisi.

In laboratorio gli individui marcati ripescati sono stati misurati per valutarne l'accrescimento. Le misure sono state effettuate considerando la minore distanza lungo l'asse latero-laterale delle valve (lunghezza in millimetri).



Figura 9.1.3. Esemplari di *Callista chione* ricatturati sulla stazione “Faro” B.

Risultati e Discussione

Degli 800 individui complessivamente marcati e riposizionati, dopo un periodo di 18-19 mesi di permanenza in mare, ne sono stati ritrovati solamente 20 e tra questi 4 erano morti, per cui sono state recuperate le sole valve marcate. Le ispezioni subacquee hanno permesso di esaminare i campi sperimentali delimitati dalle sagole, che sono risultati inviolati, ad eccezione dell’area presso la stazione “Faro” A, che ha presentato segni di trascinarsi probabilmente dovuti ad ancoraggio. Si può pertanto desumere che le aree di riposizionamento non siano state interessate da eventi di pesca. Risulta quindi difficile proporre possibili spiegazioni di un così basso numero di ricatture. Tuttavia, durante le fasi di pesca sperimentale con la draga idraulica a cui si è fatto ricorso per recuperare gli eventuali individui marcati sfuggiti alle indagini dei subacquei, è stato notato che alcuni individui vitali erano stati recuperati al di fuori dell’area di deposizione perimetrata, fino anche a circa 30 m di distanza. Ciò implica che i fasolari marcati si siano spostati notevolmente, mostrando una inaspettata mobilità in senso orizzontale, oltre alla già nota mobilità verticale.

Nel grafico di Fig. 9.1.4 sono state messe a confronto le lunghezze di ciascuno degli esemplari ricatturati nei due momenti: alla prima cattura, ovvero al momento della marcatura, e alla ricattura. In tale grafico le lunghezze alla ricattura degli individui risultati morti sono state indicate in colore viola. Sono stati inoltre distinti gli individui rinvenuti nelle diverse aree di sperimentazione, prossime alle 4 stazioni “Faro” (A, B, C e D).

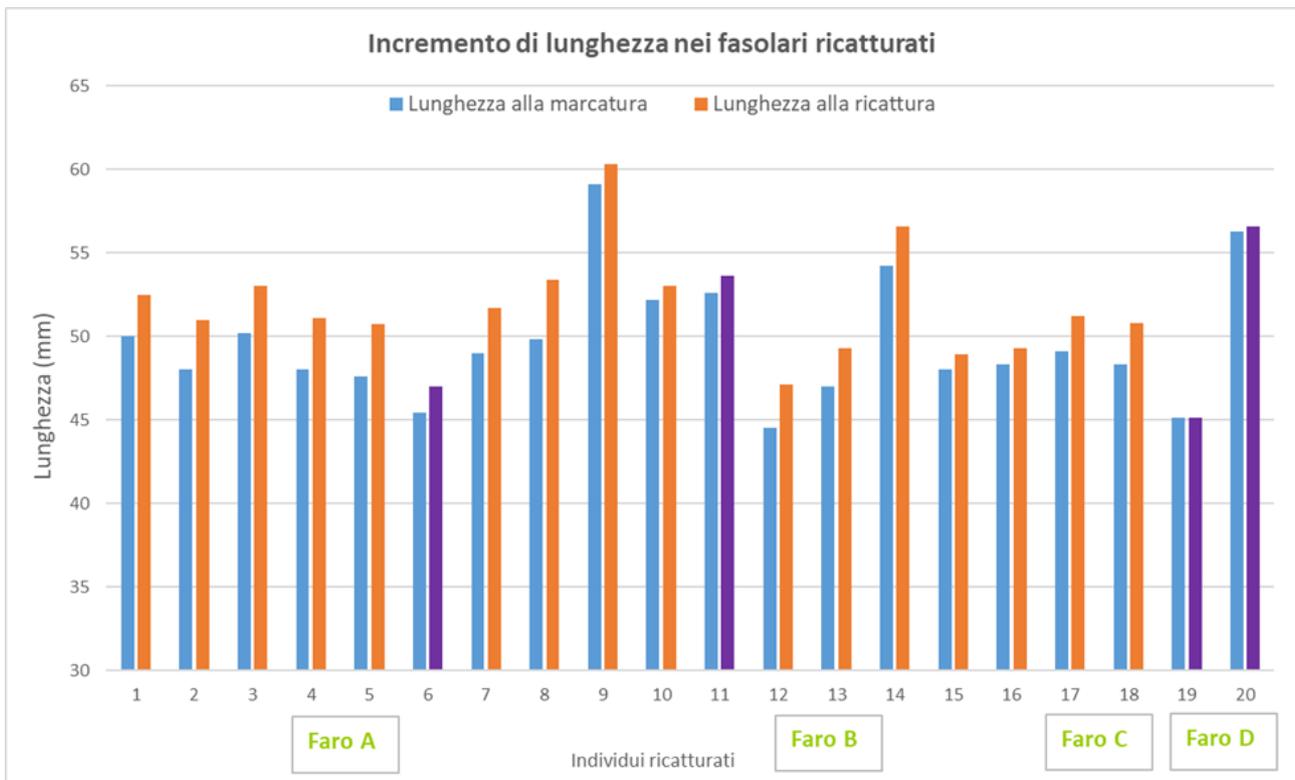


Figura 9.1.4. Grafico rappresentante tutti gli individui di *Callista chione* ricatturati (in viola gli individui morti) e le loro lunghezze (in mm) al momento della marcatura rispetto al momento della ricattura.

Per meglio definire i risultati della sperimentazione, nella Tab. 9.1.1 sono state riassunte le caratteristiche degli esemplari di *Callista chione* utilizzati per la rideposizione e successivamente ripescati. In particolare è stato calcolato l'incremento medio delle lunghezze, distinguendo l'incremento degli individui vitali rispetto a quelli morti. Questo perché negli individui vitali l'accrescimento è avvenuto nell'intero corso della sperimentazione, per cui è di durata nota. Mentre, nel caso degli individui morti, non è possibile sapere la durata dell'accrescimento.

Esperimento di marcatura di <i>Callista chione</i>							
Area	MARCATI		permanenza (mesi)	RICATTURATI			
	n° marcati	L. media \pm dev.st.		n° ricatturati	vitali	incremento vitali	incremento morti
St. Faro A	200	47,35 \pm 2,26	19	8	7	2,97 \pm 0,35	1,60
St. Faro B	200	49,92 \pm 5,55	19	8	7	1,60 \pm 0,79	1,00
St. Faro C	200	48,96 \pm 4,98	18	2	2	2,30 \pm 0,28	
St. Faro D	200	49,74 \pm 4,64	18	2	0		0,15 \pm 0,21

Tabella 9.1.1. Informazioni riassuntive riguardo agli esemplari di *Callista chione* utilizzati nell'esperimento di marcatura, riposizionamento e ricattura: n° individui marcati; lunghezza media (mm); n° individui ricatturati e loro stato vitale; incremento di lunghezza (mm) registrato alla ricattura negli esemplari vivi e in quelli morti.

Uno dei risultati principali della sperimentazione è stato quello di stimare la crescita dei fasolari pari a 1.45 mm all'anno. Poiché il tasso di crescita non è costante nell'arco della vita, ma tende a diminuire con



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

l'aumentare dell'età, è importante sottolineare che questa stima è riferita agli esemplari di taglia commerciale, ossia intorno ai 5-8 anni d'età. In coerenza con quanto trovato nel presente lavoro, [Kuzmanić et al. \(2008\)](#) trovano che nei fasolari dell'Adriatico orientale dopo gli 8 anni d'età il tasso di crescita si riduce a circa 1 mm all'anno. Mentre [Hall et al. \(1974\)](#) riferiscono di individui di 13 anni provenienti da Grado che crescono di 2.2 mm all'anno.

A conoscenza dei ricercatori un unico esperimento di questo genere è stato realizzato in mare su questa specie nel 1976, nei pressi di Plymouth (Inghilterra) ([Forster, 1981](#)). I risultati, per quanto interessanti, richiederebbero approfondimenti e, soprattutto, una più ampia casistica, per essere riconfermati con numeri statisticamente più validi. La necessità di ulteriori sperimentazioni si rende necessaria anche in relazione al basso numero di ricatture effettuate.

WP 10. Analisi ecotossicologiche sui fasolari



10.1 Analisi dei biomarkers sui fasolari

In ambito ecotossicologico, la determinazione dei *biomarkers* molecolari è ampiamente impiegata (Regoli et al., 2002) e permette di identificare gli effetti integrati dello stress ambientale sullo stato di salute delle popolazioni naturali, esposte sia a miscele di contaminanti ambientali sia a fluttuazioni di fattori legati ai cambiamenti climatici quali, ad esempio, la temperatura, il pH o la salinità delle acque (Provenza et al., 2020). I molluschi bivalvi rappresentano il gruppo tassonomico sul quale i *biomarkers* di stress sono stati ampiamente studiati e per il quale, come ad esempio sui mitili, sono stati definiti protocolli specifici e standardizzati (Regoli et al., 2002; Tim-Tim et al., 2009). Classicamente sono state impiegate numerose specie negli studi dei *biomarkers* di stress come, ad esempio, il mitilo (Bocchetti e Regoli, 2006), la vongola, la sogliola e altri organismi acquatici (Mennillo et al., 2017). Recentemente sono stati condotti studi scientifici anche sul bivalve *Cerastoderma edule* (L. 1758) in quanto specie di grande interesse economico per il settore della pesca e dell'acquacoltura (Lobo et al., 2010).

La specie *Callista chione*, di interesse per questo studio, si è dimostrata in grado di bioregolare internamente i metalli (Sakellari et al., 2013) e ha mostrato una risposta di alcuni indicatori di stress biochimico in siti contaminati (Cotou et al., 2013).

È stato dimostrato su altre specie marine come, ad esempio, il riccio di mare, che l'esposizione allo stress ambientale e/o chimico, in particolare da metalli, può determinare ritardo della crescita dell'animale con riduzione del biovolume complessivo in relazione all'età dell'animale stesso. Questo effetto è attribuito al dispendio energetico addizionale determinato dall'attivazione di meccanismi di contrasto dello stress fisico-chimico subito dall'organismo con una conseguente riduzione della energia disponibile per il fisiologico accrescimento biovolumetrico (Oliviero et al., 2019; Piccardo et al., 2020).

Comprendere se l'eventuale riduzione di crescita sulla popolazione naturale di fasolari nell'area di studio possa essere o meno il risultato di uno stress ambientale in grado di indurre l'espressione di *biomarkers* enzimatici è, pertanto, fondamentale per indirizzare le scelte gestionali successive e per operare azioni di recupero mirate della popolazione naturale.

Lo studio ecotossicologico sulle popolazioni di fasolari è stato condotto mediante la determinazione di *biomarkers* di stress correlabili al bioaccumulo di contaminanti ambientali metallici e xenobiotici. Lo scopo è quello di valutare se le popolazioni oggetto di studio mostrino evidenze di stress.

Materiali e Metodi

Su ciascuna delle quattro Stazioni Faro (St. A, B, C e D) di campionamento localizzate, in modo da avere un gradiente costa-largo sono stati campionati cento individui in due stagioni (dicembre '21 e luglio '22) per la definizione dei parametri strutturali della popolazione (taglia, peso) e per la selezione di *pool* omogenei di individui. Uno screening preliminare è stato condotto su una popolazione test per verificare l'applicabilità degli indicatori selezionati sulla specie oggetto di indagine e per definire quelli significativi da includere nel monitoraggio.

Gli organismi sono stati pesati, misurati e dissezionati per il prelievo degli organi di interesse specifico per la determinazione dei *biomarkers*. I tessuti prelevati dagli organismi omogenei in taglia ($n=5$) sono stati uniti per

la realizzazione di tre *pool* analitici sui quali condurre le prove chimiche, biochimiche e istopatologiche. Complessivamente sono stati analizzati 24 *pool* omogenei (4 stazioni x 2 repliche stagionali x 3 repliche *random*) secondo un disegno sperimentale di campionamento *nested* gerarchizzato per ridurre gli errori di Tipo I e di Tipo II (Benedetti-Cecchi, 2004).

Le analisi sono state condotte sui tessuti e gli organi di specifico interesse quali branchie, ghiandola digestiva (TGI), muscolo (piede) in relazione al tipo di *biomarker* ricercato. I marcatori di stress ricercati sono stati selezionati preliminarmente tra i marcatori classici utilizzati nei bivalvi quali indicatori di danno ai lipidi (perossidazione lipidica, LPO) stato antiossidante (glutazione perossidasi, GPx; superossido dismutasi, SOD), biotrasformazione (glutazione-S-transferasi GST) come indicato dalla letteratura (Lobo et al., 2010; Sole et al., 2018; Dallares et al., 2018) e riferiti al contenuto proteico dell'estratto (PROT) indice delle riserve cellulari.

I risultati sono stati analizzati mediante test statistici standard con software di calcolo Prism® e Primer® per l'analisi uni e multivariata. Il risultato di questa indagine ha premesso di definire se le popolazioni naturali sono esposte a stress ambientale o se, al contrario, si trovano da questo punto di vista in condizioni ottimali per la crescita.

I *biomarkers* di stress ossidativo (superossido dismutasi: SOD; glutazione perossidasi, GPx; glutazione S-transferasi: GST; perossidazione lipidica: LPO) sono stati determinati a T0 sulla ghiandola digestiva (Elia et al., 2020; Magara et al., 2021). I tessuti raccolti sono stati messi in una provetta, il peso è stato registrato e la provetta è stata posta in azoto liquido fino alle analisi.

L'estrazione della frazione proteica è stata eseguita utilizzando la frazione proteica dei tessuti raccolti. Il tampone utilizzato per l'estrazione è il tampone fosfato 50 mM e EDTA 2 mM (Vidal-Liñán et al., 2003), aggiunto ai campioni di tessuto in un rapporto 1:4 (p/v). I campioni sono stati omogeneizzati utilizzando un Ultraturrax e quindi ultracentrifugati a 12.000 x g per 12 minuti a 4 °C. Il supernatante è stato recuperato e aliquotato in provette da 2 mL e quindi posto in azoto liquido. Questa frazione è stata utilizzata per determinare il contenuto proteico dei tessuti e i parametri biochimici.

Contenuto proteico (metodo colorimetrico Lowry): il contenuto proteico è stato quantificato secondo il metodo colorimetrico basato sull'analisi Lowry (Dubois, 1956). In breve, il contenuto proteico è stato quantificato spettrofotometricamente a 750 nm, dopo reazione con NaOH 0.5 M, reattivo di Folin-Ciocalteu e mix di reattivi (CuSO₄ * 5 H₂O, sale di Rochelle e Na₂CO₃). I risultati sono espressi in mg/mL.

L'attività del superossido dismutasi (SOD) è stata quantificata seguendo il metodo di Gao et al. (1998). Questo metodo si basa sulla capacità dell'enzima di inibire l'autoossidazione del pirogallolo. L'autoossidazione del pirogallolo in presenza di EDTA allo specifico pH utilizzato (pH 8,2) è del 50%. L'assorbanza è stata misurata a 420 nm. Le attività SOD sono espresse come Unità/mL (U/mL). Un'unità è definita come la quantità di enzima necessaria per causare il 50% di inibizione dell'autoossidazione del pirogallolo.

L'attività del glutazione S-transferasi (GST) è stata quantificata seguendo il metodo descritto da Habig (1974). I GST catalizzano la coniugazione del substrato 1-cloro-2,4-dinitrobenzene (CDNB, 60 mM) con glutazione (10 mM). I campioni sono stati posti in una miscela di reazione composta da tampone fosfato 0.1 M a pH 6.5, GST e CDNB. L'assorbanza è stata misurata a 340 nm per 5 minuti. L'attività dei GST è stata determinata utilizzando il coefficiente di estinzione di 9,6 mM⁻¹ cm⁻¹ per CDNB. I risultati erano correlati al contenuto proteico e al tempo e sono stati espressi in nmol/(µg*min).

Il livello di glutazione perossidasi (GPx) è stato quantificato seguendo il metodo di Badary et al. (2005). La reazione della frazione S9 è stata eseguita con una miscela di GSH (glutazione ridotto) 10 mM, GSSG riduttasi 2,4 U/mL e NADPH 1,5 mM. Dopo incubazione a 37 °C per 5 minuti in presenza di perossido di idrogeno, la cinetica GPx è stata quantificata spettrofotometricamente a 340 nm per 2 minuti. Le misure sono state ottenute calcolando un valore delta ed espresse in nmol/(mg*min). I risultati sono correlati al contenuto proteico ed espressi in $\mu\text{mol}/\text{mg}$.

Risultati e Discussione

I risultati medi dell'analisi biometrica della popolazione testata raggruppati per stazione e stagione di campionamento sono riportati in Figura 10.1.1. In particolare, in Figura 10.1.1A si riportano le lunghezze (mm), in Figura 10.1.1B, il peso dell'animale (g), in Figura 10.1.1C, la larghezza della conchiglia (mm).

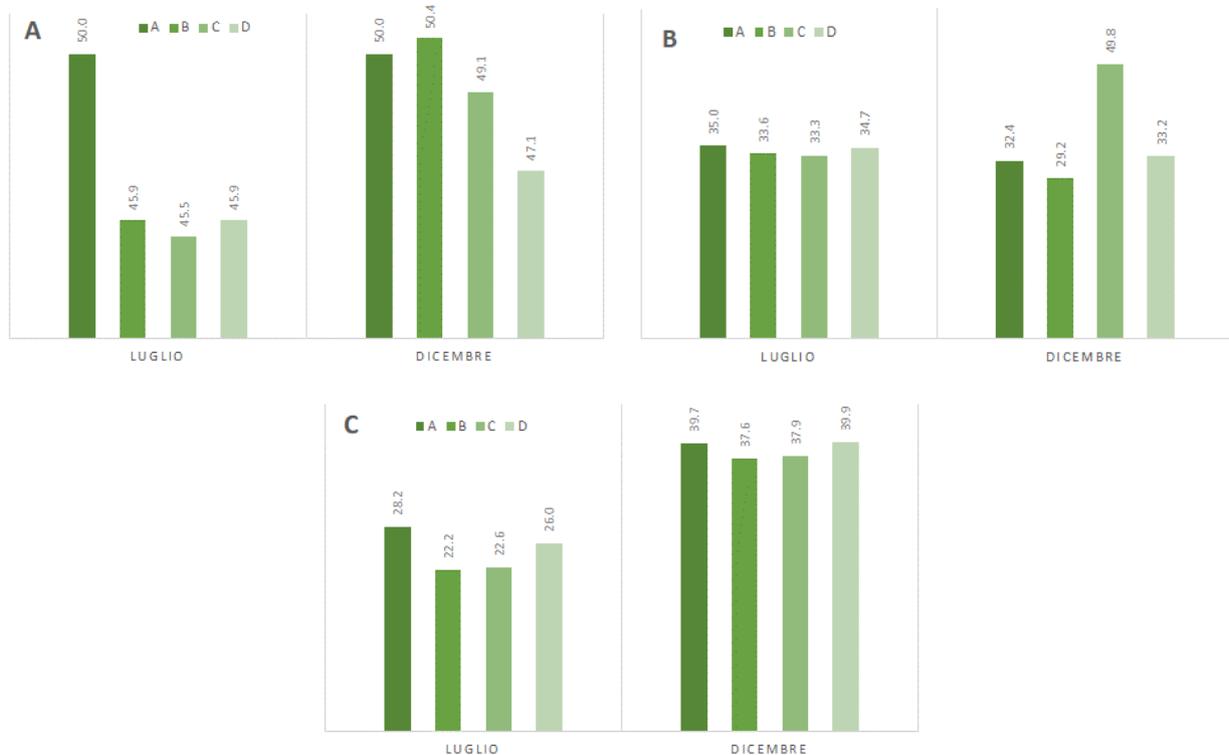


Figura 10.1.1. *Biometrie della specie C. chione. Figura A si riportano le lunghezze (mm), in Figura B, il peso dell'animale (g), in Figura C, la larghezza della conchiglia (mm).*

Sui campioni di fasolari è stata effettuata una batteria di *biomarkers* in tre tessuti differenti, quali branchie, piede e ghiandola digestiva (TGI). I *biomarkers* analizzati su tutti e tre i tessuti sono stati superossido dismutasi (SOD), glutatione-S-tranferasi (GST), glutatione perossidasi (GPx) e perossidazione lipidica (LPO).

Considerando il primo campionamento effettuato in dicembre '21 (in toni di blu in Fig. 10.1.2a-b), dall'analisi della SOD è emerso che non vi sono differenze in tutte le stazioni analizzate nel piede e nelle branchie. Differentemente nella TGI sono stati registrati i livelli maggiori di attività enzimatica. Confrontando le varie stazioni oggetto di studio, le attività maggiori sono state osservate nella stazione A, seguiti dalle stazioni B e D ed infine nella stazione C sono presenti i livelli più bassi analizzati nella TGI. Tale valore risulta comunque maggiore rispetto alle attività enzimatiche registrate in branchie e piede in tutte le stazioni oggetto di studio.

Per quanto concerne la GPx i livelli maggiori di tale enzima sono stati osservati nella stazione nelle branchie in stazione A e D e nella TGI nella stazione B. Prendendo in analisi le quattro stazioni oggetto di studio è possibile osservare come nella stazione A i valori di GPx risultino pressoché simili in tutti i tessuti, come anche nella stazione C. Per quanto riguarda la stazione B si ha un aumento significativo dell'attività enzimatica nella TGI, mentre i livelli in branchie e piede presentano valori simili. Differentemente dalle altre stazioni, la stazione D presenta dei valori significativamente decrescenti dalle branchie al piede alla TGI in cui riscontra valori negativi.

Per quanto riguarda la GST è possibile osservare come i valori registrati nella TGI risultino significativamente più alti rispetto alle branchie e al piede in tutte le stazioni oggetto di studio. Prendendo in esame le varie stazioni analizzate non sono presenti sostanziali differenze tra queste nei vari tessuti.

Dall'analisi della LPO i livelli maggiori di attività enzimatica sono stati riscontrati nelle branchie in tutte le stazioni, mentre nel piede è evidente la carenza di tale attività in quanto sono presenti valori molto simili allo zero. Per quanto riguarda la TGI, l'analisi della LPO ha evidenziato la maggiore attività nella stazione A rispetto alle altre stazioni che invece presentano valori simili tra loro. Aspetto paragonabile all'attività rilevata nelle branchie in cui i livelli maggiori sono stati registrati nella stazione A, rispetto alle altre stazioni che hanno mostrato un andamento progressivamente decrescente dalla stazione B alla D.

Considerando il secondo campionamento effettuato in luglio '22 (in toni di arancione in Fig. 10.1.2a-b), dall'analisi della SOD è emerso che non vi sono differenze in tutte le stazioni analizzate nel piede e nelle branchie. Differentemente nella TGI sono stati registrati i livelli maggiori di attività enzimatica. Prendendo a confronto le varie stazioni oggetto di studio, i livelli maggiori di SOD sono stati riscontrati nella stazione A, seguiti dalle stazioni B, C in ordine decrescente ed infine nella stazione D sono presenti i livelli più bassi analizzati nella TGI. Il valore osservato in questa stazione risulta comunque maggiore rispetto alle attività enzimatiche registrate in branchie e piede in tutte le stazioni.

Per quanto riguarda la GPx non state riscontrate sostanziali differenze nei livelli di attività enzimatica nelle varie stazioni. In particolare, i livelli registrati in branchie e TGI. Differentemente l'attività misurata nel piede degli esemplari è risultata negativa, evidenza del fatto che tale proteina non risulta presente in tale tessuto.

Per quanto riguarda la GST, i livelli maggiori sono stati riscontrati nella TGI, seguita da branchie e piede. Andando ad analizzare le stazioni oggetto di studio nei tre tessuti, è possibile notare come non siano presenti

sostanziali differenze dall'analisi dell'enzima nelle branchie. Differentemente la stazione D ha mostrato la maggior attività sia nel piede che nella TGI rispetto alle altre stazioni, seguita dalla stazione A e C nella TGI.

Dall'analisi della LPO è emerso che nel piede degli esemplari si sono riscontrati i livelli minori, in alcuni casi inferiori al limite di rilevabilità, evidenziando la mancanza di attività enzimatica in tale tessuto, differentemente da quanto riscontrato in branchie e TGI. Anche per quanto riguarda questo biomarkers l'attività maggiore è stata rilevata nella TGI, in cui sono presenti sostanziali differenze ad eccezione della stazione C in cui sono presenti i livelli minori rispetto alle altre stazioni.

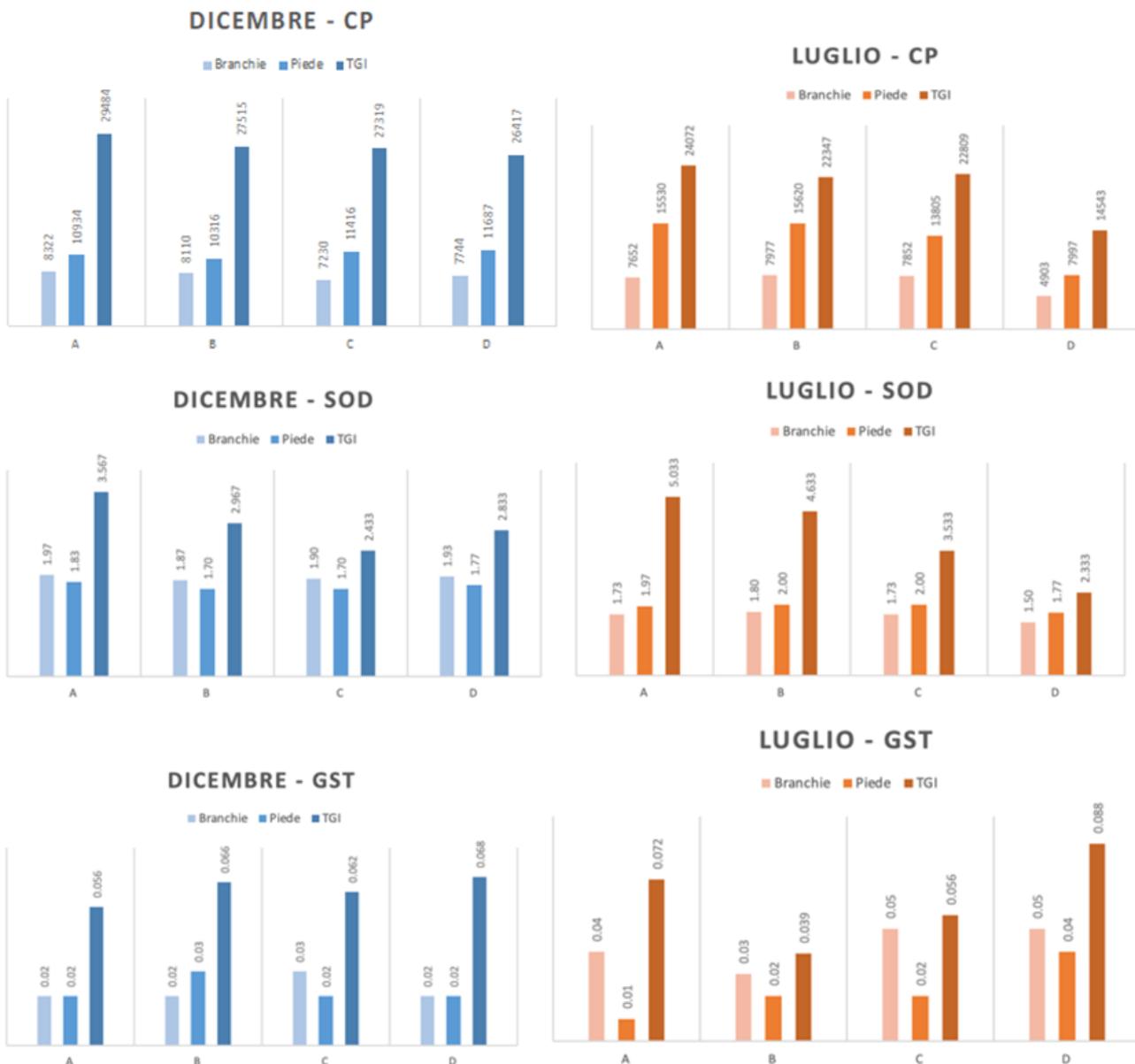


Figura 10.1.2a. I grafici riportano i dati medi raggruppati per stazione di campionamento (A, B, C, D) e per stagione. In particolare, il contenuto proteico CP è espresso in mg/mL, la SOD è espressa in U/mL, la GST in nmol/($\mu\text{g} \cdot \text{min}$), la GPx in $\mu\text{mol}/\text{mg}$, LPO in U/mg.

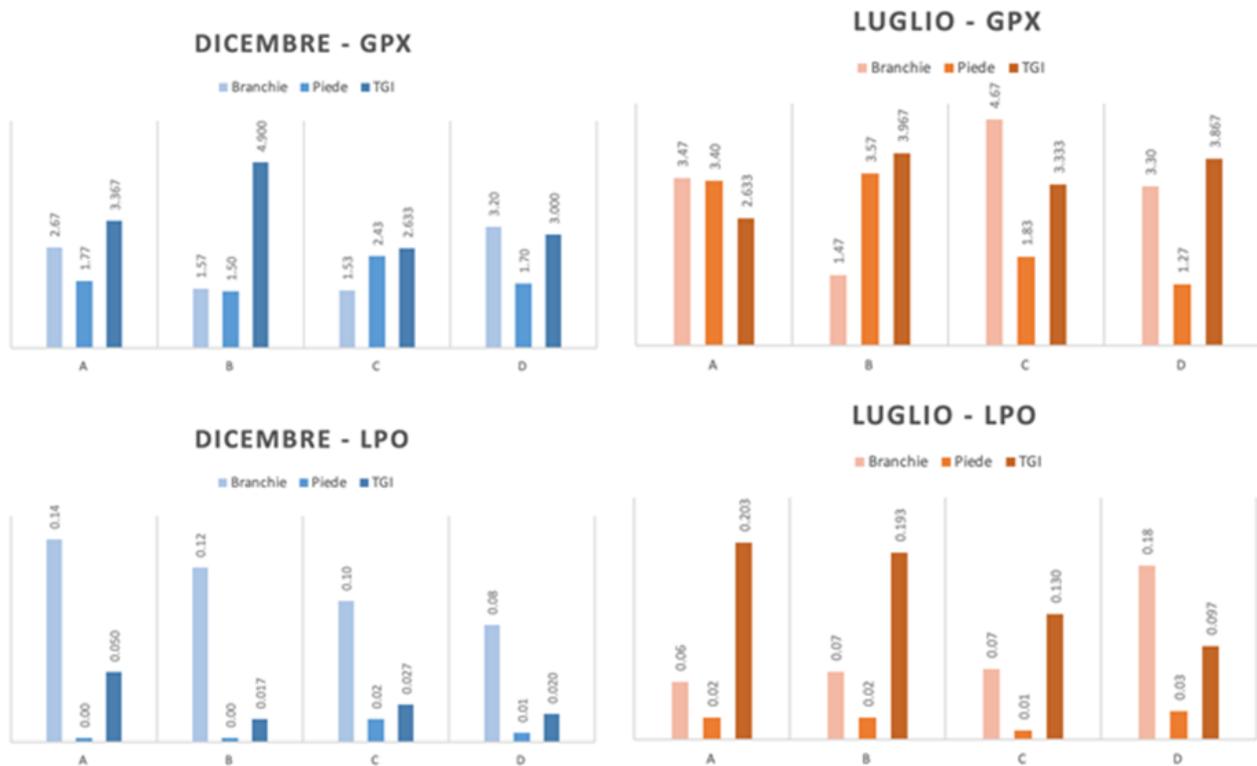


Figura 10.1.2b. I grafici riportano i dati medi raggruppati per stazione di campionamento (A, B, C, D) e per stagione. In particolare, il contenuto proteico CP è espresso in mg/mL, la SOD è espressa in U/mL, la GST in nmol/(µg*min), la GPx in µmol/mg, LPO in U/mg.

In relazione ai parametri oggetto di indagine non si riscontrano andamenti evidenti legati alla stazione di campionamento (A-D) seppure per alcuni *biomarkers* nell'ambito della stessa campagna di campionamento. Nonostante ulteriori approfondimenti siano necessari per valutare la significatività del dato acquisito, le maggiori variazioni sembrano essere legate alla stagione (campagna di campionamento) con le principali variazioni riscontrate in estate durante la quale si osservano livelli di perossidazione lipidica LPO elevati nel tessuto TGI. I livelli di GPx mostrano un incremento nel tessuto branchiale della stazione A e C nel periodo estivo rispetto alla stagione invernale. Il contenuto proteico totale estratto è significativamente minore nelle stazioni prelevate durante il periodo estivo rispetto ai livelli misurati a dicembre in particolare nella stazione D che mostra i decrementi maggiori. Un incremento significativo della SOD si riscontra nel TGI durante il periodo estivo. Non si riscontrano, invece, variazioni di rilievo tra le stazioni in merito ai livelli GST.

In generale le analisi statistiche sono state condotte per verificare le differenze univariate tra coppie di variabili per ognuno dei *biomarkers* oggetto di studio. I test statistici (Test-t) sono stati condotti per verificare la significatività delle differenze riscontrate tra stazioni di campionamento nell'ambito della stessa stagione (dicembre AvsB; AvsC; AvsD ecc.) tra stazioni di campionamento corrispondenti nell'ambito delle due diverse campagne (A-dic vs A-lug) e tra campagne di campionamento (dicembre *versus* luglio).

I risultati mostrano una differenza statisticamente significativa tra campagne di campionamento per il contenuto proteico (CP) nel tessuto TGI ($p < 0,01$) dovuto alle differenze statisticamente significative tra le stazioni A, C, D confrontate per coppie di campagne diverse. Piede e branchie non forniscono un quadro significativo nel suo



complesso. La SOD mostra significativa differenza tra campagne per tutti i tessuti testati. In questo caso le alterazioni sono significative anche confrontando le stazioni del transetto nell'ambito della stessa stagione. GST mostra valori significativi per le branchie. LPO mostra valori significativamente diversi per quanto riguarda la campagna di campionamento nei tessuti piede e TGI; tale differenza è dovuta alla stazione A e B che mostrano la maggiore significatività.

I risultati ottenuti sembrano suggerire una condizione di maggiore stress ambientale durante il periodo estivo che è in linea con la possibile occorrenza della stagione riproduttiva e con possibili incrementi termici e picchi di calore che possono avere indotto una maggiore condizione di stress ambientale. La dipendenza riscontrata nella variazione stagionale dell'attività antiossidante degli enzimi SOD e CAT e la presenza di perossidazione lipidica nella specie testata sono in linea con la letteratura specifica (Vlahogianni et al., 2007).

Rispetto alle stazioni di campionamento non emergono andamenti evidenti seppure in alcuni casi la stazione D mostri una condizione di stress particolare.

Nel futuro sono necessarie ulteriori indagini per approfondire i risultati ottenuti in modo da valutare se esiste un effetto sinergico dello stress termico e riproduttivo riscontrato durante la stagione estiva con fattori interferenti e di contaminazione locali. Questi approfondimenti risultano necessari per comprendere meglio la significatività dei fattori ambientali sullo stress biochimico rispetto a quelli di potenziale origine antropica per valutare se sono possibili azioni di contenimento degli impatti per la riduzione delle interferenze sulla popolazione di fasolari.

WP 11. Condivisione, facilitazione, divulgazione, comunicazione dei risultati



11.1 Attività di condivisione e facilitazione

L'obiettivo principale dell'azione 11.1 è stato quello di promuovere la discussione continuativa con il maggior numero possibile di pescatori del territorio e eventuali altri portatori di interesse, laddove possibile.

Per lo svolgimento di questa azione è risultato fondamentale il supporto delle associazioni di settore e delle cooperative che si sono fatte parte attiva nell'organizzazione degli incontri supportando sia la partecipazione ai questionari relativi al LEK ma anche ai successivi momenti di discussione sulle problematiche del settore e le possibili soluzioni. Gli incontri si sono svolti presso le sedi delle cooperative e/o presso i due mercati di Grado e di Marano.

Di seguito vengono descritti i temi di maggior interesse per il comparto produttivo e le relative criticità/opportunità evidenziate dagli operatori:

Fasolaro (Callista chione)

Per questa risorsa la principale problematica emersa è sostanzialmente legata alla gestione della pesca su base sovra-compartimentale con il Veneto e alla scelta del mestiere di pesca, che dovrebbe rinnovarsi entro fine anno 2023. Gli operatori hanno evidenziato come finora il Consorzio abbia gestito la turnazione delle imbarcazioni attraverso un piano di solidarietà interno; la situazione tuttavia al momento non appare più sostenibile. Questo crea pertanto un problema con il Veneto perché la proposta di Cogemo è quella di mettere tutte le 40 imbarcazioni a fasolari, anche in considerazione della sostanziale assenza della risorsa Chamelea gallina. La possibilità che questo possa avverarsi è legata all'accettazione di un accordo da parte del Veneto, che dovrebbe acconsentire a spostare le proprie imbarcazioni a vongole e non è affatto scontato, anzi.

Il tema non è nuovo e durante gli incontri è stato evidenziato come questo sia già stato portato all'attenzione dei politici regionali di riferimento da parte delle associazioni di categoria. L'accordo tra Consorzi dei Compartimenti marittimi di Monfalcone e Chioggia e Venezia riporta tutti i riferimenti sul tema.

Lupino, Vongola Comune (Chamelea gallina)

Il settore della pesca e in particolare della vongola, vive da anni una situazione di grande difficoltà, dovuta presumibilmente all'evoluzione ambientale derivante dai cambiamenti climatici: carenza di nutrienti nelle acque lagunari e marine, innalzamento delle temperature, che comportano l'invasione di specie alloctone, spesso nocive, come gli ctenofori, le meduse, il granchio blu e contestualmente un significativo depauperamento di specie autoctone, come la vongola, che non viene più pescata a fini commerciali dal 2018.

Durante gli incontri è emerso che il Co.Ge.Mo. di Monfalcone, incaricato dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MIPAAF) per la gestione delle risorse molluschi bivalvi nel Compartimento Marittimo di Monfalcone (DM 44/1995), si trova quindi da anni a gestire una situazione critica dovuta a diversi eventi di moria che si sono susseguiti dal 2016 e perdurano ancora oggi e che hanno comportato una quasi totale estinzione della risorsa Chamelea g. dagli areali del Compartimento marittimo di Monfalcone. A partire dal 2016, per far fronte a questa situazione, si è attivata una forte collaborazione con gli altri consorzi dell'Alto

Adriatico (Venezia e Chioggia) per avviare percorsi di riattivazione produttiva prelevando risorse dagli altri compartimenti e verificandone l'attecchimento e l'accrescimento in alcune aree costiere del FVG. Purtroppo, alcuni eventi meteomarinari eccezionali (tempesta Vaia e fenomeno acquagranda), verificatisi tra fine 2018 e 2019, hanno parzialmente vanificato questi tentativi.

I professionisti indicano una scarsa densità di prodotto, in particolare per quanto riguarda gli esemplari di taglia commerciale, in un'area che si estende da Lignano al Banco Mula di Muggia, con gradiente discendente ovest- est con riferimento alla presenza di *Chamelea g.*

Un'ulteriore problematica evidenziata dagli operatori è che le numerose attività antropiche legate ad operazioni di ripascimento e all'infrastrutturazione del litorale, le numerose aree di protezione e di restrizione all'esercizio della pesca e il progressivo estendersi delle praterie di fanerogame, rendono sempre più difficile il mestiere della pesca nelle aree oltre le 0,3 miglia nautiche dalla costa. Peraltro i professionisti hanno preso parte a numerose campagne di monitoraggio sullo stato della risorsa effettuate nel corso degli anni con il loro supporto operativo; in quest'ambito hanno constatato come gli areali produttivi per la risorsa *Chamelea g.*, sono limitati alla fascia costiera entro le 0,5 miglia dalla costa e, in alcuni casi, quasi esclusivamente entro le 0,3 miglia.

Alla luce di queste problematiche, nel mese di agosto del 2022, i Consorzi di Gestione del Veneto e del FVG, hanno presentato al Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Direzione Generale della Pesca Marittima e dell'Acquacoltura, una richiesta di rinnovo alla sperimentazione della pesca della specie *Chamelea g.* in alcuni ambiti dei Compartimenti marittimi di Monfalcone e Venezia entro le 0,3 miglia nautiche, ai sensi della normativa comunitaria.

Nel mese di dicembre 2022, il neo insediato "Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste" (MASAF) ha indirizzato ai Consorzi un parere con nulla osta al rinnovo di tale sperimentazione, tuttavia imponendo alcune prescrizioni:

- Dev'essere indicato un numero massimo di 6 imbarcazioni per ciascun Compartimento, munite di documento autorizzativo alla pesca con l'attrezzo "draghe meccanizzate comprese le turbosoffianti";
- Il prodotto catturato deve essere sbarcato presso punti di sbarco preventivamente individuati e lo stesso non deve essere commercializzato per uso alimentare umano;
- La destinazione del prodotto pescato dovrà essere concordata con l'ente incaricato alla raccolta dei dati e al monitoraggio della sperimentazione;
- Viene indicato l'Istituto AGRI.TE.CO quale soggetto incaricato di trasmettere la relazione contenente le indicazioni e i dati raccolti, che faranno parte integrante del piano di monitoraggio.

Nei primi mesi del 2023 Legacoop FVG e Cogemo hanno affrontato il tema di come attivare la campagna sperimentale, delle imbarcazioni da impiegare nella raccolta e delle modalità per avviare il piano di campionamento e definire le possibili destinazioni del prodotto.

Dai colloqui con il CdA e con i soci del Consorzio, emerge che le gravi difficoltà che la categoria sta attraversando, a causa del perdurare della scarsità di prodotto, che ha già comportato l'avvio di strategie di solidarietà tra soci pescatori di vongole e fasolari, rende ulteriormente difficile affrontare questo genere di sperimentazione, a fronte dei costi per l'uscita delle imbarcazioni destinate al prelievo (aggravate



dall'aumento dei prezzi del carburante a seguito del conflitto in Ucraina), ma in assenza di un reddito per i pescatori derivante dalla commercializzazione del prodotto.

Problematiche generali del comparto

Dal 2018 negli areali del FVG Chamelea non si pesca più, tanto che il Co.Ge.Mo ha dovuto ricorrere a forme di turnazione delle imbarcazioni per la pesca dei soli fasolari, l'unica risorsa che attualmente garantisce un reddito, ma attraverso forme di solidarietà interna che hanno naturalmente conseguenze economiche negative per i pescatori. Sono state sperimentate diverse iniziative di restocking, già a partire dal 2016, prelevando la risorsa da alcuni siti donatori del Veneto e portando il prodotto negli areali del FVG, ma non è ancora chiaro quali siano le ricadute reali che questi progetti hanno generato. Questo anche perché il prodotto è stato seminato per molta parte entro le 0,3 MN, zona entro la quale le draghe non possono pescare. Gli operatori intendono segnalare a questo proposito che nel litorale del Friuli Venezia Giulia è molto difficile seminare oltre le 0,3 MN per la massiccia presenza di fanerogame, associate a tutta una serie di altre restrizioni, zone di rispetto, ecc.

Per questo motivo è stata richiesta al Ministero una deroga per la pesca sperimentale entro le 0,3 MN, non a fini commerciali. Ad oggi, nonostante il nulla osta ricevuto dal Ministero e la successiva indicazione delle imbarcazioni individuate per la pesca sperimentale, che sono state trasmesse a Bruxelles, non sono ancora arrivati i permessi necessari per avviare la sperimentazione.

Utilizzo del rastrello a mano

La principale problematica evidenziata dai pescatori professionali nell'ambito degli incontri organizzati anche con la partecipazione del Consorzio di Gestione Molluschi del Compartimento Marittimo di Monfalcone, è la concorrenza della pesca illegale, che viene praticata con attrezzi non autorizzati, all'interno di aree precluse agli stessi pescatori professionali con un evidente danno di natura economica; al danno economico inferto ai professionisti si aggiungono i rischi legati alle possibili conseguenze derivanti dal consumo di prodotto non conforme ai requisiti sanitari.

Tra le proposte degli operatori c'è l'ampliamento dell'utilizzo del rastrello a mano; questa proposta risulta però poco gradita al Co.Ge.Mo, per la sostanziale sfiducia da parte di chi lavora con le draghe meccanizzate nei confronti dei pescatori che andrebbero ad utilizzare i rastrelli manuali. Un'altra motivazione alla resistenza nel supportare questo tipo di proposta è quella di non voler creare scontenti e attriti all'interno del Consorzio, concedendo solo ad alcuni l'accesso delle zone precluse alle draghe idrauliche. Queste zone, si troverebbero infatti entro le 0,3 miglia nautiche dalla costa, area preclusa ai mezzi meccanizzati. Su tali aree, infatti, è stata richiesta una deroga per la pesca sperimentale di molluschi con draga idraulica, autorizzata dal MASAF, ma le pratiche per la concessione dei permessi alle imbarcazioni indicate per i monitoraggi sono ancora al vaglio degli Uffici pesca della commissione europea. Una ulteriore motivo di preoccupazione da parte dei soci di COGEMO è che su questa area negli ultimi anni sono stati seminati grandi quantitativi di prodotto a fini di ripopolamento produttivo che in caso di ampliamento dell'uso del rastrello a mano sarebbero oggetto di pesca, rendendo vano il piano di monitoraggio con pesca sperimentale autorizzato dal MASAF finalizzato a valutarne l'efficacia.

Tutti concordi invece durante gli incontri sul problema della pesca abusiva, sia da parte di pescatori ricreativi che eccedono nei quantitativi pescati, che da parte di non professionisti che utilizzano rastrelli e imbarcazioni per immettere direttamente il prodotto sul mercato.

L'abusivismo

Se c'è un problema che tutti gli operatori sollevano è quello dei pescatori abusivi che operano senza permessi né regolamentazioni, raccolgono quantitativi non dichiarati di prodotto sottraendoli a chi lo fa per mestiere, alimentando il mercato nero e immettendo sul mercato un prodotto privo dei necessari controlli sanitari. Quando poi emerge una problematica di origine sanitaria a causa del malessere diagnosticato a persone che hanno consumato il prodotto, le conseguenze negative si riflettono su tutta la categoria.

A solo titolo di esempio come riportato da alcuni partecipanti alla riunione si ricordava l'episodio del pescatore abusivo che il 19 giugno 2020 è stato intercettato dalla guardia costiera mentre trasportava 80 kg di pesce senza tracciatura né dovuti accorgimenti sanitari, oltre ad un notevole quantitativo di molluschi bivalvi sotto taglia

(<https://www.triestepima.it/cronaca/pesca-illegale-sequestrati-140-chili-pesce.html>)

Laquna e Tapes

Per quanto attiene il tema della pesca in laguna e in particolare della vongola verace e filippina gli operatori hanno evidenziato come il sistema sia in sofferenza e non riesca più a garantire quantitativi sufficienti al sostentamento degli operatori. All'evidente problema della disponibilità di risorsa si aggiungono ulteriori fattori tra cui la scomparsa di realtà importanti come la ALMAR un referente importante per la raccolta di informazioni specifiche essenziale per la pianificazione e il monitoraggio in Laguna.

Altro problema emerso è stato quello sulla proliferazione del granchio reale blu (*Callinectes sapidus*); come ormai noto è una specie aliena per il Mar Mediterraneo, originario delle coste Atlantiche dell'America, oggi massivamente presente tra le coste del Mediterraneo, in particolare in Adriatico dove le prime segnalazioni risalgono al 1949. Solo però da circa una decina di anni il granchio blu ha cominciato a svilupparsi e diffondersi maggiormente. Si tratta di una specie molto tollerante e adattabile e aggressiva, un predatore che si nutre per circa il 40% di gasteropodi e bivalvi (cozze, vongole, telline, ostriche,...) e che in laguna ha distrutto il poco che c'era. Tra le specie a rischio a causa del granchio blu anche il Cerastoderma (cuore di laguna), una specie sulla quale gli operatori, le associazioni hanno molto lavorato perché fosse valorizzato.

11.2 Attività di divulgazione

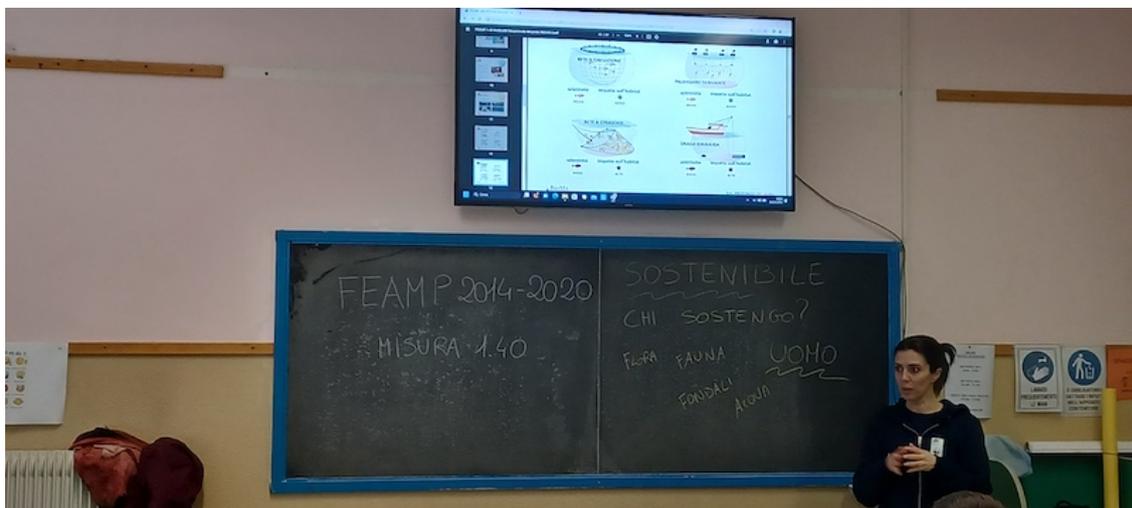
Target prioritario delle attività divulgative è stata la comunità dei due Comuni interessati dalle attività di progetto, attraverso la realizzazione di un **programma educativo rivolto alle scuole di Grado e Marano Lagunare** progettato e condotto dallo staff del WWF Area Marina Protetta di Miramare.

Durante l'anno scolastico 2022/23 sono state coinvolte 8 classi di scuole primarie e secondarie dei due Comuni, dalla classe seconda alla classe quinta della scuola primaria "Dante Alighieri" dell'IC "Marco Polo" di

Grado e dalla classe prima alla classe terza della scuola secondaria dell'IC "C. Cavour" di Palazzolo dello Stella, sede di Marano Lagunare, raggiungendo un totale di 149 alunni.

Per ogni singola classe coinvolta, l'attività educativa ha previsto una iniziale presentazione del Progetto, con un approfondimento sulle specie allevate e pescate nella laguna di Grado e Marano e focus specifico sulla biologia ed ecologia della comunità dei bivalvi del Friuli Venezia Giulia, delle comunità di bivalvi, analizzando le caratteristiche degli habitat che li ospitano, i cicli trofici che li alimentano, la sostenibilità dello sfruttamento e la produttività.

Il tema più generale della sostenibilità della pesca, tra tecniche e strumenti di pesca, zone FAO di provenienza, taglie minime e stagionalità, è stato affrontato nella seconda parte del modulo didattico con un lavoro analitico da parte degli studenti, tramite l'utilizzo di schede relative alle specie ittiche allevate e pescate nell'Alto Adriatico. Alla fine dell'attività, ogni gruppo ha esposto alla classe il lavoro eseguito, spiegando e commentando la sostenibilità delle varie specie di cui si sono occupati.



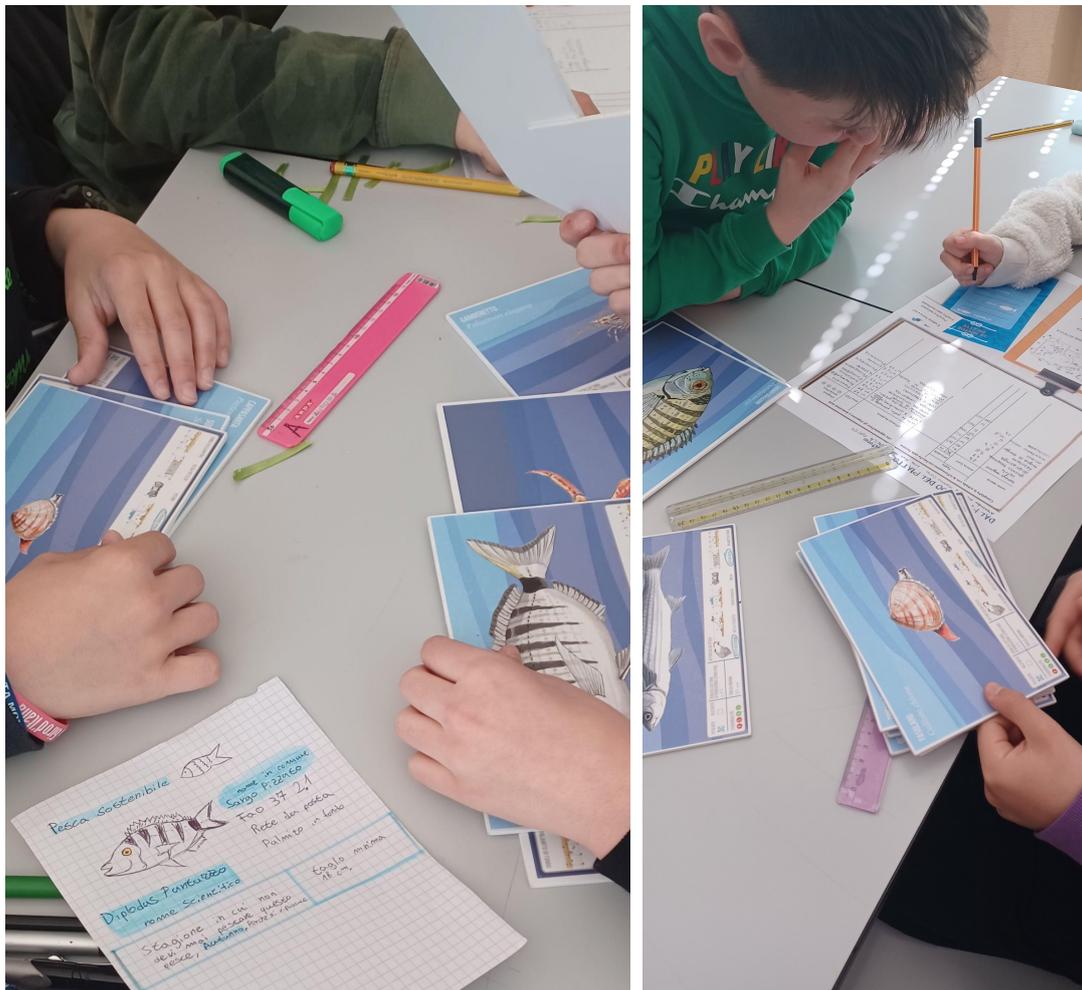


Figure 11.2.1 – 11.2.3. Alcuni momenti delle attività educative condotte dallo staff WWF AMP Miramare presso le scuole di Grado e Marano Lagunare.

Ai fini della divulgazione e comunicazione del Progetto è stato inoltre realizzato un **video-clip** di 7 minuti che illustra le attività di ricerca svolte, le finalità e i risultati conseguiti, attraverso interviste ai biologi e ricercatori di OGS e della cooperativa Shoreline e ai pescatori coinvolti nelle attività, nonché tramite riprese video delle attività di campionamento, monitoraggio, marcatura dei fasolari e pesche sperimentali.

Il video clip è stato caricato sul canale youtube di OGS per la sua diffusione e condivisione attraverso i principali social dell'ente, in grado di raggiungere oltre 10mila persone.

Video visionabile su: https://www.youtube.com/watch?v=2hu_IMKFGKA&t=93s



Figura 11.2.4. Copertina del video-clip “Sostenibilità dello sfruttamento delle comunità a bivalvi del Friuli Venezia Giulia”.

BIBLIOGRAFIA

- Agriteco, 2020. Piano di ristrutturazione economico, sociale, ambientale in Alto Adriatico per le risorse vongole e fasolari approvato nell'accordo del 05 novembre 2015 e ratificato dal Ministero con nota DG PEMAC n° 0026635 del 17/12/2015
- Allouche O, Tsoar A, Kadmon R (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43(6), pp. 1223–1232, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>.
- Avancini M, Cicero AM, Di Girolamo I, Innamorati M, Magaletti E, Sertorio Zunini T (Eds) (2006). Guida al riconoscimento del plancton dei mari italiani, Vol II - Zooplancton neritico, 232pp, 134 tavv. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – ICRAM, Roma.
- Badary OA, Abdel-Maksoud S, Ahmed WA, Owieda GH, (2005). Naringenin attenuates cisplatin nephrotoxicity in rats. *Life sciences*, 76(18), 2125-2135.
- Baeta M, Ramón M, Galimany E (2014). Decline of a *Callista chione* (Bivalvia: Veneridae) bed in the Maresme coast (northwestern Mediterranean Sea). *Ocean & Coastal Management*, 93, pp. 15–25, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.03.001>.
- Baro J et al. (2018). Exploitation status and stock assessment of the smooth clam *Callista chione* (Linnaeus, 1758) in the northern Alboran Sea (GSA01-W Mediterranean Sea). *Mediterranean Marine Science*, 19(1), p. 1, <https://doi.org/10.12681/mms.14193>.
- Benedetti-Cecchi L, (2004). Experimental design and hypothesis testing in ecology. *Biol. Mar. Medit.* 11 (1), 407–455.
- Berkes F., Colding J., Folke C. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 10: 1251–1262
- Berrilli, F., G. Ceschia, C. De Liberato, D. Di Cave & P. Orecchia. 2000. Parasitic infections of *Chamelea gallina* (Mollusca, Bivalvia) from commercially exploited banks of the Adriatic Sea. *Bull. Eur. Fish Pathol.*, 20: 199-205.
- Bocchetti R, Regoli F, (2006). Seasonal variability of oxidative biomarkers, lysosomal parameters, metallothioneins and peroxisomal enzymes in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* from Adriatic Sea. *Chemosphere* 65 (6), 913–921.
- Boltovskoy D (1999). South Atlantic Zooplankton. Boltovskoy D (Ed), Backhuys Publishers, Leiden, Vol I (p1-868), II (p 869-1706)
- Bostock H, Jenkins C, Mackay K, Carter L, Nodder S, Orpin A, Pallentin A, Wysoczanski R (2018). Distribution of surficial sediments in the ocean around New Zealand/Aotearoa. Part B: Continental shelf. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, doi.org/10.1080/00288306.2018.1523199.

- Bouzaidi H et al. (2020). Stock assessment and spatial distribution of the smooth clam *Callista chione* (Linnaeus, 1758) exploited in the occidental Mediterranean Sea of Morocco. *AACL Bioflux*, 13(3), pp. 1268–1284.
- Brambati A, Ciabatti M, Fanzutti GP, Marabini F, Marocco R (1983). A new sedimentological textural map of the northern and central Adriatic Sea. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata*, 1: 267-271.
- Brambati A, Ciabatti M, Fanzutti GP, Marabini F, Marocco R (1988). Carta sedimentologica dell'Adriatico Settentrionale. P.F. Oceanografia e Fondi Marini. Ist. Geogr. De Agostini Novara.
- Cabrini M, Cerino F, de Olazabal A, Di Poi E, Fabbro C, Fornasaro D, Goruppi A, Flander-Putrlle V, Francé J, Gollasch S, Hure S, Lipej L, Lučić D, Magaletti E, Mozetič P, Tinta T, Tornambè A, Turk V, Uhan J, David M (2019). Potential transfer of aquatic organisms via ballast water with a particular focus on harmful and non-indigenous species: a survey from Adriatic ports. *Mar. Poll. Bull.* 147: 16-35. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.004>.
- Cabrini M, Cok S, Tulli F (1993). Seasonal dynamics of the phytoplankton in the lagoon of Marano (Northern Adriatic Sea). *Giornale Botanico Italiano*, 127 (4): 847-849.
- Cabrini M, Fornasaro D, Cossarini G, Lipizer M, Virgilio D (2012). Phytoplankton temporal changes in a coastal northern Adriatic site during the last 25 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 113-124. doi.org/10.1016/j.ecss.2012.07.007.
- Calace N, Cardellicchio N, Petronio BM, Pietrantonio M, Pietroletti M (2006). Sedimentary humic substances in the northern Adriatic sea (Mediterranean sea). *Marine Environmental Research* 61: 40-58.
- Canestri-Trotti G, Baccarani EM, Paesanti F, Turolla E. Monitoring of infections by protozoa of the genera *Nematopsis*, *Perkinsus* and *Porospora* in the smooth venus clam *Callista chione* from the North-Western Adriatic Sea (Italy). *Dis Aquat Organ.* 2000 Aug 31;42(2):157-61. doi: 10.3354/dao042157. PMID: 11023256.
- Canu, D. M., Campostrini, P., Riva, S. D., Pastres, R., Pizzo, L., Rossetto, L., & Solidoro, C. (2011). Addressing sustainability of clam farming in the Venice lagoon. *Ecology and Society*, 16(3), 20. <https://doi.org/10.5751/es-04263-160326>
- Cardin V, Civitarese G, Hainbucher D, Bensi M, Rubino A (2015). Thermohaline properties in the Eastern Mediterranean in the last three decades: Is the basin returning in the pre-EMT situation? *Ocean Sci.* 11 (1): 53–66.
- Castellani C, Edwards M (2017). *Marine Plankton. A Practical Guide to Ecology, Methodology and Taxonomy.* Castellani C, Edwards M (Eds), Oxford University Press, Oxford, 679 pp.
- Cavanaugh, J. E., & Neath, A. A. (2019). The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 11(3), e1460.



- Cerino F, Fornasaro D, Kralj M, Giani M, Cabrini M (2019). Phytoplankton temporal dynamics in the coastal waters of the north-eastern Adriatic Sea (Mediterranean Sea) from 2010 to 2017. *Nature Conservation* 34: 343-372.
- Civitaresse G, Gacić M, Lipizer M, Borzelli G L E (2010). On the impact of the Bimodal Oscillating System (BiOS) on the biogeochemistry and biology of the Adriatic and Ionian Seas (Eastern Mediterranean). *Biogeosciences*, 7: 3987-3997.
- Clarke KR, Gorley RN, Sommerfield PJ, Warwick RM (2014). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 3rd edition. PRIMER-E: Plymouth.
- Coglievina C et al. (2014). The stock status of *Callista chione* (Linnaeus, 1758) exploited in the Gulf of Trieste. p. 10.
- Colantoni P, Fanzutti GP, Marocco R (1985). *Geologia della piattaforma adriatica*. Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini, Sottoprogetto Risorse Minerarie, Rapporto tecnico finale, 59-85.
- Conversi A, Fonda Umani S, Peluso T, Molinero JC, Santojanni A, Edwards M (2010). The Mediterranean Sea regime shift at the end of the 1980s, and intriguing parallelisms with other European basins. *Plos one*, 5(5), e10633.
- Cossarini G, Solidoro C, Fonda Umani F (2012). Dynamics of biogeochemical properties in temperate coastal areas of freshwater influence: lessons from the Northern Adriatic sea (Gulf of Trieste). *Estuarine Coastal Shelf Science*, 115: 63-74.
- Cotou E, Tsangaris C, Henry M (2013). Comparative Study of Biochemical and Immunological Biomarkers in Three Marine Bivalves Exposed at a Polluted Site. *Environ Sci Pollut Res Int*, 20(3):1812-22.
- Cozzi S, Cabrini M, Kralj M, De Vittor C, Celio M, Giani M (2020). Climatic and anthropogenic impacts on environmental conditions and phytoplankton community in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Water*, 12(9):2652. <https://doi.org/10.3390/w12092652>.
- Cozzi S, Falconi CF, Comici C, Čermelj B, Kovac N, Turk V, Giani M (2012). Recent evolution of river discharges in the Gulf of Trieste and their potential responses to anthropogenic pressure and climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115:14-24.
- Cozzi S, Giani M (2011). River water and nutrient discharges in the Northern Adriatic Sea: current importance and long term changes, *Continental Shelf Research*, 31: 1881-1893.
- Da Ros L, Moschino V, Meneghetti F, Marin MG (2005) Aspetti del ciclo riproduttivo e del metabolismo energetico di *Tapes philippinarum* in Laguna di Venezia. In: Boatto V, Pellizzato M, La filiera della vongola – *Tapes philippinarum* in Italia, Franco Angeli, pp. 77-88.
- Dang C, de Montaudouin X, Gam M, Paroissin C, Bru N, Caill-Milly N (2010) The Manila clam population in Arcachon Bay (SW France): Can it be kept sustainable? *Journal of Sea Research*, 63: 108-118.
- De Jonge VN (1979). Quantitative separation of benthic diatoms from sediment using density gradient centrifugation in the colloidal Silica Ludox-TM. *Marine Biology*, 51: 267-278.



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Dallares S, Carrasco N, Alvarez-Munoz D, Rambla-Alegre Montserrat S (2018). Multibiomarker Biomonitoring Approach using three bivalve species in the Ebro Delta (Catalonia, Spain). *Environ Sci Pollut Res Int*, 25(36): 36745-36758.

De Vittor C, Paoli A, Fonda Umani S (2008). Dissolved organic carbon variability in a shallow coastal marine system (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78: 280–290.

Decreto del Direttore del Servizio caccia e risorse ittiche 15.03.2018, n. 1174

Decreto Ministeriale Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari, e Forestali, 1995, Regolamento recante norme sulla costituzione di consorzi tra imprese di pesca per la cattura dei molluschi bivalvi. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* n.46 del 24/2/1995. (D.M. 29/05/1993;

Decreto Ministeriale Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari e Forestali 1998, Regolamento recante disciplina delle attività dei consorzi di gestione dei molluschi bivalvi. 1/12/1998.

Decreto Ministeriale Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari, e Forestali, 2000, Disciplina della pesca dei molluschi bivalvi. Modifiche al DM 21/7/1998. 22/12/2000

Decreto Ministeriale Ministero delle Risorse Agricole, Alimentari, e Forestali, 2023, Adozione del Piano Nazionale di Gestione dei rigetti degli stock della vongola *Venus spp.* (*Chamelea gallina*).

Devauchelle N (1990) Sexual development and maturity of *Tapes Philippinarum*. *Tapes philippinarum*, biology and experimentation. ESAV. Ed. Verone. pp. 48-62.

Donald CR, Larry FB (1982). The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successional perspective. In: *Animals-sediment Relations*. McCall, PL, Tevesz, MJS (Eds). Springer Science Business Media, New York.

Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PT, Smith F, (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.

Elia AC, Burioli E, Magara G, Pastorino P, Caldaroni B, Menconi V, Prearo M, (2020). Oxidative stress ecology on Pacific oyster *Crassostrea gigas* from lagoon and offshore Italian sites. *Science of The Total Environment*, 739, 139886.

Ezgeta-Balić D et al. (2011). Age, growth, and population structure of the smooth clam *Callista chione* in the eastern Adriatic Sea. *Helgoland Marine Research*, 65(4): 457–465, <https://doi.org/10.1007/s10152-010-0235-y>.

Faganeli J, Ogrinc N, Kovac N, Kukovec K, Falnoga I, Mozetic P, Bajt O (2009). Carbon and nitrogen isotope composition of particulate organic matter in relation to mucilage formation in the northern Adriatic Sea. *Marine Chemistry* 114(3-4): 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2009.04.005>.

Faganeli J, Planinc R, Pezdič , Smodiš B, Stegnar P, Ogorelec B (1991). Marine geology of the Gulf of Trieste (northern Adriatic): Geochemical aspects. *Marine geology* 99: 93-108.



Falace, A. et al. (2010). Changes in the benthic algae along the Adriatic Sea in the last three decades. *Chemistry and Ecology*, 26(sup1): 77–90. Available at: <https://doi.org/10.1080/02757541003689837>.

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: 1833-1851. <https://doi.org/10.5194/bg-19-1833-2022>.

FAO. 2022. The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries 2022. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc3370en>

Fonda Umani S, Del Negro P, Larato C, De Vittor C, Cabrini M, Celio, M, Falconi C, Tamberlich F, Azam F (2007). Major interannual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) and their ecosystem implications. *Aquatic Microbiology and Ecology* 46: 163-175.

Forster GR (1981) The age and growth of *Callista Chione*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 61(4): 881-883. <https://doi.org/10.1017/S002531540002302X>

Fortibuoni T, Giovanardi O, Pranovi F, Raicevich S, Solidoro C, Libralato S (2017). Analysis of long-term changes in a Mediterranean marine ecosystem based on fishery landings. *Frontiers in Marine Science* 4: 33.

Galimany E. et al. (2015). Reproduction and size at first maturity in a Mediterranean exploited *Callista chione* bivalve bed. *Scientia Marina* 79(2): 233–242. <https://doi.org/10.3989/scimar.04155.13A>

Gambi MC, Dappiano M (2003) Manuale di metodologie di campionamento e studio del bentos marino mediterraneo. Edizioni Biologia Marina Mediterranea Vol 10 (suppl): 109-144.

Gao R, Yuan Z, Zhao Z, Gao X, (1998). Mechanism of pyrogallol autoxidation and determination of superoxide dismutase enzyme activity. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 45(1), 41-45.

GBIF.org (25 August 2023) GBIF Occurrence Download, <https://doi.org/10.15468/dl.44av6j>

Giani M, Berto D, Rampazzo F, Savelli F, Alvisi F, Giordano P, Ravaioli M, Frascari F (2009). Origin of sedimentary organic matter in the north-western Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84: 573-583.

Giani M, Berto D, Rampazzo F, Savelli F, Alvisi F, Giordano P, Ravaioli M, Frascari F (2009). Origin of sedimentary organic matter in the north-western Adriatic Sea. *Estuar. Coastal Shelf Sci.*, 84: 573-583.

Giani M, Savelli F, Berto D, Zangrando V, Čosović B, Vojvodić V (2005). Temporal dynamics of dissolved and particulate organic carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events. *Science of the Total Environment*, 353: 126– 138.

Giani, M. et al. (2012) Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.08.023>.

Gordini E, Caressa S, Marocco R (2004). Nuova carta morfo-sedimentologica del golfo di Trieste da Punta Tagliamento alla foce dell'Isonzo. *Gortania Atti Museo Friulano di Storia Naturale*, 25: 5-29.

Grasshoff K, Ehrhardt M, Kremling K (1983). *Methods of Seawater Analysis*. 2nd Edition, Verlag Chemie Weinheim, New York, 419 p.

Gray JS (2000). The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 23-49.

Gray JS, Elliott M (2009). *Ecology of marine sediments*. Oxford University Press, 1-225.

Grazioli, E., Guerranti, C., Pastorino, P., Esposito, G., Bianco, E., Simonetti, E., Rainis, S., Renzi, M. and Terlizzi, A., 2022. Review of the scientific literature on biology, ecology, and aspects related to the fishing sector of the striped Venus (*Chamelea gallina*) in Northern Adriatic Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(9), p.1328.

Guisan A., Edwards TC, Hastie T (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157(2): 89–100. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1).

Habig WH, Pabst MJ, Jakoby WB, (1974). Glutathione S-transferases the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *Journal of biological Chemistry*, 249(22), 7130-7139.

Hafen R (2016). *_stlplus: Enhanced Seasonal Decomposition of Time Series by Loess_*. R package version 0.5.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=stlplus>>.

Hall CAJr, Dollase WA, Corbatò CE (1974) Shell growth in *Tivela stultorum* (Marwe 1823) and *Callista chione* (L. 1758) (*Bivalvia*): annual periodicity, latitudinal differences and diminution with age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 15: 33-61.

Hansen HP, Koroleff F (1999). Determination of nutrients. In: Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M, *Methods of Seawater Analysis*, 3rd Edition, Wiley-VCH, Weinheim, 600 pp.

Hartig F. (2022). *DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models*. R package version 0.4.6. <http://florianhartig.github.io/DHARMA/>

Hu J, Jia G, Mai B, Zhang G. (2006). Distribution and sources of organic carbon, nitrogen and their isotopes in sediments of the subtropical Pearl River estuary and adjacent shelf, Southern China. *Marine chemistry*, 98(2-4): 274-285. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2005.03.008>.

Huntington HP (2000) Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. *Ecol Appl* 10: 1270–1274.

Jaagus J, Sepp M, Tamm T, Järvet A, Mõisja K (2017). Trends and regime shifts in climatic conditions and river runoff in Estonia during 1951–2015. *Earth System Dynamics*, 8(4), 963-976.

Jenkins CJ (2018). *US Atlantic Margin – Seabed Substrates Mapping (dbSEABED Project)*. Contract 1556912-001 with CSS for NOAA. Unpubl Report, INSTAAR Univ Colorado Boulder, 32pp.

Kempe S, Pettine M, Cauwet G (1991). Biogeochemistry of European Rivers, in: Degens, E.T., Kempe, S., Richey, J.E. (Eds.), *Biogeochemistry of Major World Rivers*. SCOPE, ICSU, UNEP, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 169-211.

- Kuzmanić M, Ezgeta D, Peharda M, Isajlović I (2008) Age, growth and condition index of *Callista chione* in the eastern Adriatic Sea. *Euromalac 2008*, Ávila Sérgio (ed.), Marine Paleogeographic Working Group, pp: 41-41.
- Lamb AL, Wilson GP, Leng MJ (2006). A review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material. *Earth-Science Reviews*, 75, 29-57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.10.003>.
- Lee L.C., Thorley J., Watson J., Reid M., Salomon A.K. 2019. Diverse knowledge systems reveal social-ecological dynamics that inform species conservation status. *Conservation Letters*, 12: e12613.
- Lee S, Wolberg G, Shin SY (1997). 'Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Splines', *IEEE Transactions On Visualisation And Computer Graphics*, Vol.3, No.3
- Legendre L, Legendre P (1983) *Numerical ecology. Developments in environmental modelling.* Elsevier Scient. Publ. Co. Amsterdam. XVI: 419.
- Legendre P, Legendre L (1998). *Numerical Ecology (Second English ed.)*. p. 853.
- Levin LA, Currin C (2012). *Stable isotope protocols: sampling and sample processing.* UC San Diego: Scripps Institution of Oceanography. <https://escholarship.org/uc/item/3jw2v1hh>.
- Lobo J, Costa PM, Caeiro S, Martins M, Ferreira AM, Caetano M, Cesário R, Vale C, Costa MH (2010). Evaluation of the Potential of the Common Cockle (*Cerastoderma edule* L.) for the Ecological Risk Assessment of Estuarine Sediments: Bioaccumulation and Biomarkers. *Ecotoxicology*, 9(8): 1496-512.
- Lorenzen CJ, Jeffrey S (1980). Determination of chlorophyll in seawater. *SCOR-UNESCO, Technical Papers in Marine Science*, 35: 1-20.
- Magara G, Sangsawang A, Pastorino P, Bellezza Oddon S, Caldaroni B, Menconi V, ... Elia AC (2021). First insights into oxidative stress and theoretical environmental risk of Bronopol and Detarox® AP, two biocides claimed to be ecofriendly for a sustainable aquaculture. *Science of the Total Environment*, 778, 146375.
- Manna V, De Vittor C, Giani M, Del Negro P, Celussi M (2021). Long-term patterns and drivers of microbial organic matter utilization in the northernmost basin of the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 164: 105245.
- Marocco R (1989). Lineamenti geomorfologici della costa e dei fondali del Golfo di Trieste e considerazioni sulla loro evoluzione tardo-quadernaria. *International journal of speleology*, 18:2.
- Mattei, N. & Pellizzato, M. (1997) Mollusk Fishery and Aquaculture in Italy. In MacKenzie, Jr., C.L. et al. (eds) (1997) *The History, Present Condition, and Future of the Molluscan Fisheries of North and Central America and Europe*, Volume 3, Europe. Seattle, WA, USA: U.S. Department of Commerce (NOAA Technical Reports NMFS, 129), pp. 201-216
- Mennillo E, Casu V, Tardelli F, De Marchi L, Freitas R, Pretti C, (2017). Suitability of cholinesterase of polychaete *Diopatra neapolitana* as biomarker of exposure to pesticides: in vitro characterization. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 191, 152–159



Metaxatos A (2004) Population dynamics of the venerid bivalve *Callista chione* (L.) in a coastal area of the eastern Mediterranean. *Journal of Sea Research*, 52(4), pp. 293–305, <https://doi.org/10.1016/j.seares.2004.03.001>.

Meyers PA (1997). Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Org. Geochem.* 27, 213–250.

Mihanović H, Vilibić I, Šepić J, Matić F, Ljubešić Z, Mauri E, Gerin R, Notarstefano G, Poulain P-M (2021) Observation, Preconditioning and Recurrence of Exceptionally High Salinities in the Adriatic Sea. *Front. Mar. Sci.* 8: 672210.

MIPAAF. (2013). Ministero delle politiche agricole alimentari, forestali e del turismo, Dipartimento delle politiche competitive, della qualità agroalimentare, ippiche e della pesca direzione generale della pesca marittima e dell'acquacoltura. Piano di gestione nazionale per le attività di pesca con il sistema draghe idrauliche e rastrelli da natante così come identificati nella denominazione degli attrezzi di pesca in draghe meccaniche comprese le turbosoffianti (HMD) e draga meccanizzata (DRB). Allegato 4, Stato delle conoscenze per la specie *Callista chione* (fasolaro).

Morabito G, Mazzocchi MG, Salmaso N, et al. (2018) Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Sci. Tot. Env.* 627: 373-387.

Morri C, Bellan-Santini D, Giaccone G, Bianchi C (2004) Principles of bionomy: definition of assemblages and use of taxonomic descriptors (macrobenthos). *Biologia Marina Mediterranea*, 11 (1): 573-600.

Moura, P., Gaspar, M. and Monteiro, C. (2009) 'Age determination and growth rate of a *Callista chione* population from the southwestern coast of Portugal', *Aquatic Biology*, 5, pp. 97–106, <https://doi.org/10.3354/ab00119>.

Mozetič P, Fonda Umani S, Cataletto B, Malej A (1998). Seasonal and inter-annual plankton variability in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *ICES Journal of Marine Science* 55: 711-722.

Mozetič, P. et al. (2009) 'Recent Trends Towards Oligotrophication of the Northern Adriatic: Evidence from Chlorophyll a Time Series', *Estuaries and Coasts*, 33(2), pp. 362–375. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12237-009-9191-7>.

Narchi et al (Nemer E. Narchi, Samuel Cornier, Luc Énoka Camoui, Donata Melaku Canu, Luis E. Aguilar-Rosas, Mariana G. Bender, Christian Jacquelin, Marion Thiba, Gustavo G.M. Moura, Rutger de Wit. Marine ethnobiology a rather neglected area, which can provide an important contribution to ocean and coastal management, *Ocean & Coastal Management* (2014). Volume 89, March 2014, Pages 117-126.)

Nieuwenhuize J, Maas YEM, Middelburg JJ (1994). Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials. *Mar Chem* 45: 217-224.

Nishida S (1985) Taxonomy and Distribution of the Family Oithonidae (Copepoda, Cyclopoida) in the Pacific and Indian oceans. *Bulletin of the Ocean Research Institute, University of Tokyo*, 20:1-167

Nota DJG (1958). Sediments of the western Guiana shelf. Report of Orinoco shelf expedition, 2. Mendedel, Landbomvhogedrool, Wegeningen 58, 98 pp.

Ogrinc N, Fontolan G, Faganeli J, Covelli S (2005). Carbon and nitrogen isotope compositions of organic matter in coastal marine sediments (the Gulf of Trieste, N Adriatic Sea): indicators of sources and preservation. *Marine Chemistry* 95, 163–181.

Orel G, Marocco R, Vio E, Del Piero D, Della Seta G (1987). Sedimenti e biocenosi tra la foce del Po ed il Golfo di Trieste (Alto Adriatico). *Bulletin d'écologie* 18(2): 229-241.

Oudot C, Gerard R, Morin P, Gningue I (1988). Precise shipboard determination of dissolved oxygen (Winkler procedure) for productivity studies with a commercial system. *Limnology and Oceanography*, 33: 146-150.

Pastor, F., Valiente, J.A. and Palau, J.L. (2018) 'Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982–2016)', *Pure and Applied Geophysics*, 175(11), pp. 4017–4029. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1739-z>.

Pearson TH, Rosemberg R (1978) Macrobenthonic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 16: 229-311.

Pella E, Colombo B (1973). Study of carbon, hydrogen and nitrogen determination by combustion-gas chromatography. *Mikrochimica Acta*, 5: 697-719.

Pèrès J (1967) The Mediterranean benthos. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 5: 449-553.

Pèrès J, Picard J (1964). *Nouveau Manuel de Bionomie Benthique de la Mer Mediterranee*. Rec. Trav. St. Mar. End 31(47): 137.

Pergent G, Bellan-Santini D, Bellan G, Bitar G, Harmelin JG, PNU PAMCAR/ASP (2007) *Manuel d'interprétation des types d'habitats marins pour la sélection des sites à inclure dans les inventaires nationaux de sites naturels d'intérêt pour la Conservation*. Eds., CAR/ASP publ., Tunis: 199.

Piccardo M, Provenza F, Grazioli E, Cavallo A, Terlizzi A, Renzi M (2020). PET microplastics toxicity on marine key species is influenced by pH, particle size and food variations. *Science of the Total Environment* 715 (2020) 136947.

Pierson J, Camatti E, Hood R, Kogovšek T, Lučić D, Tirelli V, Malej A (2021) Mesozooplankton and gelatinous zooplankton in the face of environmental stressors. In: Malone T., Malej A., Faganeli J., (Eds) *Coastal Ecosystems in Transition: A Comparative Analysis of the Northern Adriatic and Chesapeake Bay*, Geophysical Monograph 256, 105-127, 1st Edition, Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978-1-119-54358-9, doi:10.1002/9781119543626

Piontkovski SA, Fonda-Umani S, de Olazabal A, Gubanova AD (2012) *Penilia avirostris*: regional and global patterns of seasonal cycles. *International Journal of Oceans and Oceanography*, Vol. 6(1): 9-25.

- Ponti M, Mastrototaro F (2006) Distribuzione dei popolamenti ad ascidie sui fondali rocciosi (tegnùe) al largo di Chioggia (Venezia). *Biologia Marina Mediterranea* 13(1): 621-624.
- Provenza F, Anselmi S, Specchiulli A, Piccardo M, Barceló D, Prearo M, Pastorino P, Renzi M. (2022). Sparkling plastic: Effects of exposure to glitter on the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 96: 103994.
- Provenza F, Piccardo M, Terlizzi A, Renzi M. (2020). Exposure to pet-made microplastics: Particle size and pH effects on biomolecular responses in mussels. *Marine Pollution Bulletin* 156: 111228.
- Provenza P, Rampih D, Pignattelli S, Pastorino P, Barcelò D, Prearo M, Specchiulli A, Renzi M. (2022). Mussel watch program for microplastics in Mediterranean Sea: identification of biomarkers of exposure using *Mytilus galloprovincialis*. *Ecological Indicators*, 142: 109212.
- Purroy A. et al. (2018) 'Drivers of shell growth of the bivalve, *Callista chione* (L. 1758) – Combined environmental and biological factors', *Marine Environmental Research*, 134, pp. 138–149, <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.01.011>.
- Raichich, F. and Colucci, R.R. (2019) 'A near-surface sea temperature time series from Trieste, northern Adriatic Sea (1899–2015)', *Earth System Science Data*, 11(2), pp. 761–768. Available at: <https://doi.org/10.5194/essd-11-761-2019>.
- Razouls C, de Bovée F, Kouwenberg J, Desreumaux N (2016) Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods. <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en>
- REGOLAMENTO (UE) N. 1380/2013 Politica Comune della Pesca <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:354:0022:0061:it:PDF>
- Regoli F, Gorbi S, Frenzilli G, Nigro M, Corsi I, Focardi S, Winston G., (2002). Oxidative stress in ecotoxicology: from the analysis of individual antioxidants to a more integrated approach. *Mar. Environ. Res.* 54, 419–423.
- Rodionov SN (2004). A sequential algorithm for testing climate regime shifts, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L09204, <https://doi.org/10.1029/2004GL019448>.
- Rodionov SN (2006). Use of prewhitening in climate regime shift detection. *Geophys. Res. Lett.* 33, L12707. doi: 10.1029/2006GL025904
- Rodionov SN, Overland JE (2005). Application of a sequential regime shift detection method to the Bering Sea ecosystem, *ICES Journal of Marine Science*, 62, 328–332.
- Rose M (1933) Faune de France. Copépodes pélagiques. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles. Office Central de Faunistique, 374pp
- Ruffo S, Bellan-Santini D, Karaman G, Ledoyer M, Vader W (1998) The Amphipoda of the Mediterranean, part 1-4. *Memories de l'institut oceanographique*, Monaco: ISSN 0304-5714, 959p.
- Sakellari A, Karavoltzos S, Theodorou D, Dassenakis M, Scoullou M (2013). Bioaccumulation of Metals (Cd, Cu, Zn) by the Marine Bivalves *M. Galloprovincialis*, *P. Radiata*, *V. Verrucosa* and *C. Chione* in



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

Mediterranean Coastal Microenvironments: Association with Metal Bioavailability. *Environ Monit Assess*, 185(4):3383-95.

Schubert CJ, Calvert SE (2001). Nitrogen and carbon isotopic composition of marine and terrestrial organic matter in Arctic Ocean sediments:: implications for nutrient utilization and organic matter composition. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(3), 789-810. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(00\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(00)00069-8)

Shaltout, M. and Omstedt, A. (2014) 'Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea', *Oceanologia*, 56(3), pp. 411–443. Available at: <https://doi.org/10.5697/oc.56-3.411>.

Sharp JH (1974). Improved analysis for "particulate" organic carbon and nitrogen from seawater. *Limnology and Oceanography*, 19(6): 984-989.

Sòle M, Rivera-Ingraham G, Freitas R (2018). The Use of Carboxylesterases as Biomarkers of Pesticide Exposure in Bivalves: A Methodological Approach. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 212: 18-24.

Solidoro C, Bastianini M, Bandelj V, Codermatz R, Cossarini G, Melaku Canu D, ... & Trevisani S (2009). Current state, scales of variability, and trends of biogeochemical properties in the northern Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114 (C7).

Stefanon A (1984). Sedimentologia del Mare Adriatico: rapporti tra erosione e sedimentazione olocenica. *Bollettino di Oceanologia Teorica ed Applicata*, 2 (4).

Stefanon A, Mozzi C (1972). Esistenza di rocce organogene nell'Alto Adriatico al largo di Chioggia. *Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti* 130: 495-499.

Stirnemann L, Conversi A, Marini S, Browman H (2019). Detection of regime shifts in the environment: Testing "STARS" using synthetic and observed time series. *ICES J. Mar. Sci.* 76(7): 2286–2296.

Tagliapietra D, Cornello M, Volpi-Ghirardini A (2005) Monitoring Transitional Waters Using Reduced Benthic Assemblages, *Environment International* 31 (7): 1089-1093.

Testa JM, Faganeli J, Giani M, Brush MJ, De Vittor C, Boynton WR, Covelli S, Woodland RJ, Kovac N, Kemp WM (2020). Advances in our understanding of Pelagic–Benthic Coupling. Coastal ecosystems in transition: A comparative analysis of the Northern Adriatic and Chesapeake Bay, 147-175.

Tim-Tim ALS, Morgado F, Moreira SM, Rangel R, Nogueira AJA, Soares AMVM, Guilhermino L, (2009). Cholinesterase and glutathione s-transferase activities of three mollusc species from the nw portuguese coast in relation to the 'prestige' oil spill. *Chemosphere* 77, 1465–1475.

Tregouboff G, Rose M (1957) Manuel de Planctonologie Méditerranéenne. Centre National de la Recherche Scientifique, Vol I, II.

Urra, J. et al. (2018) 'Populations of Commercial Molluscs within a Highly Biodiverse Marine Protected Area of the Northern Alboran Sea (W Mediterranean): Preferential Habitats, Seasonal Dynamics and Importance for Artisanal Fisheries', *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 34(2), pp. 349–359, <https://doi.org/10.1007/s41208-018-0070-5>.

Valli, G., Bidoli, E. and Marussi, C. (1983) Osservazioni preliminari sulla riproduzione e sulla biometria di *Callista chione* del Golfo di Trieste., *Nova Thalassia*, 6, pp. 97–103.

Valli, G., Marsich, N. and Marsich, M. (1994) Riproduzione, biometria e contenuto di metalli in *Callista chione* del Golfo di Trieste nel corso di un ciclo annuale. *Bollettino della Società Adriatica di Scienze*, 75(2), pp. 441–464.

Vidal-Liñán L, Bellas J, (2013). Practical procedures for selected biomarkers in mussels, *Mytilus galloprovincialis* - Implications for marine pollution monitoring. *Science of the total environment*, 461, 56-64.

Vilibić I, Zemunik P, Dunić, N, Mihanović H (2020). Local and remote drivers of the observed thermohaline variability on the northern Adriatic shelf (Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, 199: 104110.

Vlahogianni T, Dassenakis M, Scoullou MJ, Valavanidis A (2007). Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece. *Marine Pollution Bulletin* 54 (2007) 1361–1371.

Vollenweider, R.A., F. Giovanardi, G. Montanari & A. Rinaldi. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9: 329- 357.

Walne PR, Mann R (1975) Growth and Biochemical Composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. In: Barnes, H., Ed., 9th European Marine Biology Symposium, Aberdeen University Press, Scotland, pp: 587-607.

Ward JV, Tockner K, Edwards PJ, Kollmann J, Bretschko G, Gurnell AM, Petts GE, Rossaro B, (1999). A reference river system for the Alps: the Fiume Tagliamento. *Regulated Rivers: Research and Management*, 15: 63-75.

Wentworth CK (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30:377-392.

Wilding TA (2006) The benthic impacts of the Loch Linnhe Artificial Reef. *Hydrobiologia*, 555: 345-353.

Winkler LW (1888). Die Bestimmung des im Wasser gelosten Sauerstoffes. *Chem. Ber.*, 21:2843-2855.

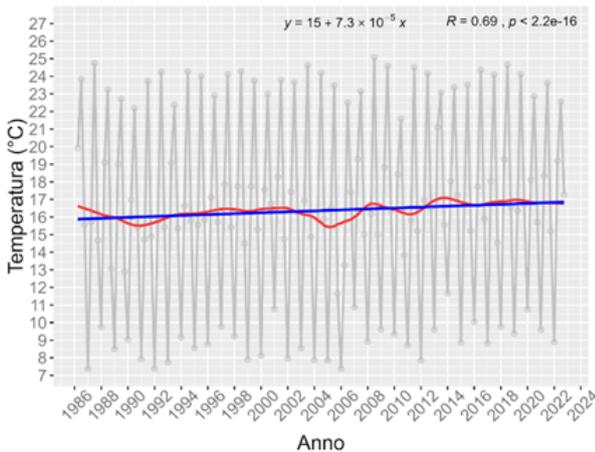
Zentilin, 1986 La pesca di *Ensis minor* (CHENU) nel Golfo di Trieste. Tesi di laurea

APPENDICE

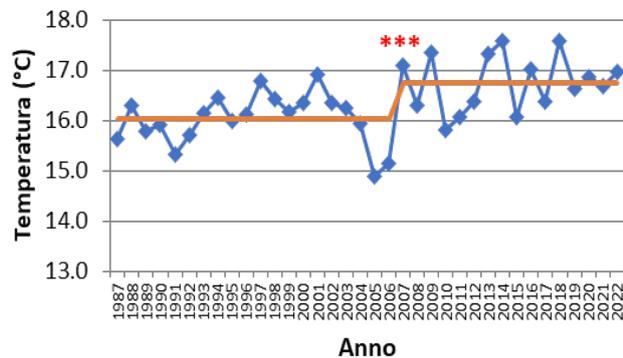
Evoluzione temporale della concentrazione dei nutrienti

Si riportano qui i grafici dell'analisi delle serie temporali nelle tre stazioni per i parametri fisici in superficie e i nutrienti in C1 sul fondo. I dati originali sono in grigio mediati stagionalmente, in rosso il trend e in blu la linea di tendenza con gli intervalli di confidenza al 95%. Sul grafico è riportata l'equazione della retta di regressione, il coefficiente di correlazione di Spearman e il valore di significatività. Solo per la C1 è stato possibile applicare l'analisi del regime shift dei nutrienti poiché la serie è continua. La linea continua arancione indica i cambiamenti significativi di regime ($p \leq 0.001$ (***) ; $p \leq 0.01$ (**); $p \leq 0.05$ (*)). Sono inoltre riportate le anomalie di temperatura per le tre stazioni.

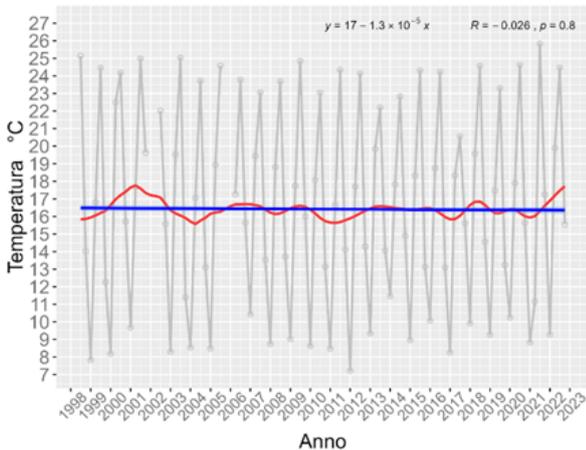
C1 - Superficie



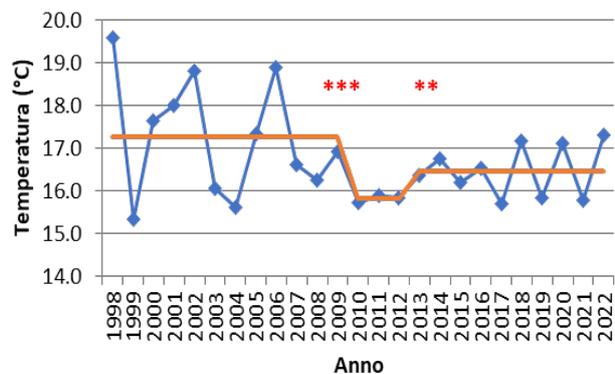
C1 - Superficie



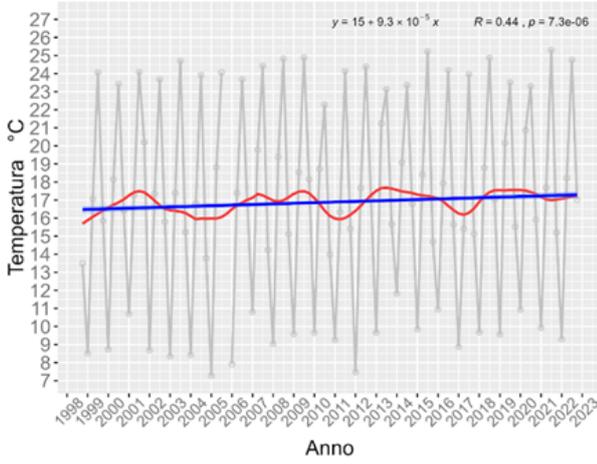
Fronte Isonzo - Superficie



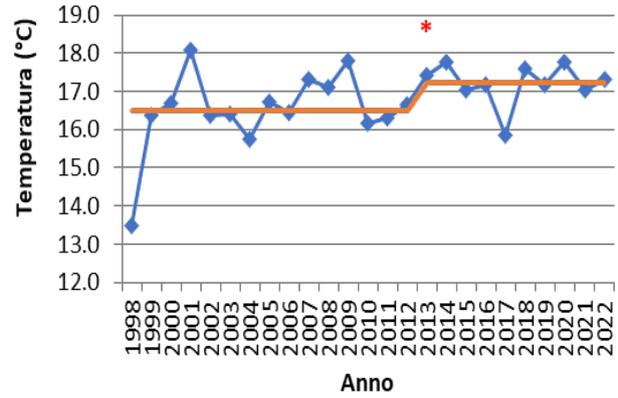
Fronte Isonzo - Superficie



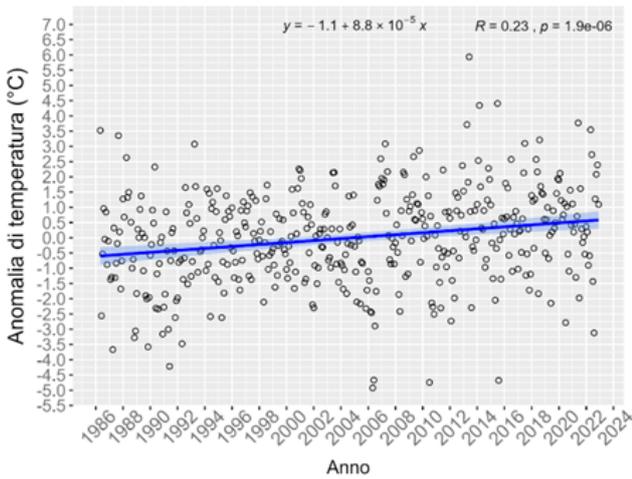
Largo - Superficie



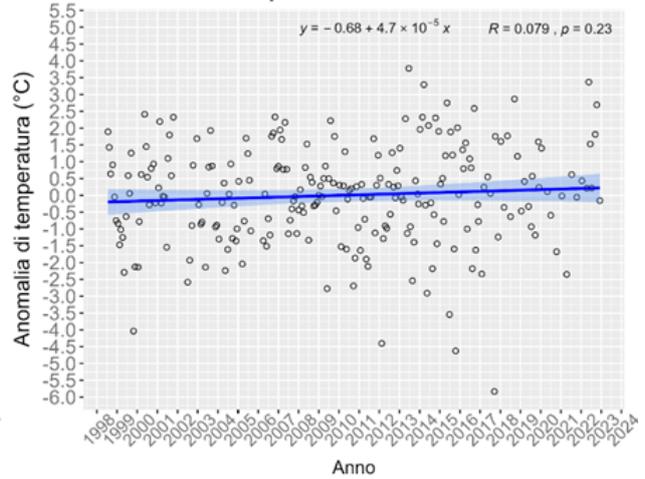
Largo - Superficie



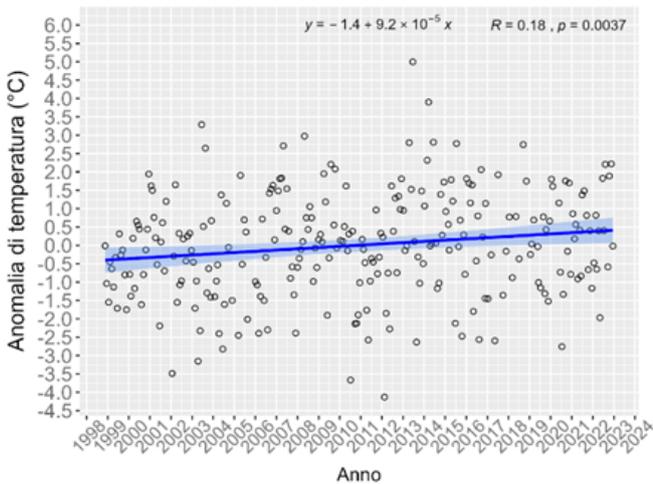
C1 - Superficie



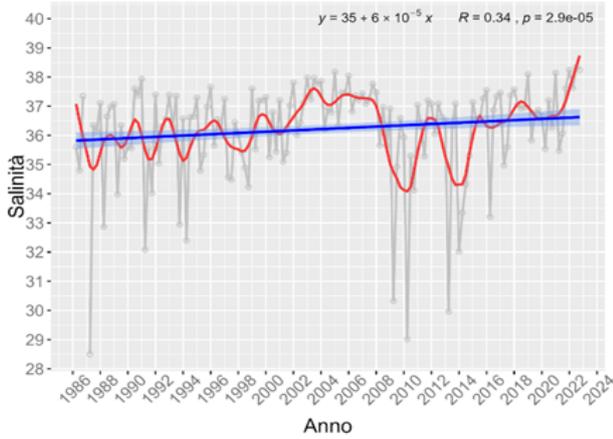
Fronte Isonzo - Superficie



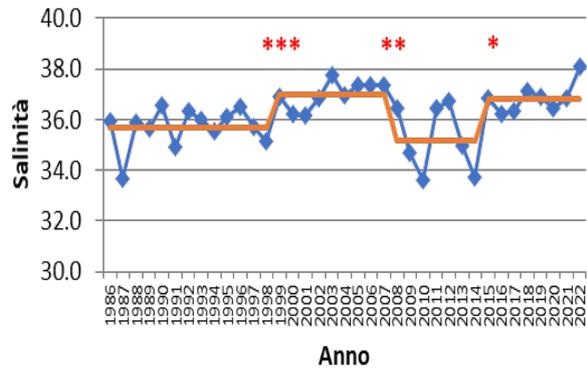
Largo - Superficie



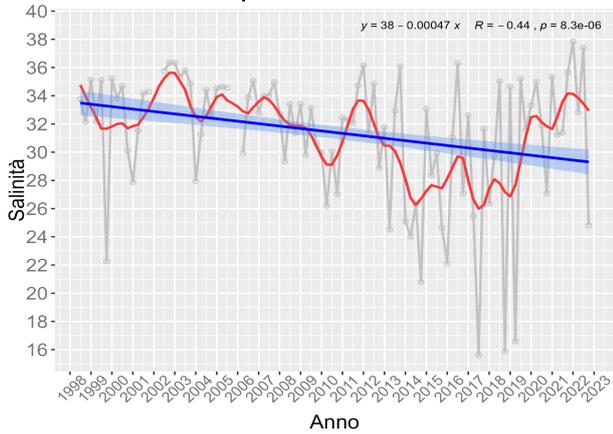
C1 - Superficie



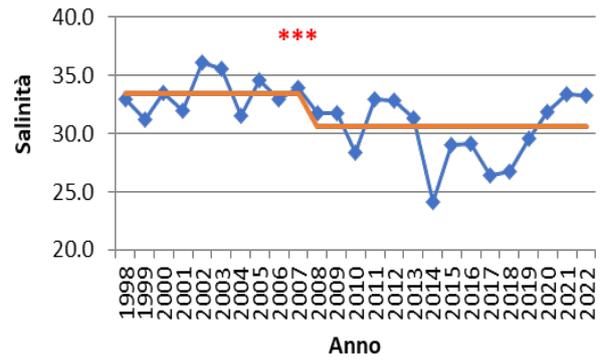
C1 - Superficie



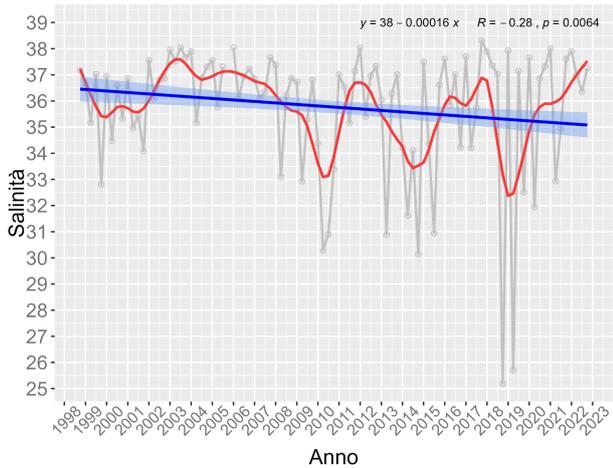
Fronte Isonzo - Superficie



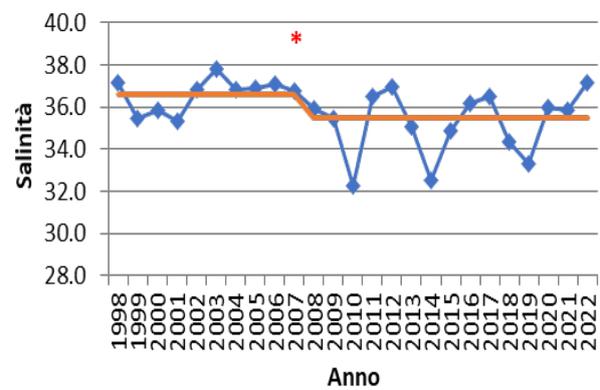
Fronte Isonzo - Superficie



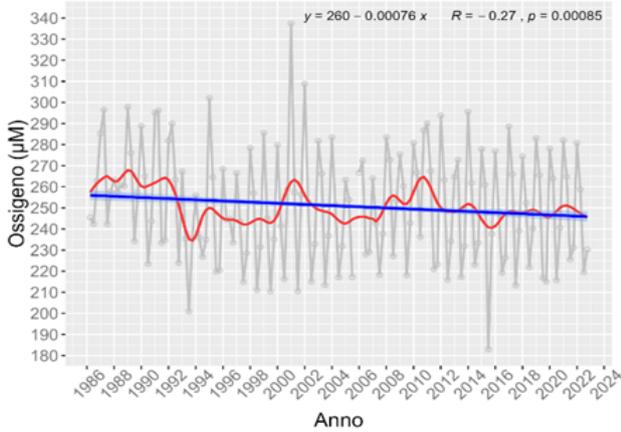
Largo - Superficie



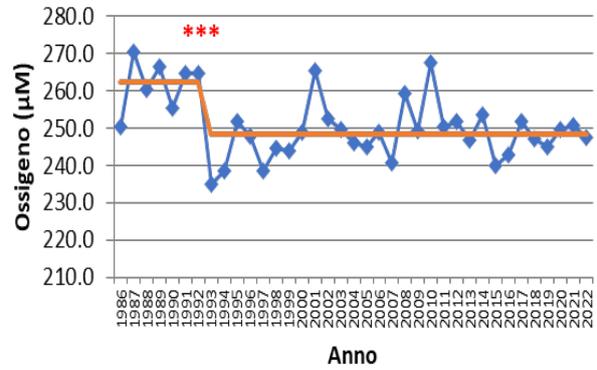
Largo - Superficie



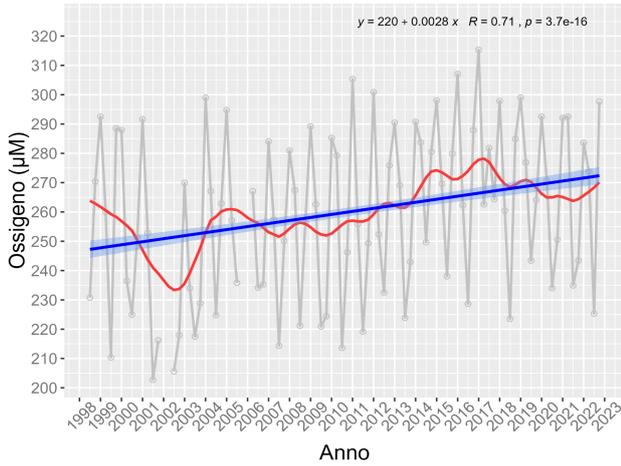
C1 - Superficie



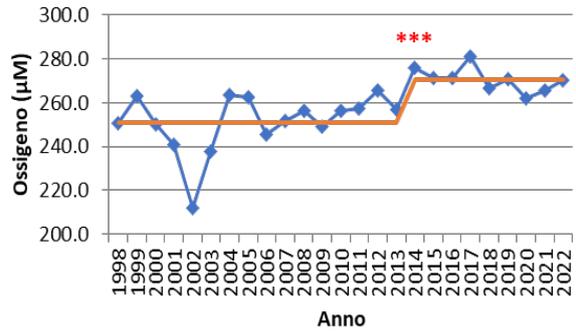
C1 - Superficie



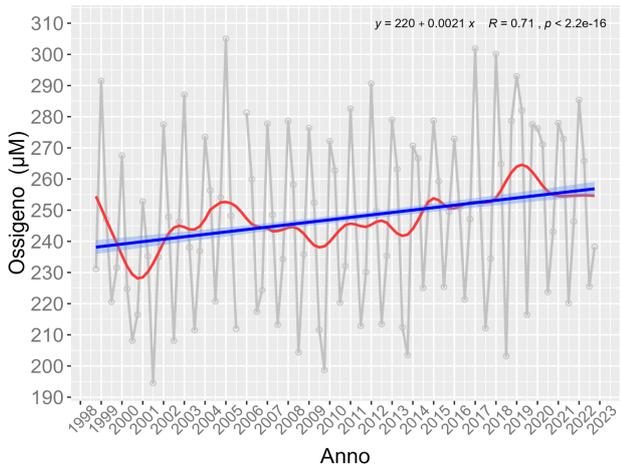
Fronte Isonzo - Superficie



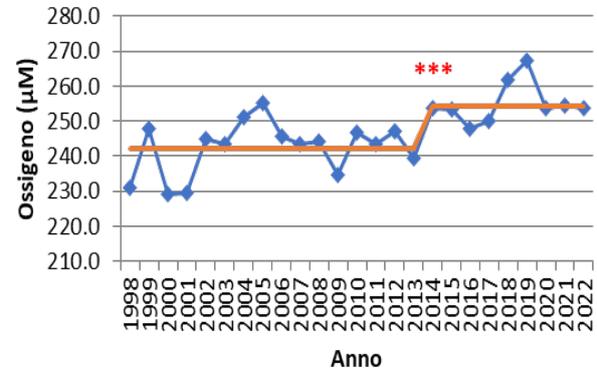
Fronte Isonzo - Superficie



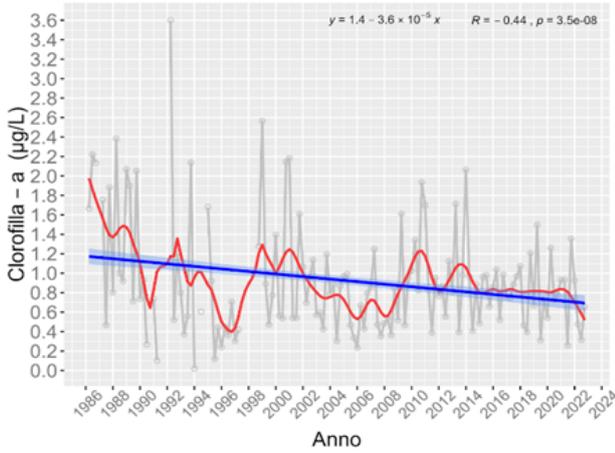
Largo - Superficie



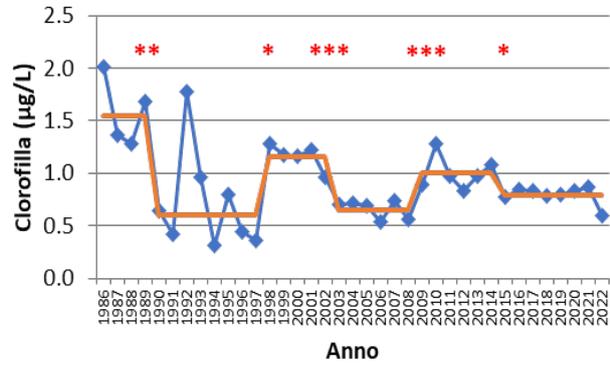
Largo - Superficie



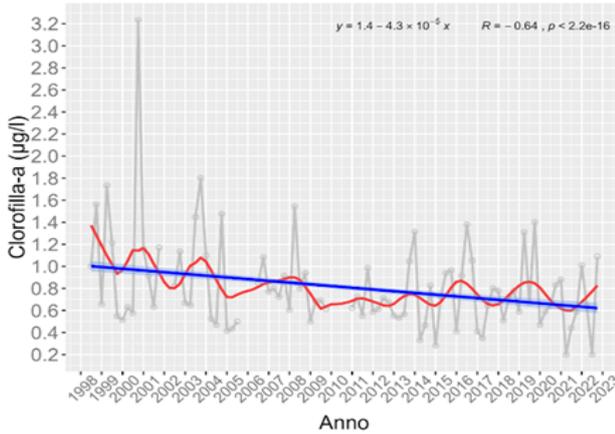
C1 - Superficie



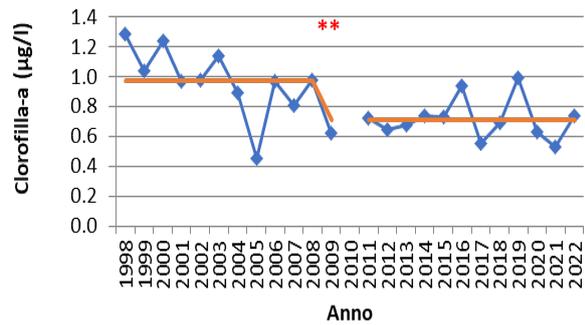
C1 - Superficie



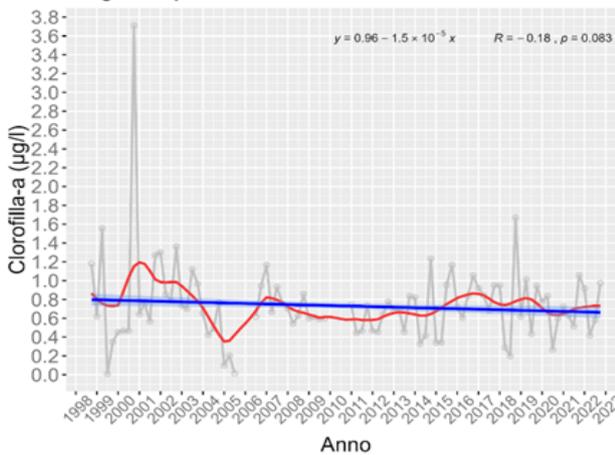
Fronte Isonzo - Superficie



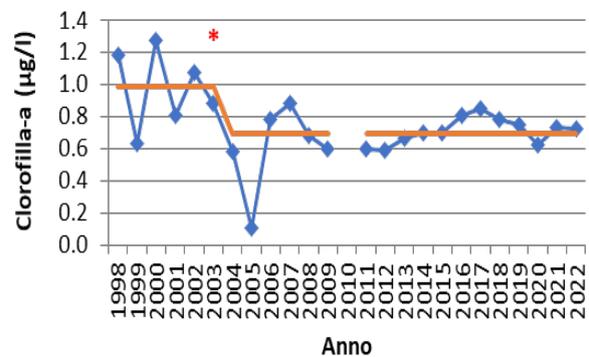
Fronte Isonzo - Superficie



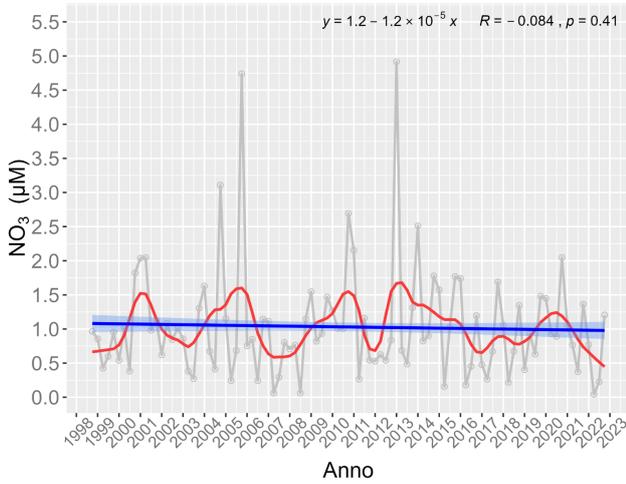
Largo - Superficie



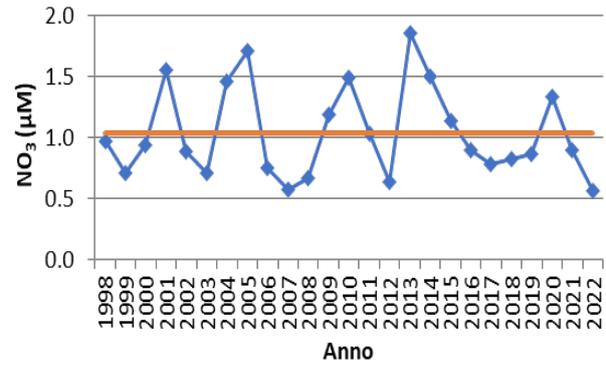
Largo - Superficie



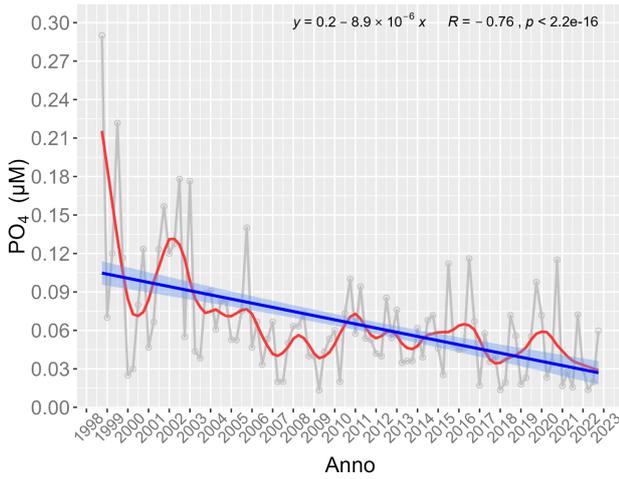
C1 - Fondo



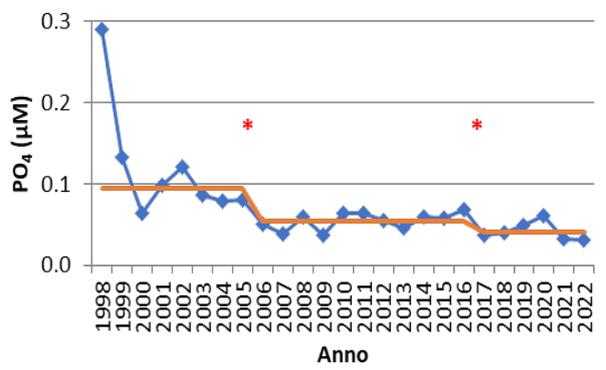
C1 - Fondo



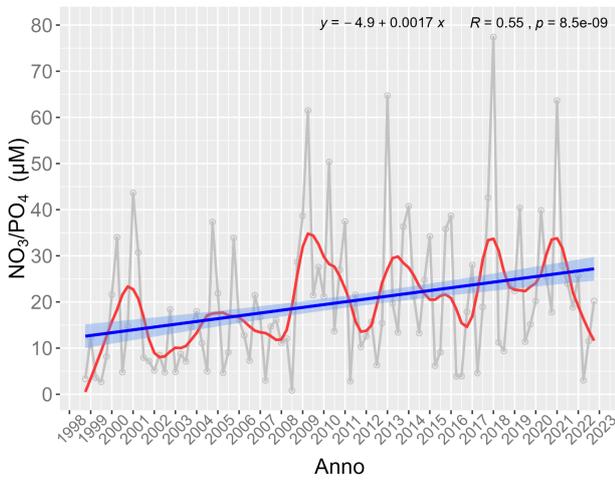
C1 - Fondo



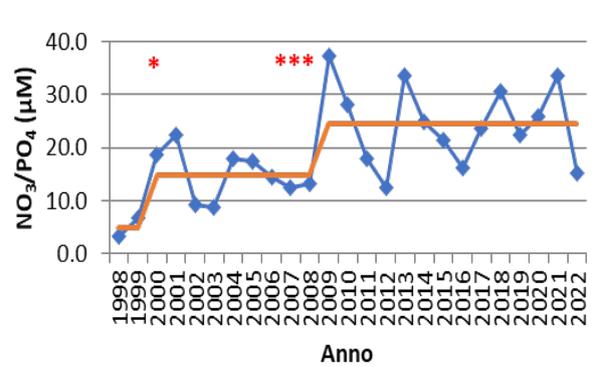
C1 - Fondo



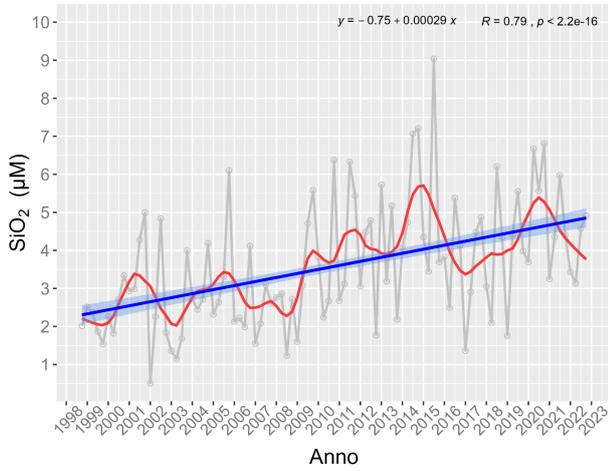
C1 - Fondo



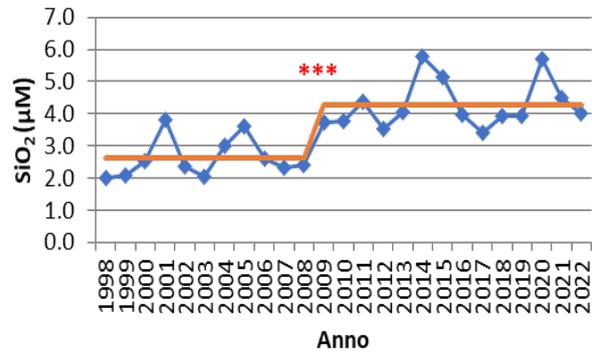
C1 - Fondo



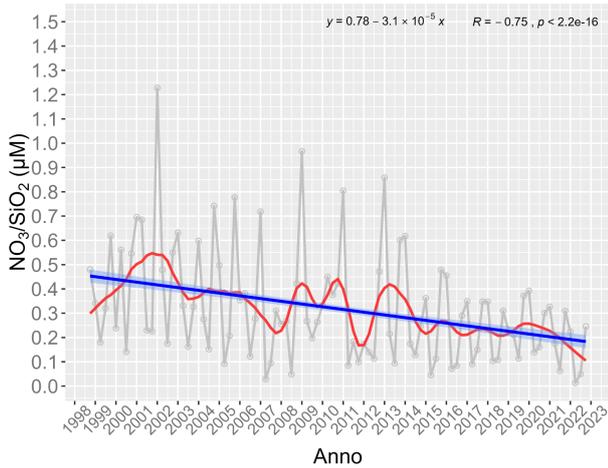
C1 - Fondo



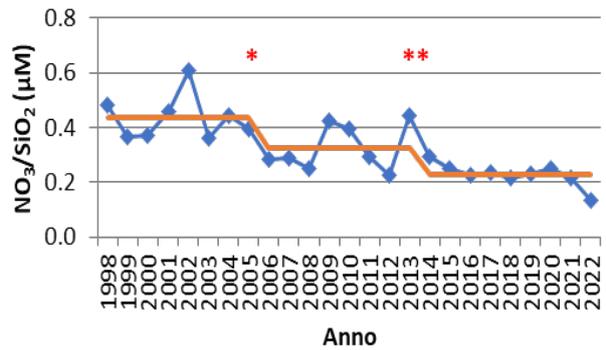
C1 - Fondo



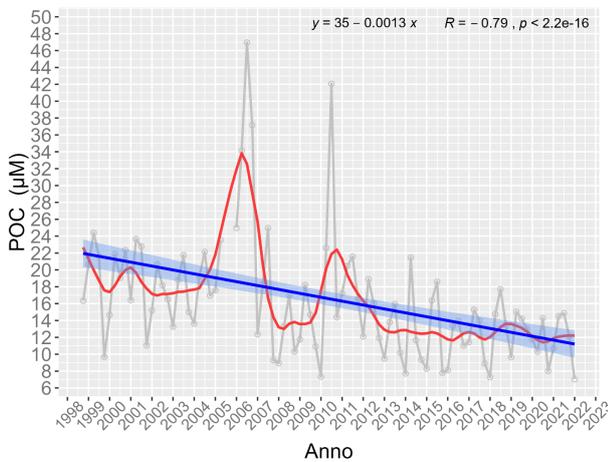
C1 - Fondo



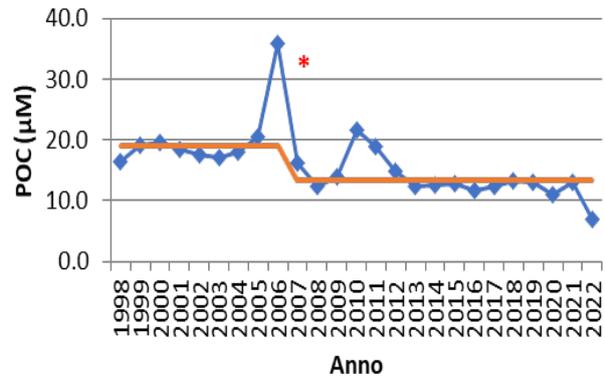
C1 - Fondo



C1 - Fondo



C1 - Fondo



6.2.3.1 Lista floristica suddivisa nei gruppi principali del fitoplancton.

● = presenza

+ = abbondanza scala da 1 a 5

data stazione	15/06/2021		17/06/2021		30/08/2021		31/08/2021		17/11/2021		19/11/2021		18/02/2022		18/02/2022	
	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B
Diatomee																
Amphora spp.				●		●										
Asterionellopsis glacialis									●		●					
Asteromphalus spp.					●	●		●			●					
Bacillaria paxillifera			●													
Bacteriastrium sp. single	+++++	+++++	++	++++												
Bacteriastrium spp.	●	●	●	●					●	●	●	●				
Ceratullina belgica	●	●	●	●	●	●	++	●	●	●	●	●		●	●	●
Chaetoceros affinis					●	●			●	●	●	●				
Chaetoceros curvisetus	●	●							●	+	●	●				
Chaetoceros dadaji					●	●										
Chaetoceros danicus								●		●	●	●		●	●	●
Chaetoceros dydimus								●		●	●	●				
Chaetoceros diversus					●	●	●	●								
Chaetoceros brentianus/decipiens	●	●	●	●	●	●	●	●						●	●	●
Chaetoceros peruvianus											●	●		●	●	●
Chaetoceros rostratus									●	●	●	●				
Chaetoceros teres/laudent									●	●	●	●				
Chaetoceros tomentosus									●	●	●	●				
Chaetoceros spp. < 10µm	+++++	+++++	+++++	+++++	++	++	+++++	●	●	+	●	●		●		
Cozonella spp.			●	●											●	●
Coscinodiscus spp.					●				●	●	●	●		●	●	●
Cyclotella sp.	●	●	●	+		●								●	●	●
Cylindrotheca closterium	●	●	●	●				●						●	●	●
Dactylosolenia blavyanus											●	●				
Dactylosolenia fragilisimus	+	++	●	●	●	●	++	●	●	●	●	●				
Dactylosolenia phuketensis										●	●	●		●	●	●
Diploella spp.									●	●	●	●				
Entomonella spp.									●	●	●	●		●	●	●
Eucampia zodiacus f. cylindricornis									●	●	●	●				
Guinardia filicoides		●			●	●	●		●	●	●	●				●
Guinardia striata					●	●	●		●	●	●	●		●	●	●
Gyrodinium/Pleurosigma spp.	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●		●	●	●
Hemiaulus hauckii	●				●	●	●		●	●	●	●				
Hemiaulus sinensis									●	●	●	●				
Leptocylindrus mediterraneus												●				
Leptocylindrus spp.	●	●		●	●				●	●	●	●		●	●	●
Lithodesmium spp.																
Lithodesmium undulatum									●	●	●	●				●
Navicula sp.					●											
Neocalyptrella robusta									●	●	●	●				
Odontella sp.											●	●				
Pavalia subata			●		●	●	●		●	●	●	●		●	●	●
Probolesia alata	●	●		●	++	+++	●	●	●	●	●	●				
Pseudo-nitzschia spp.					+++++	+++++	+++	++	+++++	+++++	+++++	+++++		●		
Pseudosolenia calcaravis					●	●	●		●	●	●	●				
Rhizosolenia imbricata					●	●	●		●	●	●	●				
Rhizosolenia spp.							●		●	●	●	●				
Skeletonema spp.														●	●	●
Striatella unipunctata																●
Thalassiosira spp.	●	●	●		+++++	+++++	++	+++++	●	●	●	●		●	●	●
Thalassiosira spp.							●		●	●	●	●		●	●	●
Centriche indet. > 20 µm		●			●		●									
Centriche indet. < 20 µm						●										
Pennate indet. < 20 µm			●						●	●	●	●		●	●	●
Pennate indet. > 20 µm	●		●	●				●						●	●	●

● = presenza
+ = abbondanza scala da 1 a 5

data stazione	15/06/2021		17/06/2021		30/08/2021		31/08/2021		17/11/2021		19/11/2021		18/02/2022		18/02/2022		
	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	
Dinoflagellati																	
Akashiwo sanguinea				●													
Alexandrium pseudogonyaulax		●	●	●						●				●		●	
Alexandrium spp.	●	●	●	●	●						●			●		●	
Azadinium caudatum												●					
Cochlodinium spp.					●	●											
Corythodinium tessellatum											●						
Dinophysis caudata							●			●							
Dinophysis fortii							●	●	●	●	+	●		●	●	●	●
Dinophysis cf. o. diosa	●																
Dinophysis sacculus				●						●		●		●			
Dinophysis triticos											●						
Diplopsalis group										●	●		●				●
Gonioloma polyedrum						●											
Gonyaulax polygramma	●	●	●	●			●	●			●			●	●		
Gonyaulax spinifera	●	●	●	●													
Gonyaulax venior							●					●		●			
Gonyaulax spp.										●							
Gymnodinium spp.										●							
Gyrodinium sp.				●						●							
Karenia sp.										●							
Kofoidinium velloides	●	●	●	●								●					
Lessardia elongata				●													●
Lingulodinium polyedra				●													
Noctiluca scintillans	+	+	+														
Oxytoxum sceptrum					●	●	●	●		●		●		●			
Oxytoxum scolopax	●	●	●	●													
Oxytoxum viride												●					
Phaeocoma rapa										●		●					
Phaeocoma rotundatum		●			●					●	●	●	●			●	●
Podolampas palmipes					●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●
Podolampas spinifera																	●
Prorocentrum compressum	●			●	●	●	●	●			●			●			●
Prorocentrum dactylus																	
Prorocentrum micans	●	++	+	+	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
Prorocentrum triestinum				●	●												
Protoceratium reticulatum			●	●													
Protoperidinium bipes														●		●	
Protoperidinium spp.	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●		●	
Protoperidinium steinii	●	●	●	●	●												
Pseudothidium fusus							●			●	●	●	●	●			
Pyrophacus horologium					●	●	●			●	●						
Torodinium robustum	●																
Triadinium polyedricum			●														
Tripos candelabrum										●	●	●					
Tripos furca	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●				●	●
Tripos fusus	++	+	+	+	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
Tripos hexacanthus	●										●	●					
Tripos kofoidii												●					
Tripos longipes										●	●	●	●				
Tripos macrocetos							●	●	●	●	●	●					
Tripos muelleri							●			●				●			●
Tripos symmetricus											●						
Tripos trichoceros							●	●	●	●	●						
Peridinoide indet.				●							●						●
Nudi indet. > 20 µm	●	+		●								●					
Nudi indet. > 20 µm				●						●							
Tecati indet. > 20 µm	●	●		●			●							●	●	●	
Tecati indet. < 20 µm				●													●
cisti indet.				●													●

●=presenza

+ = abbondanza scala da 1 a 5

	15/06/2021		17/06/2021		30/08/2021		31/08/2021		17/11/2021		19/11/2021		18/02/2022		18/02/2022		
	stazione	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B
Coccolitofori																	
Acantholica quatropina																	
Calcosolenia brasiliensis	●	●	●		●				●	●				●			
Calcosolenia murrayi									●	●	●	●					
Rhabdolites claviger						●	●	●	●		●						
Syracosphaera pulchra						●	●	●	●		●				●		●
Flagellati																	
Aptofite																	
Primesiofiticee Indet.	+	++	●	++		●			●	●	●	●					
Cercozoa																	
Ebira tripartita														●		●	
Hemionium adriaticum						●	●	●	●								●
Clorofite																	
Pteris perma sp.										●							
Ocrofite																	
Dictyocha fibula	●	++	●	●	●	●	●		●	●	+	●		●	●	●	●
Meringosphaera mediterranea	+	+	●	●													●
Oilicola vancouverii	●																
Octactis octonaria										●	●			●	●	●	●
Octactis speculum			●										●	●		●	●
# Taxa diatomee	15	17	13	14	22	23	17	12	30	30	34	32	13	12	13	14	
# Taxa dinoflagellati	18	17	23	20	15	18	14	13	19	22	24	10	13	7	11	12	
# Taxa coccolitofori	1	1	1	0	3	2	2	1	4	2	4	1	2	1	0	1	
# Taxa flagellati	4	4	3	3	2	3	1	1	2	4	3	3	4	2	4	4	
# Taxa tot	38	39	40	37	42	46	34	27	55	58	65	46	32	22	28	31	

Modelli vocazionali

Lista delle variabili utilizzate come predittori nei modelli vocazionali.

Comparto	Variabile	Acronimo	Profondità	Mediana (range)	Origine	Anno
Acqua	Profondità del fondale	depth	Fondo	13.06 m (20-2.74 m)	GEBCO	2022
Acqua	Clorofilla max	chl_f_max	Fondo	3.48 $\mu\text{g l}^{-1}$ (1.51-7.66 $\mu\text{g l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Clorofilla mediana	chl_f_median	Fondo	1.16 $\mu\text{g l}^{-1}$ (0.94-1.55 $\mu\text{g l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Clorofilla min	chl_f_min	Fondo	0.35 $\mu\text{g l}^{-1}$ (0.19-0.63 $\mu\text{g l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	pH max	ph_max	Fondo	8.33 (8.26-8.41)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	pH mediana	ph_median	Fondo	8.19 (8.16-8.22)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	pH min	ph_min	Fondo	8.02 (7.82-8.15)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Ossigeno disciolto max	o2_max	Fondo	6.98 ml l^{-1} (6.54-8.76 ml l^{-1})	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Ossigeno disciolto mediana	o2_median	Fondo	5.38 ml l^{-1} (5.15-5.75 ml l^{-1})	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Ossigeno disciolto min	o2_min	Fondo	3.43 ml l^{-1} (2.25-4.54 ml l^{-1})	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022

Acqua	Salinità max	sal_max	Fondo	38.38 (37.89-38.59)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Salinità mediana	sal_median	Fondo	37.32 (35.96-37.83)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Salinità min	sal_min	Fondo	34.44 (29.04-37.39)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Temperatura max	T_max	Fondo	24.44 °C (22.1-27.49 °C)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Temperatura mediana	T_median	Fondo	15.52 °C (14.37-16.61 °C)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Temperatura min	T_min	Fondo	6.46 °C (3.16-8.35 °C)	ARPA FVG ACEGAS	2006-2022 2017-2022
Acqua	Ammonio max	nh4_max	Superficie	9.19 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (2.42-16.83 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Ammonio mediana	nh4_median	Superficie	0.91 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.64-1.39 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Ammonio min	nh4_min	Superficie	0.07 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0-0.21 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Azoto inorganico disciolto max	din_max	Superficie	55.44 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (6.46-128.56 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Azoto inorganico disciolto mediana	din_median	Superficie	8.51 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (4.52-18.55 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Azoto inorganico disciolto min	din_min	Superficie	0.87 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0-3.22 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	Calcolato	2009-2022

Acqua	Azoto totale max	tn_max	Superficie	105.31 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (9.51-255.2 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Azoto totale mediana	tn_median	Superficie	17.21 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (11.04-28.04 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Azoto totale min	tn_min	Superficie	5.2 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (2.83-10.21 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Fosfato max	po4_max	Superficie	0.55 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.11-1.26)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Fosfato mediana	po4_median	Superficie	0.02 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.01-0.05 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Fosfato min	po4_min	Superficie	0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0- 0.01 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Fosforo totale max	tp_max	Superficie	1.94 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.18-4.71 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Fosforo totale mediana	tp_median	Superficie	0.08 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.06-0.11 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Fosforo totale min	tp_min	Superficie	0.01 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0- 0.04 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Nitrato max	no3_max	Superficie	52.51 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (4.94-123.87 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Nitrato mediana	no3_median	Superficie	7.1 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (3.54-16.57 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Nitrato min	no3_min	Superficie	0.4 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0- 1.62 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG	2009-2021

					ACEGAS	2017-2022
Acqua	Nitrito max	no2_max	Superficie	2.59 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.92-4.09 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Nitrito mediana	no2_median	Superficie	0.25 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.16-0.45 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Nitrito min	no2_min	Superficie	0.01 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0.01-0.02 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2009-2021 2017-2022
Acqua	Silicato max	sio2_max	Superficie	42.39 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (9.74-83.64 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2011-2021 2017-2022
Acqua	Silicato mediana	sio2_median	Superficie	7.75 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (4.3-15.88 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2011-2021 2017-2022
Acqua	Silicato min	sio2_min	Superficie	0.53 $\mu\text{mol l}^{-1}$ (0- 2.7 $\mu\text{mol l}^{-1}$)	ARPA FVG ACEGAS	2011-2021 2017-2022
Acqua	Rapporto azoto/fosfato max	din.po4_max	Superficie	8649.48 (1337.52- 18984.21)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto azoto/fosfato mediana	din.po4_medi an	Superficie	503.48 (139.12- 1127.39)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto azoto/fosfato min	din.po4_min	Superficie	14.99 (4.69- 33.33)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto azoto/silicato max	din.sio2_max	Superficie	22.02 (3.13- 94.74)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto azoto/silicato mediana	din.sio2_med ian	Superficie	0.98 (0.68-1.21)	Calcolato	2009-2022

Acqua	Rapporto azoto/silicato min	din.sio2_min	Superficie	0.23 (0.03-0.51)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto nitrato/fosfato max	no3.po4_max	Superficie	7950.57 (1062.83-18217.96)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto nitrato/fosfato mediana	no3.po4_median	Superficie	418.83 (87.48-1006.49)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto nitrato/fosfato min	no3.po4_min	Superficie	8.49 (0-28.93)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto nitrato/silicato mediana	no3.sio2_median	Superficie	0.79 (0.64-1.08)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto nitrato/silicato max	no3.sio2_max	Superficie	16.56 (1.77-36)	Calcolato	2009-2022
Acqua	Rapporto nitrato/silicato min	no3.sio2_min	Superficie	0.11 (0-0.38)	Calcolato	2009-2022
Sedimento		d13C_TOC	Fondo	-21.36 ‰ (-22.47- -19.7 ‰)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023
Sedimento		d15N_TN	Fondo	4.25 ‰ (2.33-6.36 ‰)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023
Sedimento	Argilla	clay	Fondo	5.32 ‰ (0.05-27.42 ‰)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023
Sedimento	Limo	silt	Fondo	8.43 ‰ (0.07-54.16 ‰)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023
Sedimento	Sabbia	sand	Fondo	86.26 ‰ (18.42-99.88 ‰)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023

Sedimento	Azoto totale	TN	Fondo	0.05 % (0.03-0.17 %)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023
Sedimento	Carbonio organico totale	TOC	Fondo	0.27 % (0.06-1.42 %)	Questo Progetto (vedi 6.1)	2022-2023
Sedimento	Sabbia %	sand	Fondo	70 % (0 - 100 %)	Prof. C. Jenkins, University of Colorado (Jenkins 2018)	2018

Si riportano i plot diagnostici per i modelli vocazionali.

DHARMA residual

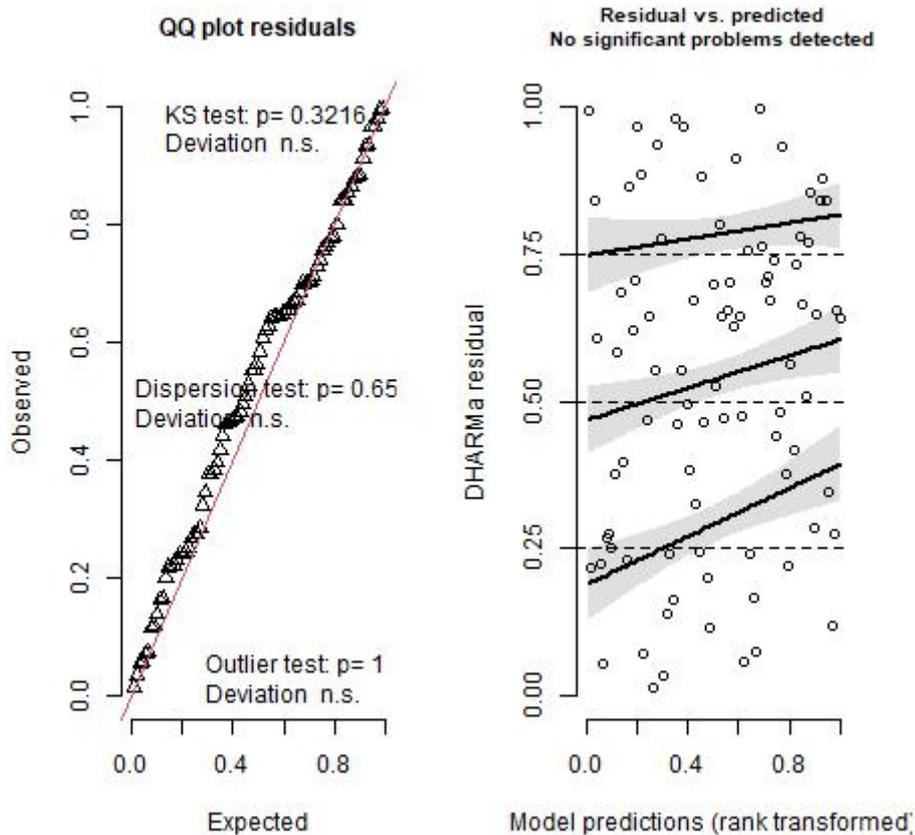


Figura A.8.2.1. Plot diagnostico per il modello complesso di presenza/assenza generato con il pacchetto R 'DHARMA'. Il plot a destra compara i quantili della variabile osservata e i quantili della variabile predetta. Le annotazioni riportano i risultati del test di Kolmogorof-Smirnov, il sulla devianza e il test sugli outliers. Il plot sulla sinistra presenta il comportamento dei residui contro i valori predetti dal modello. Le rette rappresentano delle interpolazioni lineari sui quartili del dataset e possono essere usati per diagnosticare eventuali trend nei residui del modello.

GLM presenza/assenza complesso

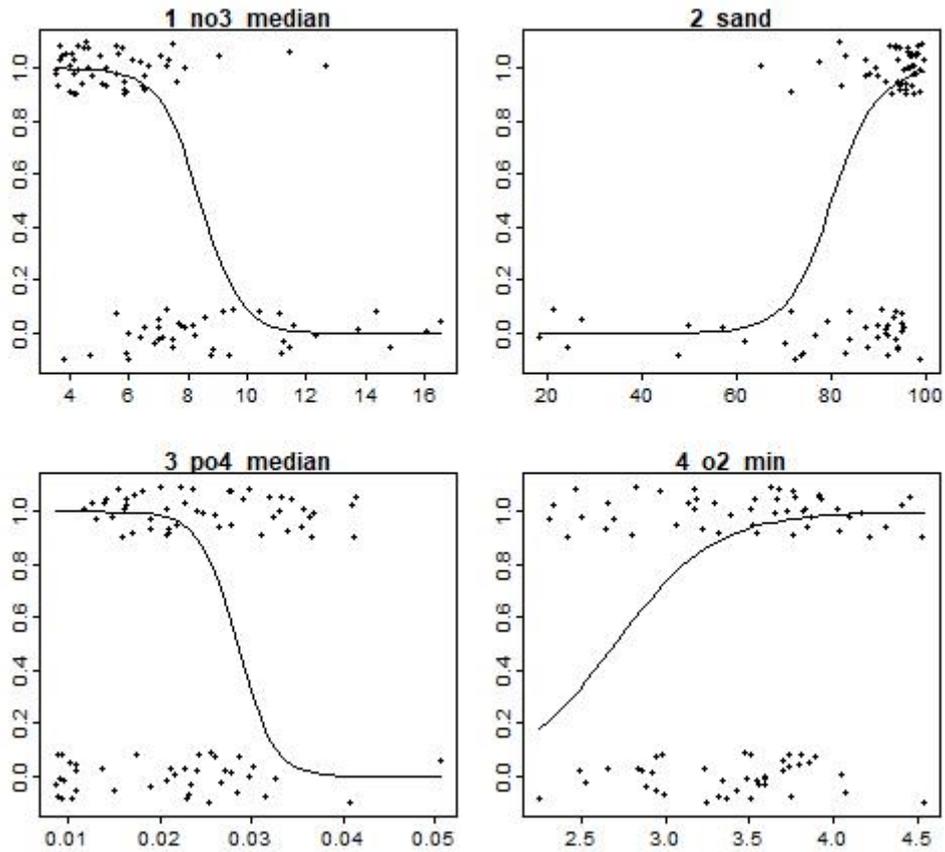


Figura A.8.2.2. Relazioni funzionali tra presenza/assenza e predittori per il modello complesso. Le unità di misura delle variabili sono indicate in Tabella A.8.2.1.

DHARMa residual

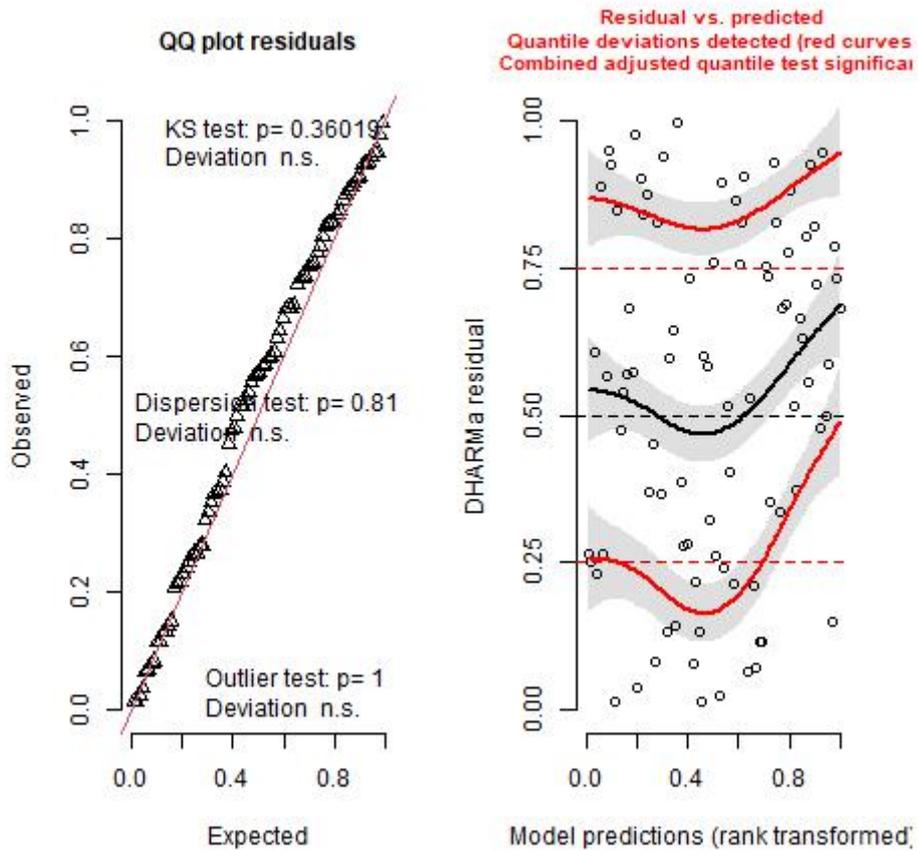


Figura A.8.2.3. Plot diagnostico per il modello di presenza assenza semplificato. Il plot a destra compara i quantili della variabile osservata e i quantili della variabile predetta. Le annotazioni riportano i risultati del test di Kolmogorof-Smirnov, il sulla devianza e il test sugli outliers. Il plot sulla sinistra presenta il comportamento dei residui contro i valori predetti dal modello. Le rette rappresentano delle interpolazioni lineari sui quantili del dataset e possono essere usati per diagnosticare eventuali trend nei residui del modello.

GLM presenza/assenza semplificato

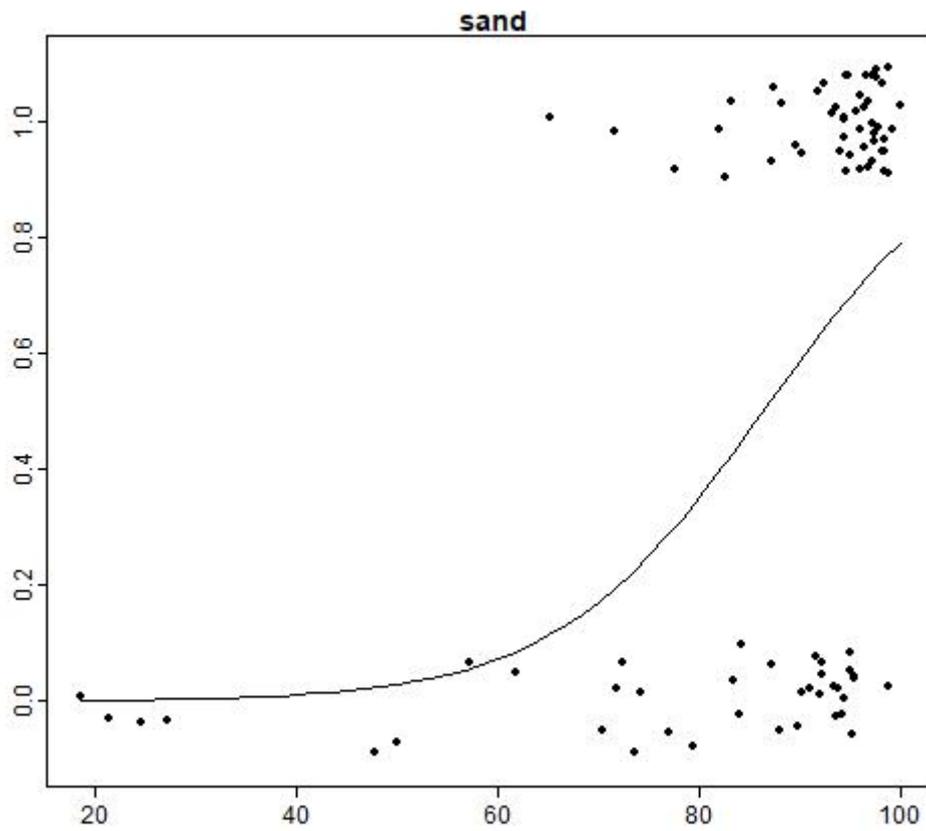


Figura A.8.2.4. Relazioni funzionali tra presenza/assenza e predittori per il modello semplice. Le unità di misura della variabile è indicata in Tabella A.8.2.1.

DHARMA residual

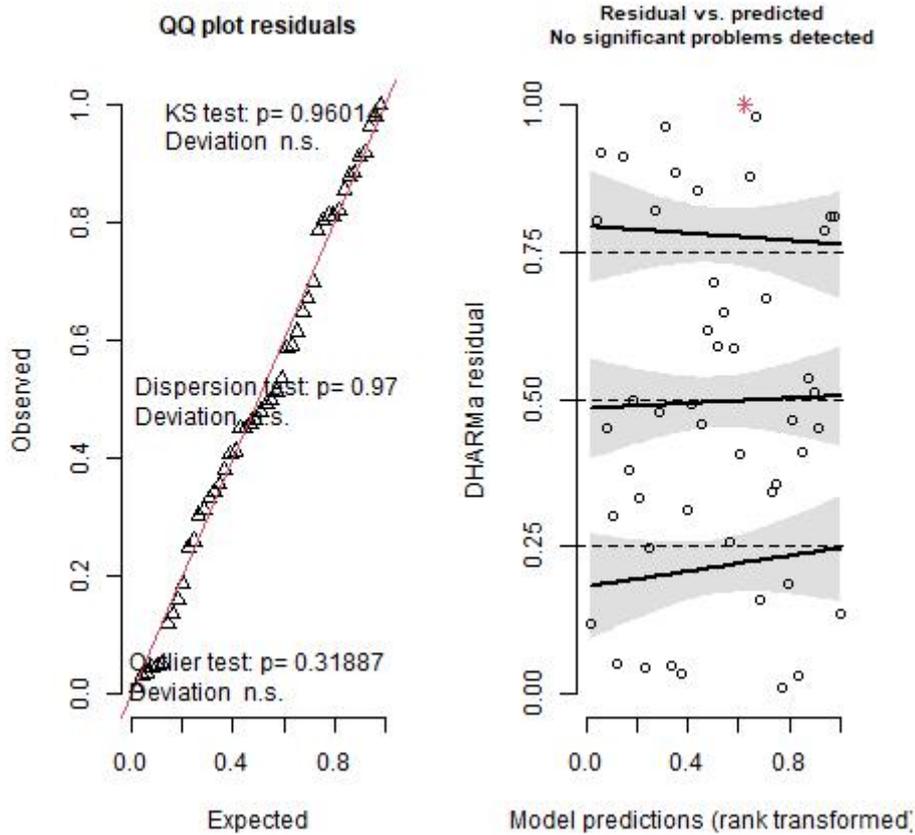


Figura A.8.2.5. Plot diagnostico per il modello di biomassa totale. Il plot a destra compara i quantili della variabile osservata e i quantili della variabile predetta. Le annotazioni riportano i risultati del test di Kolmogorof-Smirnov, il sulla devianza e il test sugli outliers. Il plot sulla sinistra presenta il comportamento dei residui contro i valori predetti dal modello. Le rette rappresentano delle interpolazioni lineari sui quartili del dataset e possono essere usati per diagnosticare eventuali trend nei residui del modello.

GLM biomassa

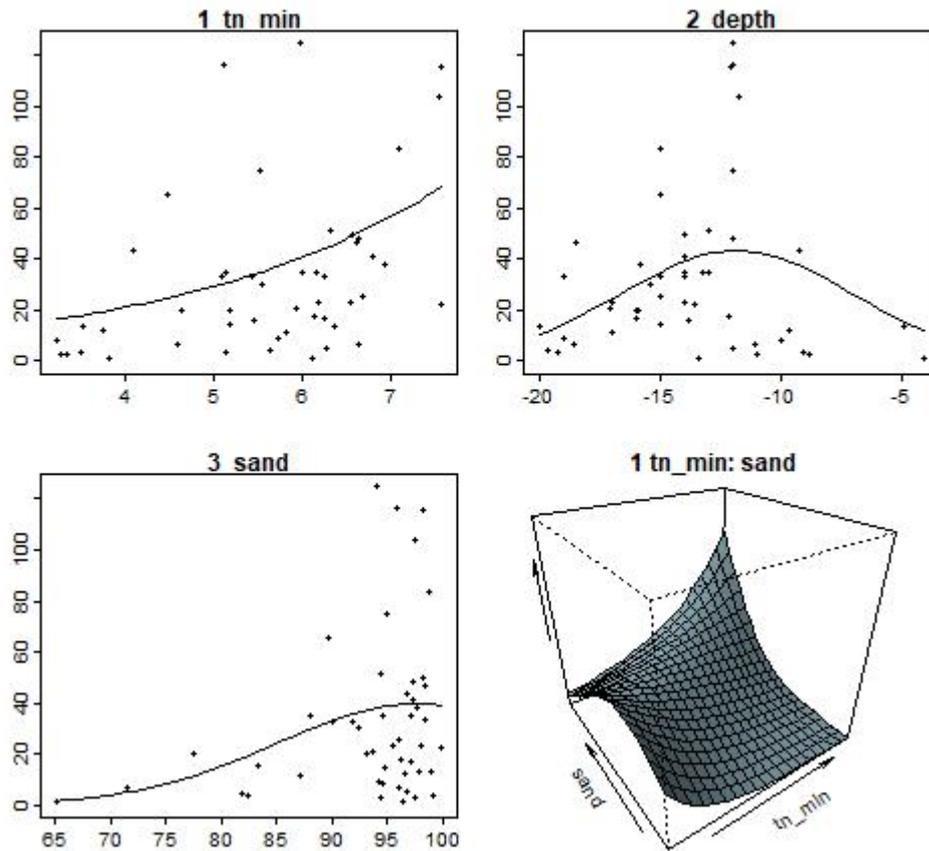


Figura A.8.2.6. Relazioni funzionali tra biomassa totale e predittori. Le unità di misura delle variabili sono indicate in Tabella A.8.2.1.

DHARMA residual

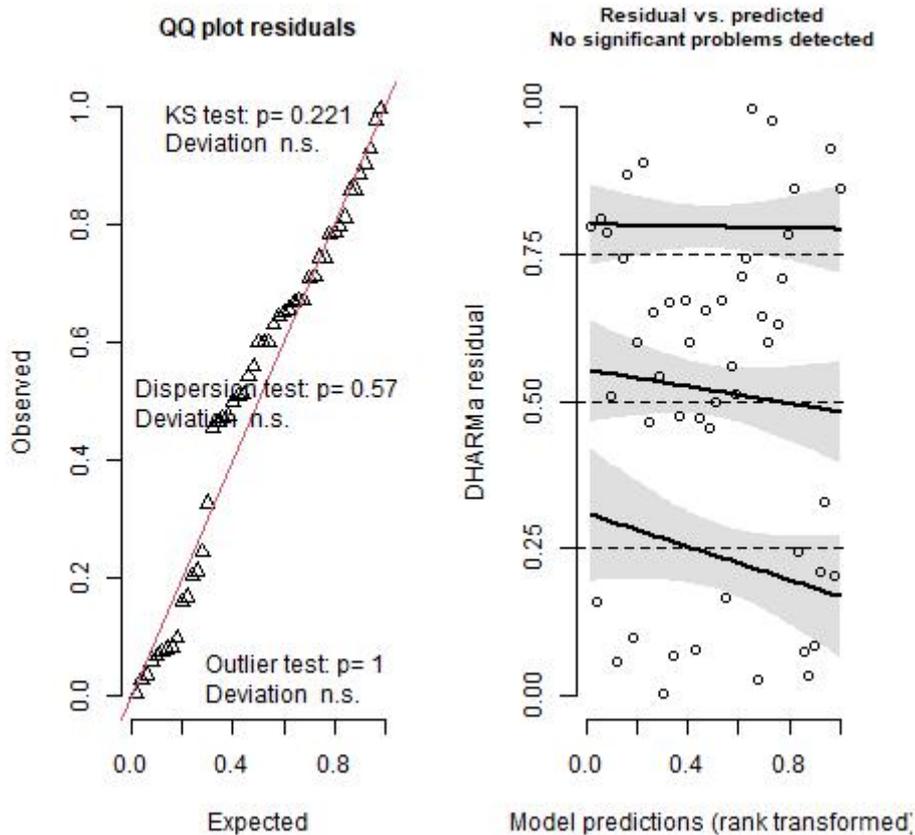


Figura A.8.2.7. Plot diagnostico per il modello di densità di individui > 40 mm. Il plot a destra compara i quantili della variabile osservata e i quantili della variabile predetta. Le annotazioni riportano i risultati del test di Kolmogorof-Smirnov, il sulla devianza e il test sugli outliers. Il plot sulla sinistra presenta il comportamento dei residui contro i valori predetti dal modello. Le rette rappresentano delle interpolazioni lineari sui quantili del dataset e possono essere usati per diagnosticare eventuali trend nei residui del modello.

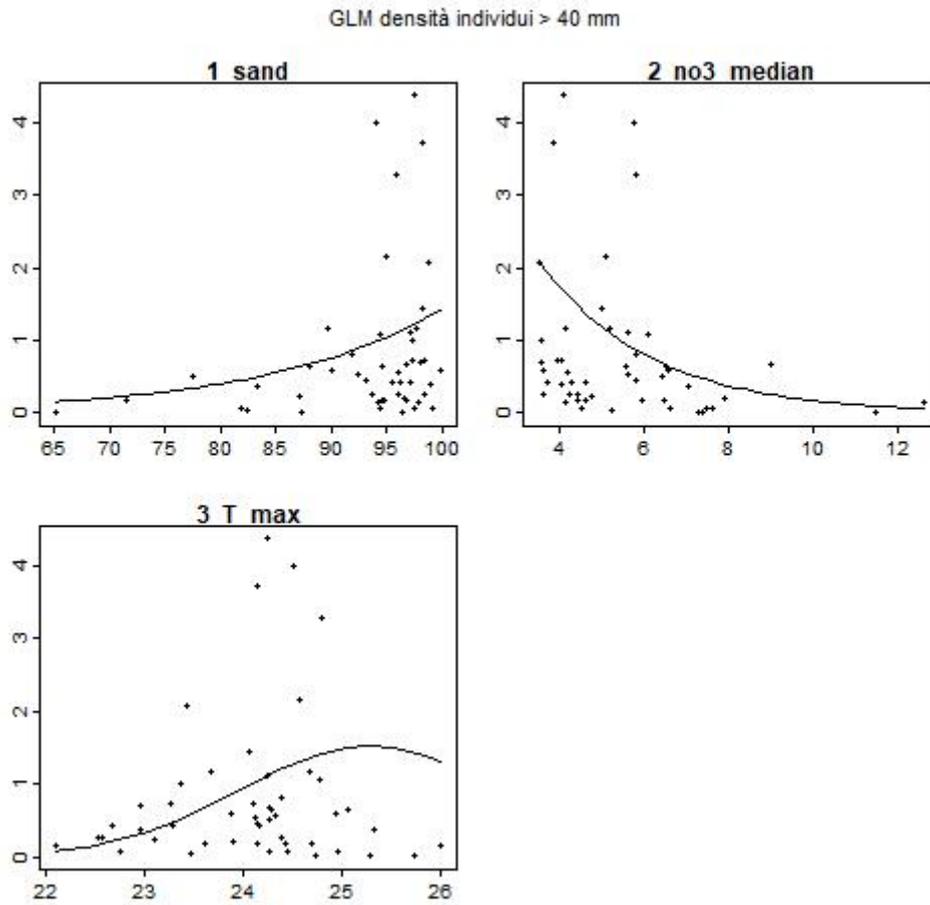


Figura A.8.2.8. Relazioni funzionali tra densità di individui di taglia commerciale e predittori. Le unità di misura delle variabili sono indicate in Tabella A.8.2.1.

Tabella 1. Lista dei taxa del fitoplancton.

●=presenza

+ = abbondanza scala da 1 a 5

data	15/06/21		17/06/21	
	Faro C	Faro D	Faro A bocca - 10m	Faro B bocca - 10m
Diatomee				
Amphora spp.				●
Asterionellopsis glacialis				
Asteromphalus spp.				
Bacillaria paxillifera		●		
Bacteriastrium sp. single	+++++	+++++	++	++++
Bacteriastrium spp.	●	●	●	●
Cerataulina pelagica	●	●	●	●
Chaetoceros affinis				
Chaetoceros curvisetus	●	●		
Chaetoceros dadaji				
Chaetoceros danicus				
Chaetoceros dydimus				
Chaetoceros diversus				
Chaetoceros				
lorenzianus/decipiens	●	●	●	●
Chaetoceros peruvianus				
Chaetoceros rostratus				
Chaetoceros teres/lauderi				
Chaetoceros tortissimus				
Chaetoceros spp. < 10µm	+++++	+++++	+++++	+++++
Cocconeis spp.		●		●
Coscinodiscus spp.				
Cyclotella spp.	●	●	●	+
Cylindrotheca closterium	●	●	●	●
Dactyliosolen blavyanus				
Dactyliosolen fragilissimus	+	++	●	●
Dactyliosolen phuketensis				
Diploneis spp.				
Entomoneis spp.				
Eucampia zodiacus f.				
cylindrocornis				
Guinardia flaccida		●		
Guinardia striata				
Gyrosigma/Pleurosigma spp.	●	●	●	●
Hemiaulus hauckii	●			

Hemiaulus sinensis				
Leptocylindrus mediterraneus				
Leptocylindrus spp.	•	•		•
Licmophota spp.				
Lithodesmium undulatum				
Navicula sp.				
Neocalyptrella robusta				
Odontella sp.				
Paralia sulcata			•	
Proboscia alata	•	•		•
Pseudo-nitzschia spp.				
Pseudosolenia calcar-avis				
Rhizosolenia imbricata				
Rhizosolenia spp.				
Skeletonema spp.				
Striatella unipunctata				
Thalassionema spp.	•	•	•	
Thalassiosira spp.				
Centriche indet. > 20 µm		•		
Centriche indet. < 20 µm				
Pennate indet. < 20 µm			•	
Pennate indet. > 20 µm	•		•	•
<u>Dinoflagellati</u>				
Akashiwo sanguinea			•	
Alexandrium pseudogonyaulax		•	•	•
Alexandrium spp.	•	•	•	
Azadinium caudatum				
Cochlodinium spp.				
Corythodinium tessellatum				
Dinophysis caudata				•
Dinophysis fortii				
Dinophysis cf. odiosa	•			
Dinophysis sacculus			•	
Dinophysis tripos				
Diplopsalis group				
Goniodoma polyedrum				
Gonyaulax polygramma	•	•	•	•
Gonyaulax spinifera	•	•	•	•
Gonyaulax verior				
Gonyaulax spp.				
Gymnodinium spp.				
Gyrodinium sp.			•	
Karenia sp.				
Kofofidinium velleloides	•	•	•	•

Lessardia elongata			●	
Lingulodinium polyedra			●	
Noctiluca scintillans	+	+	+	
Oxytoxum sceptrum				●
Oxytoxum scolopax	●	●	●	●
Oxytoxum viride				
Phalacoma rapa				
Phalacroma rotundatum		●		
Podolampas palmipes				
Podolampas spinifera				
Prorocentrum compressum	●			●
Prorocentrum dactylus				
Prorocentrum micans	●	++	+	+
Prorocentrum triestinum			●	●
Protoceratium reticulatum		●	●	
Protoperdinium bipes				
Protoperdinium spp.	●	●	●	●
Protoperdinium steinii	●	●	●	●
Pselodinium fusus				●
Pyrophacus horologium				
Torodinium robustum	●			
Triadinium polyedricum		●		
Tripes candelabrum				
Tripes furca	●	●	●	●
Tripes fusus	++	+	+	+
Tripes hexacanthus	●			
Tripes kofoidii				
Tripes longipes				
Tripes macroceros				
Tripes muelleri				
Tripes symmetricus				
Tripes trichoceros				●
Peridinoide indet.	●		●	●
Nudi indet. > 20 µm	●	+		●
Nudi indet. > 20 µm			●	
Tecati indet. > 20 µm	●	●	●	
Tecati indet. < 20 µm			●	●
cisti indet.				●
Coccolitofori				
Acanthoica quattrosospina				
Calciosolenia brasiliensis	●	●	●	
Calciosolenia murrayi				
Rhabdolithes claviger				
Syracosphaera pulchra				

Flagellati
Aptofite

Primnesioficee indet.	+	++	●	++
-----------------------	---	----	---	----

Cercozoa

Ebria tripartita
Hermesinum adriaticum

Clorofite

Pterosperma sp.

Ocrofite

Dictyocha fibula	●	++	●	●
Meringosphaera mediterranea	+	+	●	●
Ollicola vangoorii	●			
Octactis octonaria				
Octactis speculum		●		

# Taxa diatomee	15	17	13	14
# Taxa dinoflagellati	18	17	23	20
# Taxa coccolitofori	1	1	1	0
# Taxa flagellati	4	4	3	3
# Taxa tot	38	39	40	37

●=presenza

+ = abbondanza scala da 1 a 5

data	30/08/21		31/08/21	
	C		A'	
stazione	bocca -	D bocca	bocca -13.5m	B bocca - 10m
	13 m	-17 m		
Diatomee				
Amphora spp.		●		
Asterionellopsis glacialis				
Asteromphalus spp.	●	●		●
Bacillaria paxillifera				
Bacteriastrum sp. single				
Cerataulina pelagica	●	●	++	●
Chaetoceros affinis	●	●		
Chaetoceros curvisetus				
Chaetoceros dadaji	●	●		
Chaetoceros danicus				
Chaetoceros dydimus			●	
Chaetoceros diversus	●	●	●	
Chaetoceros lorenzianus/decipiens	●	●	●	●

Chaetoceros rostratus				
Chaetoceros teres/lauderi				
Chaetoceros tortissimus				
Chaetoceros spp. < 10µm	++	++	++++++	●
Cocconeis spp.				
Coscinodiscus spp.	●			
Cyclotella spp.		●		
Cylindrotheca closterium				●
Dactyliosolen blavyanus				
Dactyliosolen fragilissimus	●	●	++	●
Dactyliosolen phuketensis				
Diploneis spp.				
Entomoneis spp.				
Guinardia flaccida	●	●	●	
Guinardia striata	●	●	●	
Gyrosigma/Pleurosigma spp.	●	●	●	
Hemiaulus hauckii	●	●	●	
Hemiaulus sinensis				
Leptocylindrus mediterraneus				
Leptocylindrus spp.	●			
Licmophota spp.		●		●
Lithodesmium undulatum				
Navicula sp.	●			
Neocalyptrella robusta				
Odontella sp.				
Proboscia alata	++	+++	●	●
Pseudo-nitzschia spp.	++++++	++++++	+++	++
Pseudosolenia calcar-avis	●	●	●	
Rhizosolenia imbricata	●	●	●	
Rhizosolenia spp.			●	
Skeletonema spp.				
Striatella unipunctata				
Thalassionema spp.	++++++	+++++	++	++++++
Thalassiosira spp.		●		
Centriche indet. > 20 µm	●		●	
Centriche indet. < 20 µm		●		
Pennate indet. < 20 µm				
Pennate indet. > 20 µm				●
<u>Dinoflagellati</u>				
Akashiwo sanguinea				
Alexandrium pseudogonyaulax				
Alexandrium spp.	●			
Azadinium caudatum				
Cochlodinium spp.	●	●		

Corythodinium tessellatum				
Dinophysis caudata		•		
Dinophysis fortii		•	•	•
Dinophysis sacculus				
Dinophysis tripos				
Diplopsalis group				
Goniodoma polyedrum	•			
Gonyaulax polygramma		•	•	
Gonyaulax spinifera				
Gonyaulax verior		•		
Gonyaulax spp.				
Gymnodinium spp.				•
Gyrodinium sp.				
Karenia sp.				
Kofooidinium velleloides				
Lessardia elongata				
Lingulodinium polyedra				
Noctiluca scintillans				
Oxytoxum sceptrum	•	•	•	•
Oxytoxum scolopax				
Oxytoxum viride				
Podolampas palmipes	•	•	•	•
Podolampas spinifera				•
Prorocentrum compressum	•	•	•	
Prorocentrum dactylus			•	
Prorocentrum micans	•	•	•	•
Prorocentrum triestinum				
Protoceratium reticulatum				
Protoperidinium spp.	•	•	•	•
Protoperidinium steinii				
Pseliodinium fusus		•		
Pyrophacus horologium	•	•	•	
Torodinium robustum				
Triadinium polyedricum				
Tripos candelabrum				
Tripos furca	•	•	•	•
Tripos fusus	•	•	•	•
Tripos hexacanthus				
Tripos kofoidii				
Tripos longipes				
Tripos macroceros	•	•	•	•
Tripos symmetricus				
Tripos trichoceros	•	•	•	•
Peridinoide indet.		•	•	•

Nudi indet. > 20 µm				
Nudi indet. < 20 µm				
Tecati indet. > 20 µm		•		
Tecati indet. < 20 µm				
cisti indet.				
<u>Coccolitofori</u>				
Acanthoica quattrosolina				
Calciosolenia brasiliensis	•			
Rhabdolithes claviger	•	•	•	
Syracosphaera pulchra	•	•	•	•
<u>Flagellati</u>				
Aptofite				
Primnesiofitee indet.		•		
Cercozoa				
Ebria tripartita				
Hermesinum adriaticum	•	•	•	•
Clorofite				
Pterosperma sp.				
Ocrofite				
Dictyocha fibula	•	•		
Meringosphaera mediterranea				
Octactis octonaria				
Octactis speculum				
# Taxa diatomee	22	23	17	12
# Taxa dinoflagellati	15	18	14	13
# Taxa coccolitofori	3	2	2	1
# Taxa flagellati	2	3	1	1
# Taxa tot	42	46	34	27

•=presenza

+ = abbondanza scala da 1
a 5

data	17/11/21	19/11/21	18/02/22	18/02/22
stazione	D -18 C -13 m	B - A 9.5m	C D	A B
<u>Diatomee</u>				
Amphora spp.				

Asterionellopsis glacialis	●		●				
Bacillaria paxillifera							
Bacteriastrum sp. single							
Bacteriastrum spp.	●	●	●	●			
Cerataulina pelagica	●	●	●	●	●	●	●
Chaetoceros affinis	●	●	●	●			
Chaetoceros curvisetus	●	+	●	●			
Chaetoceros dadaji							
Chaetoceros danicus		●	●	●	●	●	●
Chaetoceros dydimus	●	●	●	●			
Chaetoceros diversus							
Chaetoceros peruvianus	●		●	●	●	●	●
Chaetoceros rostratus	●	●	●	●			
Chaetoceros teres/lauderi	●	●	●	●			
Chaetoceros tortissimus							●
Chaetoceros spp. < 10µm	●	+	●	●	●		
Cocconeis spp.						●	●
Coscinodiscus spp.	●	●	●	●	●	●	
Cyclotella spp.					●		●
Dactyliosolen blavyanus			●	●			
Dactyliosolen fragilissimus	●		●	●			
Dactyliosolen phuketensis		●		●	●	●	
Diploneis spp.	●	●	●	●			
Entomoneis spp.	●	●	●		●		
Eucampia zodiacus f. cylindrocornis	●	●	●	●			
Guinardia flaccida	●	●	●				●
Guinardia striata	●	●	●	●			
Gyrosigma/Pleurosigma spp.	●	●	●	●	●	●	●
Hemiaulus sinensis	●	●	●				
Leptocylindrus mediterraneus							●
Leptocylindrus spp.	●			●	●		●
Licmophota spp.							●
Lithodesmium undulatum	●	●	●	●			
Navicula sp.							
Neocalyptrella robusta	●	●					
Paralia sulcata	●	●	●	●	●	●	
Proboscia alata		●	●	●			
Pseudo-nitzschia spp.	+++++	+++++	++++	++++	●		
Pseudosolenia calcar-avis							
Rhizosolenia imbricata	●	●	●				
Rhizosolenia spp.	●	●	●	●			

Skeletonema spp.					•		•	•	
Striatella unipunctata								•	
Thalassionema spp.	•	•	•	•	•	•	•	•	
Thalassiosira spp.	•	•	•	•	•	•	•	•	
Centriche indet. > 20 µm									
Centriche indet. < 20 µm									
Pennate indet. < 20 µm	•			•		•			
Pennate indet. > 20 µm		•				•	•	•	
<u>Dinoflagellati</u>									
Akashiwo sanguinea									
Alexandrium pseudogonyaulax			•		•		•		
Alexandrium spp.				•	•	•		•	
Azadinium caudatum				•	•				
Cochlodinium spp.									
Dinophysis caudata	•			•					
Dinophysis fortii	•	+		•	•	•	•	•	
Dinophysis cf. odiosa									
Dinophysis sacculus	•				•				
Dinophysis tripos		•							
Diplopsalis group	•	•		•				•	
Goniodoma polyedrum									
Gonyaulax polygramma		•			•	•			
Gonyaulax spinifera				•	•				
Gonyaulax verior				•					
Gonyaulax spp.	•								
Gymnodinium spp.	•								
Karenia sp.		•		•					
Kofooidinium velleloides				•					
Lessardia elongata								•	
Lingulodinium polyedra									
Noctiluca scintillans									
Oxytoxum sceptrum	•			•					
Oxytoxum scolopax									
Oxytoxum viride				•					
Phalacoma rapa	•			•					
Phalacroma rotundatum	•	•		•			•	•	
Podolampas spinifera									
Prorocentrum compressum				•	•				
Prorocentrum dactylus		•							
Prorocentrum micans		•		•	•		•		
Prorocentrum triestinum									
Protoceratium reticulatum									

Protoperidinium bipes					•	•		
Protoperidinium spp.	•	•	•	•	•		•	
Protoperidinium steinii								
Pselodinium fusus	•	•	•	•	•			
Pyrophacus horologium	•	•						
Torodinium robustum								
Triadinium polyedricum								
Tripes candelabrum	•	•	•					
Tripes fusus	•	•	•	•	•	•	•	•
Tripes hexacanthus		•	•					
Tripes kofoidii			•					
Tripes longipes	•	•	•	•				
Tripes macroceros	•	•		•				
Tripes muelleri			•		•			•
Tripes symmetricus		•						
Tripes trichoceros		•	•					
Peridinoide indet.							•	•
Nudi indet. > 20 µm			•					
Nudi indet. > 20 µm cisti indet.	•							
<u>Coccolitofori</u>								
Acanthoica quattrosolina			•		•			
Calciosolenia brasiliensis	•	•			•			
Calciosolenia murrayi	•	•	•	•				
Rhabdolites claviger	•		•					
Syracosphaera pulchra	•		•			•		•
<u>Flagellati</u>								
Aptofite								
Primnesioficee indet.	•	•	•	•				
Cercozoa								
Hermesinum adriaticum								•
Clorofite								
Pterosperma sp.		•						
Ocrofite								
Dictyocha fibula	•	•	+	•	•	•	•	•
Meringosphaera mediterranea								•
Ollicola vangoorii								
Octactis octonaria		•	•		•	•	•	
Octactis speculum				•	•		•	•
# Taxa diatomee	30	30	34	32	13	12	13	14
# Taxa dinoflagellati	19	22	24	10	13	7	11	12
# Taxa coccolitofori	4	2	4	1	2	1	0	1



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

# Taxa flagellati	2	4	3	3	4	2	4	4
# Taxa tot	55	58	65	46	32	22	28	31