PO FEAMP 2014 – 2020

Reg. (UE) 508 del 15 maggio 2014
Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca (FEAMP)

Progetto EXCHANGE

Valutazione dell'importanza degli scambi mare-laguna per il mantenimento degli stock ittici soggetti a sfruttamento commerciale

RELAZIONE FINALE

Misura 1.40 – Priorità 1

Codice Progetto 01/RBC/2017 – CUP H17G17000090009

DGR apertura termini n. 740 del 29/05/2017 (BUR n. 58 del 16/06/2017)
Progetto approvato con DDR n. 211 del 06/12/2017

Università Ca'Foscari Venezia
Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica

Valutazione dell'importanza degli scambi mare-laguna per il mantenimento degli stock ittici soggetti a sfruttamento commerciale (Exchange).

N° progetto: 01/RCB/2017

Reg. (UE) 508 del 15 maggio 2014 – Fondo Europeo per gli Affari Marittimi e la Pesca (FEAMP)

INTRODUZIONE

La funzionalità ecologica delle lagune costiere dipende in modo sostanziale dalla connettività con l'ambiente marino costiero, mediata dal periodico scambio mareale e dallo scambio continuo di organismi. (Gillanders, 2002; Sheaves et al., 2014). In tale contesto, di grande importanza, sia scientifica che economica, è la componente di organismi marini che 'migrano' a fini riproduttivi e di alimentazione, dal mare alla laguna, sfruttando la maggior produttività delle acque di transizione rispetto a quelle costiere (Elliott, 2004). Queste migrazioni periodiche sono riscontrabili in diversi stadi della vita degli organismi e sono compiute sia dalla componente ittica che da alcune specie di cefalopodi e crostacei. Nel caso dell'alto Adriatico, in particolare lungo la costa occidentale, molte specie a riproduzione marina, che costituiscono importanti stock sfruttati a fini di pesca, si concentrano allo stadio giovanile negli habitat di basso fondale degli ambienti di transizione. Appartengono a questo gruppo l'orata (*Sparus aurata)*, la spigola (*Dicentrarchus labrax)*, la passera (*Platichthys flesus)*, la sogliola (*Solea solea)*, i cefali (*Liza ramada*, *L. aurata, L. saliens, Chelon labrosus e Mugil cephalus)*. I primi arrivi di queste specie sono caratterizzati da larve o postlarve di lunghezza standard inferiore, in genere, ai 20 mm (Franzoi et al., 2005). Anche gli stadi larvali e giovanili di acciuga (*Engraulis encrasicholus)*, sardina (*Sardina pilchardus)* e spratto (*Sprattus sprattus)* stagionalmente abbondanti negli ambienti marini costieri, possono essere rinvenuti all'interno di tali ecosistemi.

Negli ambienti lagunari dell'Adriatico settentrionale, il picco principale di presenze di migratori giovanili si registra nel periodo tardo inverno-inizio primavera, con un secondo picco di montata dal mare osservabile a fine-estate-inizio autunno (Rossi, 1986). Gli individui di queste specie migrano poi in mare durante i mesi tardo- autunnali, in corrispondenza della brusca diminuzione di temperatura delle acque lagunari (Franzoi et al., 1989). Se da un lato, per quanto riguarda la laguna di Venezia, sono stati effettuati diversi studi sulla connettività mare-laguna, relativamente agli stadi larvali e post larvali dell'ittiofauna, sono invece del tutto assenti studi sugli spostamenti che riguardano gli individui adulti e sub-adulti, che transitano attraverso le bocche di porto (soprattutto per fini trofici e riproduttivi).

A differenza degli stadi larvali, infatti, quelli successivi sono dotati di maggiori capacità motorie che permettono loro di nuotare, anche nel verso contrario alle correnti di marea. Per questo motivo, lo

studio di tali spostamenti deve essere sufficientemente prolungato per analizzare le diverse fasi mareali. A fini gestionali, comprendere le dinamiche che influenzano gli spostamenti degli stock ittici è di grande importanza; qualsiasi ipotesi gestionale a scala lagunare, ma anche di alto Adriatico, infatti, non può prescindere dal fatto che le risorse alieutiche rinvenibili nelle lagune e in aree marine costiere sono tra di loro estremamente connesse, in pratica appartenenti spesso alla stessa popolazione. Va da sé che, per quanto riguarda la laguna di Venezia, la comprensione degli spostamenti, della loro intensità in termini di biomassa e taglia, delle specie interessate, delle condizioni meteo marine e di marea che li favoriscono, diventa un elemento di cruciale importanza, in particolare nella prospettiva di una 'laguna regolata' che diverrà attiva all'entrata in funzione del MoSE, con temporali disconnessioni tra mare e laguna.

In tale contesto, il progetto *Exchange*, finanziato nell'ambito della misura 1.40 del FEAMP 2014-2020 (avente come finalità di protezione e di ripristino della biodiversità degli ecosistemi marini e l'attivazione di interventi volti a migliorare la gestione e le conoscenze delle risorse biologiche marine), ha come obiettivo la valutazione dei flussi di organismi (in termini di biomassa) attraverso le bocche di porto, anche in relazione a diverse condizioni ambientali (stagione, fase del giorno, marea) ed è il primo nel suo genere compiuto in laguna di Venezia, grazie all'uso di tecniche di acustica attiva.

MATERIALI E METODI

Attività di campo

I campionamenti sono stati effettuati nel corso del 2018, e precisamente il 26 giugno, il 21 settembre e il 4 dicembre, nella bocca di porto di Lido (Figura 1)

La scelta del sito di campionamento si è basata sul fatto che tale bocca è:

- la più estesa in termini di larghezza;
- quella maggiormente rimaneggiata a seguito dei lavori per il MoSE, con la creazione dell'isola artificiale che divide i flussi entranti e li indirizza verso due aree lagunari diverse;
- legata al bacino nord che è quello che conserva ancora il tipico gradiente alino mare-gronda;
- la prima che viene interessata dalle maree entranti, che in alto Adriatico provengono da nord in relazione alla rotazione delle correnti dominanti in senso antiorario.

Figura 1 laguna di Venezia, con indicata l'area di campionamento alla bocca di porto del Lido

Per il campionamento è stato utilizzato un echosounder scientifico Simrad EK80 *wide-band* dotato di tecnologia *split-beam* e modulazione di frequenza, esplorando diversi schemi di campionamento (Figura 2):

- transetti longitudinali al canale,
- registrazioni da punti fissi nei pressi della biforcazione della bocca di porto,
- transetti trasversali (a "zig-zag") per l'intera estensione del canale,
- esplorazione di aree prospicenti l'ingresso della bocca di porto (periplo della lunata).

Solitamente in mare aperto si opera lungo transetti paralleli tra di loro, intervallandoli con brevi spostamenti longitudinali; la sperimentazione di diverse soluzioni di monitoraggio è stata dettata invece

dal voler comprendere quale fosse la migliore strategia adottabile in un'area così peculiare per forma e dimensioni come la bocca di porto.

I dati sono stati acquisiti tramite un trasduttore combinato, con frequenze 38 kHz e 200 kHz.

Metodica acustica

L'echosounder scientifico utilizzato, di base, funziona come un comune eco-scandaglio, strumento frequentemente usato sia da pescatori professionali che amatoriali. Il *trasduttore* (Figura 3*a*), una volta immerso in acqua, emette un impulso ad una specifica frequenza; l'onda di pressione che si genera si propaga lungo la colonna d'acqua finché non incontra un ostacolo che la riflette. Una parte o tutta l'eco riflessa viene registrata. La risposta viene registrata tramite il *transceiver* (Figura 3*b*) e rappresentata sotto forma di ecogramma (Figura 3*c*). La frequenza di pressione degli impulsi (ping) e la larghezza del fascio del trasduttore determinano la risoluzione del dato ottenibile. Tutti i dati raccolti vengono registrati su appositi supporti informatici per essere successivamente elaborati ed analizzati.

La riflettività acustica, che prende il nome di *Target Strength* (*TS*), è la frazione di eco riflessa dal bersaglio e captata dal trasduttore. Essa, con varie approssimazioni, si può considerare proporzionale alla taglia del bersaglio, ed è misurata in decibel (dB). I valori di *TS* possono quindi essere utilizzati per risalire alla lunghezza degli organismi presenti all'interno del fascio di emissione e quindi alla stima della biomassa. Quando i singoli target sono relativamente piccoli e addensati all'interno del volume d'acqua campionato, i loro echi si combinano e non è più possibile risalire ai singoli contributi in termine di

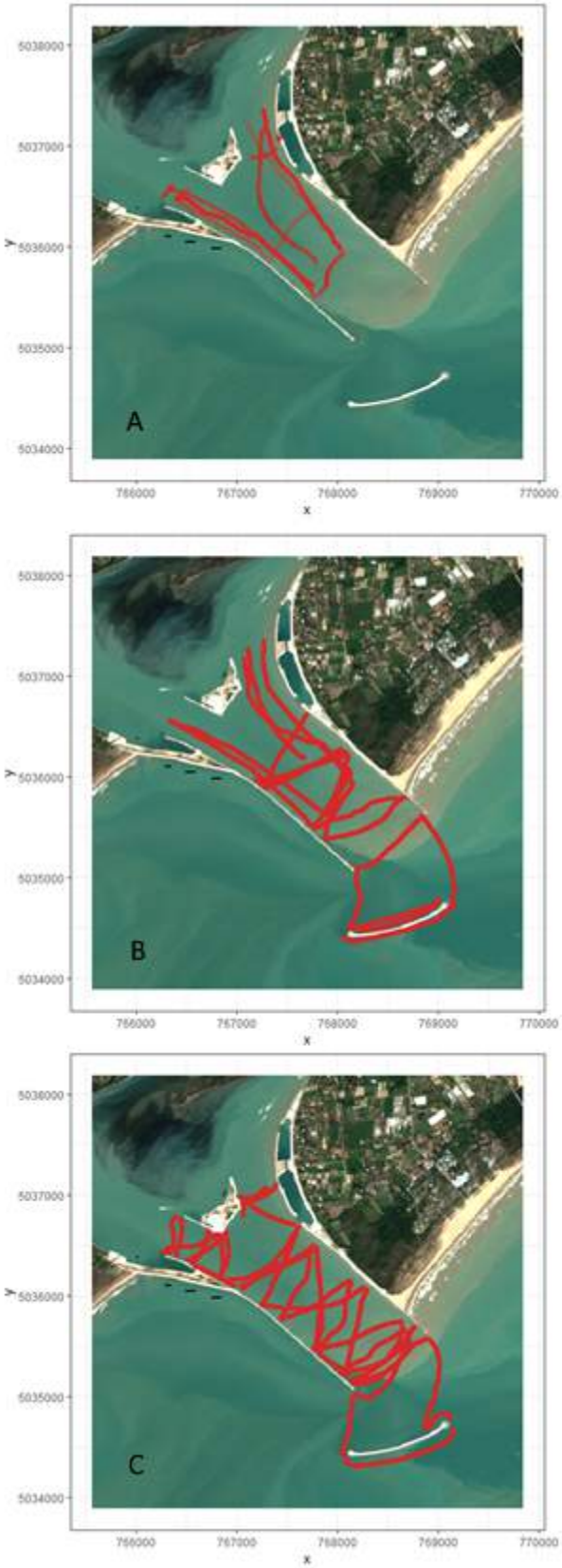

Figura 2 Transetti eseguiti nelle tre campagne di campionamento. Dall'alto verso il basso: 26 giugno 2018, 21 settembre 2018 e 4 dicembre 2018

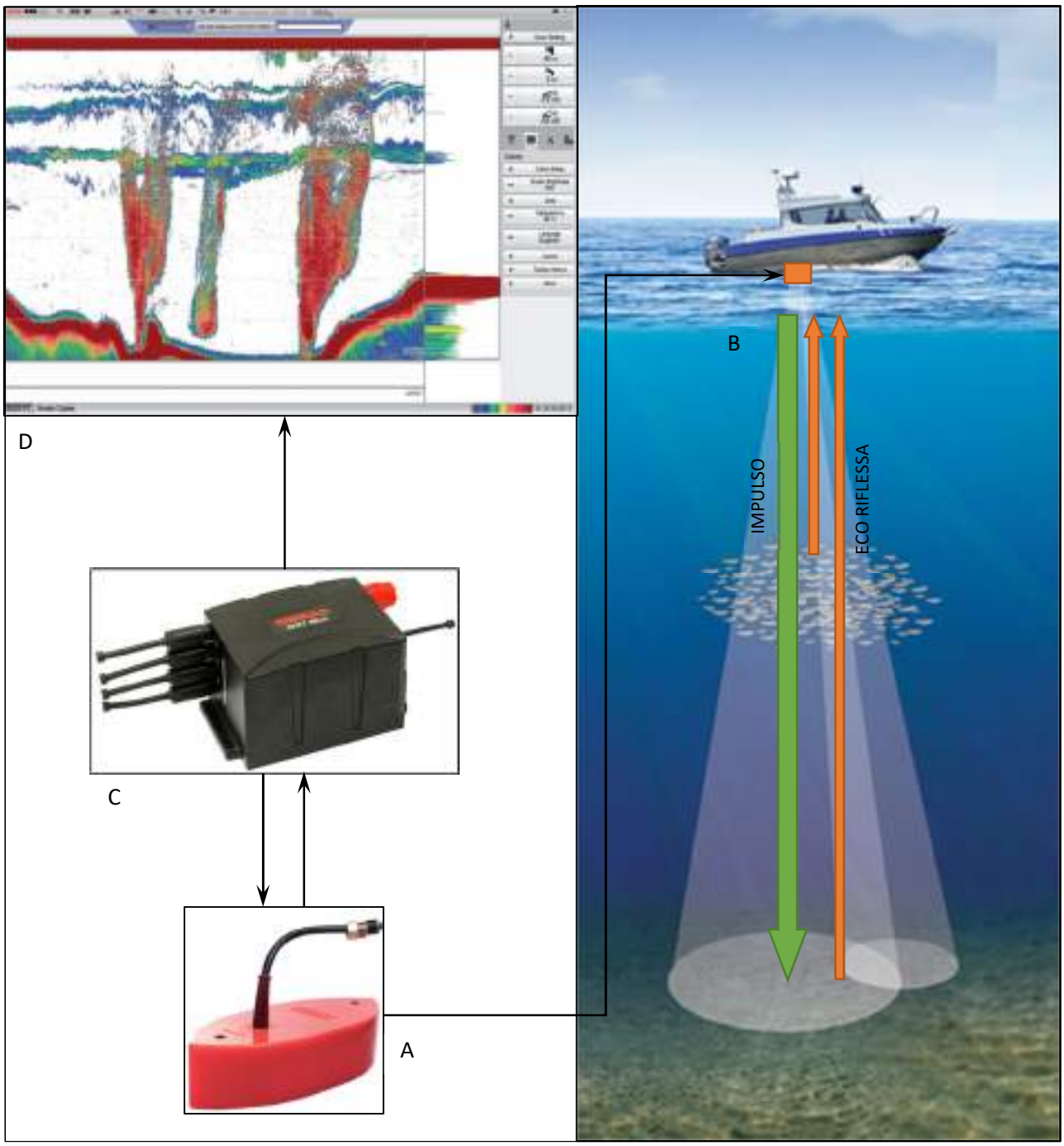

Figura 3: schema di funzionamento generale di un sistema echosounder scientifico. Il trasduttore (A) emette impulsi sonori e registra gli echi di ritorno (B); il transceiver (C), controlla l'emissione degli impulsi, riceve gli echi dal trasduttore, e genera un ecogramma (D)

energia riflessa. In questo caso, la quantità misurata è il volume di backscattering (*Sv* o *MVBS*). Tale quantità è comunemente utilizzata negli studi sulle aggregazioni planctoniche. Nel presente studio le analisi condotte si riferiscono a misurazioni di *TS*.

In relazione allo scopo di utilizzo gli echosounder scientifici possono operare a diverse frequenze, generalmente comprese tra 1 kHz e 5MHz. La scelta delle frequenze è sempre frutto di un compromesso, in quanto le basse frequenze permettono di esplorare maggiori porzioni di colonna d'acqua rispetto alle onde sonore ad alta frequenza a discapito, però, della risoluzione del dato ottenibile. Alte frequenze, sopra i 200 kHz, consentono di individuare target molto piccoli, sotto il millimetro di dimensione, ma in acque torbide come quelle dell'alto Adriatico si possono esplorare solo pochi metri sotto il trasduttore a causa dell'attenuazione del segnale. I trasduttori più utilizzati per l'individuazione dei pesci solitamente operano tra i 30 kHz e i 200 kHz. I vari fattori che devono essere presi in considerazione per la scelta delle frequenze adatte al monitoraggio che si vuole condurre sono riportati in Figura 4.

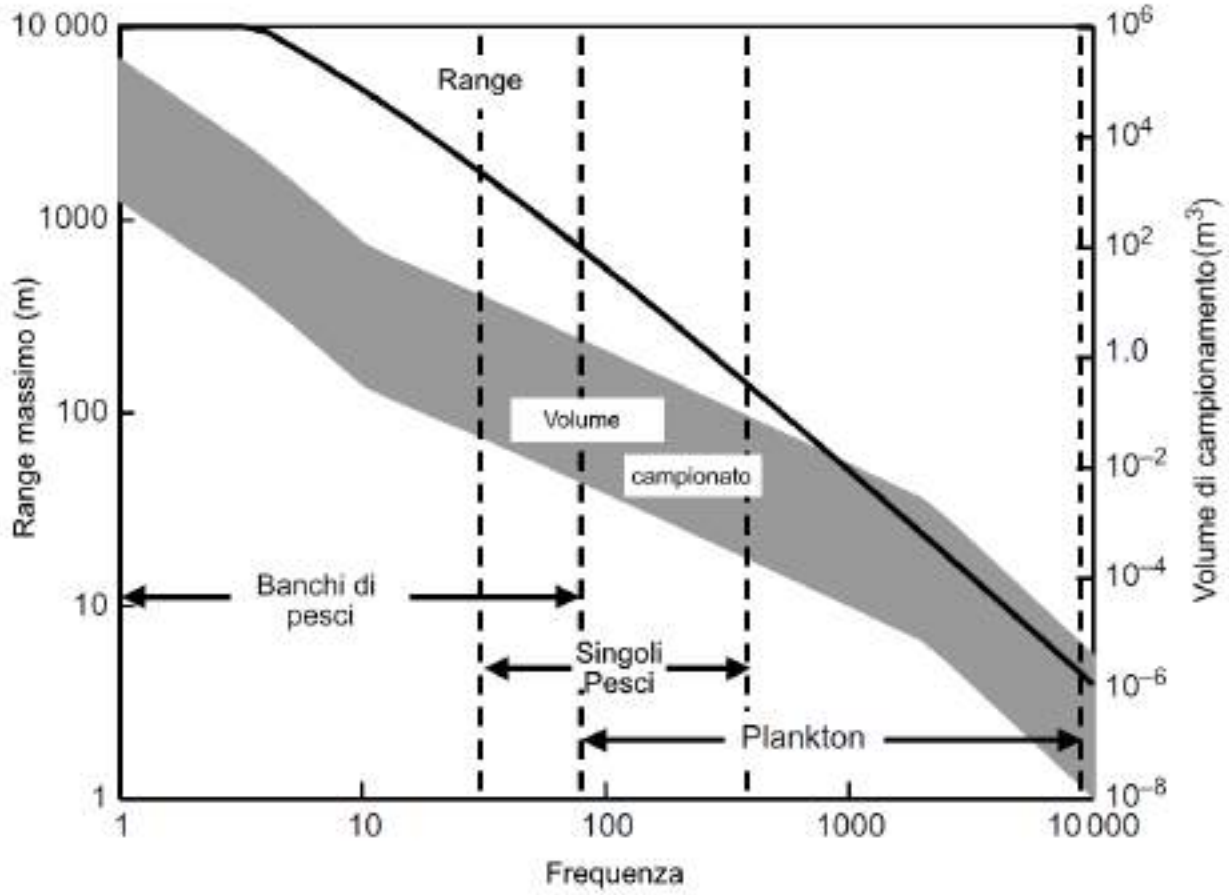

Figura 4 La capacità dei sonar di rilevare dei target dipende dalla frequenza delle onde sonore emesse. Il range verticale indica la massima distanza a cui i bersagli possono essere identificati ed isolati dal rumore di fondo. In ascissa sono riportate le frequenze tipicamente usate per il campionamento di banchi, singoli bersagli e plankton.

La strumentazione utilizzata in questo progetto è caratterizzata da alti valori di precisione ed accuratezza delle misure in quanto i componenti sono stati assemblati cercando di minimizzare il più possibile i rumori elettrici che possono a loro volta causare rumori di fondo (alto rapporto

segnale/rumore), inoltre il fascio conico di emissione delle onde sonore è stato progettato per minimizzare effetti indesiderati come la presenza di *side lobes,* regioni di emissione accessorie che possono interferire con la regione centrale e dare luogo a misurazioni non veritiere. In più, tramite una sfera di calibrazione in tungsteno, è stato possibile tarare l'echosunder per avere un'intensità di risposta specifica per il medium acqueo esplorato, in quanto la trasmissione delle onde sonore in acqua dipende anche dalla salinità e dalla temperatura di quest'ultima.

La tecnologia *split-beam*, utilizzata a 38 kHz, ha permesso inoltre di definire le direzionalità dei target; ciò è reso possibile dal fatto che il trasduttore è idealmente diviso in 4 quadranti (canali - Figura 5*a*) che registrano ciascuno in modo differenziale l'intensità di risposta dell'eco. Integrando le 4 intensità per ciascun ping è possibile stimare la posizione del target all'interno del cono di emissione; sommando le posizioni appartenenti ad un singolo pesce per più ping consecutivi è possibile indentificare la direzione del movimento del bersaglio (Figura 5*b*).

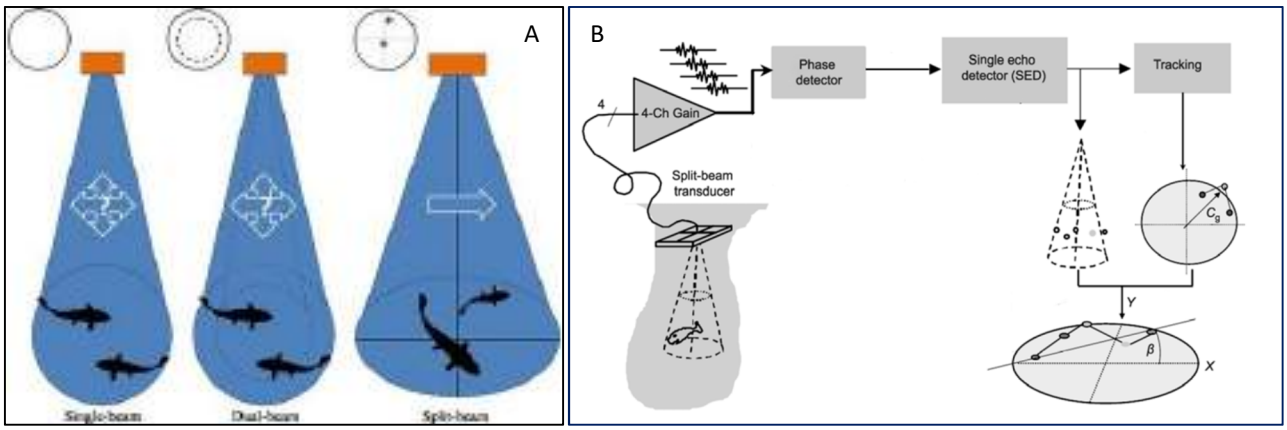

Figura 5: A – La tecnologia single-beam è in grado di discriminare i target solo lungo l'asse verticale, quella dual-beam sfrutta un cono di emissione centrale stretto ed uno adiacente più ampio per migliorare l'identificazione dei target. Con l'introduzione della tecnologia split-beam è possibile registrare la direzione e la velocità di spostamento dei singoli pesci. B – Integrando più rilievi successivi appartenenti allo stesso bersaglio (pesce), è possibile ricostruirne gli spostamenti.

La discriminazione dei vari target è invece basata sulla registrazione dei *TS* su un ampio spettro di frequenze, grazie alla funzione *wide-band*. La forma della curva di risposta è target-specifica ed è ricavata dalla congiunzione di più valori di *TS* nel range di frequenze 35-45 KHz (Figura 6).

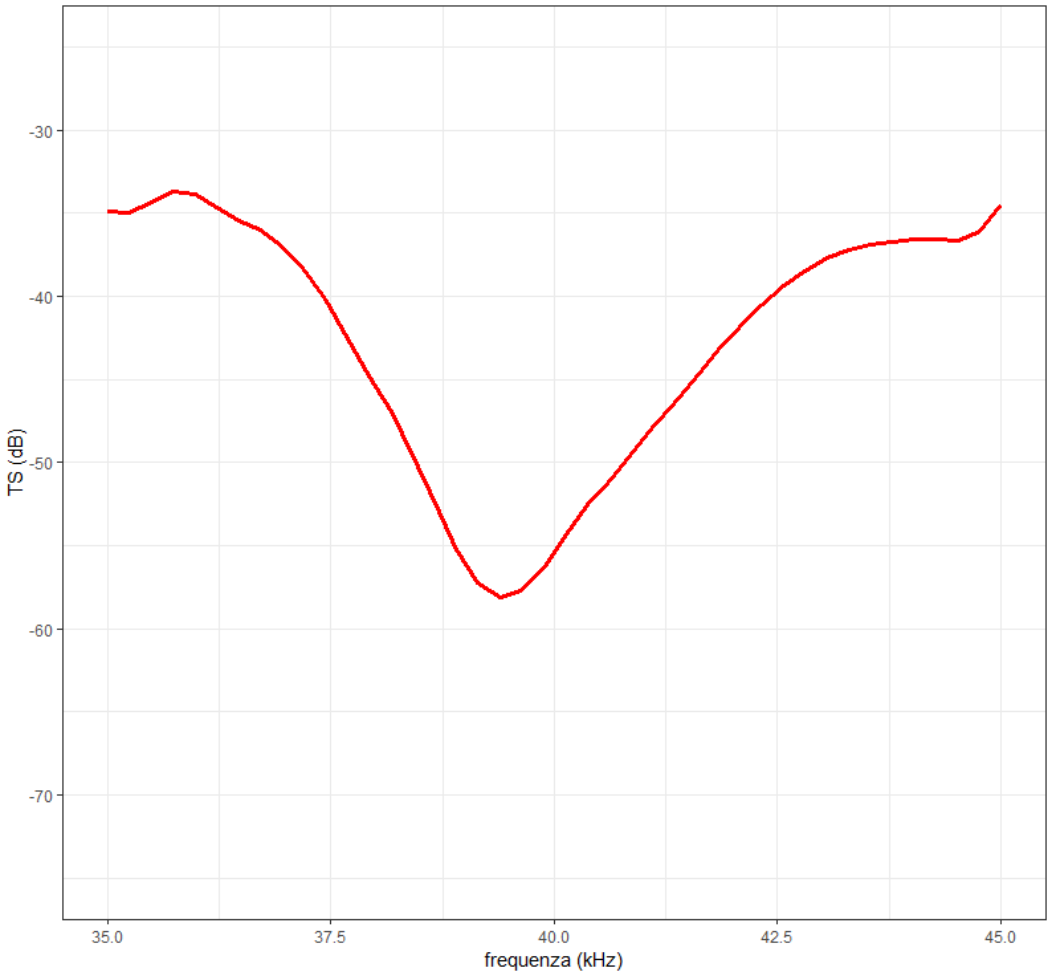

Figura 6 Esempio di curva di risposta per frequenze tra i 35 e i 45 kHz

Vantaggi

I monitoraggi dell'ittiofauna per mezzo di tecniche di acustica attiva comportano dei chiari vantaggi rispetto a metodi più tradizionali come l'esecuzione di campagne di pesca scientifica; in primo luogo si tratta di un campionamento che non arreca alcun disturbo agli organismi marini e che può essere esteso facilmente in termini sia spaziali che temporali, permettendo quindi di ottenere una migliore copertura dell'area di studio e reiterare i campionamenti nel tempo, aumentandone la frequenza. Inoltre, è possibile campionare praticamente con qualsiasi condizione meteo marina, nelle ore notturne e tutti gli strati della colonna d'acqua in modo sinottico.

Setup

La configurazione adottata durante tutte le campagne di campionamento è schematizzata in Figura 7. Essa si compone di un PC dotato di software Simrad EK80 e di ricevitore GPS per la registrazione della velocità di spostamento dell'imbarcazione e della posizione lati-longitudinale dei ping. Al personal computer, tramite collegamento LAN, è collegato il *transceiver* WBT-Mini, a sua volta collegato ad una fonte di alimentazione a 12V e al trasduttore; quest'ultimo è immerso in acqua tramite un sostegno esterno 'a palo' e fissato ad una delle murate della barca.

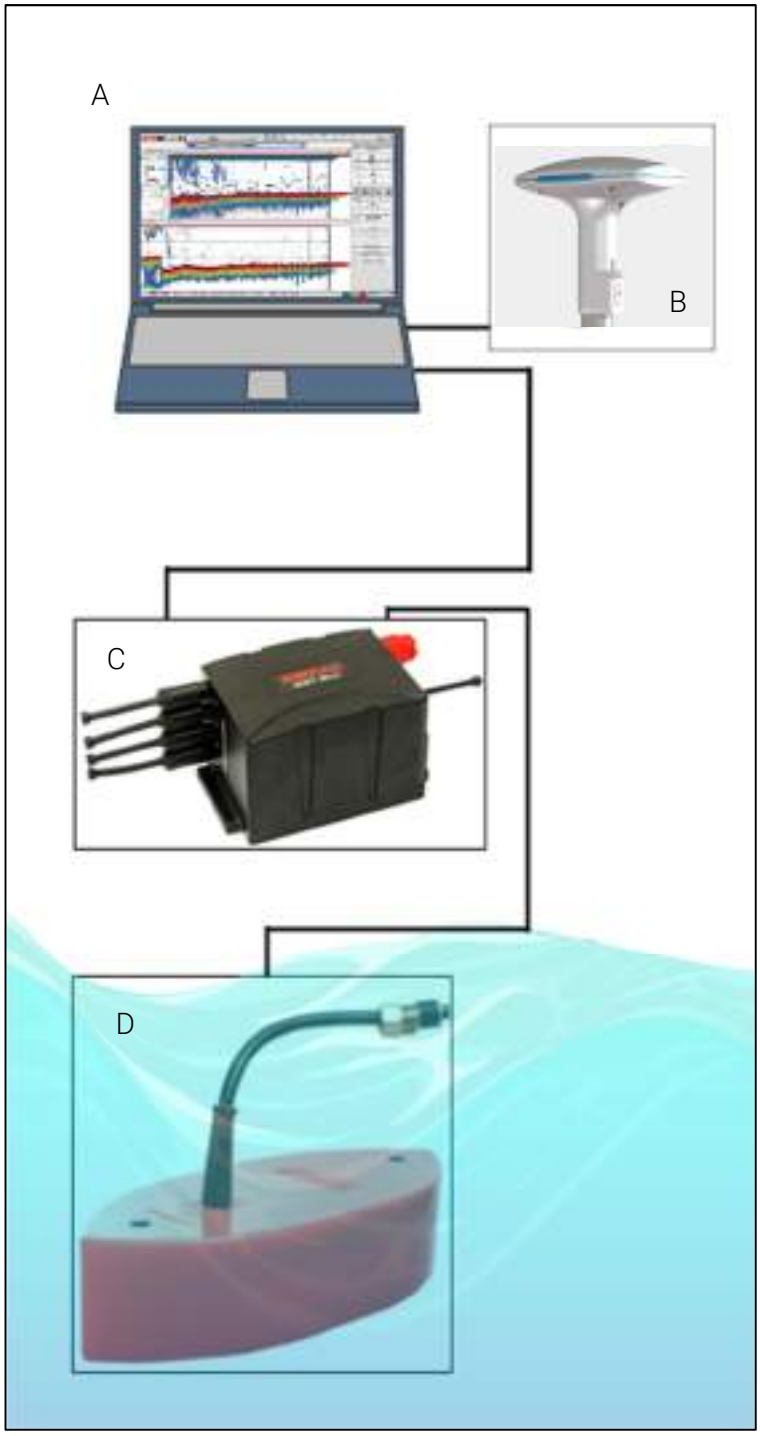

Figura 7. Schema della strumentazione acustica usata in Exchange – PC laptop rugged (A), Unità di navigazione GPS (B), Transceiver EK-80 WBT Mini (C), Trasduttore combinato 38-200 kHz (D).

Campagne di pesca scientifica

Al fine di integrare le informazioni derivanti dai rilievi acustici, e di iniziare a costruire dei modelli che permettano di associare le specie presenti alle relative risposte acustiche rilevate nella banda di frequenza coperta dall'echosounder (c.d. "firme acustiche"), sono state condotte 2 campagne di pesca scientifica.

La soluzione ideale, e quasi universalmente adottata in letteratura in questi casi, sarebbe stata quella di effettuare la pesca scientifica contestualmente ai campionamenti acustici, in modo da ottenere un raffronto diretto tra i rilievi strumentali e le catture. Dato il peculiare contesto in cui si è operato, questo non è stato possibile. Infatti, sia per motivi tecnico-logistici, sia per ragioni legislative, l'utilizzo di attrezzi da pesca all'interno della bocca di porto non è possibile.

Si è quindi deciso di effettuare la pesca scientifica in una zona all'interno della Laguna, il più vicino possibile all'area di studio, dove questa attività fosse consentita e agevole. La scelta è ricaduta sul Canale di San Felice e Crevan (Figura 8).

Figura 8 Area di campionamento per la pesca scientifica

Le campagne sono state intraprese in data 20 giugno e 16 ottobre, e analogamente a quanto fatto per i rilievi acustici, sono state l'occasione per sperimentare tecniche diverse. Nella campagna di giugno si è utilizzata una rete da traino "semipelagica" a divergenti, con apertura orizzontale in pesca di circa 8 m e verticale di circa 2 m. La pesca è stata effettuata con cale di cica 10 minuti, e la barca che trainava la rete era preceduta da quella su cui era operativo l'echosounder.

Nella campagna di ottobre è invece stato utilizzato un tramaglio di 200 m di lunghezza e 2 m di apertura verticale, sempre con cale di 10 minuti. Mentre il tramaglio era in pesca, l'area nelle vicinanze è stata monitorata con l'echosounder.

Entrambe le tecniche hanno mostrato grossi limiti. A fronte di una presenza di ittiofauna più o meno consistente rilevata in entrambi i casi dallo strumento, la rete da traino non ha prodotto nessuna cattura. Con il tramaglio è stato possibile catturare alcuni pesci (*Dicentrarchus labrax*, *Sparus aurata* e *Liza saliens*), ma in quantità tali da non consentire un'analisi statistica significativa.

Pertanto, nella pianificazione di future campagne di campionamento l'obiettivo dovrà essere quello di:

- Testare tecniche più dirette per la determinazione della firma acustica, come ad esempio l'utilizzo di individui catturati appositamente ed esposti al fascio dell'echosounder;
- Aumentare la durata e l'intensità dell'attività di pesca scientifica, in modo da aumentare la rappresentatività dei risultati. In quest'ottica, si dovrà puntare sull'utilizzo del tramaglio, o comunque di reti da posta, che hanno evidenziato una performance migliore.

Con riferimento al campionamento del mega-plancton, avente come obiettivo il rilevamento della densità di *Mneniopsys leidyi* nella colonna d'acqua, questo è stato effettuato con le stesse attrezzature utilizzate per la pesca scientifica, integrate con "tirate" di un retino da plancton calato a diverse profondità. In entrambe le campagne, però, non è stata rilevata la presenza della specie, non essendo stati catturati esemplari di *M. leidyi*; questo è in linea sia con quanto osservabile in via qualitativa (durante ciascuna uscita è stato possibile osservare solo qualche individuo in superficie, ma in maniera del tutto sporadica), sia con il fatto che nel corso del 2018, a differenza dell'anno precedente, non sono state segnalate presenze di *M. leidyi* tali da creare problemi alla pesca lagunare (il cosiddetto fenomeno dell'"acqua grossa", ossia l'intasamento delle reti).

Analisi dei dati acustici

Gli ecogrammi ottenuti durante i *survey* acustici sono stati analizzati tramite il software Sonar5 Pro 6.0.5 (®Lindem Data acquisition 2018).

La procedura di analisi ha comportato i seguenti step:

1. *Smoothing* - aumento della definizione degli echi
2. *Automatic noise reduction* - Riduzione automatica del rumore di fondo

3. *Bottom / Surface autodetection* - Rilievo automatico del fondale e della superficie, ed eventuale correzione manuale: gli echi provenienti dalle porzioni di ecogramma classificati come fondale o superficie vengono esclusi dalle successive analisi
4. *Single Target Detection* - Rilievo automatico dei bersagli (ovvero degli echi probabilmente prodotti da organismi)
5. *Track Detection* - Ricostruzione delle tracce (serie consecutive di bersagli attribuibili al medesimo organismo). Ciò rende possibile, una volta discriminati i singoli organismi, stimare la direzione di spostamento di cisacuno. L'algoritmo di ricostruzione delle tracce richiede una prima fase di training (taratura), che consiste nell'effettuare un'analisi preliminare dell'ecogramma, seguita da una validazione di un numero rappresentativo di tracce ricostruite (generalmente una cinquantina è sufficiente). Le tracce confuse, palesemente prodotte da interferenze, vengono scartate. Quelle che invece mostrano una chiara direzionalità vengono confermate, eventualmente ripulendole "a mano" da echi spuri (Figura 9). Una volta effettuata questa operazione, il programma è in grado di ricalcolare i parametri utilizzati per la ricostruzione delle tracce in modo da ottimizzare l'efficienza di riconoscimento, e l'algoritmo può poi essere utilizzato in modalità automatica per tutti gli ecogrammi raccolti durante lo stesso *survey*. Ogni traccia sarà caratterizzata da un valore medio di TS, in base al quale il software calcola la lunghezza del bersaglio sulla base di equazioni disponibili in letteratura. L'algoritmo, inoltre, georeferenzia automaticamente le tracce, in base al rilievo GPS e alla loro posizione nel *beam*.

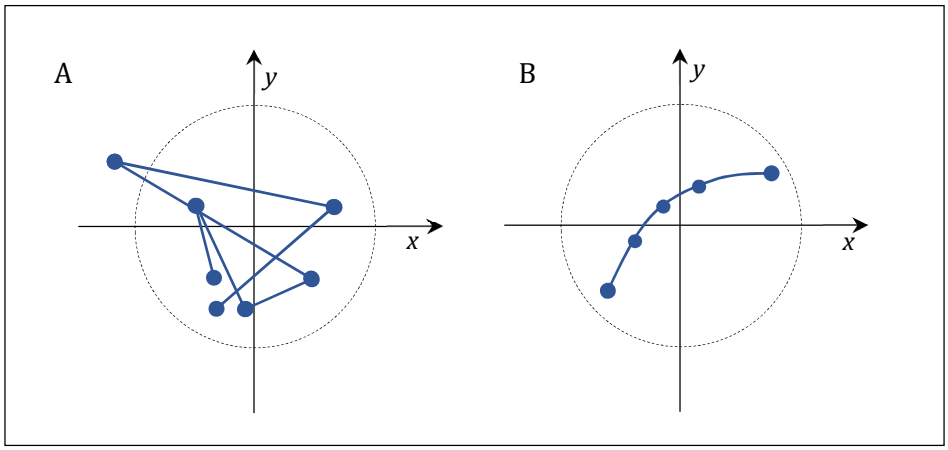

Figura 9: esempi di tracce rilevate dall'algoritmo di Sonar5 Pro – A: falsa traccia, generata da interferenze, da scartare; B: traccia generata da un pesce in movimento

L'output del programma, per ogni *survey*, è rappresentato da un database di tracce caratterizzate con i parametri elencati in Tabella 1.

Tabella 1: parametri restituiti da Sonar5 Pro

Parametro	***Descrizione***
Track Date	Data rilievo della traccia (h:m:s)
Track time	Ora rilievo della traccia (h:m:s)
# Echoes	Numero di echi componenti la traccia
Mean TS	TS medio (dB)
Fish length	Lunghezza del pesce (cm)
Target depth	Profondità media del pesce (m)
Smoothness	Regolarità della traccia
Mean(Echo Speed)	Velocità media del bersaglio (m/s)
Mean (Vx)	Velocità media del bersaglio lungo l'asse *x* (m/s)
Mean (Vy)	Velocità media del bersaglio lungo l'asse *y* (m/s)
Mean (Vz)	Velocità media del bersaglio lungo l'asse *z* (m/s)
GPS E/W lon.	Longitudine della barca (gradi decimali)
GPS N/S lat.	Latitudine della barca (gradi decimali)
Target pos. E/W	Longitudine del pesce (gradi decimali)
Target pos. N/S	Latitudine del pesce (gradi decimali)
Ship heading	Direzione della barca (gradi)
Ship Vel. W->E	Componente ovest-est della velocità della barca (m/s)
Ship vel. S->N	Componente sud-nord della velocità della barca (m/s)

Sulla base di questi parametri, è possibile ripulire ulteriormente i risultati da rilievi errati (ad esempio dimensioni o velocità del bersaglio irrealistiche, o un insoddisfacente grado di regolarità della traccia), ed effettuare tutte le successive elaborazioni, in particolare:

- stima del numero e della densità degli individui;
- stima del peso di ogni pesce rilevato, tramite l'applicazione di una regressione lunghezza-peso;
- analisi della direzionalità di ciascun pesce, in base alle componenti del vettore velocità rispetto all'asse della bocca di porto ed al movimento della barca;

Più nel dettaglio, al fine di quantificare la distribuzione spaziale degli organismi rilevati, le singole tracce registrate sono state trattate per mezzo di tecniche geostatistiche tramite il software R. Nello specifico, è stata usata un'interpolazione spaziale del tipo "Distanza Inversa Ponderata" (*Inverse Distance Weighed - IDW*); i punti campione vengono pesati durante l'interpolazione in modo che l'influenza di ogni punto rispetto agli altri diminuisca in base alla distanza dal punto sconosciuto che si vuole creare. Al fine di omologare i dati provenienti da misurazioni effettuate in acque caratterizzate da differenti profondità, le misure di densità sono state integrate su tutta la colonna d'acqua, riferendo poi il dato come misura di densità superficiale (kg/km2).

RISULTATI

Stima dei flussi

Sulla base dei dati raccolti è stato prima di tutto possibile ricostruire i flussi di organismi attraverso la bocca di porto di Lido.

I flussi entranti ed uscenti dalla bocca di porto sono stati stimati per ciascuna delle tre campagne di monitoraggio, suddividendoli a seconda della marea prevalente al momento del survey, così da valutare il possibile impatto di questa variabile sulla direzionalità degli organismi stessi. I flussi sono stati espressi in termini di numero d'individui. Questo perché si tratta di un valore più affidabile, dato che la sua stima necessita di meno assunzioni, e, per lo scopo di questo lavoro, si può considerare proporzionale alle biomasse in gioco.

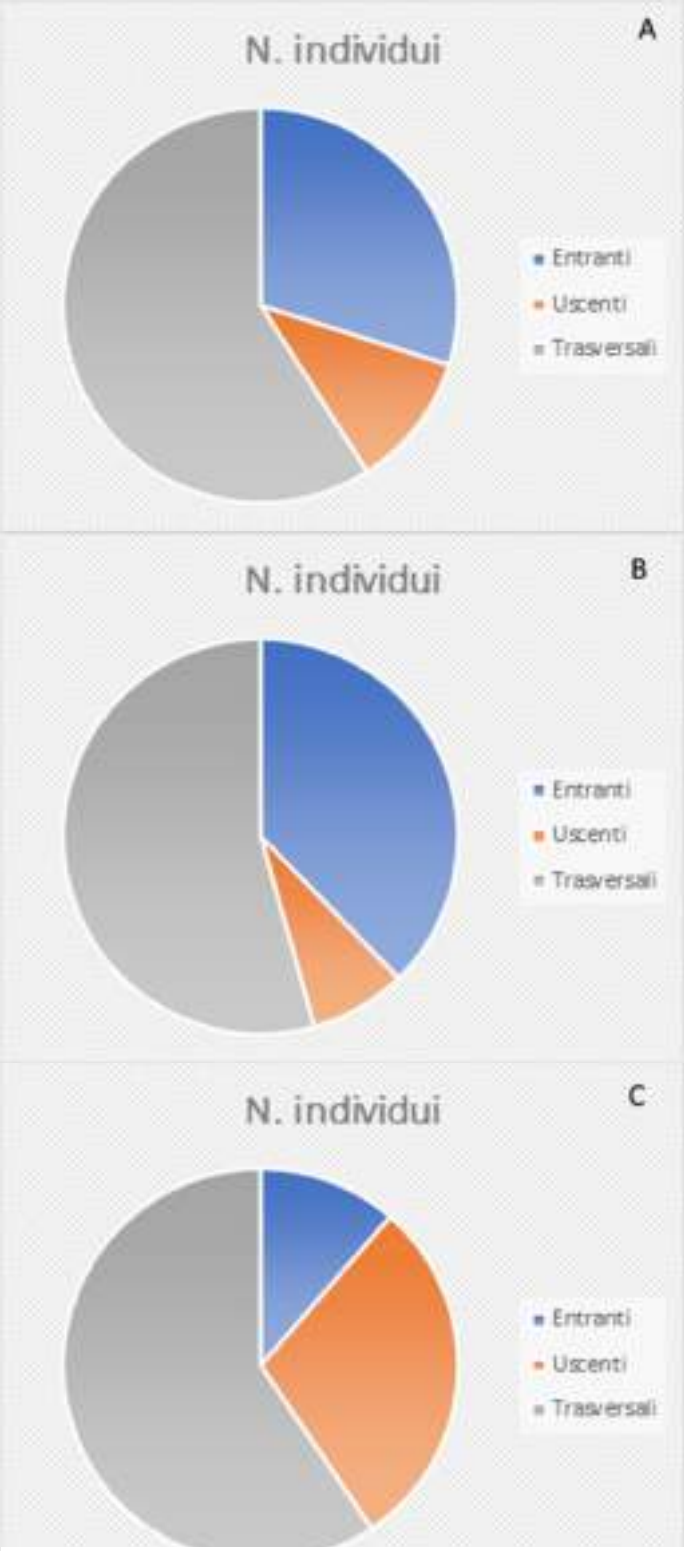

Figura 10 Composizione in termine di numero di individui divisa per tre fasi mareali distinte

26 – 27 giugno 2018

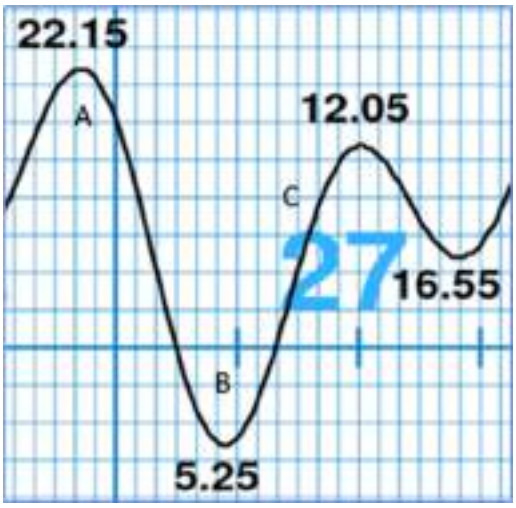

Figura 11 Escursione di marea in data 26 e 27 giugno 2018

Durante la prima campagna di acquisizione dati si è operato dalla sera del 26 giugno ininterrottamente fino al mezzogiorno successivo (Figura 10 e Figura 11). Anzitutto, bisogna evidenziare l'elevata incidenza di organismi per i quali non è possibile individuare una chiara direzionalità (generalmente con percentuali superiori al 50%). Quasi sicuramente si tratta di individui che stazionano nell'area della

bocca di porto, per ragioni trofiche o altro, o semplicemente sono stati colti dal passaggio in una fase di bassa propensione al moto. Tra quelli che invece manifestano un verso preferenziale di spostamento si evidenziano diverse fasi. Nel primo periodo, durante le ore serali e in coincidenza col picco di marea entrante (A), si è registrata la più alta percentuale di organismi uscenti. Nel corso dell'elevata escursione di marea notturna (B), si è invece osservato un aumento della percentuale di organismi entranti, nonostante una direzione di corrente opposta al loro verso. La mattina seguente (C), infine, in corrispondenza del picco di bassa marea e nelle primissime fasi di marea entrante, complessivamente, gli individui con una direzionalità prevalente si evidenziano per la componente entrante.

21 settembre 2018

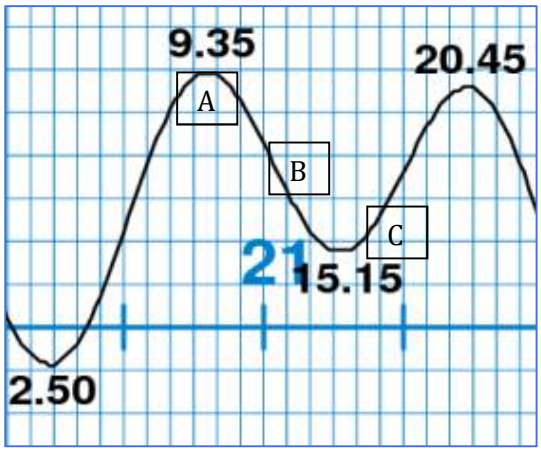

Figura 12 Escursione di marea in data 21 settembre 2018

La seconda campagna di misurazioni è stata effettuata in data 21 settembre 2018. Si è operato durante 3 differenti fasi di escursione della marea (Figura 12 e Figura 13).

Come nel caso della campagna precedente, si evidenzia un'elevata incidenza di organismi per i quali non è possibile individuare una precisa direzionalità di moto lungo l'asse della bocca. In quella porzione d'individui che, invece, mostrano un verso di spostamento preferenziale, si osserva un progeressivo aumento dell'incidenza di bersagli uscenti a fronte di un livello pressoché costante di quelli entranti. Nella prima fase (A), a ridosso del picco di alta marea, circa il 25% degli individui stava transitando attraverso la bocca di porto, prevalentemente nel verso entrante. Successivamente (B), all'aumentare delle corrente, si osserva un aumento dei target uscenti, che quindi si spostano secondo il verso del flusso di marea. La stessa tendenza si è riscontrata anche nell'ultima fase del campionamento (C).

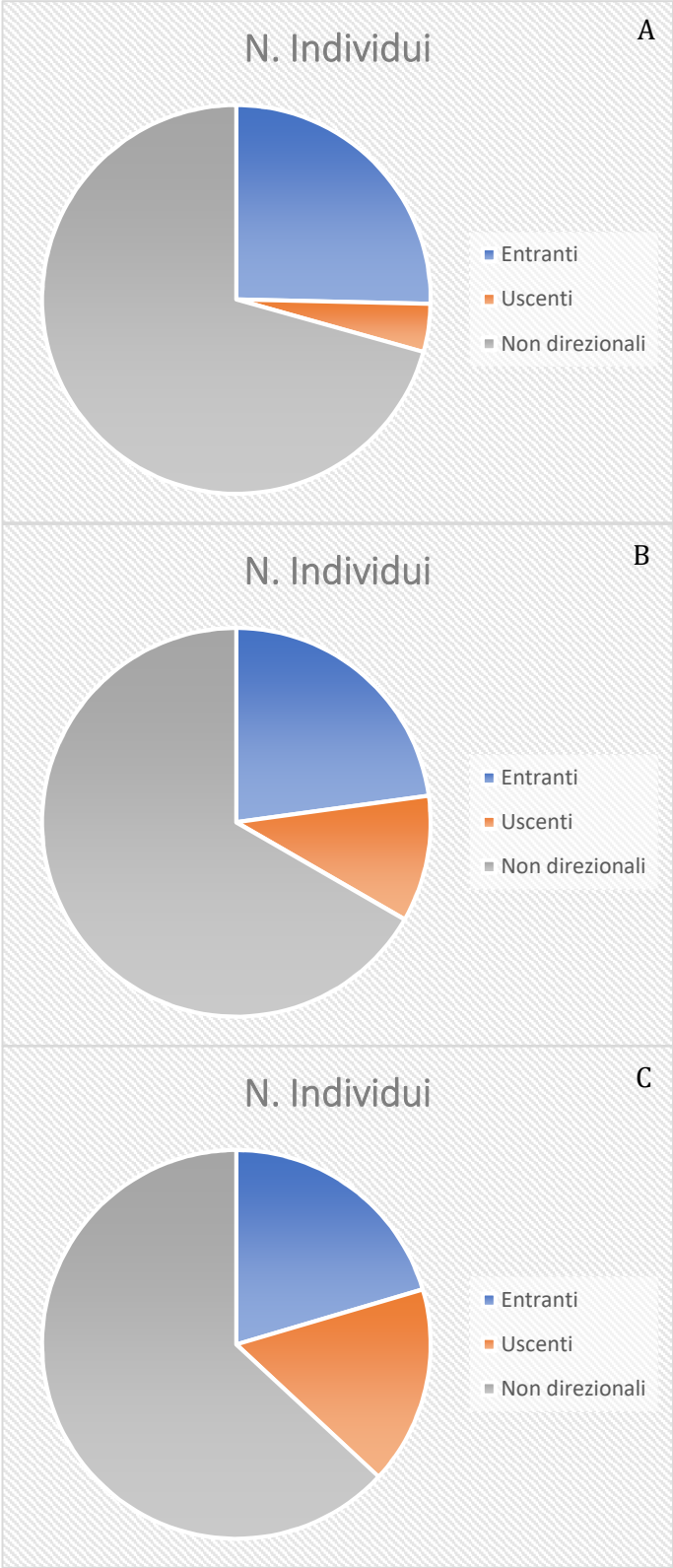

Figura 13 Composizione in termini di numero di individui suddivisa per tre fasi mareali distinte

4 dicembre 2018

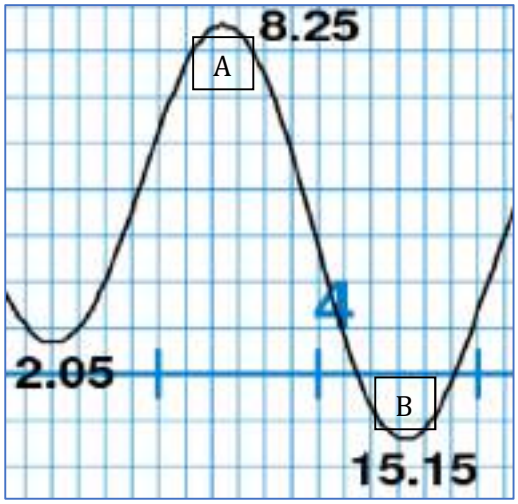

Figura 14 Escursione di marea in data 4 dicembre 2018

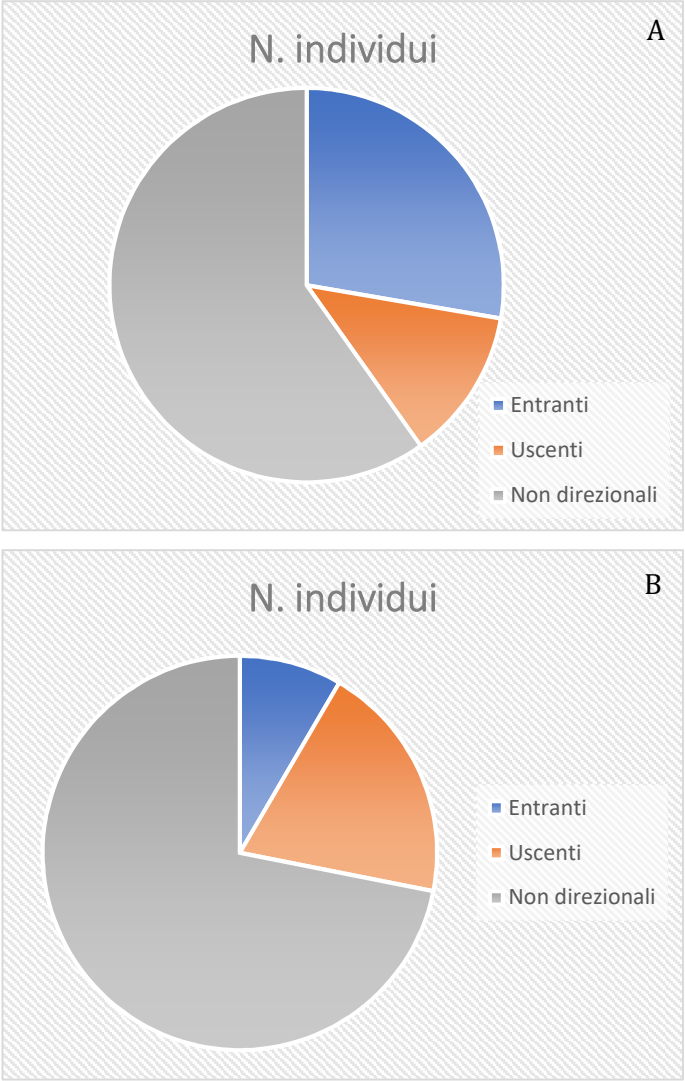

Figura 15 Composizione in termine di numero di individui suddivisa per due fasi mareali distinte

La terza campagna è stata effettuata in data 4 dicembre 2018 (Figura 14), seguendo un'unica fase di marea, ma intensificando quanto più possibile la copertura spaziale dell'intera bocca (Figura 15). I campionamenti, iniziati in mattinata, si sono protratti fino al pomeriggio, andando quindi a coprire una prima condizione di marea stazionaria ('morto di acqua', A) attorno alle 8:30 – 9:30 e uno stato di forte marea uscente che si è protratta per tutto il resto del campionamento (B). In questo caso, si è registrata una diminuzione complessiva degli organismi caratterizzati da una chiara direzionalità passando dalla fase mareale 'A' alla 'B'. Nella prima porzione di monitoraggi, all'inizio della fase di marea uscente, è stata individuata una maggior incidenza di individui entranti, rispetto quelli uscenti. Lo schema di direzionalità prevalente cambia col passare delle ore. Infatti, durante la fase 'B' più della metà degli individui 'direzionali', mostra un movimento dalla laguna verso il mare.

Densità

Le quantità di individui per chilometro quadrato stimate nelle tre campagne sono risultate sensibilmente differenti. La prima campagna (Figura 16A) si è caratterizzata per i valori più bassi in assoluto (circa 1400 ind/km², e 100 kg/km²), mentre i valori più elevati si sono registrati nella terza campagna (quasi 14000 ind/km² e 1000 kg/km²). La campagna di settembre ha evidenziato valori intermedi (circa 4000 ind/km², e 300 kg/km²)

In relazione al pattern spaziale, in tutti e tre i monitoraggi (Figura 16A, B e C) si è osservato come il canale a destra dell'isola artificiale (e in generale la porzione NE della bocca) fosse meno popolato rispetto alla porzione a SO della bocca stessa. Inoltre, è possibile evidenziare come le concentrazioni più elevate siano localizzate in zone diverse della bocca stessa, a seconda dei diversi momenti.

Per quanto riguarda la presenza dello ctenoforo *M. leidyi*, come precedentemente riportato, il campionamento non ha evidenziato densità apprezzabili, confermando tuttavia la potenzialità del metodo acustico per il rilevamento anche di queste forma megaplanctoniche.

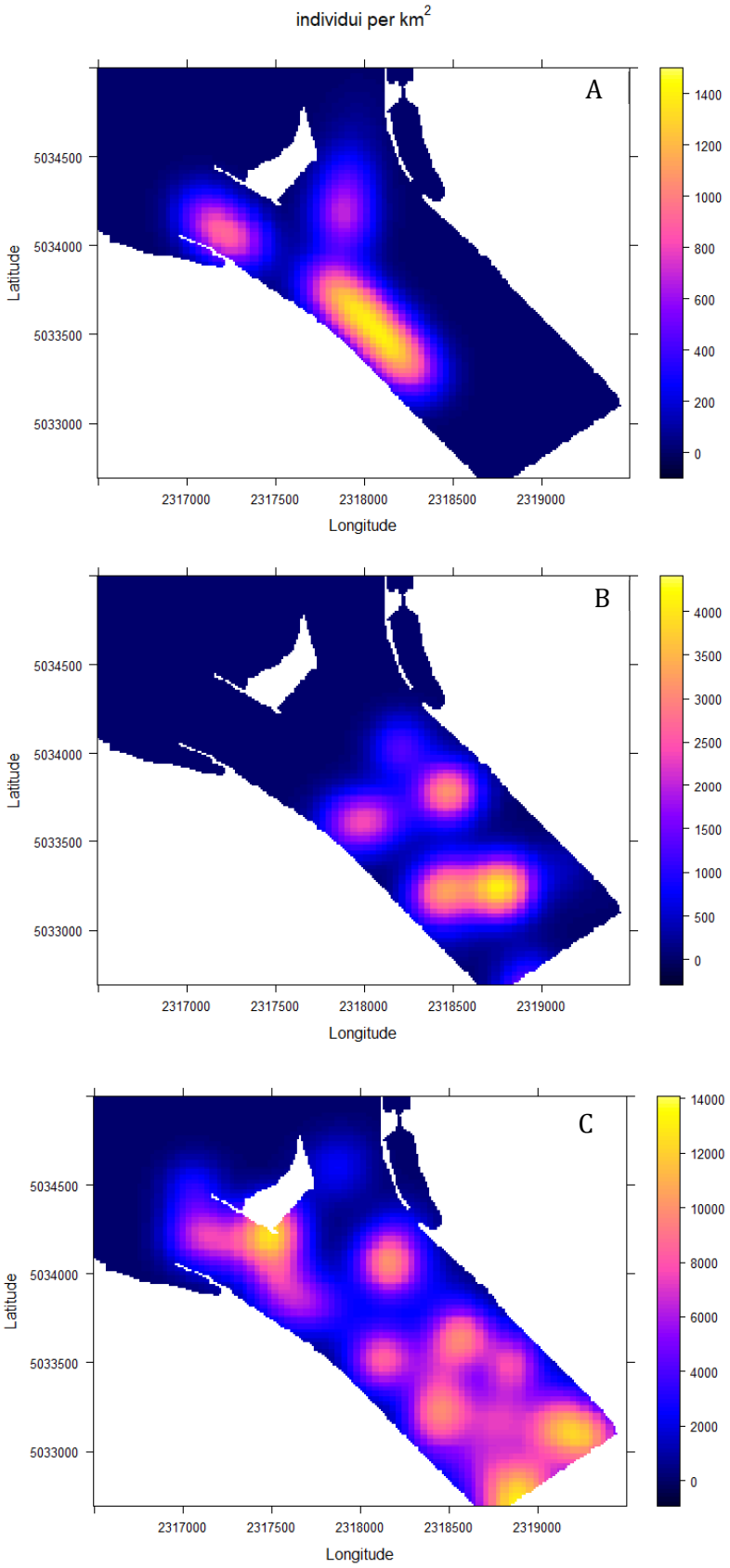

Figura 16 Spazializzazione dei dati di densità (n° individui per km²) mediante interpolazione spaziale IDW

Tecnologia *wide band*

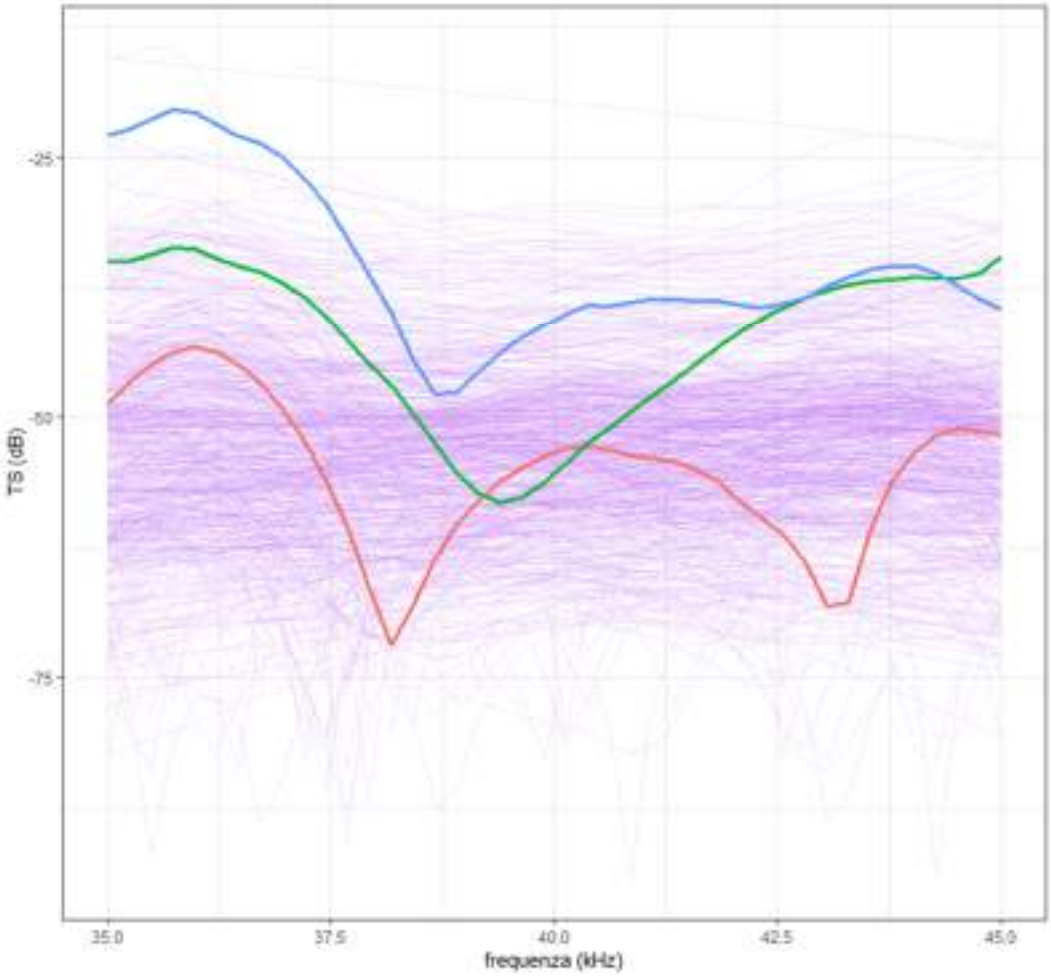

Figura 17 Curve di 'frequency response' per 300 target. Sono state evidenziate 3 curve con fomre differenti, presumibilmente appartenenti a 3 specie diverse

L'utilizzo della tecnologia *wide-band* consente, come illustrato in precedenza, di analizzare la curva di frequenza relativa a ciascuna eco di risposta. Al momento, non esistono ancora delle vere e proprie routine implementate che consentano l'estrazione e la successiva analisi di questo tipo di dati. Tuttavia, un'analisi preliminare, effettuata su un piccolo subset di dati (circa 300 target), ha consentito di ottenere quanto riportato in Figura 17. Nonostante riguardi solo una piccolissima porzione di tutti i target individuati, a causa del gran numero di curve sovrapposte il grafico appare piuttosto confuso. Tuttavia, esaminando separatamente la *Frequency Response* relativa a target diversi, è possibile confermare le potenzialità del metodo nel discriminare curve di diversa forma, probabilmente attribuibili ad individui di specie diversa (come quelle marcate in figura con spessore diverso).

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Divisa dall'Adriatico da un lungo cordone litoraneo, la laguna di Venezia mantiene la connettività col mare grazie alle bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia. Attraverso questi tre canali, è garantito infatti, due volte al giorno, il ricambio dell'acqua (mediante lo scambio mareale), con conseguente trasporto di sedimenti, nutrienti ed organismi. Questo consente benefici multipli; le zone costiere limitrofe alla laguna godono di un maggior quantitativo di nutrienti e sostanza organica particellata, elementi che sono alla base della produzione primaria e secondaria; la laguna, invece, grazie ai flussi entranti ed uscenti viene vivificata da masse d'acqua salata ed ossigenata. Gli organismi marini sfruttano tali peculiarità per svolgere diverse funzioni biologiche, dalla riproduzione, al rifugio, all'alimentazione, migrando a seconda della specie e della fase di crescita, più volte in entrambi i versi.

Attraverso il progetto Exchange, si è voluto verificare la possibilità di analizzare e quantificare i flussi di organismi attraverso le bocche di porto, mediante tecniche di acustica attiva, mettendoli in relazione diretta con le fasi di marea, l'escursione della stessa, le stagioni e la fase del giorno.

Exchange è il primo progetto ad applicare tecnologie di acustica attiva per l'individuazione della direzionalità degli organismi marini al fine di stimare i flussi entranti ed uscenti in laguna di Venezia. Proprio per adattarsi alle peculiarità dell'ambiente lagunare, si è dovuto operare ideando *ex novo* tutte le fasi del campionamento e delle successive analisi, sperimentando col susseguirsi delle campagne, metodologie differenti in grado di massimizzare i risultati, nell'esplorare con successo all'area di campionamento. Ad esempio, si è rilevato che il campionamento da punto fisso, effettuato durante la prima campagna, seppur promettente in termini teorici, porta all'ottenimento di dati non facilmente elaborabili a causa della massiccia presenza di rumore negli ecogrammi. Tale fenomeno è in gran parte riconducibile al moto ondoso presente nel canale e qualora si volesse ritentare in futuro questo approccio andrebbe rivisto il punto di ancoraggio/campionamento, e ideato un sistema di regolazione fine dell'orientamento del trasduttore, in modo da minimizzare i disturbi. I successivi monitoraggi sono stati quindi condotti per mezzo di transetti trasversali al canale, cercando di esplorare la maggior superficie possibile. Altri aggiustamenti sono stati condotti in corso d'opera, ad esempio modificando i parametri di acquisizione (frequenza degli echi di emissione), per massimizzare la risoluzione dei dati ottenibili. Ovviamente, molti aspetti rimangono ancora da approfondire; tuttavia, l'attività svolta ha permesso di dimostrare come il metodo possa essere applicato per rilevare la direzionalità dei pesci.

La percentuale di organismi che mediamente transitano attraverso la bocca di porto, è variata da un minimo di circa il 20% ad un massimo di poco inferiore al 50% del totale degli individui rilevati. I dati raccolti hanno evidenziato anche una consistente percentuale di target 'stanziali', che probabilmente non usano il canale per spostarsi dalla laguna al mare (o viceversa), ma che frequentano l'area per le sue funzionalità ecologiche. Questo risultato pone l'accento sull'importanza della bocca di porto anche come habitat a sé stante, e non solo come mero 'corridoio' che congiunge due sistemi ecologicamente piuttosto

diversi. Tale aspetto merita sicuramente ulteriori approfondimenti, in quanto potrebbe portare a rivedere, almeno in parte l'attuale 'concezione' della laguna in termini di struttura di habitat.

Con riferimento, invece, alle funzioni di connettività giocate dalla bocca stessa, i risultati acquisiti nel corso del presente progetto, confermano il ruolo giocato dalle variabili ambientali nel determinare il movimento dei diversi organismi. Nel caso specifico, variazioni delle correnti di marea sembrano infatti essere un fattore importante nel definire i flussi mare-laguna e viceversa (spesso con direzionalità non ovvie, nel senso non direttamente collegate al verso della marea stessa). È apparso evidente, infatti, come le direzioni preferenziali degli organismi campionati siano dipendenti dalla fase della marea, ma soprattutto dall'intensità della corrente. Si è riscontrata, infatti, una maggior intensità di spostamento, spesso nel verso contrario alla marea, durante le fasi di cambio mareale, a ridosso dei picchi. Quando, invece, a metà del ciclo di marea la corrente raggiunge intensità più elevate, si è rilevata una minor frequenza di spostamenti. Si è anche osservato come vi sia una direzionalità prevalente che può essere discrezionale a seconda della taglia degli organismi marini presi in considerazione.

Lo studio, inoltre, ha evidenziato come la presenza di individui nell'area oggetto di campionamento non sia affatto costante. È stato registrato, infatti, un sensibile aumento delle densità nel passaggio tra il giorno e la notte e, soprattutto, passando dalla stagione calda al tardo autunno. Tali pattern andranno in futuro confermati, intensificando lo sforzo di campionamento per esplorare nuove 'finestre' stagionali ed effettuando monitoraggi anche in condizioni meteo/climatiche meno favorevoli.

Lo studio, pur concentrandosi sulla stima dei flussi, ha anche evidenziato come la valutazione delle biomasse presenti al momento dei monitoraggi (molto variabili su base stagionale, con un massimo di circa 1 tonnellata/km^2) sia in linea con studi scientifici pregressi e dati provenienti da modelli applicati sia all'ambiente lagunare (Brigolin et al., 2014), che a quello marino costiero (Libralato et al., 2015). Bisogna infatti ricordare ancora una volta, che si tratta del primo studio in assoluto volto a stimare la biomassa in zone lagunari e quindi non esistono dati pregressi con cui confrontarsi. D'altro canto, la suddivisione tassonomica delle biomasse per mezzo di dati acustici *wide-band* è un argomento 'di frontiera', che la comunità scientifica ha cominciato ad esplorare solo di recente. I dati acquisti potranno essere elaborati in tal senso anche in congiunzione ad altre campagne di pesca scientifica che possano mettere in relazione diretta le '*frequency response'* con alcune specie target.

Potenzialità dei metodi acustici testati in Exchange

In generale, quindi, si può affermare che il progetto Exchange ha permesso di evidenziare come gli scambi di organismi marini, per la bocca di porto del Lido, interessino diverse tonnellate di pesci e come tali flussi siano relazionabili alle maree, alla loro intensità, alle fasi nictemerali e infine alla stagione. Se è già noto da tempo il servizio ecosistemico di area nursery che la laguna svolge per diverse specie ittiche, è invece del tutto innovativo lo studio degli spostamenti di individui adulti e sub-adulti, fasi di crescita direttamente interessate dal prelievo alieutico. La connettività ecologica, quindi, tra aree

marino costiere ed acque di transizione diviene un elemento importante da studiare e comprendere anche per fini gestionali. Affinare le conoscenze riguardo tali scambi, estendendo i monitoraggi a tutte e tre le bocche di porto e alle aree costiere subito prospicenti significherebbe comprendere maggiormente le quantità di biomassa disponibili e, eventualmente, predisporre dei piani di pesca che tengano conto della distribuzione spaziale degli organismi marini.

Oltre a ciò, l'esecuzione delle campagne ha messo in luce come le tecnologie di rilevo acustico, grazie anche alla loro rapidità possano essere impiegate come strumento di *'early warning'*; si pensi al caso della noce di mare (*Mnemiopsis leidyi*), ctenoforo che solo negli anni più recenti si è appurato colonizzi anche le aree lagunari venete. La sua presenza segue infatti fluttuazioni profonde e difficilmente prevedibili, come evidenziato anche nel presente studio, in cui l'organismo è risultato pressoché assente in Laguna nel 2018, a differenza di quanto segnalato solo l'anno precedente. Dato che esso è un vorace predatore di stadi larvali di molte specie ittiche di interesse commerciale, è evidente come predisporre dei monitoraggi periodici possa avere una importante valenza in termini gestionali, attivando ad esempio potenziali misure di mitigazione degli effetti nocivi, quali ad esempio campagne di prelievo attivo per mezzo di reti pelagiche all'ingresso delle bocche di porto o la raccolta manuale da parte dei pescatori degli individui che si fissano sulle reti da posta. Durante le campagne non è stato possibile rilevare la presenza di biomasse significative di *M. leidyi* nell'area oggetto di studio, poiché la specie è risultata scarsamente presente o del tutto assente. Solo nel corso della campagna invernale è stato possibile rilevare la presenza di alcuni individui di piccola taglia, ma la loro bassissima densità è stata ritenuta insufficiente per inferire un dato statisticamente attendibile. L'assenza della specie, tuttavia, è di per sé una dimostrazione di quanto poco ancora si conosca sui meccanismi che regolano al dinamica di popolazione e gli spostamenti nelle aree costiere di questa specie.

Diversi studi (Pranovi et al., 2013; Fortibuoni et al., 2015) hanno evidenziato che la presenza di specie aliene termofile nei prossimi anni assumerà proporzioni sempre maggiori, interessando aree sub-boreali come l'alto Adriatico e le sue lagune costiere. Questo aspetto e i cambiamenti climatici causeranno due effetti che insisteranno contemporaneamente sulla laguna di Venezia. Da un lato, le specie aliene si stabilizzeranno anche all'interno della laguna andando a modificare l'ecosistema lagunare (basti pensare al granchio blu, già presente da diversi anni) dall'altro, l'aumento della frequenza delle acque alte inciderà sul numero di disconnessioni mare-laguna a causa dell'entrata in funzione delle dighe del MoSE. Questi due effetti potrebbero incidere sinergicamente in modo negativo sull'ecosistema lagunare, stravolgendo la catena trofica ed andando a bloccare, almeno in alcuni frangenti, il ripopolamento della laguna o comunque il naturale transito di organismi marini. Questi aspetti possono essere monitorati con campagne simili a quelle condotte in Exchange; i dati raccolti sarebbero una buona base per avere uno 'stato zero' precedente all'entrata in funzione del MoSE; per di più, i monitoraggi hanno evidenziato come le maggiori biomasse transitanti per la bocca di porto del Lido siano state rinvenute proprio nel periodo che va dal tardo autunno all'inizio della primavera.

Questo è anche il periodo in cui si verificano con maggiore frequenza i fenomeni di "acqua alta" che determineranno il sollevamento delle barriere mobili del MoSE e la conseguente interruzione dei flussi di organismi marini.

Considerazioni per la gestione delle risorse alieutiche

In ottica gestionale, infine, appare del tutto evidente come vi sia una chiara connessione tra le risorse alieutiche marine e quelle lagunari e come le bocche di porto giochino un ruolo fondamentale nel mantenimento di questo collegamento. Il transito continuo di organismi attraverso la bocca di porto del Lido, evidenziato in questo studio, dimostra come tali risorse richiedano dei piani di gestione che comprendano contemporaneamente sia l'ecosistema lagunare che le aree costiere limitrofe; questo perché l'attività di prelievo insiste sui medesimi stock, che periodicamente transitano per la bocca di porto e si spostano tra i due ambienti. Studiando più approfonditamente le dinamiche di spostamento, allargando l'area di interesse anche alle altre tre bocche di porto e alle aree costiere limitrofe, si potrebbe comprendere ove le risorse alieutiche 'stazionano' e dove è maggiormente profittevole concentrare l'attività di pesca. Tali misure andrebbero viste ed applicate ovviamente in un'ottica di sostenibilità affinché, ad esempio, lo sforzo di pesca che insiste sullo stesso stock non venga applicato due volte, sia nell'area costiera che nelle aree lagunari.

Con l'entrata in funzione delle dige mobili a protezione di Venezia dalle acque alte, inoltre, la disconnessione mare-laguna potrebbe produrre ulteriori problemi per gli organismi marini che sfruttano le aree interne della laguna; i campionamenti effettuati hanno evidenziato come la maggior parte degli spostamenti avvenga in presenza dei cambi di marea; è probabile attendersi quindi flussi ancora più significativi durante le acque alte, tali scambi verrebbero bloccati, impedendo, per diverse ore, agli organismi sfruttare queste importanti 'finestre di transito'.

Studi di questo genere, quindi, risultano indispensabili per riuscire ad avere una visione complessiva della funzionalità ecologica del sistema laguna-area costiera, contribuendo in modo significativo all'implementazione di un approccio gestionale realmente ecosistemico.

Linee guida

Sintetizzando possibili linee guida gestionali che tengano conto di quanto emerso nel presente progetto, si può affermare che:

1. la bocca di porto di Lido mostra un ruolo fondamentale nel garantire un costante passaggio di organismi marini da e verso la laguna. Tale elemento di fondamentale importanza per la connettività ecologica, potrebbe essere impattato negativamente dall'entrata in funzione delle dighe mobili del MOsE, che periodicamente impediranno il flusso di scambio, proprio in momenti di intenso scambio mareale. Sarà quindi necessario monitorare attentamente tali effetti, concentrando le attività di campionamento anche in corrispondenza delle condizioni che saranno alla base delle chiusure, ed integrandole con lo sviluppo di scenari basati su un approccio modellistico.
2. esiste la necessità di estendere le campagne di monitoraggio alle aree adiacenti alla bocca di porto, ad esempio nelle aree costiere limitrofe e nei canali più profondi che si diramano a nord e a sud dal canale della bocca stessa, al fine di comprendere quali siano i comportamenti degli individui rilevati in transito, una volta entrati in ambiente lagunare o usciti da esso, così da riuscire a definire le attività specifiche (trofiche, ricerca di habitat specifici o altro);
3. Potrebbe essere utile associare i dati acquistii con l'echosounder con informazioni provenienti dalla piccola pesca artigianale (lagunare e costiera), al fine di validare le procedure di acquisizione e di calibrare al meglio i rilievi sulle quantità pescate;
4. il comportamento 'stanziale' di molti degli individui rilevati all'interno della bocca di porto suggerisce tale zona, oltre ad essere un "corridoio" per il passaggio dagli organismi marini, dovrebbe essere considerata come un vero e proprio habitat a se stante, un luogo fisico ove le specie svolgono diverse funzioni ecologiche. Questo risulta essere di particolare rilevanza, in quanto le bocche di porto non rientrano ancora nelle aree Natura 2000 (né SIC né ZPS), definite per la laguna di Venezia;
5. infine, alla luce delle modificazioni attese in relazione ai cambiamenti climatici della struttura e composizione delle comunità nectoniche marino-costiere e lagunari, diviene di fondamentale importanza predisporre campagne periodiche di monitoraggio volte all'individuazione della presenza di specie aliene termofile, che potrebbero comportare significative variazioni nei processi ecologici, con possibili ricadute (non necessariamente negative, ad esempio nel caso dell'arrivo di specie di interesse commerciale) sulle attività alieutiche.

Bibliografia

BRIGOLIN D., FACCA C., FRANCO A., FRANZOI P., PASTRES R., SFRISO A., SIGOVINI M., SOLDATINI C., TAGLIAPIETRA D., TORRICELLI P., ZUCCHETTA M., PRANOVI F., 2014. Linking ecosystem functioning and spatial configuration for an ecosystem based management: a Mediterranean lagoon case-study. *Marine Environmental Research*, 97: 58-66.

FORTIBUONI T., ALDIGHIERI F., GIOVANARDI O., PRANOVI F., ZUCCHETTA M., 2015. Climate impact on Italian fisheries (Mediterranean Sea). *Regional Environmental Change*, 15: 931-937.

FRANCO A; FIORIN R; FRANZOI P.; TORRICELLI P (2005), Threatened fishes of the world: Pomatoschistus canestrinii Ninni, 1883 (Gobiidae). in ENVIRONMENTAL BIOLOGY OF FISHES, vol. 72, pp. 32-32 (ISSN 0378-1909)

FRANZOI P.; TRISOLINI R.; CARRIERI A.; ROSSI R. (1989), Caratteristiche ecologiche del popolamento ittico ripario della Sacca di Scardovari (Delta del Po). in NOVA THALASSIA, vol. 10, pp. 399-405 (ISSN 0369-5271)

GILLANDERS BM., 2002 Connectivity between juvenile and adult fish populations: Do adults remain near their recruitment estuaries? Marine Ecology Progress Series 240:215-223 · September 2002 DOI: 10.3354/meps240215

LIBRALATO S., CACCIN A., PRANOVI F., 2015. Modelling species invasions using thermal and trophic niche dynamics under climate change. *Frontiers in Marine Science,* doi: 10.3389/fmars.2015.00029.

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.

SHEAVES M., BACKER R., NAGELKERKEN I., CONNOLY RM., 2014. True value of estuarine and coastal nurseries for fish. Estuaries and Coasts 38(2):401-414 · March 2015 DOI: 10.1007/s12237-014-9846-