



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale in Scienze Ambientali
(Classe LM-75)

Tesi di Laurea

**Analisi della distribuzione degli organismi
nectonici mediante metodologie di
acustica attiva nelle tre bocche di porto
della laguna di Venezia**

Relatore

Prof. Fabio Pranovi

Correlatore

Dr. Marco Anelli Monti

Laureando

Emmanuele Stocco

Matricola: 974609

Anno accademico

2019/2020

SOMMARIO

Abstract	5
1. Introduzione	6
1.1 L'importanza degli ambienti di transizione per la fauna marina	6
1.2 La laguna di Venezia e la connettività con il mare Adriatico.....	8
1.3 Acustica attiva: innovazione e vantaggi	10
1.4 L'echosounder	11
1.5 Scopo della tesi	15
2. Materiali e metodi	17
2.1 Campionamenti	17
2.2 Strumentazione	18
2.3 Target strength	24
2.4 Relazione Target Strength (TS) vs. Total Length (TL).....	25
2.5 Modellizzazione dei dati	27
2.6 Monitoraggi	29
2.7 Stazioni di campionamento e regime di marea	34
3. Risultati	35
3.1 Condizioni di marea	36
3.2 Numero di target rilevati	39
3.3 Profondità dei target	42
3.4 Target strength	46
4. Discussioni e conclusione	49
Bibliografia	54

Abstract

L'elaborato finale consiste nello studio della distribuzione verticale degli organismi nectonici nella colonna d'acqua, nelle tre bocche di porto della laguna di Venezia. I dati raccolti sono frutto di campagne di rilievo condotte mediante l'uso di acustica attiva. Grazie all'uso di un echosounder scientifico, uno strumento che emette impulsi sonori che si propagano attraverso la colonna d'acqua e ne registra gli echi, è stato possibile localizzare gli organismi marini. Poiché l'eco riflessa dai target viene registrata tramite il transceiver è possibile ottenere una rappresentazione grafica (ecogramma) della colonna d'acqua, compresa la fauna nectonica presente. Grazie a questo tipo di strumentazione è stato possibile determinare precisamente posizione e profondità dei vari organismi, ottenendo anche un'indicazione della loro taglia, relazionabile all'intensità dell'eco registrata. Sono stati osservati diversi pattern di distribuzione verticale dovuti alle differenti batimetrie e morfologie delle tre bocche. I survey oggetto di analisi, durati complessivamente sei mesi, comprendono diverse condizioni mareali e stagionali che hanno permesso di relazionare il comportamento dei target col variare delle condizioni ambientali. I risultati ottenuti hanno quindi consentito di definire la possibile relazione tra la densità di organismi nectonici e la profondità delle bocche di porto, nonché l'influenza delle condizioni di marea. Ad esempio, si è osservato come le maggiori densità di organismi nectonici siano rinvenibili nei siti di Malamocco e Chioggia, caratterizzati entrambi da profondità medie sensibilmente maggiori rispetto al sito del Lido. Questo pattern sembra confermato anche dalle abbondanze totali, sempre maggiori nelle bocche di porto centro-meridionali. Tutto questo porta a definire una relazione preferenziale tra presenza di organismi nectonici e sviluppo verticale dei porticanale rispetto alla mera estensione orizzontale.

1. Introduzione

1.1 L'importanza degli ambienti di transizione per la fauna marina

Le lagune costiere costituiscono solamente il 10% degli ambienti di transizione presenti in tutto il mondo. Tuttavia, già da diversi decenni il mondo scientifico ne ha compreso l'importanza ecologica e funzionale dal momento che questi ambienti permettono il mantenimento dei cicli biologici di molte specie, anche di interesse commerciale. Le risorse ittiche in esse presenti, infatti, le rendono un importante tassello per lo sviluppo economico (Deegan *et al.*, 2002; Malavasi *et al.*, 2004; Franco *et al.*, 2006a; Franco *et al.*, 2008, 2009; Perez-Ruzafa, 2012). Purtroppo, però, le aree costiere non sono esenti da influenze antropiche negative come lo sversamento di inquinanti, il sovrasfruttamento e il traffico marittimo non regolamentato (Kjerfve *et al.*, 1996).

Generalmente gli ambienti di basso fondale sono particolarmente importanti in quanto la produzione primaria e secondaria raggiungono livelli molto superiori rispetto agli adiacenti ecosistemi marini (Allen, 1982; Deegan e Thompson, 1985; Deegan *et al.*, 2002; Elliott *et al.*, 2007). Per tali ragioni, molti organismi migratori sfruttano questi ambienti per alcune fasi del ciclo vitale, rivestendo così un ruolo chiave anche dal punto di vista economico (Deegan *et al.*, 2002; Perez-Ruzafa *et al.*, 2004; Able, 2005).

Le lagune costiere sono caratterizzate da una ricca biodiversità dovuta ad un'elevata eterogeneità naturale, per via dei forti gradienti nei parametri ambientali nonché per la diversità degli habitat presenti (Elliott *et al.*, 2007; Franco *et al.*, 2006a, 2009; Franzoi, 2010). Inoltre, diversi studi portano ad affermare che le aree estuarine siano caratterizzate da tassi di crescita maggiori rispetto a quelle marine (Elliott *et al.*, 2007; Franzoi *et al.*, 2010).

Si è visto che ambienti simili, seppur posti in aree geografiche differenti, presentano un funzionamento ecologico confrontabile. In modo particolare, le acque di transizione

vengono tipicamente sfruttate dalla fauna neotonica come aree di nursery, ovvero aree riproduttive (Rountree e Able, 2007; Franco *et al.*, 2006a, 2010; Franzoi *et al.*, 2010; Zucchetta *et al.*, 2010). Le aree di nursery sono localizzate in luoghi circoscritti della laguna, caratterizzati da fondale basso e acqua torbida. Le loro peculiarità le rendono particolarmente protette dai predatori e adatte all'instaurarsi di condizioni chimico – fisiche utili per la crescita (Elliott *et al.*, 2007).

Generalmente gli organismi marini che sfruttano le lagune come nursery, dopo la fase di riproduzione, rilasciano le uova pelagiche in mare aperto (Deegan *et al.*, 2002). Le uova e le larve di queste specie, inizialmente, vengono trasportate in maniera passiva poiché non sono in grado di opporsi al moto delle correnti. In seguito, invece, acquisiscono capacità motorie semi-attive, come ad esempio i “cambiamenti di galleggiamento” e le “migrazioni verticali”. Le correnti, le maree tidali e le migrazioni verticali regolano, quindi, l'entrata in laguna dei giovanili (Beck *et al.*, 2001; Chiappa-Carrara *et al.*, 2003; Elliott *et al.*, 2007;).

Concluso l'accrescimento, gli individui adulti o sub adulti sfruttano i canali tidali per uscire dalla laguna e spostarsi in mare aperto (Capoccioni *et al.*, 2019).

I gradienti chimico fisici dei parametri ambientali, così come il trasporto di uova e larve di pesci, sono regolati quasi esclusivamente dagli scambi d'acqua tra il mare e la laguna. Le maree, le correnti e il clima influenzano questi spostamenti, soprattutto in ambienti di transizione come la laguna di Venezia, dove l'apporto di acqua dolce fluviale è molto diminuito nei secoli (Gacic *et al.*, 2002; Chiappa-Carrara *et al.*, 2003; Martino e Able, 2003; Perez-Ruzafa *et al.*, 2004; Solidoro *et al.*, 2004; Able *et al.*, 2005; Cucco e Umgiesser, 2006; Kent *et al.*, 2013). La connettività mare-laguna risulta quindi fondamentale per il funzionamento degli ecosistemi di transizione e porta una qualità ambientale tale per cui viene garantita un'elevata biodiversità (Deegan *et al.*, 2002; Able, 2005; Elliott *et al.*, 2007).

1.2 La laguna di Venezia e la connettività con il mare Adriatico

La laguna di Venezia costituisce una delle aree più studiate al mondo per via della convergenza di interessi in essa presenti, dall'aspetto economico (settore della pesca, del turismo, del petrolchimico, dei trasporti), a quello sociale (l'area metropolitana di Venezia è una delle più densamente popolate d'Europa), nonché ambientale. Essa si è originata indicativamente nell'Olocene, circa 6'000 anni fa quando, successivamente al periodo glaciale del wurmiano, i ghiacci si sono sciolti provocando un aumento globale del livello marino. Conseguentemente a ciò la parte settentrionale del futuro mare Adriatico si è inondata, formando un sistema di proto-lagune lungo la costa nord-orientale della penisola italiana (Solidoro *et al.*, 2010). Nei millenni successivi, questo sistema costiero ha subito una frammentazione da cui ha avuto origine anche la laguna di Venezia (Brambati, 1992). Nei secoli, poi, la laguna è stata plasmata fino all'attuale configurazione. I fattori che hanno determinato le modifiche nel corso del tempo sono sia di tipo naturale (deposito di materiale fluviale e di erosione), sia di tipo antropico (deviazioni di fiumi, costruzione di opere di difesa dalle mareggiate) (Solidoro *et al.*, 2010).

La laguna di Venezia (Fig. 1) è localizzata geograficamente lungo la costa settentrionale dell'Adriatico, tra le foci dei fiumi Piave e Brenta (45° 26' N, 12° 20' E). Con i suoi 550 km² di superficie è la più grande laguna in Italia e la più estesa in tutto il Mediterraneo. Il suo ambiente è formato sia da zone sempre emerse o quasi (Venezia, isole minori e barene), sia da zone costantemente sommerse (chiari, velme e canali).

La profondità dei fondali è variabile: sono presenti specchi d'acqua con profondità comprese tra uno e tre metri e aree di canale che possono raggiungere anche trenta metri. Le tre bocche di porto, ovvero quella del Lido, Malamocco e Chioggia, collegano la laguna con il mare Adriatico garantendo il ricambio d'acqua e il transito degli organismi (Franco *et al.*, 2006). Lungo l'alto Adriatico, negli habitat di basso fondale degli ambienti di transizione, si possono rinvenire molte specie ittiche a riproduzione marina allo stadio giovanile, tra cui: l'orata (*Sparus aurata*), la spigola (*Dicentrarchus labrax*), la passera (*Platichthys flesus*), la sogliola (*Solea solea*), e molte specie di cefali. I primi arrivi

corrispondono a larve o postlarve di lunghezza generalmente minore ai 20 mm. In questi ecosistemi, in particolare nei canali nei pressi delle bocche, possono essere rinvenuti anche stadi larvali e giovanili di piccoli pelagici, quali acciuga (*Engraulis encrasicolus*), sardina (*Sardina pilchardus*) e spratto (*Sprattus sprattus*). Negli ambienti lagunari del nord Adriatico, nel periodo che va dalla fine dell'inverno all'inizio della primavera, si registra il picco principale di migratori giovanili mentre, verso la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno, si osserva un secondo picco (Franzoi *et al.* 2010). Nel periodo tardo autunnale, invece, per via della netta diminuzione della temperatura nelle acque lagunari, queste specie si spostano verso il mare aperto (Franzoi *et al.* 2010). Ci sono studi approfonditi sulle comunità di basso fondale e, grazie a questi, si è potuto comprendere l'importanza ecologica della laguna di Venezia. Nell'alto Adriatico le risorse alieutiche delle lagune e delle aree marine costiere sono estremamente connesse, spesso appartenenti alla stessa popolazione. Comprendere gli spostamenti dentro e fuori la laguna, l'intensità in termini di biomassa e taglia, delle specie interessate, delle condizioni meteo marine, è di fondamentale importanza soprattutto a fini gestionali, nell'ottica di una laguna sottoposta a temporanee disconnessioni per via dell'entrata in funzione del MoSE.



Figura 1. Immagine della laguna di Venezia

1.3 Acustica attiva: innovazione e vantaggi

Il presente studio ha visto l'applicazione di tecniche di acustica attiva. Tale metodologia ha dei vantaggi notevoli nel monitoraggio dell'ittiofauna dal momento che consentono di coprire una vasta area di studio e prolungare i periodi di campionamento, aumentandone la frequenza. Inoltre, tali campionamenti non disturbano la fauna marina e permettono di campionare anche in aree nelle quali le modalità di campionamento 'tradizionali', basate sull'utilizzo di attrezzi da pesca, non sono consentite, come ad esempio nei canali e nelle bocche di porto della laguna di Venezia. Questo non significa che le tecniche di acustica attiva possano sostituire interamente le metodologie classiche, anzi, quest'ultime vanno considerate come uno strumento complementare, per esempio, nella definizione delle specie presenti. Ecco, quindi, che diventa ancora più importante rivisitare attentamente le tecniche più tradizionali in modo che possano costituire un valido aiuto nei confronti delle tecnologie più recenti.

1.4 L'echosounder

Gli ecoscandagli (Echo-sounders) sono strumenti che raccolgono dati geofisici nel campo dell'esplorazione marina, utilizzando l'emissione di impulsi acustici a frequenza ed intensità note e la misurazione del tempo trascorso tra l'emissione dell'impulso e l'arrivo del segnale riflesso da un qualsiasi bersaglio, sia esso il fondale od oggetti nella colonna d'acqua, come illustrato anche in figura 2. Più nello specifico l'individuazione dei pesci avviene per via dell'aria presente nelle loro vesciche natatorie che cambia il percorso del suono e riflette l'energia. Quest'energia riflessa viene poi convertita in immagini che vengono proiettate in un monitor, come nell'esempio illustrato in figura 3.

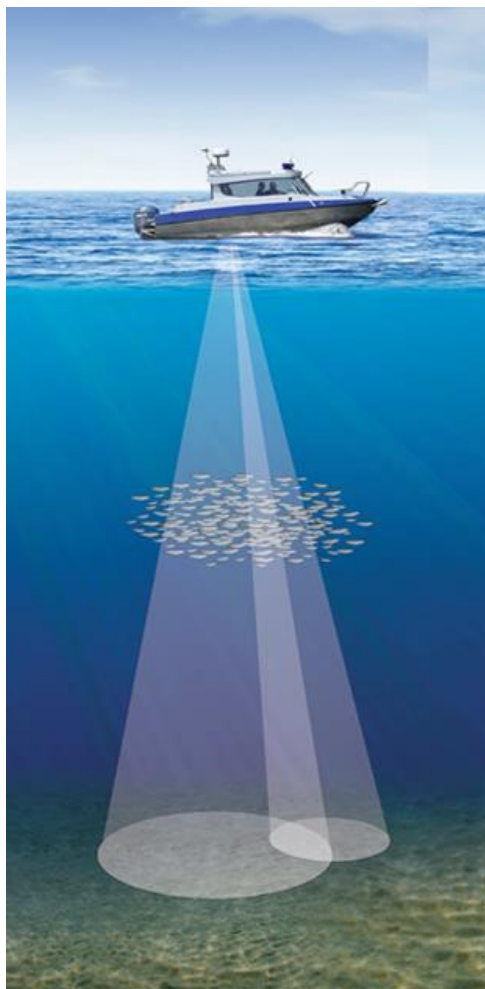


Figura 2. I sonar inviano onde sonore nell'acqua che rimbalzano quando colpiscono un oggetto. Il pesce riflette una parte del segnale sulla barca, il resto del segnale continua sul fondo del mare.

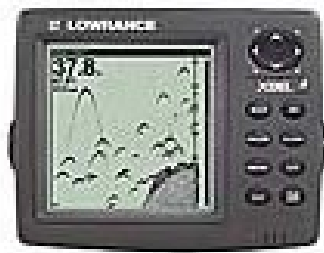


Figura 3. Visualizzazione delle tracce dei pesci.

Gli ecoscandagli possono essere impostati a diverse frequenze, in un range che va dai 20 ai 200 kHz. Basse frequenze penetrano a profondità maggiori ma sono caratterizzate da una bassa risoluzione, al contrario alte frequenze riescono ad indagare porzioni meno profonde ma con una maggiore capacità di risoluzione. Il suono emesso dal trasduttore forma un cono che si allarga via via all'aumentare della profondità (Fig.4).

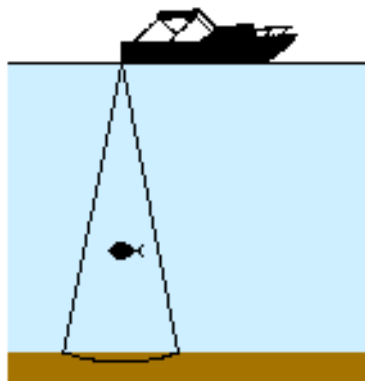


Figura 4. Il suono trasmesso dal trasduttore dell'imbarcazione si diffonde in forma conica.

I pesci che si muovono all'interno del cono possono riflettere una parte del suono al trasduttore andando a costituire un'eco che verrà ricevuto dal trasduttore stesso, con differenze se si tratta di bersagli singoli o di banchi di pesci.

Quando un pesce viene 'sonificato' restituirà un segnale ad arco, dovuto al fatto che esso viene colpito da più impulsi acustici mentre si trova all'interno del cono del trasduttore (Fig.5). Tra gli ecoscandagli distinguiamo quelli a singolo fascio (Single-beam) e a fascio multiplo (Multi-beam). Entrambi vengono utilizzati per i rilevamenti batimetrici, però i secondi restituiscono un'immagine molto più dettagliata delle

strutture sottomarine e della topografia. Nel caso di ecoscandagli a singolo fascio i dati batimetrici vengono acquisiti lungo la perpendicolare alla rotta della nave, mentre nel caso di ecoscandagli a fasci multipli, i dati vengono acquisiti perpendicolarmente e lateralmente alla rotta di navigazione. In quest'ultimo caso le informazioni che si ricavano sono relative alla dimensione della lunghezza (x), altezza (y) e profondità (z).

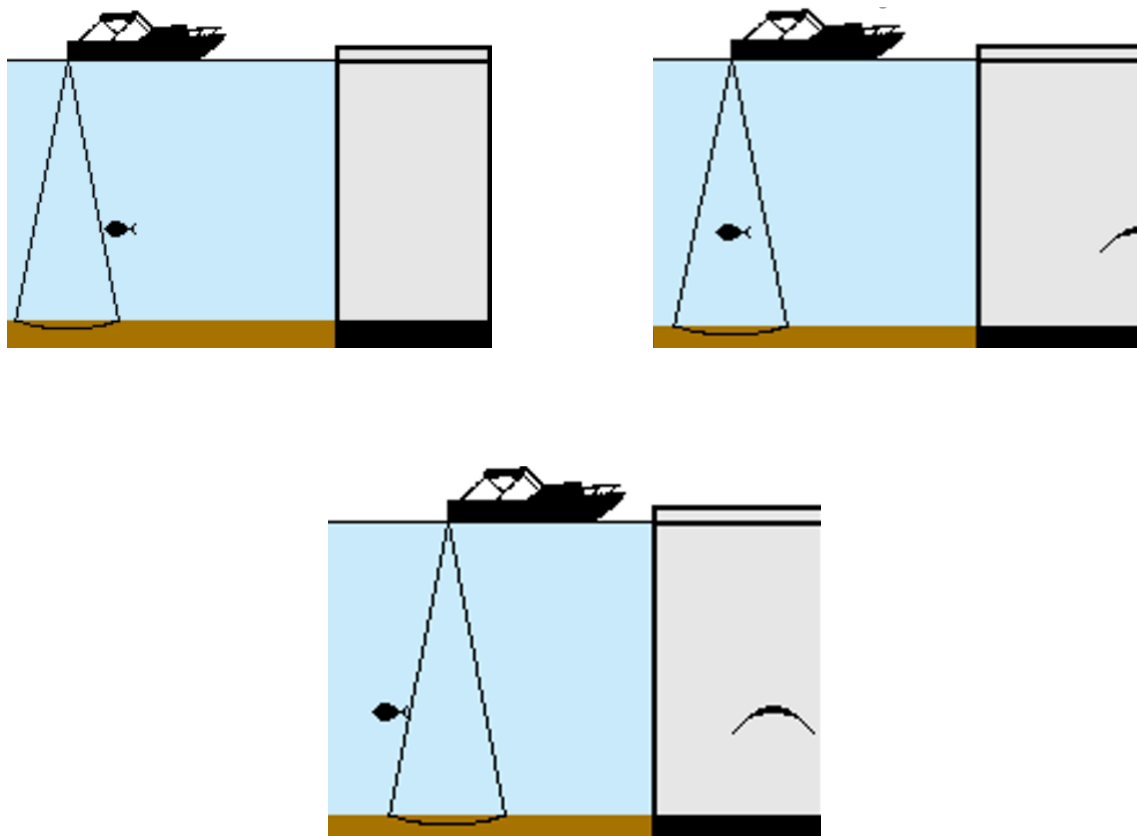


Figura 5. Esempio di come si forma un arco quando un pesce passa attraverso il raggio del sonar. Partendo dalla prima immagine a sinistra e procedendo in senso orario vediamo cosa appare nel monitor nelle seguenti fasi: prima che il pesce entri nel cono, mentre il pesce è all'interno del cono, appena il pesce esce dal cono.

Gli ecoscandagli tradizionali, ovvero i Single-Beam Echo-Sounders, sono dotati di un trasduttore montato a chiglia il quale emette un'onda sonora. Quest'ultima si propaga fino ad incontrare un ostacolo che la farà riflettere, provocando così un eco di ritorno che giungerà al trasduttore. Lo strumento, quindi, rileverà il tempo totale dell'intero processo che potrà essere convertito in spazio nota la velocità del suono in acqua, secondo la formula seguente:

$$d = \frac{v \cdot t}{2} + k + d_r$$

dove:

d = profondità

v = velocità media del suono nella colonna d'acqua

t = tempo misurato dal trasduttore al fondo e poi nuovamente al trasduttore

k = costante dell'indice di sistema

d_r = profondità del trasduttore

Durante la fase di survey non sempre è possibile determinare con esattezza i valori di v , t e d e inoltre k necessita di periodiche calibrazioni della strumentazione. La precisione nella misura della profondità dipende in gran parte dalla forma o l'intensità dell'impulso di ritorno (Morang et al., 1997; Jones, 1999).

1.5 Scopo della tesi

Il seguente lavoro di tesi costituisce un'analisi di diversi campionamenti svolti nella laguna di Venezia, in corrispondenza delle tre bocche di porto, mediante l'utilizzo di tecniche innovative, basate sull'acustica attiva, più affidabili e meno invasive rispetto agli approcci più tradizionali. Le aree scelte non sono casuali bensì zone cruciali dell'ecosistema marino locale: dalle bocche di porto, infatti, dipende la sopravvivenza della laguna stessa e degli organismi che in essa vi abitano. È inoltre importante sottolineare come l'ambiente lagunare sia particolarmente adatto per scopi riproduttivi, rendendola ancor più un tassello fondamentale nel mantenimento della biodiversità. Lo studio intrapreso nasce dalla necessità di approfondire la conoscenza di questi ambienti, ancora limitata, esigenza sempre più attuale per via della recente entrata in funzione delle dighe mobili del MoSE, volte a difendere la città di Venezia dalle alte maree. Tale opera ingegneristica porta in sé certamente dei grossi vantaggi a livello gestionale e antropico ma d'altro canto potrebbe generare problematiche non indifferenti per la flora e la fauna marina, andando ad alterare delicati equilibri instauratisi nel corso degli anni. I dati che sono stati elaborati nel seguente lavoro di tesi sono relativi al periodo appena precedente l'entrata in funzione del MoSE: tali ricerche di frontiere possono quindi costituire un buon punto di partenza per capire quali possano essere le conseguenze sugli organismi delle temporanee disconnessioni tra mare e laguna causate dalle dighe mobili. Sono diversi gli aspetti della vita nectonica estrapolabili dai campionamenti, tuttavia in questa sede approfondiremo in modo particolare solo alcune sfaccettature.

La nostra attenzione verrà quindi posta su:

- *Profondità* *dei* *target*
Notiamo delle differenze tra le tre bocche di porto? Osserviamo dei cambiamenti in una stessa bocca di porto con l'alternarsi delle stagioni? Le fasi di marea influenzano questo parametro?

- *Target strength*

A livello dimensionale il necton differisce fra le tre bocche di porto? Si nota una differenziazione dimensionale con la profondità? L'alternarsi delle stagioni crea dei cambiamenti in una stessa bocca di porto? I regimi di marea vanno ad influire su questo parametro?

2. Materiali e metodi

2.1 Campionamenti

I monitoraggi mediante acustica attiva hanno previsto 4 campagne condotte nel corso del 2019, in corrispondenza delle tre bocche di porto. In totale sono state effettuate 12 giornate di campionamento (Tab.1).

Campagna	Data	Sito	Orario di inizio attività	Orario di fine attività	Condizioni meteo
1	04/09/2019	Chioggia	09:50	17:30	Soleggiato
1	05/09/2019	Malamocco	09:55	17:30	Soleggiato
1	12/09/2019	Lido	10:30	18:00	Soleggiato
2	28/10/2019	Lido	11:00	17:00	Soleggiato
2	25/11/2019	Malamocco	10:00	15:00	Soleggiato
2	26/11/2019	Chioggia	09:30	16:30	Soleggiato
3	03/12/2019	Lido	09:20	15:25	Soleggiato
3	04/12/2019	Malamocco	09:15	16:45	Soleggiato
3	09/12/2019	Chioggia	10:00	15:50	Pioggia
4	10/12/2019	Lido	09:20	16:40	Soleggiato
4	11/12/2019	Malamocco	09:30	16:50	Soleggiato
4	23/12/2019	Chioggia	08:55	16:15	Soleggiato

Tabella 1. Date dei monitoraggi svolti nelle tre bocche di porto nell'arco del 2019

2.2 Strumentazione

Gli echosounder scientifici possono operare a frequenze più o meno alte, generalmente comprese tra 1 KHz e 5 MHz. Come illustrato anche in figura 6, le basse frequenze si propagano più in profondità nella colonna d'acqua rispetto alle alte frequenze, tuttavia si ha una risoluzione più bassa del bersaglio. Le alte frequenze, superiori ai 200kHz, riescono a 'risolvere' target molto piccoli, sotto il millimetro di dimensione. Va comunque sottolineato che le porzioni di colonna d'acqua che riescono ad investigare sono di gran lunga inferiori, dato che il segnale si attenua molto prima.

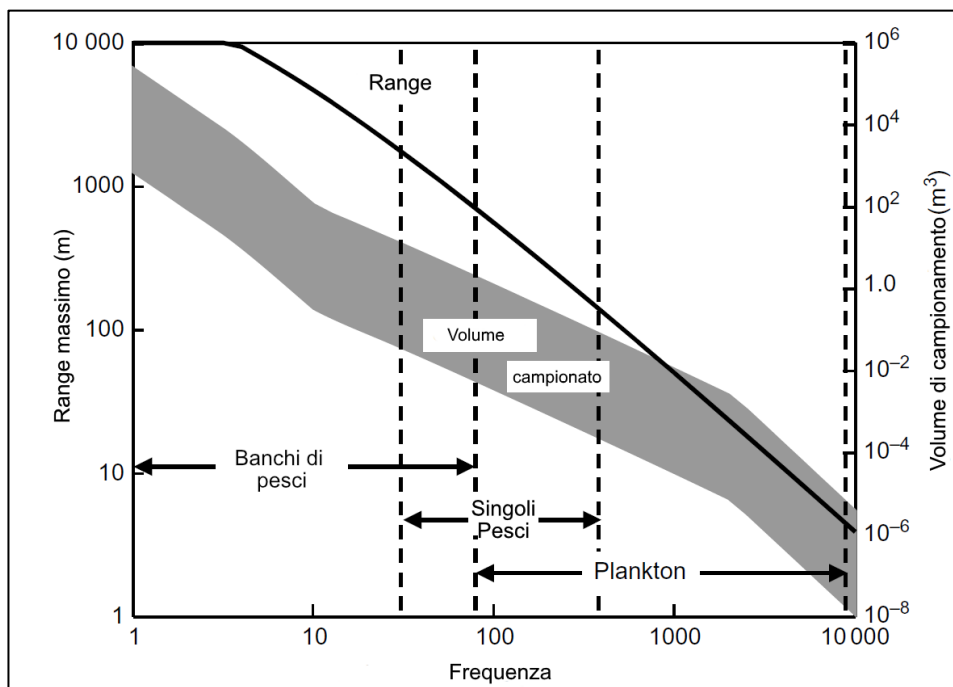


Figura 6. Il grafico ci mostra come la capacità dei sonar di rilevare dei target dipenda dalla frequenza delle onde sonore emesse: in ordinata è indicato il range verticale, ovvero la massima distanza a cui i bersagli possono essere identificati dal rumore di fondo, mentre in ascissa sono riportate le frequenze tipicamente usate per il campionamento di banchi, singoli bersagli e plancton.

Nel corso delle analisi è possibile imbattersi in rumori di fondo, dovuti ad un alto rapporto tra segnale e rumore, come anche è possibile rilevare dei side lobes, ovvero regioni accessorie che interferiscono con la regione centrale. È quindi necessario in fase di progettazione utilizzare tutti gli accorgimenti tecnici e strutturali per minimizzare il più possibile questi fenomeni. Va inoltre aggiunto che la trasmissione delle onde sonore in acqua dipende anche dalle caratteristiche chimico-fisiche del medium stesso (ad esempio salinità e temperatura) ed è perciò necessario tarare l'echosounder per avere un'intensità di risposta specifica per le condizioni medie di campionamento. Per calibrare il sistema sia in CW che in WB è stata utilizzata una sfera di tungsteno di 38.1 mm di diametro (Fig. 7). Le dimensioni e le proprietà riflettenti della sfera, ovvero il backscattering, sono note e vengono registrate dal software ed utilizzate per la calibrazione del segnale.



Figura 7. Sfera di calibrazione in carburo di tungsteno utilizzata per tarare l'echosounder scientifico.

La strumentazione utilizzata ha previsto l'uso di un trasduttore operante rispettivamente a 38 e 200 kHz. Per i 38 kHz, si è utilizzata una tecnologia split-beam, che permette di definire anche la direzionalità dei target: il trasduttore è infatti idealmente diviso in quadranti che registrano l'intensità di risposta dell'eco (Figura 8 A). Integrando le 4 intensità per ciascun ping è possibile stimare la posizione del target all'interno del cono di emissione. La direzione del movimento del bersaglio è quindi identificabile sommando le posizioni appartenenti ad un singolo pesce per più ping consecutivi (Figura 8 B).

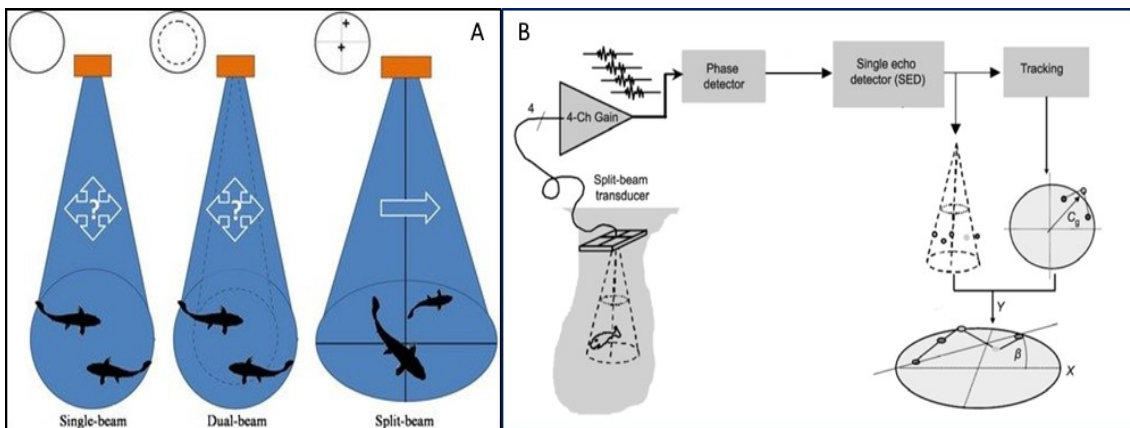


Figura 8. A – La tecnologia single beam è in grado di discriminare solo i target lungo l'asse verticale, mentre quella dual beam sfrutta un cono di emissione centrale stretto ed uno adiacente più ampio per migliorare l'identificazione dei target. La tecnologia split-beam permette di registrare la direzione e la velocità di spostamento dei singoli pesci. B – E' possibile ricostruire gli spostamenti di un target integrando più rilievi successivi.

Nella figura 9 e nella tabella 2 è illustrata la configurazione di monitoraggio adottata durante tutte le campagne: si compone di un PC portatile dotato di software Simrad EK80 e di ricevitore GPS RTK volto a registrare la velocità di spostamento dell'imbarcazione e la posizione lati-longitudinale dei ping. Tra gli accessori c'è anche il transceiver WBT-Mini connesso al PC tramite collegamento LAN, a sua volta collegato ad una fonte di alimentazione a 12 V e al trasduttore; quest'ultimo è immerso in acqua tramite un sostegno esterno "a palo" fissato ad una delle murate della barca.

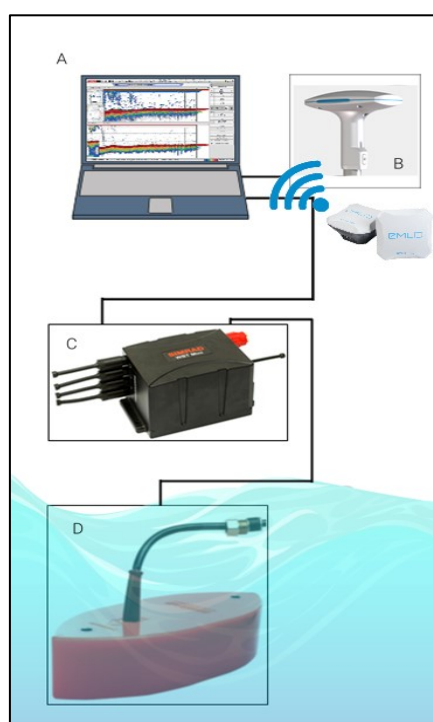


Figura 9. Rappresentazione schematica della strumentazione. PC laptop rugged (A), unità di navigazione GPS RTK e girobussola (B), Transceiver EK-80 WBT Mini (C), Trasduttore combinato 38 – 200 kHz (D).

<i>Sfera</i>	Tungsteno diametro 38.1 mm
<i>Potenza di emissione</i>	200 W
<i>Frequenze</i>	38/200 kHz
<i>Larghezza banda</i>	35-45 / 190-230
<i>Profondità media</i>	10 – 12 m
<i>Ramping</i>	"Fast"

Tabella 2. Parametri di calibrazione usati con l'echosounder Simrad WBT Mini.

Il software Simrad ha il compito di realizzare la calibrazione della strumentazione, le impostazioni di setup, la registrazione dei file raw e la restituzione degli ecogrammi acquisiti. Per le analisi, invece, vengono utilizzati software come Echoview, R e QGIS (riferimento alla tabella 5).

Software	Versione
Sw. per l'acquisizione dei dati acustici	Simrad EK80 1.12.X
Sw. per l'elaborazione dei dati acustici	Echoview 10.0.293
Sw. per l'elaborazione statistica	RStudio e QGIS

Tabella 5. Principali software impiegati per la registrazione e l'elaborazione dei dati.

I dati raw sono visualizzabili (in tempo reale) sotto forma di ecogrammi, ovvero, rappresentazioni grafiche dei dati acustici (Fig. 10). In ciascun ecogramma si possono osservare alcuni elementi tipici: partendo dall'alto, una fascia rossa costituisce il near field, ovvero un'area a forte rifrazione delle onde emesse dall'echosounder che non può essere analizzata. C'è poi la larga striscia centrale bianca con forme verdi/blu al suo interno (i bersagli) che rappresenta la colonna d'acqua. Infine, è presente la banda in basso rossa che costituisce il fondale.

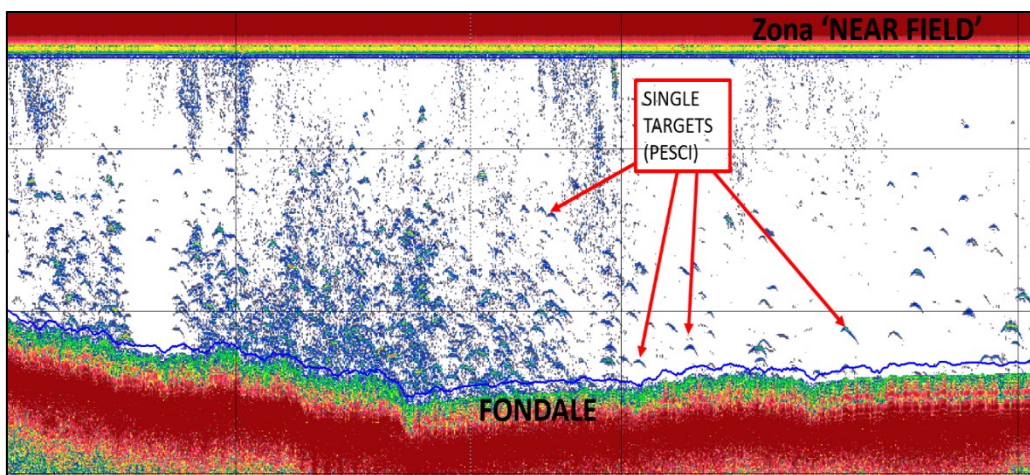


Figura 10. Esempio di ecogramma estratto dai dati raccolti nel corso della campagna svolta il 5 settembre 2019 presso la bocca di porto di Malamocco.

Per estrarre le informazioni utili allo scopo della ricerca sono necessari dati temporali, posizionali, angolari, di temperatura, velocità, batimetria che sono contenuti nei file raw assieme ai dati di backscatter. Non è semplice definire il workflow applicato ai dati raw perché sono necessarie centinaia di impostazioni quasi mai automatizzabili dal momento che è necessario controllare qualitativamente e quantitativamente ogni singolo dato di output. Le analisi condotte sono volte all'individuare i singoli target e abbinare le tracce secondo lo schema riportato nella figura 11, illustrata in seguito.

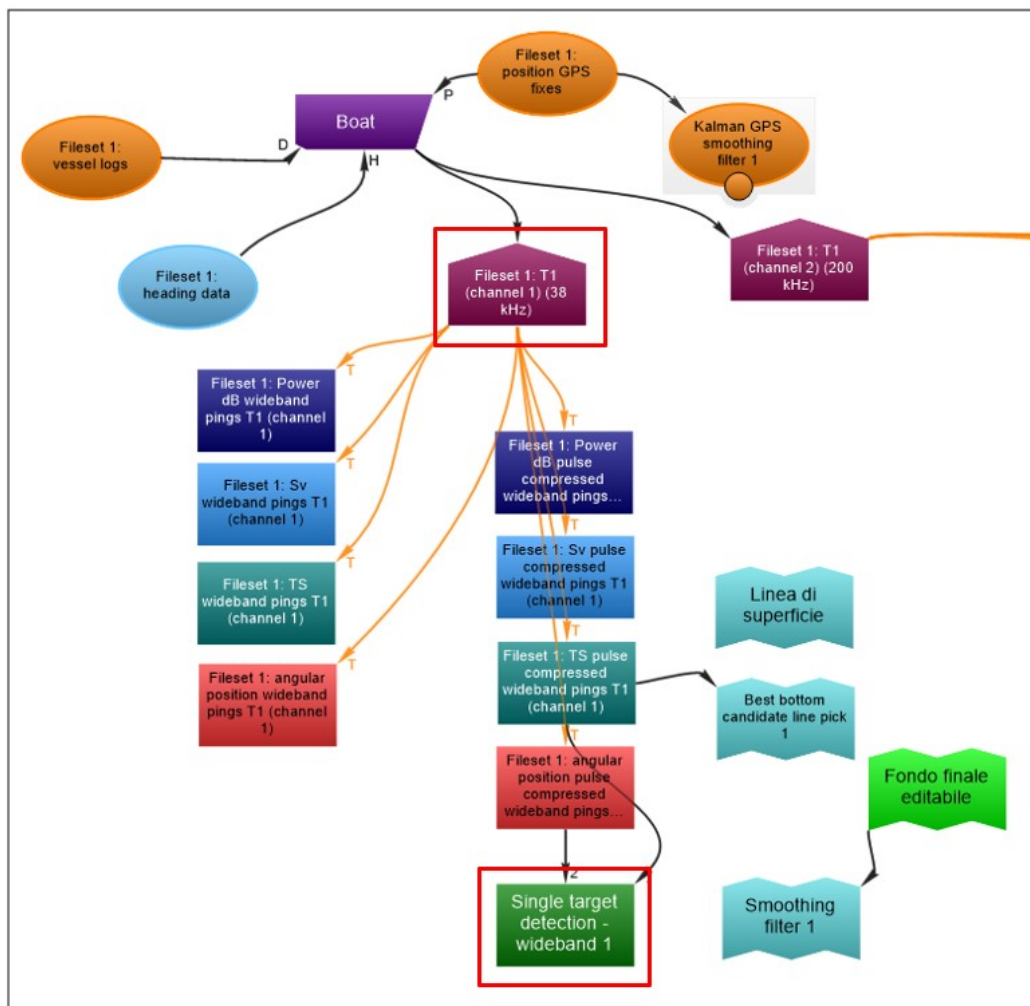


Figura 11. Schema del workflow progettato per trattare i dati raw provenienti dal canale a 38 kHz Wide Band per determinare i singoli bersagli e la loro traccia su sequenze di ping. In rosso nel diagramma sono stati evidenziati il blocco del canale a 38 kHz e lo specifico algoritmo di target detection.

2.3 Target strength

Il Target Strength (TS) non è altro che l'energia registrata dal trasduttore una volta che è stata riflessa dai bersagli. Per i pesci singoli, quelli cioè che non formano banchi, il target strength è proporzionale alla taglia degli individui. Quando invece i singoli target sono relativamente piccoli e addensati nel volume d'acqua campionato, avviene una combinazione dei segnali e quindi non è più possibile risalire ai singoli contributi in termini di energia riflessa. In questo caso, la quantità misurata è il volume di backscattering, comunemente utilizzata negli studi sulle aggregazioni planctoniche o di banchi di pesci, quali i piccoli pelagici. Il target strength è misurato in decibel, su scala logaritmica, e perciò piccole variazioni corrispondono a grandi cambiamenti nella taglia. Nelle analisi che seguiranno, il Target Strength non è stato convertito in lunghezza dal momento che questa correzione risulta essere specie-specifica, dipendente dalla morfologia di ciascun organismo, per la quale non sono ancora disponibili i dati.

2.4 Relazione Target Strength (TS) vs. Total Length (TL)

L'intensità di riflessione del pesce, detta target strength o TS, incrementa all'aumentare della taglia. Sappiamo ciò grazie agli esperimenti condotti ex situ da Love nel 1970: egli servendosi di otto Teleostei di cinque ordini differenti li posizionò su una struttura rigida a 50 cm centimetri di profondità in una vasca fonda un metro, di quattro metri di diametro, non prima di averli opportunamente anestetizzati. Sonificò quindi i pesci a frequenze variabili (12, 15, 25, 40, 60, 100, 150 e 200 kHz) e constatò come il TS dipendesse dalla lunghezza del corpo (TL) e dalla frequenza (f) dell'onda incidente. Dopo aver sottoposto il pesce al fascio acustico secondo orientamenti del corpo diversi (dorsale – laterale – ventrale) scrisse la seguente relazione:

$$TS = m \log TL + a \log f + b$$

I parametri indicati con le lettere "m", "a" e "b" sono costanti per ciascuna specie (Costantini, 2003).

In aggiunta agli esperimenti ex situ, sono state svolte anche osservazioni in situ, cercando in questo caso di disturbare il meno possibile la fauna in modo da rilevare dei comportamenti quanto più prossimi a quelli reali (MacLennan & Simmonds, 1992). Va aggiunta, inoltre, la necessità di eseguire misurazioni su pesci tipici della popolazione campionata, con un occhio di riguardo per lo stato fisiologico e ambientale (MacLennan & Menz, 1996). L'esecuzione delle misure in situ avviene tramite il metodo della comparazione e il metodo diretto. Il primo si basa sul confronto tra dati ottenuti dai campionamenti acustici e quelli ricavati tramite rete da pesca (MacLennan & Simmonds, 1992). Il campionamento acustico è seguito da quello biologico nel quale si ottengono dati relativi alla taglia. A questo punto si aprono due strade: nella prima si divide la taglia delle catture per il volume del banco, ottenendo così la densità utilizzata per calcolare il TS medio; la seconda via, più utilizzata, compara le mode delle taglie espresse come lunghezza totale costruendo così le curve che mettono in relazione i due parametri. Generalmente l'equazione TS-TL è la seguente:

$$TS = a \log TL \pm b.$$

Il fattore "a" varia tra 20 e 25, il "b" ha un valore che oscilla tra 60 e 70.

Il secondo metodo, ovvero quello diretto, utilizza contemporaneamente più di un echosounder e permette di risalire al TS di un esemplare conoscendo la posizione da esso occupata all'interno del fascio acustico dei due strumenti e la sua energia di riflessione.

2.5 Modellizzazione dei dati

Al fine di relazionare statisticamente la densità dei target e la loro rispettiva dimensione (in termini di TS) in funzione della profondità alla quale sono stati individuati, sono stati implementati due modelli additivi generalizzati (GAM) in ambiente statistico R mediante l'uso della libreria *mgcv*.

Un modello additivo generalizzato è un particolare modello lineare che permette di considerare relazioni non lineari tra la variabile di risposta e quelle esplicative. Nei modelli additivi, infatti, la relazione tra la variabile risposta e le esplicative può essere descritta mediante funzioni *smooth* non lineari.

La formulazione comune di un GAM è del tipo:

$$Y_i = a + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij}) + \varepsilon$$

Dove Y è la variabile dipendente, a è l'intercetta del modello e f sono le funzioni *smooth* non note che in modo additivo si applicano ad X , le variabili esplicative. ε racchiude tutti i termini di errore e si assume che sia indipendente dalle variabili esplicative e abbia valore atteso pari a 0.

Nello specifico caso di questo elaborato, si vuole verificare se il numero di target rilevati tramite l'echosunder, per ciascuna bocca, sia dipendente o meno dalla profondità dei vari strati d'acqua campionati. In altre parole, si vuole verificare se i pesci occupano uniformemente l'ampiezza verticale della colonna d'acqua o vi siano degli strati più popolati. Dal punto di vista ecologico, la distribuzione verticale degli organismi nectonici è dipendente anche dalla temperatura dell'acqua; di fatti, l'approccio statistico qui scelto in futuro potrà essere affinato, inserendo nel modello anche altre variabili esplicative (come, ad esempio, la stagione o profili di temperatura) al fine di aumentarne la predittività e l'accuratezza.

Allo stesso modo si è voluta analizzare la relazione tra taglia dei pesci (il Target Strength è una grandezza fisica direttamente collegabile alla lunghezza degli organismi nectonici) e il loro posizionamento all'interno della colonna d'acqua.

2.6 Monitoraggi

Nelle figure 12-15 sono riportate le traiettorie eseguite durante le 12 giornate di campionamento. Sono stati effettuati transetti a zig-zag per ciascuna bocca di porto, a una velocità costante di circa 3.5 nodi. Non sempre le correnti e il moto ondoso hanno permesso di eseguire operazioni di monitoraggio in sicurezza, tanto che a volte la copertura dell'area non è stata totale (ad esempio, bocca del Lido 28 ottobre 2019). Gli eventi di scirocco sono le principali cause di questa complicazione e coincidono con un'intensa escursione mareale. La manovrabilità dell'imbarcazione alla velocità di campionamento, in questi casi, diventa complicata; si è comunque scelto di procedere col campionamento, concentrandosi sulle parti più interne del porto-canale. Questi dati possono infatti essere utili per comprendere come le differenti condizioni meteo-mareali e stagionali influiscano sulla presenza di specie ittiche nelle aree di monitoraggio.

Chioggia 4 settembre 2019



Malamocco 5 settembre 2019



Lido 12 settembre 2019



Figura 12. Transetti eseguiti durante i monitoraggi della prima campagna.

Lido 28 ottobre 2019



Malamocco 25 novembre 2019



Chioggia 26 novembre 2019



Figura 13. Transetti eseguiti durante i monitoraggi della seconda campagna.

Lido 3 dicembre 2019



Malamocco 4 dicembre 2019



Chioggia 9 dicembre 2019



Figura 14. Transetti eseguiti durante i monitoraggi della terza campagna.

Lido 10 dicembre 2019



Malamocco 11 dicembre 2019



Chioggia 23 dicembre 2019



Figura 15. Transetti eseguiti durante i monitoraggi della quarta campagna.

2.7 Stazioni di campionamento e regime di marea

In tabella 6 sono riportate le giornate di campionamento, le relative bocche di porto e le condizioni di marea presenti.

Campionamento	Giorno	Bocca di porto	Marea
1°	04/09/2019	Chioggia	Entrante e uscente
1°	12/09/2019	Lido	Entrante e uscente
1°	05/09/2019	Malamocco	Entrante e uscente
2°	26/11/2019	Chioggia	Uscente
2°	28/10/2019	Lido	Uscente
2°	25/11/2019	Malamocco	Entrante e uscente
3°	09/12/2019	Chioggia	Uscente
3°	03/12/2019	Lido	Uscente
3°	04/12/2019	Malamocco	Uscente
4°	23/12/2019	Chioggia	Uscente
4°	10/12/2019	Lido	Entrante e uscente
4°	11/12/2019	Malamocco	Uscente

Tabella 6. Descrizione delle condizioni medie di marea registrate per ciascun campionamento in ciascuna bocca.

3. Risultati

In tabella 7 vengono riassunti i principali risultati ottenuti per le quattro campagne nelle tre bocche di porto. Come si può notare, le superfici campionate cambiano di volta in volta in relazione alle condizioni meteo marine e la bocca monitorata. In generale, Malamocco si caratterizza per una maggior densità di target, anche se non sempre corrispondenti ai massimi valori di numero di target, mentre Lido mostra sempre i valori più bassi, sia in termini di densità che di abbondanza assoluta. Lo stesso pattern si rileva anche per la profondità media dei target. Infine, per quanto riguarda le dimensioni medie dei target, la situazione risulta più eterogenea, sia nello spazio che nel tempo.

SITO	CAM	DATA	AREA TOT. (kmq)	AREA CAMP. (kmq)	NUM. TARG.	DENS. (n°/kmq)	PROF. MEDIA (m)	TS MEDIO (db)	LT (cm)
LID	1	12/09/19	4,06	3,00	1807	602	7,8	-43,43	11,0
MAL	1	05/09/19	1,70	1,55	893	576	13,5	-44,41	9,8
CHI	1	04/09/19	1,79	0,60	1331	2218	10,6	-44,50	9,7
LID	2	28/10/19	4,06	1,84	372	202	6,9	-41,07	14,7
MAL	2	25/11/19	1,70	0,97	4337	4471	10,9	-40,27	16,1
CHI	2	26/11/19	1,79	0,79	2217	2806	7,6	-41,01	14,8
LID	3	03/12/19	4,06	1,04	347	333	7,0	-41,23	14,4
MAL	3	04/12/19	1,70	0,36	783	2175	17,8	-40,38	15,9
CHI	3	09/12/19	1,79	0,86	1396	1623	7,1	-39,91	16,9
LID	4	10/12/19	4,06	1,44	1513	1051	7,7	-40,50	15,7
MAL	4	11/12/19	1,70	1,52	5864	3829	11,7	-39,32	18,1
CHI	4	23/12/19	1,79	0,77	1273	2104	9,1	-37,84	21,6

Tabella 7. Principali risultati per le 4 campagne, per ogni sito di campionamento; area tot = area della bocca, Area camp = area campionata nel corso della campagna, Num. Targ.= numero complessivo di bersagli identificati nella campagna, Dens = densità di bersagli, Prof. Media = profondità media dei bersagli, TS medio = Target Strength media calcolato su tutti i bersagli rilevati, LT = lunghezza totale.

3.1 Condizioni di marea

Nelle figure 16-18, vengono riportati l'andamento di marea registrato nella data di campionamento e la fase durante la quale è stata svolta l'attività di raccolta dati, per le tre bocche di porto. Per quanto riguarda il Lido, i campionamenti sono stati effettuati sempre in marea calante, se possibile in prossimità del cambio di marea (Fig. 16).

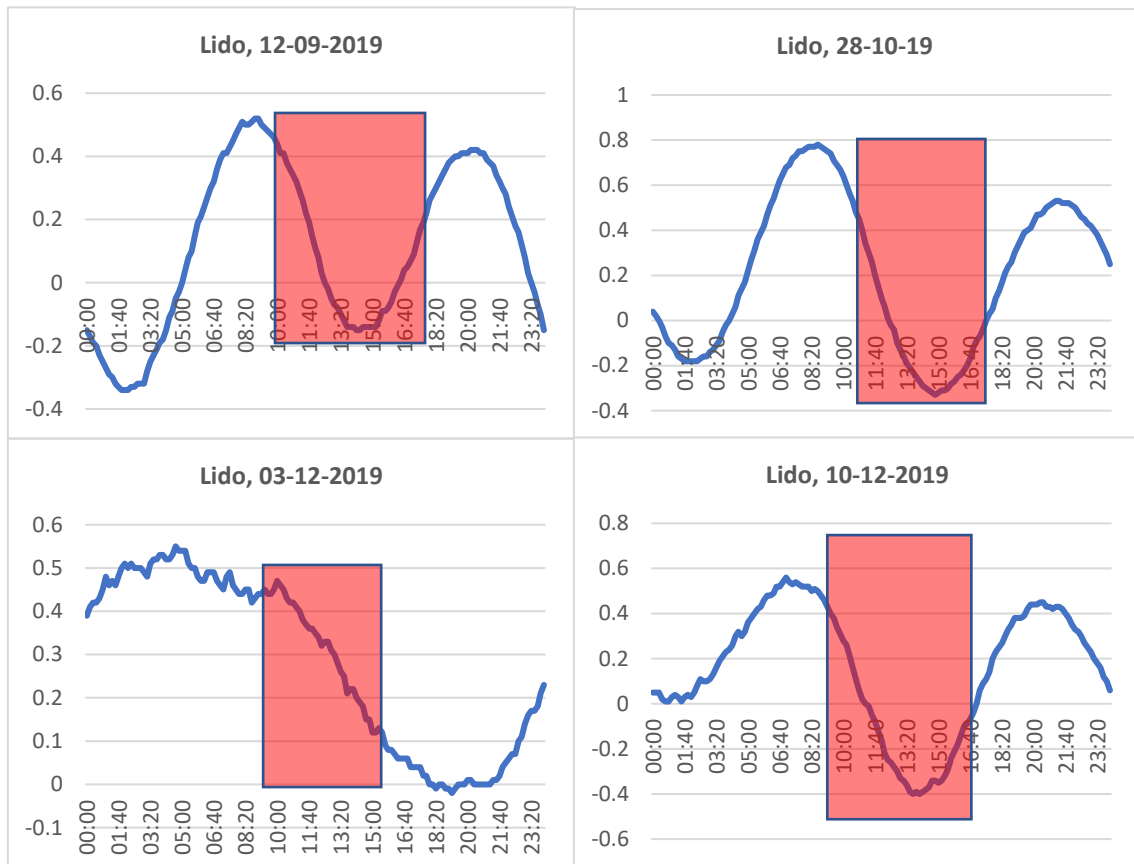


Figura 16. Andamento della marea presente il giorno del campionamento nella bocca di porto del Lido. In ascissa è riportato l'orario, in ordinata il livello idrometrico. Il riquadro rosso mostra l'intervallo temporale nel quale è avvenuto il campionamento.

Anche nel caso di Malamocco, il campionamento è avvenuto prevalentemente nella fase di calante, con l'eccezione di settembre quando si è lavorato durante il picco di massima marea (Fig. 17).

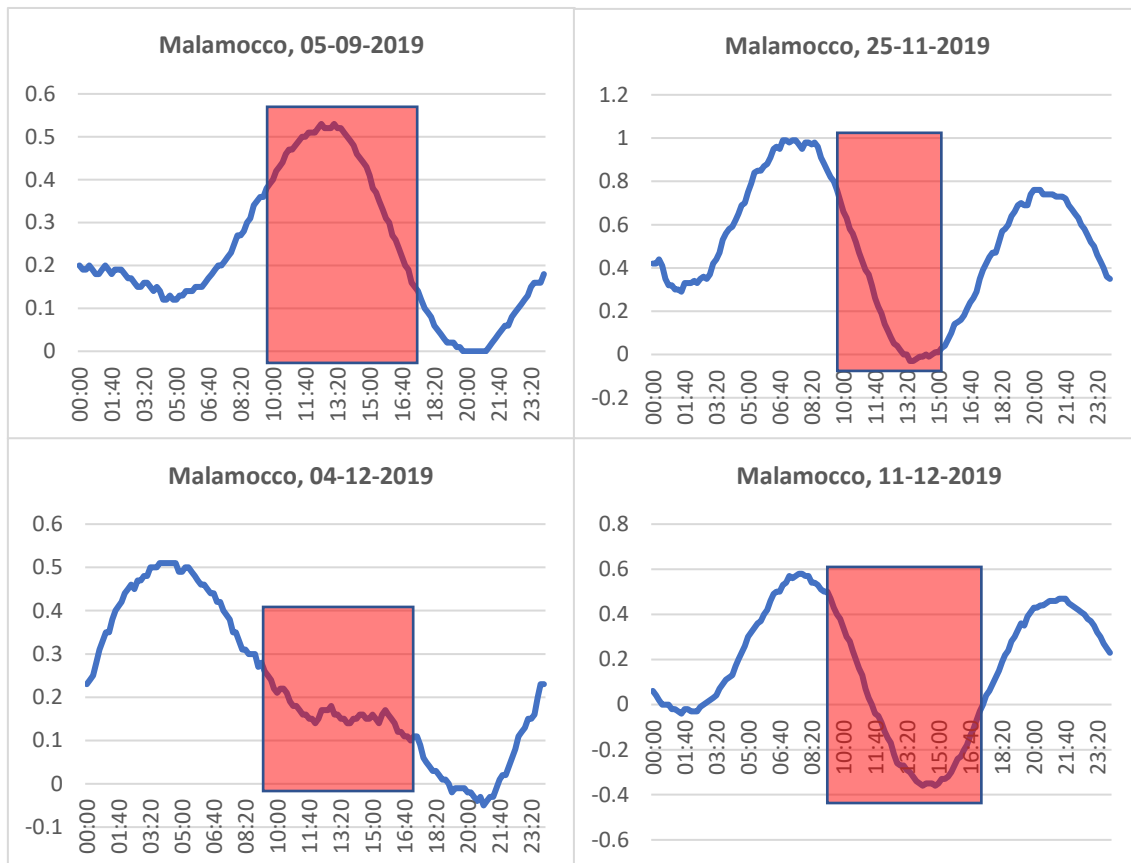


Figura 17. Andamento della marea presente il giorno del campionamento nella bocca di porto di Malamocco. In ascissa, è riportato l'orario, in ordinata il livello idrometrico. Il riquadro rosso mostra l'intervallo temporale nel quale è avvenuto il campionamento.

A Chioggia, infine, si è campionato in condizioni simili a Malamocco, settembre durante il picco e nelle altre date in fase calante, in prossimità del minimo (Fig. 18).

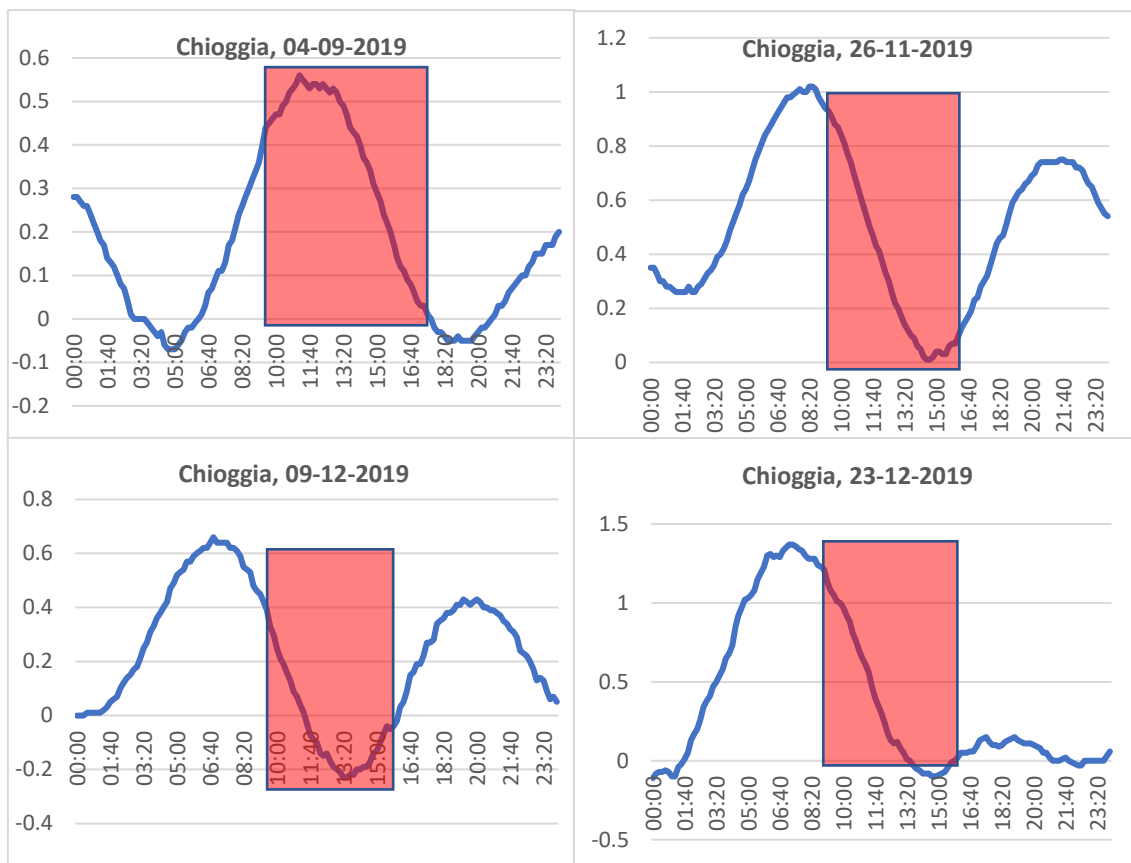


Figura 18. Andamento della marea presente il giorno del campionamento nella bocca di porto di Chioggia. In ascissa, è riportato l'orario, in ordinata il livello idrometrico. Il riquadro rosso mostra l'intervallo temporale nel quale è avvenuto il campionamento.

3.2 Numero di target rilevati

Nella figura 19 e in tabella 8, si riporta il numero totale di target (organismi nectonici) rilevati in ciascuno bocca di porto, in ognuna delle 4 campagne. In generale, sono stati rilevati 22133 organismi, con un range di variazione piuttosto ampio; Chioggia mostra valori alquanto costanti, mentre le altre due bocche risultano molto più variabili, con Malamocco che mostra le fluttuazioni maggiori.

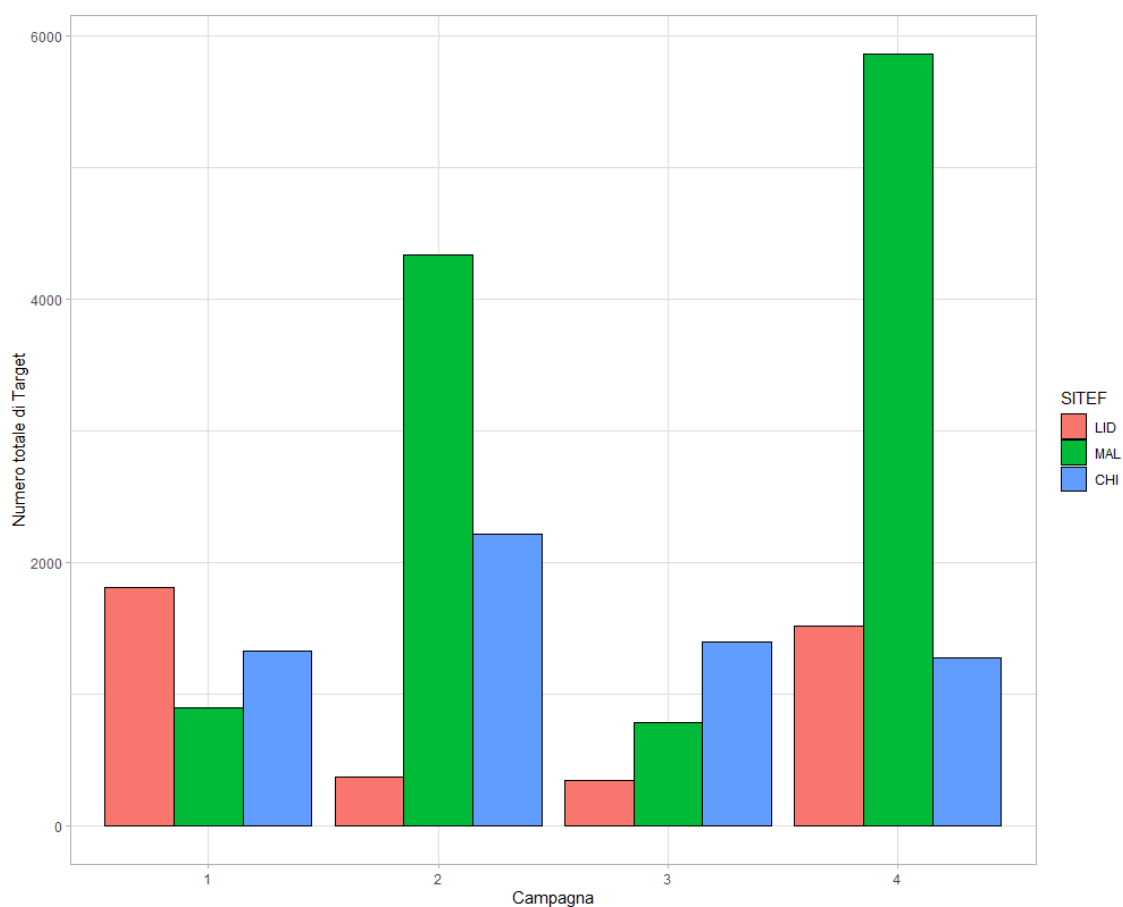


Figura 19. Conteggio degli organismi rilevati nei quattro campionamenti per ciascuna bocca di porto.

	Conteggio
Prima campagna	1807
	893
	1331
	<i>4031 (totale)</i>
Seconda campagna	372
	4337
	2217
	<i>6926 (totale)</i>
Terza campagna	347
	783
	1396
	<i>2526 (totale)</i>
Quarta campagna	1513
	5864
	1273
	<i>8650 (totale)</i>

Tabella 8. Numero di target rilevati in ciascuna bocca di porta e nei rispettivi campionamenti.

In tabella 9 viene riportato il numero di organismi rilevati in ciascuna bocca di porto nelle diverse campagne, con la distinzione tra fase di marea entrante e uscente (non sempre possibile, come evidenziato sopra). Non sembra plausibile evidenziare un chiaro pattern dal momento che le condizioni sono piuttosto eterogenee. A settembre, per esempio, al Lido si osservano valori piuttosto simili tra marea entrante ed uscente, mentre Malamocco mostra un' elevata variazione (con valore massimo nel corso della marea entrante). Condizione opposta, invece, è stata osservata a Chioggia.

	Marea entrante	Marea uscente
Prima campagna	923	884
	709	184
	437	894
	<i>2069 (totale)</i>	<i>1962 (totale)</i>
Seconda campagna	0	372
	2639	1698
	0	2217
	<i>2639 (totale)</i>	<i>4287 (totale)</i>
Terza campagna	0	347
	0	783
	0	1396
	<i>0 (totale)</i>	<i>2526 (totale)</i>
Quarta campagna	202	1311
	0	5864
	0	1273
	<i>202 (totale)</i>	<i>8448 (totale)</i>

Tabella 9. Numero di target rilevati in ciascuna bocca di porta, nei rispettivi campionamenti e nelle diverse fasi mareali; rosso=Lido, verde=Malamocco, blu=Chioggia.

3.3 Profondità dei target

Come possiamo osservare nella figura 20, nel complesso la profondità preferenziale dei target si aggira attorno ai 9/10 metri, con pattern simile nelle due fasi di marea.

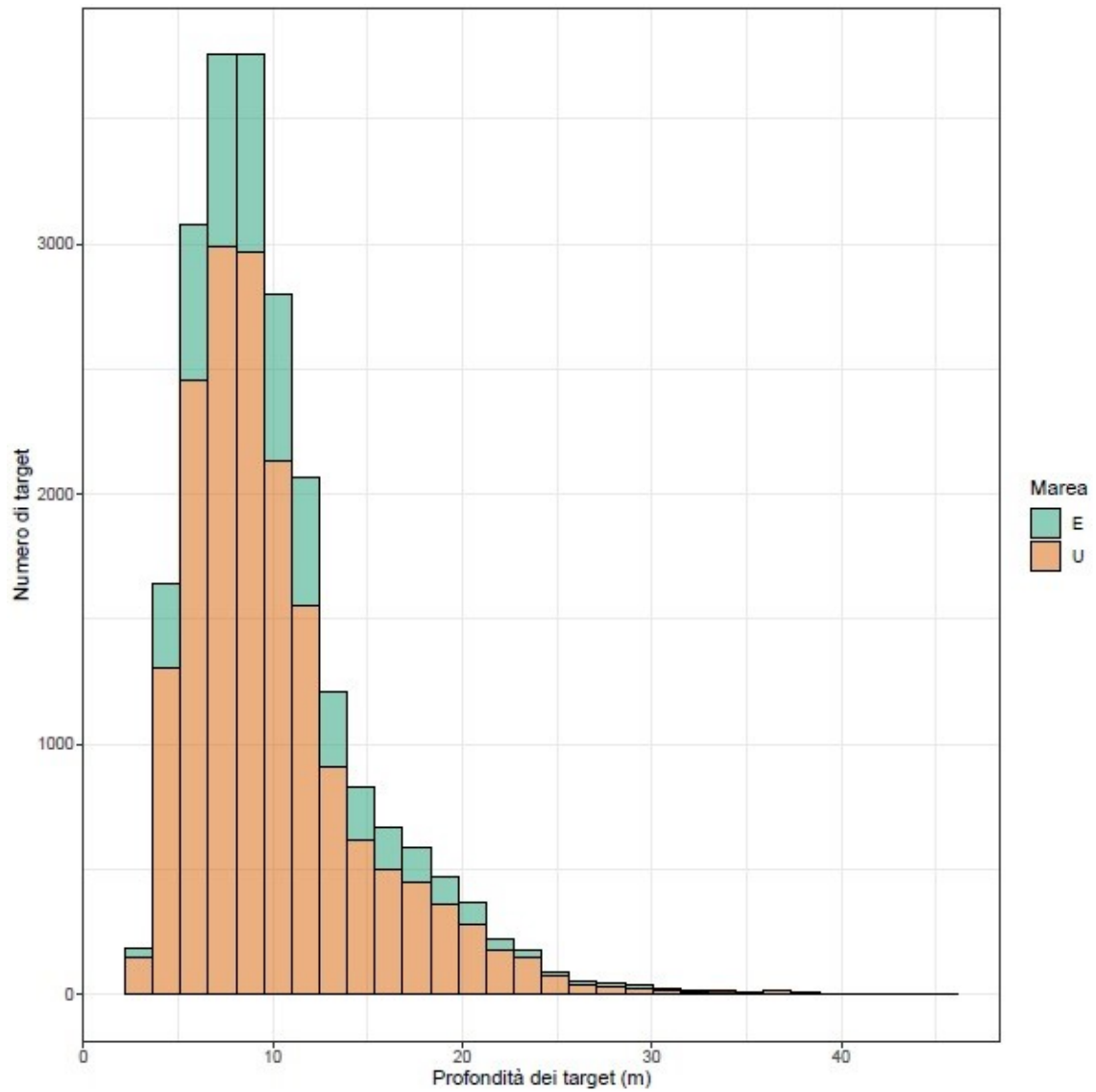


Figura 20. Distribuzione degli organismi in relazione alla profondità in base anche al regime di marea.

Scorpendo per bocca di porto (Fig. 21) si osserva che i target presenti al Lido e a Chioggia presentano profondità preferenziale attorno ai 7-8 metri, mentre a Malamocco la profondità è attorno a 12 m.

Lido e Chioggia sembrano evidenziare un pattern 'stabile' nel tempo, mentre a Malamocco si evidenzia una maggior variabilità, con gli organismi che paiono essere distribuiti a profondità maggiori sia in settembre che a inizio dicembre.

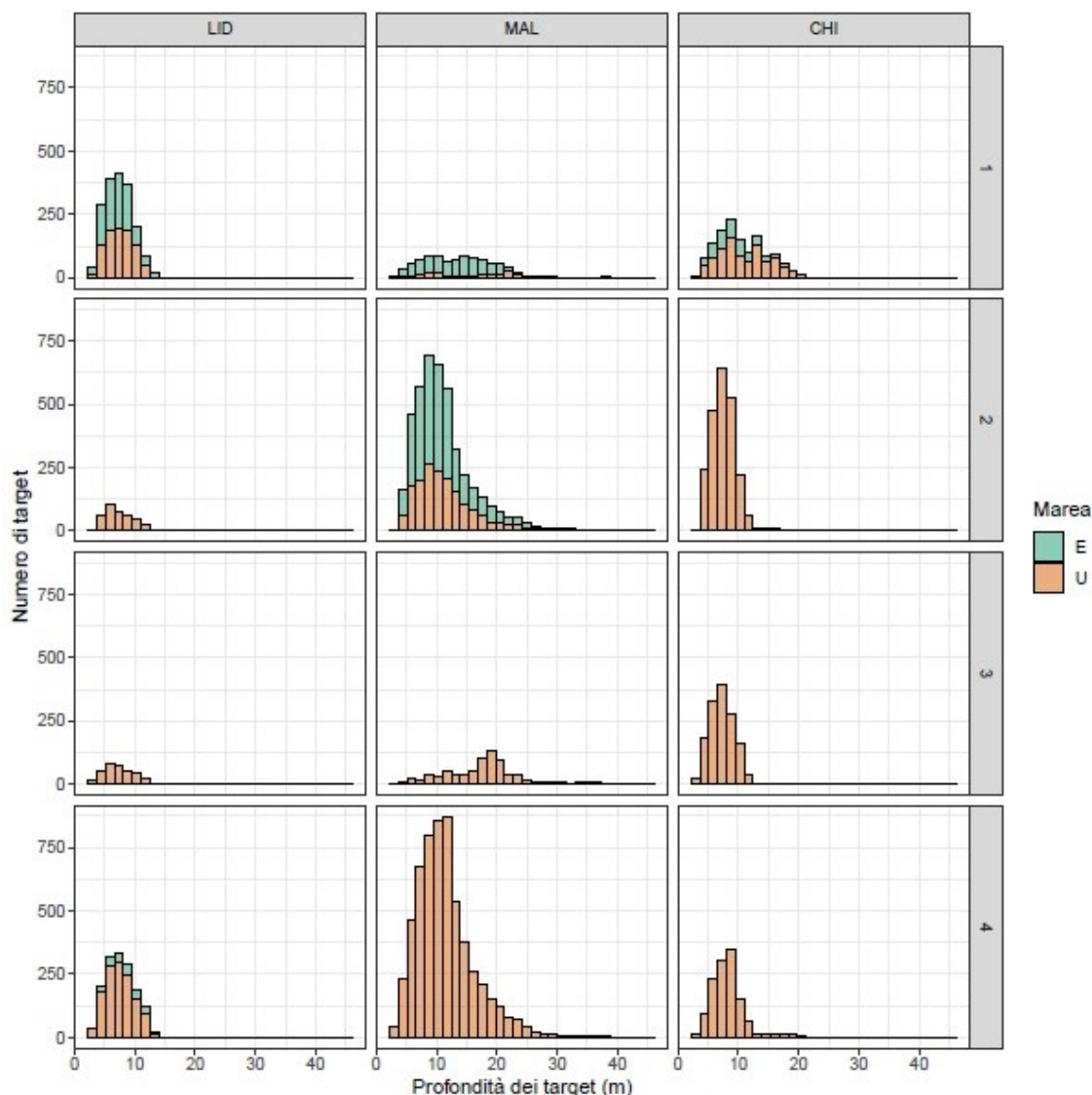


Figura 21. Distribuzione degli organismi in relazione alla profondità, in base anche al regime di marea, per ogni bocca di porto in ogni campagna.

Per testare la relazione tra distribuzione degli organismi e profondità si è predisposto un modello GAM ($R^2 = 0.4$, Devianza spiegata = 40.5%). Si conferma il pattern di una distribuzione non uniforme lungo la colonna d'acqua: in tutte e tre le bocche di porto il picco di target registrato è posto a circa 8-10 metri di profondità, tuttavia per le bocche di porto di Malamocco e Chioggia si nota come nella porzione profonda della colonna d'acqua (all'incirca sotto i 15 metri) siano presenti ancora molti target (circa 25-50 per metro d'acqua) (Fig. 22).

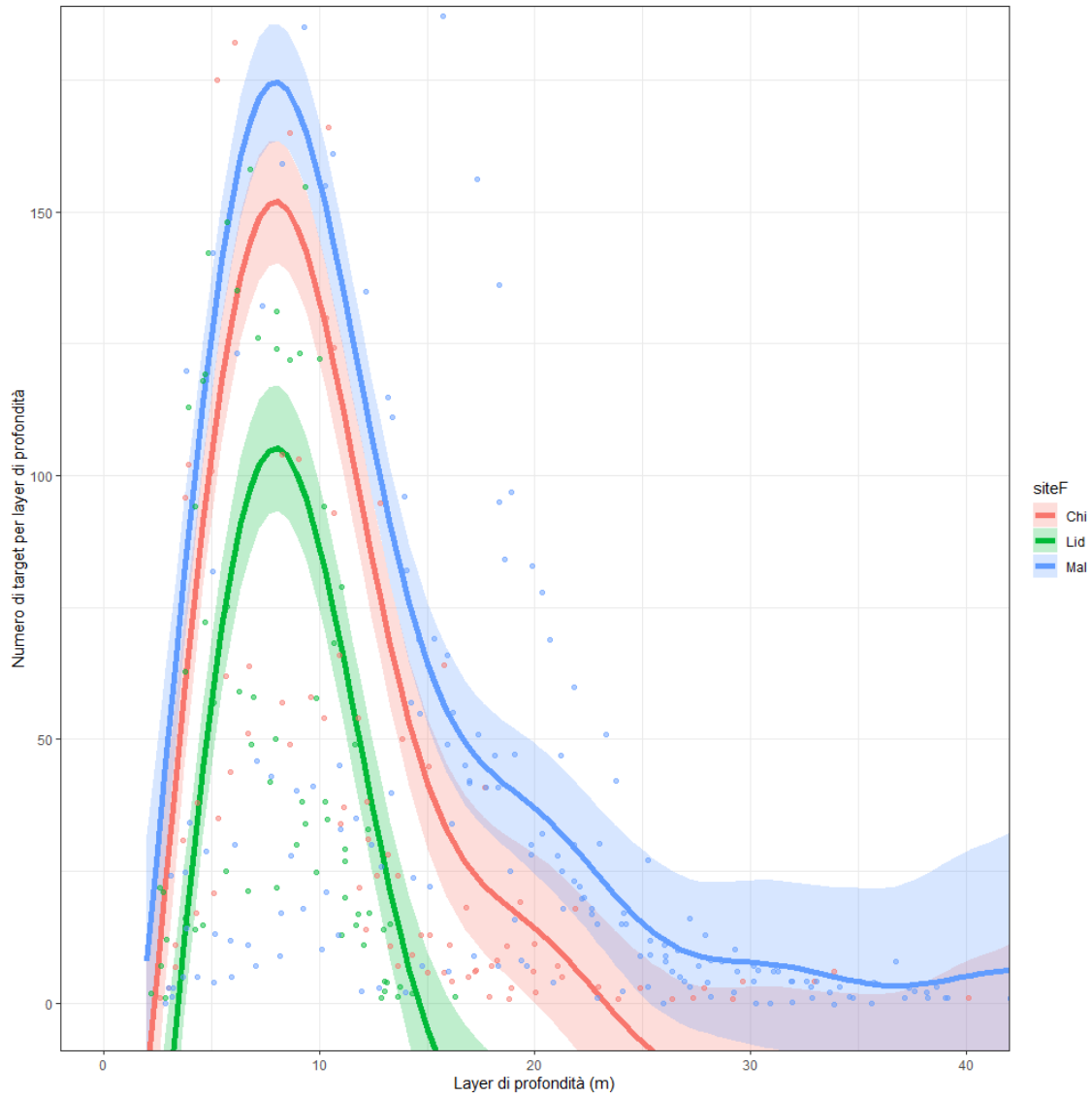


Figura 22. Output del modello GAM per la relazione tra abbondanza di organismi e profondità. Ogni curva è l'andamento distributivo dei target previsto nei siti di monitoraggio.

3.4 Target strength

Il modello GAM che relaziona la dimensione dei target in funzione della loro profondità nella colonna d'acqua (fig. 23), benché non sia statisticamente significativo, evidenzia come, tendenzialmente, gli organismi nectonici di taglia maggiore siano posizionati negli strati più profondi e che quindi siano rinvenibili con maggior probabilità nei siti di Malamocco e Chioggia (a valori crescenti di TS corrispondono valori crescenti di taglia dei pesci). Più nello specifico, in tutte le bocche di porto notiamo una relazione media analoga: la curva *'smoothed'*, infatti, è caratterizzata da valori in diminuzione del TS nei primi strati di profondità, in seguito mostra un andamento oscillante, prima in crescita poi in decrescita, per proseguire, infine, con un andamento in costante aumento. Se l'andamento generale è pressoché conforme, ciò che cambia è la taglia generale degli individui registrata in ciascuna bocca di porto, più grande a Malamocco e Chioggia e minore al Lido. La curva del Lido, inoltre, si ferma attorno ai 15 metri di profondità (batimetria massima di questo sito), a differenza di quella di Malamocco e Chioggia che procedono anche oltre i 30 metri.

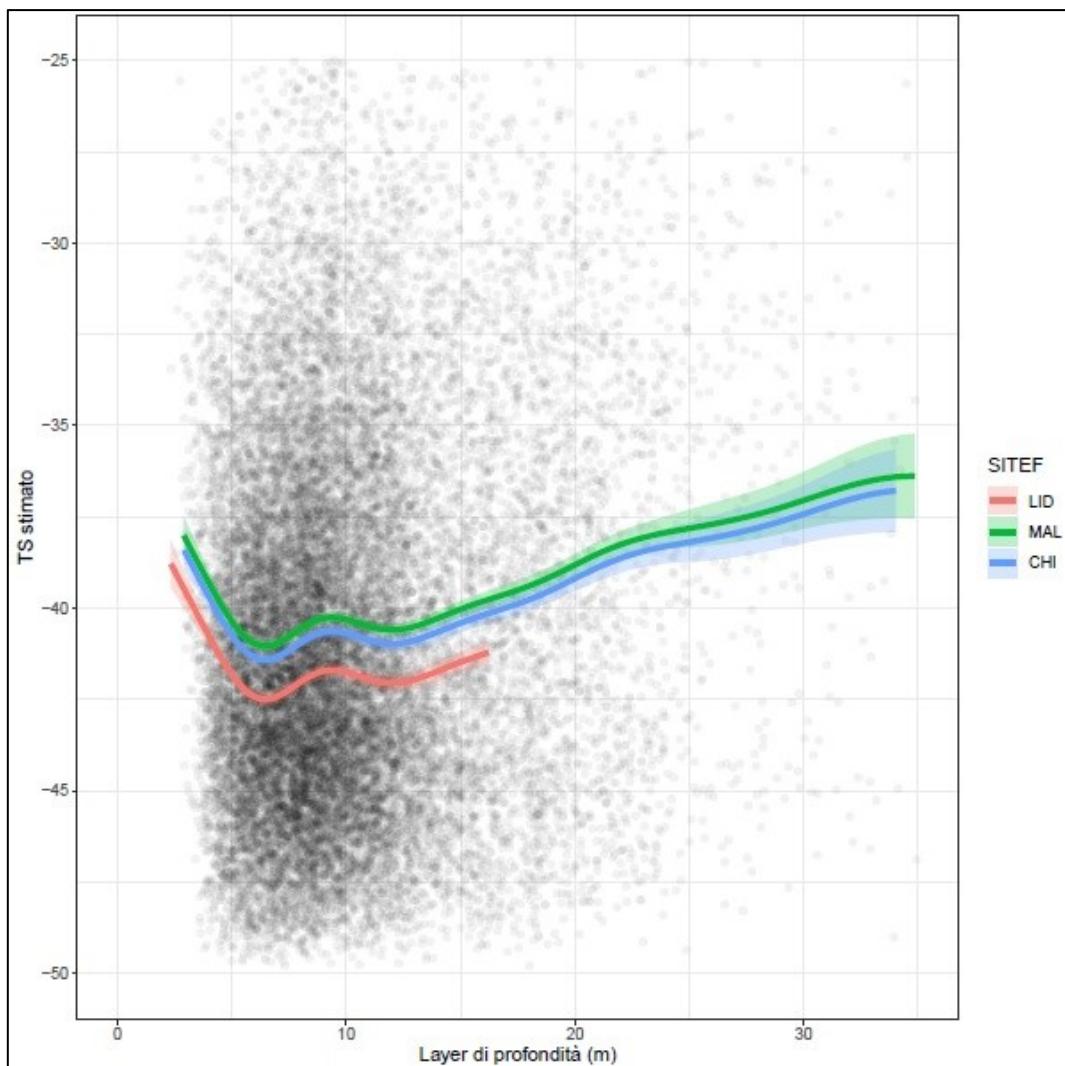


Figura 23. Output del modello GAM per la relazione tra TS e profondità. Ogni curva è l'andamento distributivo dei target previsto nei siti di monitoraggio.

Questo pattern generale è stato riscontrato in 7 giornate di campionamento su 12 totali all'interno delle singole stazioni di monitoraggio (Fig. 24). In questo caso non sono stati evidenziati pattern diversi al variare della direzione di marea.

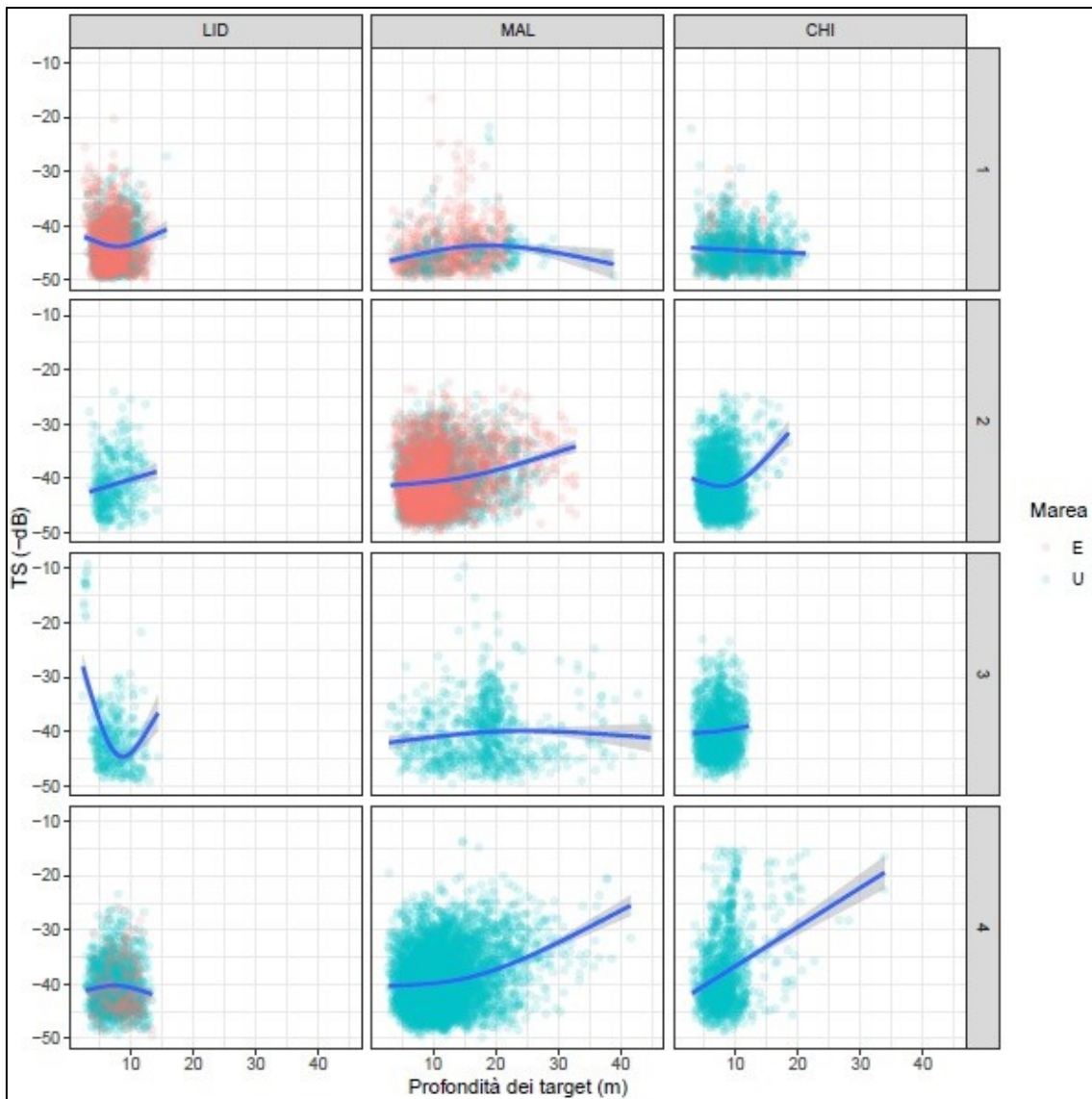


Figura 24. Relazione tra Target Strength (misurato in dB) e profondità per le tre bocche di porto nelle diverse campagne di campionamento.

4. Discussioni e conclusione

Dall'osservazione dei risultati ottenuti, possiamo innanzitutto notare una certa eterogeneità, sia spaziale che temporale, che coinvolge diversi parametri misurati. Partendo dal numero di organismi rilevati ad ogni campionamento, possiamo notare una cospicua differenza tra le bocche di porto: prendendo per esempio in considerazione la seconda campagna di rilevamenti vediamo che il Lido presenta una densità di 202 target per kmq, Malamocco 4471 target per kmq, Chioggia 2806 target per kmq. Questa diversità geografica è affiancata anche da una diversità temporale: in base alla stagione, infatti, cambia il numero di organismi rilevati in una stessa bocca di porto. Prendendo, per esempio, in considerazione la località di Malamocco, osserviamo una densità pari a 576 target per kmq a settembre, 4471 target per kmq a novembre, 2175 target per kmq ad inizio dicembre e 3829 target per kmq nell'ultima campagna. Possiamo quindi affermare come la stagionalità sia un fattore determinante nella dinamica di un campionamento come anche la morfologia: Malamocco, ad esempio, presenta buche molto profonde che sembra favorire una maggiore concentrazione nell'intera colonna d'acqua. Ecco, quindi, che si spiega il maggior numero di target rilevati in questa località e, di conseguenza, la maggior densità misurata. Chioggia, fatta eccezione per il primo campionamento, presenta valori di densità pari a circa la metà rispetto a quelli di Malamocco e, se ci spostiamo al Lido, i valori sono ancora più bassi. Interessante notare come questa condizione si verifichi proprio al Lido che, a livello di estensione, è circa 2,5 volte più grande rispetto alle bocche di Malamocco e Chioggia, tra loro simili. Anche il regime di marea influenza il numero di target registrato ad ogni campionamento. È importante sottolineare fin da subito come la maggior parte dei rilevamenti sia stata effettuata solamente durante la fase di marea uscente; entrambe le fasi di marea sono state campionate contemporaneamente in tutte e tre le bocche di porto solamente nel periodo estivo. Nel corso delle altre stagioni, la fase entrante è stata campionata solo in alcuni casi. L'analisi quantitativa nei diversi regimi di marea ha restituito, in realtà,

risultati differenti: per esempio nella bocca di porto del Lido nel periodo estivo sono stati registrati più individui durante la fase entrante (923 contro gli 884 della fase uscente), mentre nella stessa località ma nel corso del periodo invernale sono stati registrati molti più individui durante la fase uscente (1311 contro i 202 della fase entrante). Il numero di individui rilevati nel corso dei campionamenti non è però l'unico parametro interessante da commentare. Passando all'analisi della profondità media a cui i target stazionano, partendo dal Lido, il necton sembra posizionarsi preferibilmente a profondità medie di 7/8 metri. Nei mesi invernali, nei quali le temperature diventano più rigide, si nota una presenza maggiore anche a profondità più elevate, verso il limite massimo del fondale, che si trova a circa 15 metri. Nella bocca di porto di Chioggia i target si posizionano con più frequenza verso profondità medie di 8/9 metri. Nel mese di dicembre è stata osservata una distribuzione anche verso profondità più elevate, oltre i 20 metri. Nella bocca di porto di Malamocco, infine, il necton tende a concentrarsi a profondità medie di circa 12/13 metri, con picchi che arrivano oltre 30 metri, in corrispondenza delle buche più profonde. Queste disposizioni verso gli estremi inferiori si verificano maggiormente nella fase invernale, con l'abbassarsi della temperatura, tendenza già osservata anche a Chioggia e al Lido. La morfologia, inoltre, influenza non solo la profondità media a cui gli organismi vengono rilevati: per quanto riguarda il Lido esso non supera i 15 metri, mentre nei casi di Malamocco e Chioggia si spinge anche oltre i 40 metri. Nel corso delle stagioni, all'interno della stessa bocca di porto, possono esserci delle oscillazioni della profondità media. Queste variazioni le osserviamo in modo particolare nella bocca di porto di Malamocco: il 25 novembre, ad esempio, la profondità media è di circa 11 metri, mentre il 4 dicembre la profondità media è di 17,8 metri. La presenza di oscillazioni si può però verificare anche nell'arco di uno stesso campionamento: sempre Malamocco, il 5 settembre, registra una media di profondità dei target pari a 16,2 metri nel corso della marea uscente, mentre durante la marea entrante tale valore si riduce a 12,9 metri. Un altro parametro preso in considerazione nel corso delle analisi è il Target Strength (TS), che può essere assunto come proxy della lunghezza degli organismi nectonici rilevati. Osservando il grafico relativo al modello GAM abbiamo constatato come in tutte tre le bocche di porto l'andamento del Target

Strength con la profondità sia simile: infatti notiamo inizialmente una diminuzione della taglia nei primi metri di profondità, poi un aumento seguito da una nuova diminuzione e infine un aumento via via progressivo. Nella bocca di porto di Malamocco incontriamo mediamente taglie più grandi di target, al contrario la bocca del Lido è quella che presenta valori più bassi. In linea di massima possiamo affermare come vi siano aree popolate da individui più grandi e altre popolate da individui più piccoli ma, tuttavia, il pattern di segregazione in classi di Target Strength non è sempre chiaramente visibile. Il fatto di avere diverse classi di Target Strength potrebbe indicare la presenza di gruppi di specie diverse e/o anche coorti diverse appartenenti alla medesima popolazione. Malamocco, per esempio, spesso mostra una distribuzione delle frequenze bimodale, a differenza del Lido e Chioggia dove sono stati riscontrati andamenti tendenzialmente unimodali. Un importante contributo nella definizione dei diversi gruppi potrà venire dall'utilizzo dei dati legati alla componente wide-band e alla pesca scientifica, tuttora in fase di elaborazione e validazione. In particolare, per quanto riguarda la tecnologia WB, bisogna sottolineare come questa sia in una fase di sviluppo piuttosto preliminare, anche se iniziano ad essere pubblicati i primi studi che la utilizzano (Demer et al., 2017; Sande et al., 2017; Berges et al., 2019). Più in generale, le bocche di porto del Lido, Malamocco e Chioggia sono di fondamentale importanza in quanto mantengono la connettività tra il mare e la laguna, permettendo il ricambio dell'acqua attraverso lo scambio mareale. Inoltre, questo scambio garantisce il trasporto di sedimenti, nutrienti e organismi portando a molteplici benefici: le zone costiere limitrofe alla laguna possono infatti godere di quantità più abbondanti di nutrienti e sostanza organica particellata. Queste sono fondamentali per la produzione primaria e secondaria, mentre la laguna grazie ai flussi entranti e uscenti viene rifornita di masse d'acqua salata e ossigenata. Tali caratteristiche vengono sfruttate dagli organismi marini per svolgere le loro funzioni biologiche, dalla riproduzione, al rifugio, all'alimentazione. Le correnti come anche le profondità elevate (quest'ultimo aspetto soprattutto per Malamocco e Chioggia) fanno sì che le bocche di porto siano dei veri e propri bracci e prolungamenti di mare. Tuttavia, la presenza di gruppi di individui 'stanziali', che non si spostano in una direzione precisa nel corso delle fasi mareali minori può portare a ipotizzare che le bocche di porto,

almeno in alcuni periodi dell'anno, possano fungere da veri e propri habitat per alcune specie ittiche, sfruttando anche la vicinanza ai bassi fondali lagunari. In conclusione, possiamo presupporre che le morfologie e le profondità differenti delle tre bocche di porto siano fattori importanti nel determinare la presenza di specie ittiche diverse come anche la presenza di quantitativi differenti. Le bocche di Chioggia e Malamocco sono più strette e profonde rispetto a quella del Lido: le fosse in esse presenti consentono la presenza costante di organismi più grandi e banchi di pesci più numerosi. La maggior estensione verticale genera inoltre una stratificazione e probabilmente un termocline non presente al Lido. Proprio quest'ultima bocca, nonostante la maggior estensione, sembra ospitare meno target rispetto alle altre. Probabilmente è proprio la maggior larghezza, accompagnata dall'esigua batimetria della parte prospiciente la diga foranea di Punta Sabbioni ad impedire il formarsi di grossi assembramenti nectonici. I primi studi effettuati sembrano quindi indicarci una duplice funzionalità delle bocche di porto, ovvero come corridoi di collegamento con il mare ma anche veri e propri habitat a sé stanti. Queste considerazioni sono importanti anche da un punto di vista gestionale a lungo termine: i piani che verranno attuati dovranno comprendere allo stesso tempo sia l'ecosistema lagunare che le aree costiere limitrofe. Ciò è reso necessario dal momento che l'attività di prelievo coinvolge il medesimo stock che transita dalle bocche di porto per spostarsi dalla laguna al mare e viceversa. Studiando in maniera più approfondita queste dinamiche sarà possibile capire le aree di stazionamento preferite dei target e lì convogliare l'attività di pesca. Questo processo ha anche e soprattutto una finalità volta alla sostenibilità: così facendo, infatti, gli sforzi di pesca vengono focalizzati in aree mirate, evitando di andare a prelevare due volte la stessa specie in aree differenti. I vantaggi di questa tecnica non si limitano però alla sola attività di pesca: diversi studi (Pranovi et al., 2013; Fortibuoni et al., 2015) hanno evidenziato che la presenza di specie aliene termofile, i prossimi anni, influenzerà aree sub-boreali come l'Alto Adriatico e le relative aree costiere. Quest'aspetto, sommato ai cambiamenti climatici in atto, causerà delle profonde modificazioni alla laguna di Venezia: le specie aliene, infatti, si stabilizzeranno andando a modificare l'ecosistema, mentre l'aumento della frequenza delle acque alte andrà ad incrementare le disconnessioni tra il mare e la laguna per via

dell'entrata in funzione delle dighe mobili del MoSE. Quest'ultime potrebbero provocare problemi alle specie che sfruttano le aree interne della laguna. La maggior parte degli spostamenti, infatti, avviene in presenza di cambi di marea, particolarmente significativi durante gli eventi di acqua alta. Se queste vie di transito vengono bloccate, quindi, agli organismi viene impedito di sfruttare al meglio questi due ambienti. Studi di questo genere sono fondamentali per comprendere la funzionalità ecologica del sistema laguna – area costiera contribuendo all'implementazione di un approccio gestionale realmente ecosistemico. Per di più queste prime analisi, essendo state effettuate in un periodo precedente all'entrata in funzione del MoSE, potrebbero essere una buona base di confronto per i successivi campionamenti, aiutando così a capire quali possano essere veramente gli effetti sull'ecosistema marino dell'attivazione delle dighe. Essendo una metodologia d'indagine di frontiera, ancora agli albori, queste prime campagne svolte non sono sufficienti per restituire risultati ben definiti, per questo serviranno ulteriori uscite di monitoraggio con conseguente analisi dei dati raccolti.

Bibliografia

- Able, K.W., (2005). A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 5-17, DOI: 10.1016/j.ecss.2005.02.002.
- Allen, L.G., (1982). Seasonal abundance, composition and productivity of the littoral zone assemblage in upper Newport Bay, California. *Fishery Bulletin*, 80: 769-790.
- Beck, M.W., Heck, J.K., Able, K.W., Childers, D., Eggleston, D., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C., Hoshino, K., Minello, T., Orth, R., Sheridan, P., Weinstein, M., (2001). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51: 633-641, DOI: 10.1641/0006-3568.
- Berges, B., Van de Sande, J., Quesson, B., Sakinan, S., Van Helmond, E., Van Heijningen, A., Burgraaf, D., Fassler, S., (2019). Practical implementation of real-time fish classification from acoustic broadband echo sounder data. Wageningen Marine Research report, 76, DOI: 10.18174/497323.
- Brambati, A. (1992). Origin and evolution of the Adriatic Sea. Pp. 327–346, In: *The Adriatic Sea. In Marine Eutrophication and Population Dynamics*, 25th European Marine Biology Symposium, Lido degli Estensi, Ferrara, Italy, September 10–15, 1990. Fredensborg, Denmark: Olsen & Olsen.

- Burczynsky J.J., Johnson R.L., Kreiberg H., Kirchner W.B. (1990). Acoustic estimation of dense aggregations of fish in sea pens. *Rapp. P.V. Réun. Cons. int. Explor. Mer.*, 189, pp. 54-64.
- Capoccioni, F., Leone, C., Pulcini, D., Cecchetti, M., Rossi, A., Ciccotti, E., (2019). Fish movements and schooling behavior across the tidal channel in a Mediterranean coastal lagoon: an automated approach using acoustic imaging. *Fisheries Research* 219, 1-8, DOI: 10.1016/j.fishres.2019.105318.
- Chiappa-Carrara, X., Sanvicente-Anorve, L., Monreal-Gomez, A., Salas De Leon, D., (2003). Ichthyoplankton distribution as an indicator of hydrodynamic conditions of a lagoon system in the Mexican Caribbean. *Journal of Plankton Research*, 25 (7): 687-696, DOI: 10.1093/plankt/25.7.687.
- Costantini, M., (2003). Methodologies of fauna fishing's acoustics monitoring. Application in evaluation of anthropic impact, management and conservation of species and interest areas. XVI cycle of research doctorate in biomonitoring methodologies of environmental. Studies' university of Trieste, pp. 17-19.
- Cucco, A., Umgiesser, G., (2006). Modeling the Venice Lagoon residence time. *Ecological Modelling*, 193: 34-51, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.043.
- Deegan, L.A., Thompson, B.A., (1985). The ecology of fish communities in the Mississippi River deltaic plain, In: Yanez-Arancibia, A. (Ed.), *Fish Community Ecology in Estuarine and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration*. UNAM Press, Mexico, pp. 35-56.
- Deegan, L.A., Hughes, J.E., Rountree, R.A., (2002). Salt marsh ecosystem support of marine transient species. *Concepts and controversies in tidal Marsh Ecology*, 333-365, DOI: 10.1007/0-306-47534-0_16.

- Demer D.A., Andersen L.N., Bassett C., Berger L., Chu D., Condiotty J., Cutter G. R. Jr., Hutton B., Korneliussen R., Le Bouffant N., Macaulay G., Michaels W. L., Murfin D., Pobitzer A., Josiah S. Renfree J. S., Sessions T. S., Stierhoff K. L., Thompson C. H., (2017). 2016 USA–Norway EK80 Workshop Report: Evaluation of a wideband echosounder for fisheries and marine ecosystem science. ICES Cooperative Research Re-port No. 336. 69 pp, DOI: 10.17895/ices.pub.2318
- Elliot, M., Burdon, D., Hemingway, K.L., Sabine E. Apitz, S.E., (2007). Estuarine, coastal and marine ecosystem restoration: Confusing management and science – A revision of concepts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74: 349-366, DOI: 10.1016/j.ecss.2007.05.034.
- Foote, K.G., Traynor J.J., (1988). Comparison of walleye pollock target strength estimates determined from in situ measurements and calculations based on swimbladder form. *J. acoust. Soc. Amer.*, 83 (1), pp. 9-17, DOI: 10.1121/1.396190.
- Fortibuoni T., Aldighieri F., Giovanardi O., Pranovi F., Zucchetta M., 2015. Climate impact on Italian fisheries (Mediterranean Sea). *Regional Environmental Change*, 15: 931-937, DOI: 10.1007/s10113-015-0781-6.
- Franco, A., Franzoi, P., Malavasi, S., Riccato, F., Torricelli, P., Mainardi, D., (2006 a). Use of shallow water habitats by fish assemblages in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 66: 67-83, DOI: 10.1016/j.ecss.2005.07.020.
- Franco, A., Elliott, M., Frazoi, P., Torricelli, P., (2008 a). Life strategies of fishes in European estuaries: the functional guild approach. *Marine Ecology Progress*

Series, 354: 219-228, DOI: 10.3354/meps07203.

- Franco, A., Franzoi, P., Torricelli, P., (2008 b). Structure and functioning of Mediterranean lagoon fish assemblages: a key for the identification of water body types. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79: 549-558, DOI: 10.1016/j.ecss.2008.05.011.
- Franco, A., Torricelli, P., Franzoi, P., (2009). A habitat-specific fish-based approach to assess the ecological status of Mediterranean coastal lagoons. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 1704-1717, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.06.016.
- Franzoi, P., Franco, A., Torricelli, P., (2010). Fish assemblage diversity and dynamics in the Venice lagoon. *Rendiconti Lincei*, 21 (3): 269-281, DOI: 10.1007/s12210-010-0079-z.
- Gacic, M., Kovacevic, V., Mazzoldi, A., Paduan, J., Mancero, I., Arena, F., Gelsi, G., (2002). Measuring water Exchange between the Venetian lagoon and the open sea. *EOS Transaction American Geophysical Union*, 83: 217-222, DOI: 10.1029/2002EO000147.
- Jones, E. J. W., 1999. *Marine Geophysics*. Ed. Wiley, ISBN: 0-471-98694-1.
- Kent, J., Jenkins, G., Acevedo, S., (2013). Temporal and spatial patterns in ichthyoplankton assemblages in bay and open coastal environments. *Journal of Fish Biology*, 82: 408-429, DOI: 10.1111/jfb.12008.
- Kjerfve, B., Schettini, C.A.F., Knoppers, B., Lessa, G., Ferreira, H.O., (1996). Hydrology and salt balance in a large, hypersaline coastal lagoon: Lagoa de

- Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42: 701-725, DOI: 10.1006/ecss.1996.0045.
- MacLennan D.N., Simmonds E.J., (1992). *Fischeries Acoustics*. London: Chapman & Hall, pp. 326.
 - MacLennan, D. N., Menz, A., (1996). Interpretation of in situ targets strength data. *ICES J. Mar. Sci.*, 53, pp. 233-236. DOI: 10.1006/jmsc.1996.0027.
 - Malavasi, S., Fiorin, R., Franco, A., Franzoi, P., Granzotto, A., Riccato, F., Mainardi, D., (2004). Fish assemblages of Venice Lagoon shallow water: an analysis based on species, families and functional guilds. *Journal of Marine Systems*, 51: 19-31, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2004.05.006.
 - Martino, E.J., Able, K.W., (2003). Fish assemblages across the marine to low salinity transition zone of a temperate estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56: 969-987, DOI: 10.1016/S0272-7714(02)00305-0.
 - Morang, A., Larson, R., Gorman, L., 1997. Monitoring the coastal environment; Part III; Geophysical and research methods. *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1064-1085.
 - Perez-Ruzafa, A., Quispe-Becerra, J.I., García-Charton, J.A., Marcos, C., (2004). Composition, structure and distribution of the ichthyoplankton in a Mediterranean coastal lagoon. *Journal of Fish Biology*, 64: 202-218, DOI: 10.1046/j.1095-8649.2004.00301.x.
 - Perez-Ruzafa, A., (2012). Fisheries in coastal lagoons: An assumed but poorly researched aspect of the ecology and functioning of coastal lagoons. *Estuarine,*

- Coastal and Shelf Science, 110: 15-31, DOI: 10.1016/j.ecss.2012.05.025.
- Pranovi F., Caccin A., Franzoi P., Malavasi S., Zucchetta M., Torricelli P., 2013. Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice lagoon. *Journal of Fish Biology*, 83: 847-863, DOI: 10.1111/jfb.12124.
 - Rossi, R., (1986). Occurrence, abundance and growth of fish fry in Scardovari Bay, a nursery ground of the Po River Delta (Italy). *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 20: 259-280.
 - Rountree, R.A., Able, K.W., (2007). Spatial and temporal habitat use patterns for salt marsh nekton: implications for ecological functions. *Aquatic Ecology*, 41: 25-45, DOI: 10.1007/s10452-006-9052-4.
 - Sande J. V., Quesson B., Beerens P., (2017). Classification of pelagic fish using wideband echosounders. *The Journal of the Acoustical Society of America* 141, 3862, DOI: 10.1121/1.4988629.
 - Solidoro, C., Pastres, R., Cossarini, G., Ciavatta, S., (2004). Seasonal and spatial variabilità of water quality parameters in the lagoon of Venice. *Journal of Marine Systems*, 51: 7-18, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2004.05.024.
 - Solidoro C., Bandelj V., Cossarini G., Libralato S., Melaku Canu D., Aubry Bernardi F., Camatti E., Socal G., Tagliapietra D., Ciavatta S., Facca C., Pastres R., Sfriso A., Franzoi P., Pranovi F., Torricelli P., Raicevich S., Sigovini M., (2010). Response of Venice lagoon ecosystem to natural and anthropogenic pressures over the last 50 years. *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. (M.J. Kennish, H.W. Pearl, Eds), CRC Press.

- Traynor, J.J. Williamson, N.J., (1982). Target strength measurements of walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) and a simulation study of the dual beam method. FAO Fish Report, 300, pp. 112-124.
- Zucchetto, M., Franco, A., Torricelli, P., Franzoi, P., (2010). Habitat distribution model for European flounder juveniles in the Venice lagoon. Journal of Sea Research, 64 (1-2): 133-144, DOI: 10.1016/j.seares.2009.12.003.